

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**LUCAS ROCHA GADIS**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE JUNTAS COLADAS POR**  
**SOBREPOSIÇÃO COM VARIAÇÃO DE RUGOSIDADE E TEMPERATURA**  
**SUBMETIDAS AO ENSAIO DE TRAÇÃO UNIAXIAL**

**São Leopoldo**  
**2021**

LUCAS ROCHA GADIS

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE JUNTAS COLADAS POR SOBREPOSIÇÃO  
COM VARIAÇÃO DE RUGOSIDADE E TEMPERATURA SUBMETIDAS AO ENSAIO  
DE TRAÇÃO UNIAXIAL

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Mecânica, pelo Curso de  
Engenharia Mecânica da Universidade do  
Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientador: Prof. Ms. Fabiano da Silva Brites

São Leopoldo

2021

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Luciane e Paulo pelo apoio incondicional, pelos incentivos e cobranças e principalmente por não me fazer desistir desta empreitada.

A minha avó Sirley agradeço ao apoio e companhia, por sempre me lembrar da grande oportunidade que estou tendo.

Ao meu tio Carlos agradeço por ter me ajudado a conseguir o primeiro emprego, local onde pude aprender bastante.

Aos colegas e amigos que fiz ao longo do curso, que incentivaram e contribuíram durante a formação.

A todos meus professores em especial ao meu orientador Prof. Ms. Fabiano da Silva Brites, pelo tempo dedicado e pelo conhecimento compartilhado.

## RESUMO

O uso de adesivos industriais vem crescendo ao longo dos anos, assim como seus mais diversos usos, sendo principalmente utilizado da indústria civil, indústria aeronáutica e indústria automotiva. Apesar desta crescente, literaturas ou referências sobre o assunto ainda não são de fácil acesso e dificilmente abordam parâmetros como a influência externa sobre o adesivo. Neste contexto o presente trabalho apresentará o estudo e análise de juntas coladas em substrato de alumínio com o objetivo de analisar seu comportamento sob diferentes rugosidades e temperaturas através do ensaio de tração uniaxial. As amostras foram preparadas para terem duas rugosidades distintas para a união adesivada, já com relação as temperaturas foram realizados ensaios com três variações, temperatura ambiente, metade da temperatura máxima de resistência do adesivo e próximo a temperatura máxima de resistência do adesivo. O ensaio de tração demonstrou e possibilitou a análise da influência destes parâmetros na resistência a cisalhamento das juntas. Como resultado destes comparativos, constatou-se que a rugosidade influencia no desempenho do adesivo para temperaturas elevadas, onde as forças obtidas foram significativamente impactadas. Tal constatação, significa que o desempenho do adesivo varia de acordo com o ambiente que este é exposto, assim como o substrato utilizado, podendo ter resultados bastante distintos somente com alteração da rugosidade do substrato na área de contato com o adesivo.

Palavras-chaves: adesivos, rugosidade, temperatura, tração, alumínio.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - União do tipo móvel .....	15
Figura 2 - União do tipo permanente .....	16
Figura 3 - Estrutura rebite POP .....	17
Figura 4 - Alguns tipos de soldagem .....	19
Figura 5 - Nomenclatura ASTM para juntas adesivas .....	22
Figura 6 - Quatro modos fundamentais de carregamento .....	25
Figura 7 - Tipos de ruptura em juntas de sobreposição simples .....	26
Figura 8 - Tipos de juntas adesivas.....	27
Figura 9 - Representação esquemática da tensão de tração .....	27
Figura 10 - Diagrama geral tensão versus deformação .....	28
Figura 11 - Superfície rugosa de uma peça durante o processo de usinagem .....	29
Figura 12 - Representação dos picos e vales no perfil de rugosidade .....	30
Figura 13 - Determinação da rugosidade média Ra .....	31
Figura 14 - Relação das classes de rugosidade e seus processos de obtenção .....	32
Figura 15 - Rugosidade Ry definida pela rugosidade parcial Z3 .....	33
Figura 16 - Determinação da rugosidade Rt .....	34
Figura 17 - Determinação da rugosidade média Rz .....	36
Figura 18 - Funcionamento de um rugosímetro analógico .....	37
Figura 19 - Rugosímetro analógico Novotest TEC-RA001 .....	38
Figura 20 - Rugosímetro digital Instrutherm modelo RP-200 .....	39
Figura 21 - Fluxograma da metodologia.....	40
Figura 22 - Dimensional da barra chata de alumínio fornecida .....	41
Figura 23 - Dimensões para as amostras segundo a norma ASTM D1002 .....	42
Figura 24 - Máquina de corte Franho FM 500H .....	42
Figura 25 - Corpos de prova após o processo de corte .....	43
Figura 26 - Lixa de metal grão 240.....	44
Figura 27 - Lixadeira de cinta .....	44
Figura 28 - Rugosímetro Starrett SR200 .....	45
Figura 29 - Tabela de <i>cut-off</i> do rugosímetro Starrett .....	45
Figura 30 - Adesivo 3M Scotch Weld DP460, aplicador e bico misturador .....	46

Figura 31 - Substratos submersos em mistura desengraxante .....	47
Figura 32 - Substratos com o adesivo já aplicado.....	47
Figura 33 - União dos substratos pro junta simples .....	48
Figura 34 - Amostras durante o processo de cura do adesivo .....	49
Figura 35 - Máquina de ensaios universal MTS Landmark .....	50
Figura 36 - Tela do programa da máquina de ensaios durante um teste .....	50
Figura 37 - Fixação da amostra.....	51
Figura 38 - Amostra fixada conforme norma JIS Z 3136.....	52
Figura 39 - Forno de indução Sanchis acoplado a máquina de ensaio.....	53
Figura 40 - Gráfico Força(kN) x Tempo(s) temperatura ambiente - 240 .....	55
Figura 41 - Amostra 240 após o ensaio em temperatura ambiente.....	56
Figura 42 - Gráfico Força(kN) x Tempo(s) temperatura ambiente - 80 .....	57
Figura 43 - Amostra 80 após o ensaio em temperatura ambiente.....	57
Figura 44 - Gráfico Força(kN) x Tempo(s) temperatura de 55°C - 240 .....	58
Figura 45 - Amostra 240 após o ensaio em temperatura de 55°C .....	59
Figura 46 - Gráfico Força(kN) x Tempo(s) temperatura de 55°C - 80 .....	60
Figura 47 - Amostra 80 após o ensaio em temperatura de 55°C .....	60
Figura 48 - Gráfico Força(kN) x Tempo(s) temperatura de 100°C - 240 .....	61
Figura 49 - Amostra 240 após o ensaio em temperatura de 100°C .....	62
Figura 50 - Gráfico Força(kN) x Tempo(s) temperatura de 100°C - 80 .....	62
Figura 51 - Amostra 80 após o ensaio em temperatura de 100°C .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de rebites.....	17
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens da utilização de rebites .....	18
Tabela 3 - Vantagens e desvantagens do processo de soldagem .....	19
Tabela 4 - Tipos de parafusos de fixação .....	20
Tabela 5 - Vantagens e desvantagens do uso de juntas adesivas.....	23
Tabela 6 - Vantagens e desvantagens do método de rugosidade média Ra .....	31
Tabela 7 - Relação entre Ra e o mínimo comprimento de amostragem necessário .	32
Tabela 8 - Vantagens e desvantagens do método de rugosidade máxima Ry .....	34
Tabela 9 - Vantagens e desvantagens do método de rugosidade total Rt .....	35
Tabela 10 - Vantagens e desvantagens do método rugosidade média Rz .....	36
Tabela 11 - Comparativo dos resultados obtidos com os ensaios .....	64

## LISTA DE SIGLAS

ASTM	<i>American Society of Testing and Materials</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
JIS	<i>Japanese Industrial Standards</i>
NBR	Norma Técnica brasileira
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos
UV	Ultravioleta

**LISTA DE SÍMBOLOS**

$\ell_e$	Comprimento de amostragem ou <i>cut-off</i> [mm]
$\ell_m$	Percurso de medição [mm]
$R_z$	Valor entre o maior pico e maior vale [ $\mu\text{m}$ ]
$Z_i$	Rugosidade parcial [ $\mu\text{m}$ ]
$Z_p$	Altura de pico em função da linha média [ $\mu\text{m}$ ]
$Z_v$	Altura de vale em função da linha média [ $\mu\text{m}$ ]

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	Situação Problema	11
1.2	Objetivos	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.2	Objetivos Específicos	12
1.3	Delimitação do Trabalho	13
1.4	Justificativa	13
1.5	Estrutura do Trabalho	14
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>15</b>
2.1	Tipos de Uniões	15
2.1.1	Rebites	16
2.1.2	Soldas	18
2.1.3	Parafusos	20
2.2	Adesivos	21
2.2.1	Esforços Típicos em Juntas Adesivas	24
2.2.2	Tipos de Ruptura	25
2.2.3	Configurações de Juntas	26
2.2.4	Forças e Ensaio Aplicável	27
2.3	Rugosidade	28
2.3.1	Rugosidade Média (Ra)	30
2.3.2	Rugosidade Máxima (Ry)	33
2.3.3	Rugosidade Total (Rt)	34
2.3.4	Rugosidade Média Parcial (Rz)	35
2.3.2	Rugosímetro	37
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>40</b>
3.1	Preparação das Amostras	40
3.1.1	Preparação do Substrato	41
3.1.2	Controle da Rugosidade nas Amostras	43
3.1.3	Fabricação da Junta Colada	46
3.1.4	Processo de Cura	48
3.1.5	Setup da Máquina de Ensaio	49
3.1.6	Fixação das Amostras na Máquina	51

3.2	Influência da Rugosidade Sobre o Adesivo .....	52
3.3	Influência da Temperatura Sobre as Amostras Ensaçadas .....	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	55
4.1	Amostras Ensaçadas em Temperatura Ambiente de 23°C .....	55
4.2	Ensaios na Temperatura de 55°C .....	58
4.3	Ensaios na Temperatura de 100°C .....	61
4.4	Análise dos Resultados Obtidos .....	63
5	CONCLUSÕES .....	65
6	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	67
	REFERÊNCIAS .....	68
	APÊNDICE A – ENSAIOS 240 TEMPERATURA AMBIENTE .....	71
	APÊNDICE B – ENSAIOS 80 TEMPERATURA AMBIENTE .....	73
	APÊNDICE C – ENSAIOS 240 TEMPERATURA 55 °C .....	75
	APÊNDICE D – ENSAIOS 80 TEMPERATURA 55 °C .....	77
	APÊNDICE E – ENSAIOS 240 TEMPERATURA 100 °C .....	79
	APÊNDICE F – ENSAIOS 80 TEMPERATURA 100 °C .....	81
	APÊNDICE G – TABELA DE FORÇAS MÁXIMAS .....	83
	ANEXO A - FICHA TÉCNICA ADESIVO 3M SCOTCH-WELD DP460 .....	84

## **1 INTRODUÇÃO**

Uniões clássicas (parafusos, rebites, soldas, etc.) têm respondido de forma eficaz às diversas solicitações e condições de trabalho, no entanto, não se pode omitir uma série de problemas. A distribuição de tensões não uniforme, as tensões provocadas pelos orifícios, a corrosão, entre outras, são alguns dos problemas imputados e que o projetista deve levar em consideração.

O desenvolvimento de colas e adesivos cada vez mais confiáveis e de maior durabilidade tem favorecido que as ligações coladas, com fins estruturais, se tornem uma alternativa promissora à tradicional fixação mecânica, conseguindo solucionar alguns dos problemas indicados anteriormente. A simplicidade e o fácil manuseio das colas e adesivos também promovem uma considerável redução de custos. Esta economia evidencia-se ao nível da redução de espessuras dos substratos, eliminação de vedantes adicionais, capacidade de unirem diferentes materiais, bem como, a eliminação de algumas operações como, por exemplo, as de acabamento.

### **1.1 Situação Problema**

As empresas do ramo automotivo e aeronáutico estão buscando constantemente a redução de peso e custo em seus produtos e processos, por isto o uso de adesivos estruturais já é realidade para algumas montadoras destes setores. Porém apesar destas duas grandes indústrias utilizarem adesivos estruturais para seus produtos, os materiais disponíveis para consulta sobre este assunto ainda são limitados, e/ou quase nulos em relação aos efeitos da variação de rugosidade dos substratos e a variação temperatura das juntas adesivadas.

Assim, visando agregar conhecimento sobre o assunto e difundir estas informações, serão realizados testes práticos em diferentes amostras para verificar as influências da rugosidade e temperatura nas juntas coladas no método sobreposição simples, estas serão submetidas ao ensaio de tração que irá gerar um gráfico de tensão versus deformação e assim analisar graficamente estas influências.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral analisar o comportamento de juntas coladas por sobreposição utilizando adesivo estrutural 3M Scotch Weld DP460 a partir da variação de rugosidade e da temperatura, quando submetidas ao ensaio de tração uniaxial. A fim de analisar o comportamento do adesivo estrutural em diferentes ambientes, serão feitos testes através de ensaio de tração com amostras de alumínio liga 6063-T5 em duas rugosidades distintas, a rugosidade 3  $\mu\text{m}$  após as chapas serem lixadas com lixa grão 80 e a rugosidade de 1,14  $\mu\text{m}$  após as chapas serem lixadas com lixa grão 240. Além disso serão analisadas em 3 variações de temperatura, temperatura ambiente (23 °C), metade da temperatura máxima de resistência do adesivo (55 °C) e próximo a temperatura máxima de resistência (100 °C) para determinar o desempenho do adesivo.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Este trabalho possui os seguintes objetivos específicos:

- a) Definir o tipo de junta utilizada, levando em conta os equipamentos e materiais disponíveis;
- b) Elaborar corpos de provas e medir suas rugosidades, visando garantir os valores propostos de 1,14 e 3  $\mu\text{m}$  e assim um maior controle sobre as amostras e sobre os resultados obtidos;
- c) Realizar o ensaio de tração em duas diferentes temperaturas 55 e 100 °C para analisar o comportamento do adesivo sob estas influências.

### **1.3 Delimitação do Trabalho**

Dentre as delimitações que o trabalho terá, se destaca o uso de somente um tipo de adesivo de fixação, adesivo estrutural 3M Scotch Weld DP460, a utilização de um único tipo de substrato para os testes sendo este o alumínio liga 6063-T5 fornecido em barras chatas de 1 metro. Foi escolhido o alumínio, pois ele é muito utilizado nas indústrias automotiva e aeronáutica, e a configuração de junta utilizada é a junta por sobreposição simples.

Os corpos de prova terão 2 variações de rugosidade como já citado, e 3 variações de temperatura. Estas temperaturas foram determinadas utilizando a ficha técnica do fabricante do adesivo estrutural, nela é especificado a resistência de no máximo a 120 °C.

A medição de rugosidade das amostras se dará somente na área em que haverá contato com o adesivo, e seguirá o padrão medição de rugosidade média Ra. Além disso o ensaio em que as amostras serão submetidas será o ensaio de cisalhamento por tração. Não haverá análise computacional de qualquer tipo, todos os dados serão resultantes do ensaio prático.

### **1.4 Justificativa**

A utilização de juntas coladas está cada vez mais difundida nas indústrias e novos tipos de adesivos estão surgindo no mercado para os mais diversos tipos de solicitações. Dentre essas, as juntas coladas multimateriais se encontram em uma posição de grande importância, possuindo vantagens em comparação a métodos tradicionais, como: distribuição uniforme de tensões, amortecimento de vibrações, união de chapas e de outras estruturas com contornos irregulares sem necessidade de usinagem, redução do peso estrutural e maior facilidade para união de materiais heterogêneos.

Ademais, ao longo dos cursos de engenharia, este método de união de materiais é pouco abordado se comparado aos métodos mais tradicionais de fixação como soldas, parafusos e rebites. Diante disso, com o intuito de agregar conhecimento explorando uma área relativamente nova e com grande potencial de crescimento e aplicabilidade e obter mais dados e informações sobre comportamento deste adesivo em situações específicas, se deu o presente trabalho.

## 1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho será dividido da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução: Neste capítulo foi descrito a situação problema, os objetivos gerais e específicos do presente trabalho, bem como sua delimitação e justificativa;
- Capítulo 2 – Fundamentação teórica: Onde será abordado tópicos como tipos de uniões usualmente utilizadas na indústria, adesivos industriais (esforços, rupturas e configurações de junta) e rugosidade (parâmetros de rugosidade e instrumentos para sua aferição);
- Capítulo 3 – Metodologia: Onde será detalhado, passo a passo, o processo para realização dos experimentos;
- Capítulo 4 – Resultado e discussões: Análise dos resultados obtidos através dos ensaios propostos;
- Capítulo 5 – Conclusões: Entendimentos e lições aprendidas com os resultados obtidos do presente trabalho;
- Capítulo 6 – Sugestões de trabalhos futuros: Recomendações para a continuidade dos trabalhos nesta área de estudo.

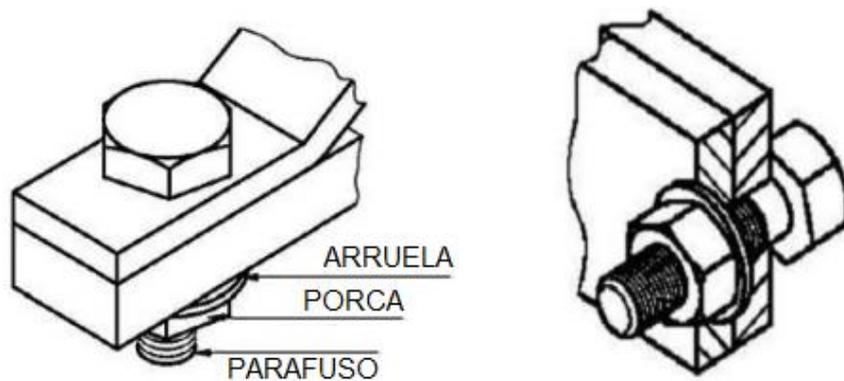
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Tipos de Uniões

Na mecânica é muito comum a necessidade de unir peças com chapas e perfis, qualquer construção, por mais simples que seja irá exigir o uso de algum tipo de união de fixação. Os elementos mais utilizados na indústria mecânica são rebites, parafusos e soldas. A união de peças feita pelos elementos de fixação pode ser classificada de dois tipos: móvel ou permanente (GORDO, 2015).

Na união de tipo móvel, os elementos de fixação podem ser colocados ou retirados do conjunto sem causar qualquer dano as peças que foram unidas. É o caso, por exemplo de uniões feitas com parafusos, arruelas e porcas, como é ilustrado na figura 1.

Figura 1 - União do tipo móvel



Fonte: Barbosa (2011, p. 7)

Para uniões do tipo permanente, os elementos de fixação uma vez instalados não podem ser retirados sem que fiquem inutilizados. É o caso, por exemplo de uniões que utilizam rebites e soldas, como é ilustrado na figura 2.

Figura 2 - União do tipo permanente



Fonte: Barbosa (2011, p. 7)

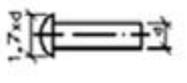
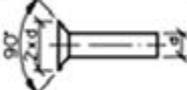
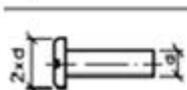
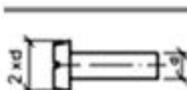
Quando há a utilização de elementos de fixação em uma peça ou conjunto deve-se evitar ao máximo as concentrações de tensões nas uniões, por isso é de extrema importância escolher corretamente quais elementos de fixação serão utilizados (GORDO, 2015).

#### 2.1.1 Rebites

Um rebite é composto de corpo em forma de eixo cilíndrico e de uma cabeça, na qual pode ter diversos formatos, são peças fabricadas em aço, alumínio, cobre ou latão. É usado para fixação permanente de duas ou mais peças ou chapas, principalmente, em estruturas metálicas (GORDO, 2015).

A fabricação de rebites é padronizada, ou seja, segue normas técnicas que indicam medidas da cabeça, do corpo e do comprimento útil dos rebites. A tabela 1 a seguir mostra os tipos de rebites mais comuns, com suas características, dimensões e utilização.

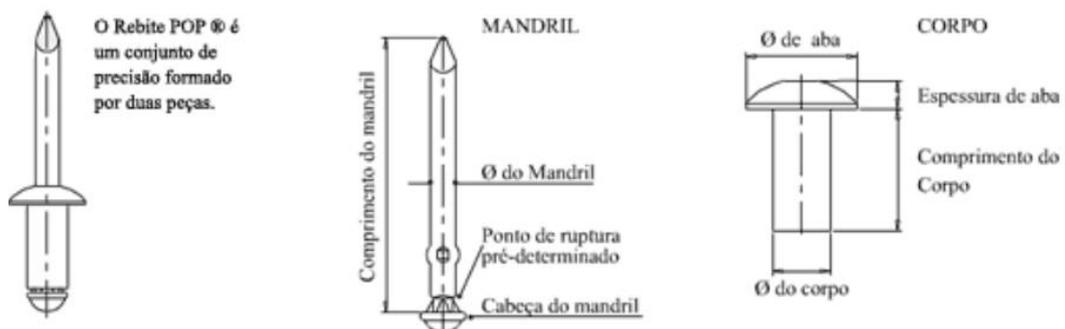
Tabela 1 - Tipos de rebites

TIPOS DE REBITE	FORMATO DA CABEÇA	EMPREGO
	Cabeça redonda larga	Largamente utilizados devido à resistência que oferecem.
	Cabeça redonda estreita	
	Cabeça escareada chata larga	Empregados em uniões que não admitem saliências.
	Cabeça escareada chata estreita	
	Cabeça escareada com calota	Empregados em uniões que admitem pequenas saliências.
	Cabeça tipo panela	
	Cabeça cilíndrica	

Fonte: Barbosa (2011, p. 12)

O tipo de rebite mais utilizado hoje em dia é o rebite de repuxo ou também conhecido como rebite POP. São rebites do tipo “cego”, isto significa que podem ser introduzidos e fixados por um único lado de trabalho. O rebite POP é composto por duas peças de precisão: o corpo e o mandril (Stanley, 2020). Sua estrutura é exemplificada na figura 3.

Figura 3 - Estrutura rebite POP



Fonte: Stanley (2020, s.p.)

Como todo método de fixação mecânica, o uso de rebites possui suas vantagens e desvantagens, as quais estão listadas na tabela 2.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens da utilização de rebites

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Baixo custo.	Não desmontável.
Simple utilização.	Campo de aplicação reduzido, somente em chapas.
Aplicação em materiais de má soldabilidade.	Não recomendado para carregamentos dinâmicos.
Controle de qualidade simples.	Redução de resistência do material rebitado devido à furação.
Fácil reparo.	

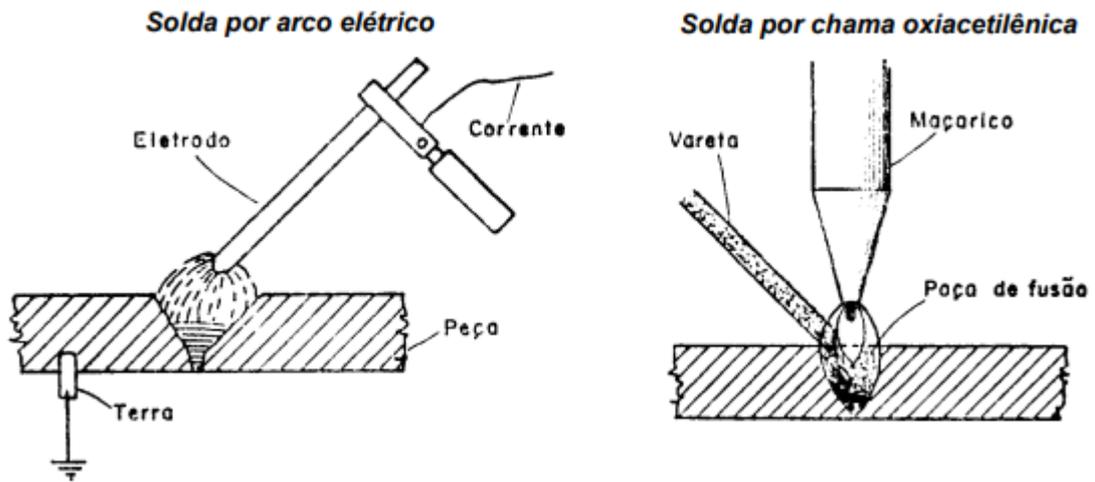
Fonte: Adaptado de Barbosa (2011, p. 11)

### 2.1.2 Soldas

A soldagem pode ser definida como uma união de peças metálicas, cujas superfícies se tornaram plásticas ou liquefeitas, por ação de calor ou de pressão, ou mesmo de ambos. Pode ou não ser empregado metal de adição para se executar efetivamente a união (CHIAVERINI, 1986).

Na soldagem (ver figura 4) os materiais das peças devem ser, se possível, iguais ou, no mínimo, semelhantes em termos de composição. As peças devem ser unidas através de um material de adição, também igual em termos de características, pois os materiais se fundem na região da solda, então o metal de adição deve ter uma temperatura de fusão próxima àquela do metal-base ou um pouco abaixo dela, caso contrário, ocorrerá uma deformação plástica significativa (ARMINI, 1996).

Figura 4 - Alguns tipos de soldagem



Fonte: Armini (1996, p. 7)

Na atualidade, a solda tem sido o processo utilizado com mais frequência para junções entre peças. Na tabela 3 são apresentadas algumas vantagens e desvantagens da solda em comparação com outros processos, tais como rebitar e aparafusar.

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens do processo de soldagem

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Redução do peso.	Não é desmontável.
Economia de tempo.	Ocorre tensões e deformações.
Melhor fluxo da força.	Necessita de acabamento pós processo.
Suporte de elevadas solicitações mecânicas.	Em trabalhos especiais exige mão-de-obra especializada, análise e ensaios dos cordões de solda.

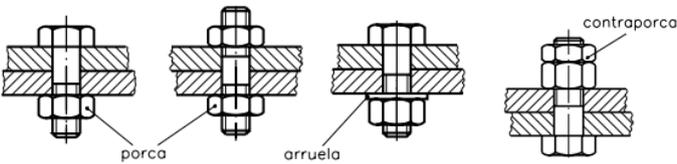
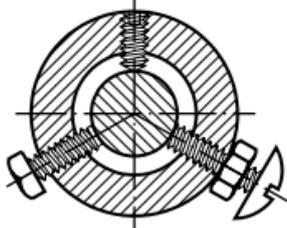
Fonte: Adaptado de Armini (1996, p. 8)

### 2.1.3 Parafusos

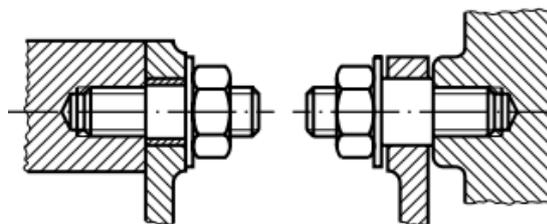
Parafusos são elementos de fixação empregados na união não permanente de conjuntos, ou seja, as peças do conjunto podem ser desmontadas facilmente de acordo com a necessidade. Porém as junções por porcas e parafusos sujeitas às vibrações afrouxam e, portanto, requerem dispositivos de segurança para os seus travamentos. Exemplo de dispositivos de segurança: arruelas com travas, contraporcas, contra pinos, etc.

Os parafusos se diferenciam pelo perfil do filete e pelo sistema de padronização, pelo tipo da cabeça, da haste. Há uma enorme variedade de parafusos que podem ser diferenciados pelo formato da cabeça, do corpo e da ponta. Essas diferenças determinadas pela função dos parafusos, permite classificá-los em quatro grandes grupos: parafusos passantes, parafusos não-passantes, parafusos de pressão, parafusos prisioneiros (BARBOSA, 2011)

Tabela 4 - Tipos de parafusos de fixação

<p><b>Parafusos passantes</b> atravessam de lado a lado as peças a serem unidas, passando livremente nos furos. Dependendo do serviço, esses parafusos, além das porcas, utilizam arruelas e contra porcas como acessórios.</p>	 <p>Diagramas de parafusos passantes com acessórios: porca, arruela e contraporca.</p>
<p><b>Parafusos não-passantes</b> são parafusos que não utilizam porcas. O papel de porca é desempenhado pelo furo roscado, feito numa das peças a ser unida.</p>	 <p>Diagramas de parafusos não-passantes.</p>
<p><b>Parafusos de pressão</b> são fixados por meio de pressão. A pressão é exercida pelas pontas dos parafusos contra a peça a ser fixada.</p>	 <p>Diagrama de parafusos de pressão.</p>

**Parafusos prisioneiros** são parafusos sem cabeça e com rosca em ambas as extremidades, sendo recomendados nas situações que exigem montagens e desmontagens frequentes.



Fonte: Adaptado de Barbosa (2011, p. 40)

## 2.2 Adesivos

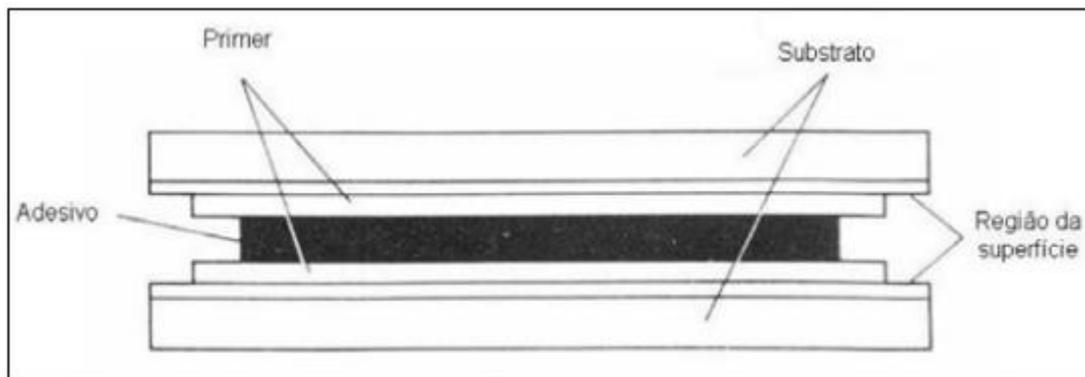
Um adesivo pode ser definido como um material polimérico que, quando aplicado em superfícies, pode ligá-las devido à interação entre as superfícies e/ou forças das ligações químicas, assim gerando a fixação e resistindo à sua separação. Os adesivos estruturais são desenvolvidos para formar ligações que suportam cargas elevadas por meio de juntas e formulados para melhorar os processos de fabricação e produtos para uma variedade de montagens, segundo Silva (2007).

A indústria, em todos os seus níveis, utiliza adesivos para as mais diversas finalidades. Desde *hotmelts* para fabricação de fraldas, poliuretanos expansíveis na construção civil, passando por adesivos acrílicos de cura UV na fabricação de agulhas médicas, até epóxis estruturais aplicados na carroceria de veículos.

A norma ASTM D907 de 1989 é a norma onde padroniza a nomenclatura em relação as juntas coladas, conforme figura 5, onde tem-se:

- I. ADESIVO – material polimérico capaz de manter unidos elementos pelo contato das superfícies;
- II. SUBSTRATO – O substrato ou aderente é o material a ser ligado;
- III. PRIMER – substância que por vezes se utiliza por aplicação direta na superfície dos substratos com o objetivo de melhorar a adesão ou proteger as respectivas superfícies até aplicação do adesivo;

Figura 5 - Nomenclatura ASTM para juntas adesivas



Fonte: Norma ASTM D907 (1989, p. 7)

Como apontado por Souza (2013) um dos principais fatores para o sucesso de um adesivo é a sua adesão, a seguir estão listados alguns dos fatores externos e internos que influenciam esse fenômeno:

- a) **TENSÃO NORMAL** – tensão agindo perpendicular ao plano do adesivo. São comumente encontradas em colagem de chapas finas de plástico ou metal, couro, composições de cortiça, etc;
- b) **TENSÃO DE CISALHAMENTO** – tensão agindo no plano do adesivo. Cisalhamento puro raramente é encontrado em montagens com adesivo;
- c) **DESCOLAMENTO (PEEL)** – descolagem de um membro flexível fixado por adesivo a um outro membro flexível ou rígido. A tensão é aplicada em uma linha. Normalmente os ângulos de *peel* em testes são 90° para membros relativamente rígidos e 180° para membros flexíveis;
- d) **FADIGA** – falha provocada por uma carga dinâmica cíclica em cisalhamento, tração ou compressão; ensaios de fadiga são também usados para determinar o envelhecimento;
- e) **FATORES QUÍMICOS EXTERNOS** – efeitos de agentes químicos tais como água, água salgada, gasolina, fluido hidráulico, ácidos, bases, etc;
- f) **FATORES QUÍMICOS INTERNOS** – efeito do aderente no adesivo (ou seja, plastificantes exalados em certos plásticos e borrachas); efeito do adesivo no aderente (fissuras, coloração, etc);

- g) UMIDADE – qualquer adesivo ou aderente pode ser afetado por alta umidade ou condições molhadas. Testes cíclicos com alternância entre condições úmidas e secas podem ser valiosos. Pode causar alterações dimensionais;
- h) ALTAS TEMPERATURAS – podem ser encontradas em variações atmosféricas normais, ou em condições excepcionais. A resistência da colagem pode ser afetada pelas reações no adesivo ou no aderente; a decomposição ou mudanças nas propriedades físicas do adesivo são importantes;
- i) FATORES COMO TEMPO E TEMPERATURA DE COLAGEM – tempo mínimo de secagem ou reativação de solvente antes que a colagem adequada possa ser obtida. Tempo máximo permitido antes da montagem. Faixa de temperatura permissível para adesivos sensíveis ao calor;

O entendimento de como esses fatores afetam a adesão é determinante para o sucesso no processo de colagem. Conhecer o processo de produção, o meio ambiente e os fatores de segurança também são importantes. O uso de juntas adesivadas tem suas vantagens e desvantagens como qualquer outro processo, como evidenciado na tabela 5 segundo Silva (2007).

Tabela 5 - Vantagens e desvantagens do uso de juntas adesivas

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESVANTAGENS</b>
Distribuição mais uniforme das tensões ao longo da área ligada, o que permite uma maior rigidez e transmissão de carga, possibilitando assim uma redução de peso, ou seja, um menor custo.	É necessário um projeto da ligação que elimine ao máximo as forças de arrancamento (principal inimigo das ligações adesivas), clivagem e impacto.
Amortecimentos de vibrações, o que permite que as tensões sejam parcialmente absorvidas, melhorando assim a resistência à fadiga dos próprios componentes ligados.	É importante usar geometrias que evitem tensões localizadas e que garantam uma distribuição uniforme de tensões. Se as tensões não estiverem perfeitamente

	perpendiculares ao adesivo, podem surgir forças de arrancamento ou de clivagem.
Ligação de materiais diferentes em composição e com distintos coeficientes de expansão.	Apresentam limitada resistência às condições extremas, tais como o calor e a umidade devido à natureza polimérica do adesivo.
Ligação de chapas eficientemente, o que pode constituir uma aplicação importante dos adesivos para ligar materiais metálicos ou não.	Para obter bons resultados é necessário uma cuidada preparação das superfícies através de, por exemplo, abrasão mecânica, desengorduramento com solvente, ataques químicos, etc.

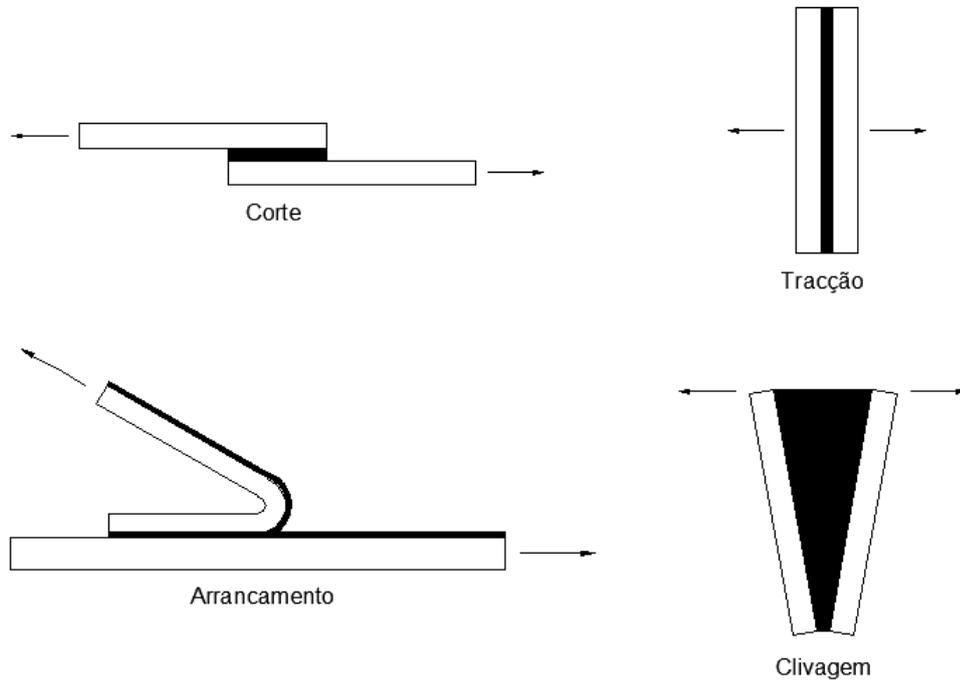
Fonte: Silva et al. (2007, p. 6)

### 2.2.1 Esforços Típicos em Juntas Adesivas

Segundo Silva (2007) é raro encontrar uma distribuição de tensões uniforme numa junta adesiva, sendo mais fácil encontrar uma distribuição não uniforme. As forças aplicadas produzem concentrações de tensões que podem ser várias vezes superiores à tensão média. Essas concentrações de tensão geralmente são inesperadas e podem determinar a máxima resistência da junta.

Existem essencialmente quatro modos fundamentais de carregamento: corte, tração, arrancamento e clivagem conforme figura 6. Mas vale lembrar que qualquer combinação ou variação destes pode ser encontrado na prática.

Figura 6 - Quatro modos fundamentais de carregamento

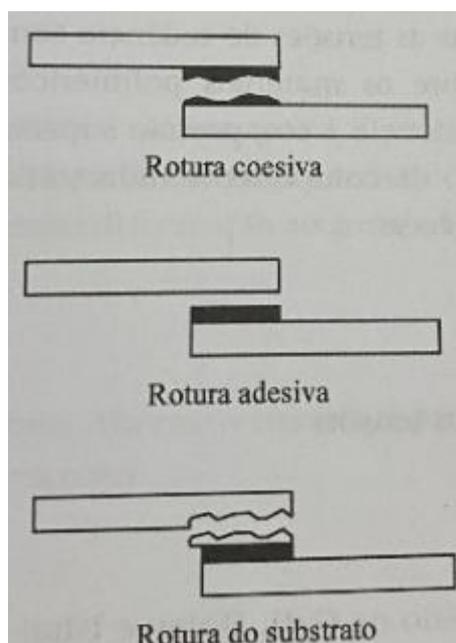


Fonte: Silva et al. (2007, p. 128)

### 2.2.2 Tipos de Ruptura

Conforme Silva (2007) a finalidade de uma junta eficiente é a transmissão de carga entre os dois componentes ligados, mantendo a sua integridade estrutural sob solicitações estáticas e/ou dinâmicas e condições ambientais (umidade e temperatura) adversas. Assim se tornando fundamental a correta avaliação da distribuição do perfil de tensões e, conseqüentemente, dos modos de rupturas induzidos nas juntas coladas. De um modo geral, distinguem-se três modos de rupturas diferentes em juntas coladas, conforme figura 7, ruptura coesiva, ruptura adesiva e ruptura do substrato.

Figura 7 - Tipos de ruptura em juntas de sobreposição simples



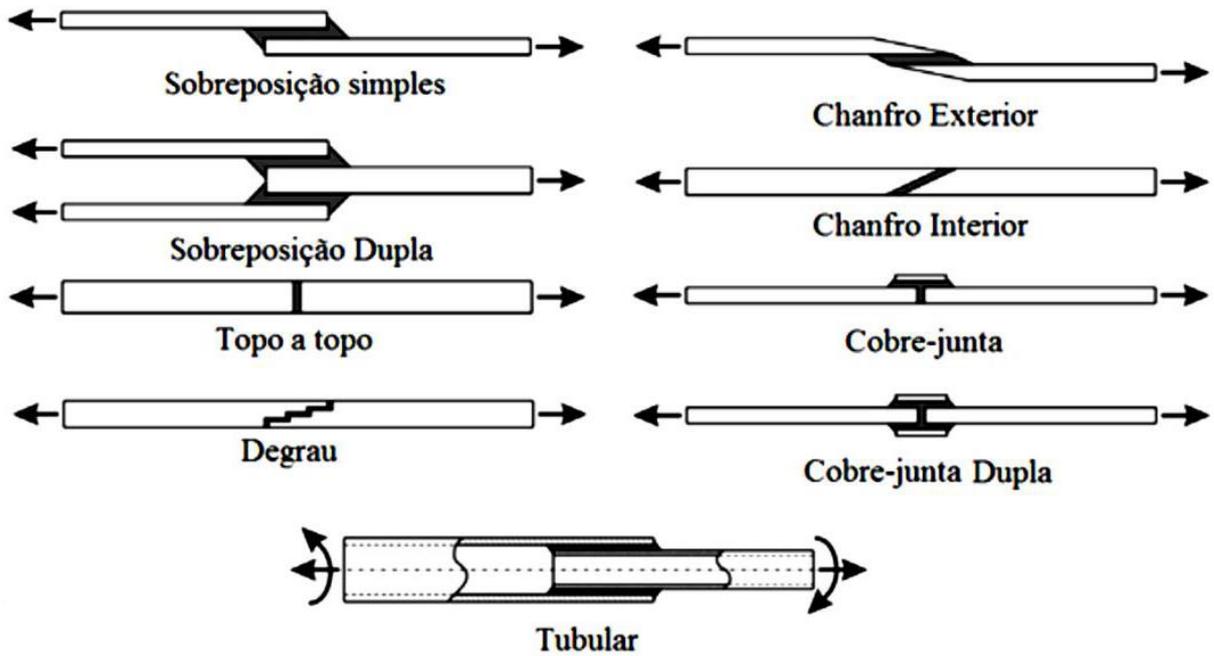
Fonte: Silva et al. (2007, p. 151)

A ruptura coesiva ocorre no interior do adesivo, quando a tensão aplicada é superior à resistência interna do próprio adesivo. A ruptura adesiva ocorre na interface entre o substrato e o adesivo e pode ser originada por uma má preparação das superfícies, assim gerando o descolamento entre o adesivo e o substrato. Também pode ocorrer de a ruptura do substrato, onde a ligação do adesivo resiste, mas o substrato não (SILVA et al., 2007).

### 2.2.3 Configurações de Juntas

Em uma junta ideal, o adesivo deve ser solicitado na direção em que desenvolve a sua resistência máxima. As juntas adesivas podem assumir várias configurações, pela possibilidade de alteração da geometria dos substratos, conforme figura 8. De todas as juntas existentes, destacam-se pela sua facilidade de fabricação as juntas topo a topo e juntas de sobreposição simples e dupla (SILVA et al., 2007).

Figura 8 - Tipos de juntas adesivas

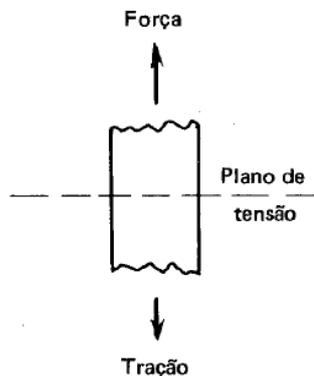


Fonte: Silva et al. (2007, p. 131)

#### 2.2.4 Forças e Ensaio Aplicável

Segundo Chiaverini (1986), pode-se definir a tensão de tração como sendo a distribuição interna de forças que pode resultar em uma mudança de forma da peça submetida a carga, na qual há uma tendência de separação do material em duas partes, em relação ao plano de tensão, conforme figura 9.

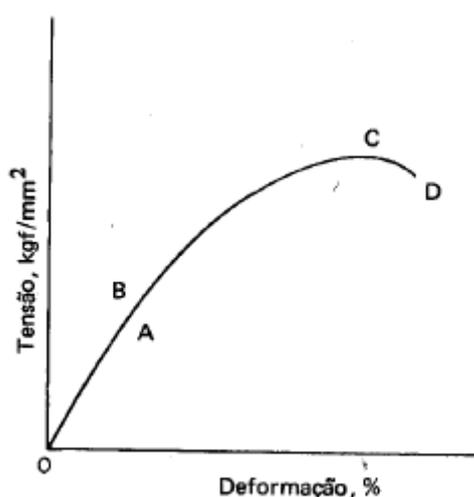
Figura 9 - Representação esquemática da tensão de tração



Fonte: Chiaverini (1986, p. 85)

A relação existente entre a tensão aplicada e a deformação resultante pode ser mais facilmente acompanhada com assistência do diagrama tensão versus deformação, figura 10, em que a tensão fica no eixo da ordenadas e a deformação no eixo das abscissas. Os valores que permitem o traçado deste gráfico são obtidos submetendo a amostra ao ensaio de tração (CHIAVERINI, 1986).

Figura 10 - Diagrama geral tensão versus deformação



Fonte: (Chiaverini, 1986, p. 94)

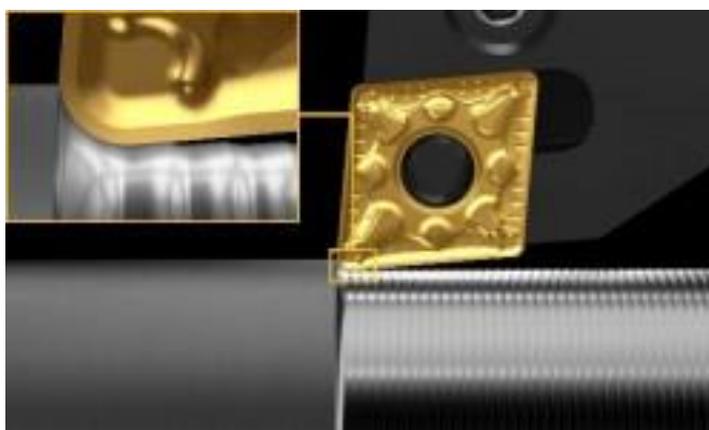
### 2.3 Rugosidade

Segundo Alves (2011) as superfícies possuem irregularidades que podem ser classificadas em dois grupos de erros: erros macrogeométricos e erros microgeométricos. Os macrogeométricos são os erros de forma, verificáveis por meio de instrumentos convencionais de medição, como micrômetros e relógios comparadores, ou até mesmo a olho nu. Entre esses erros, incluem-se divergências de ondulações, ovalização, retineidade, planicidade, circularidade etc. Já os erros microgeométricos, são os erros comumente conhecidos como rugosidade. A rugosidade pode ser definida como o conjunto de irregularidades, isto é, pequenas saliências e reentrâncias que caracterizam uma superfície. Essas características da rugosidade são importantes para avaliar a qualidade de deslizamento, resistência ao

desgaste, resistência oferecida pela superfície ao escoamento de fluidos e lubrificantes, qualidade de aderência que a estrutura oferece às camadas protetoras, vedação e aparência.

Não existem superfícies totalmente lisas, estas, sempre possuem algum grau de rugosidade, mesmo que seja apenas em níveis atômicos. Já, para as superfícies fabricadas pelo homem, a rugosidade é resultante dos processos de fabricação que podem envolver diversos tipos, como: a deposição química, polimento, erosão ou várias outras técnicas comumente usadas, como visto na figura 11 (MARTINS, 2016).

Figura 11 - Superfície rugosa de uma peça durante o processo de usinagem



Fonte: Sandvick (2020, s.p.)

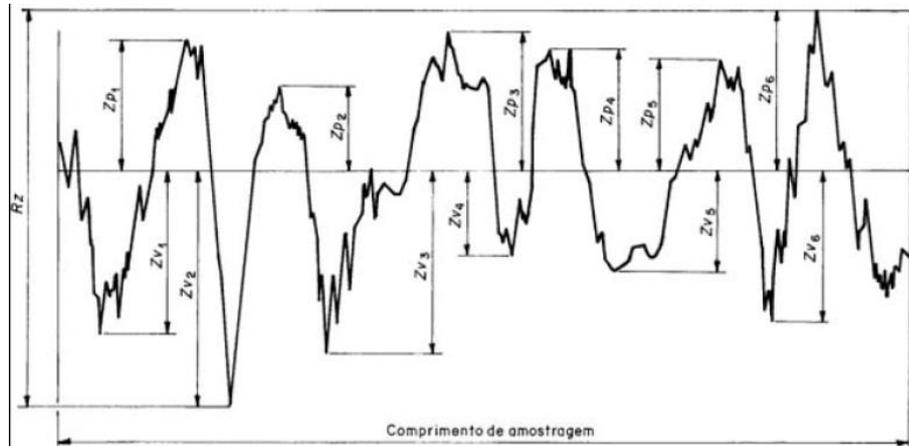
A rugosidade é extremamente importante para indústria mecânica, principalmente em peças de aço para possibilitar superfície de atrito, essencial para aderência de revestimentos industriais, por exemplo, no processo de colagem. Sendo de grande importância quantificar o grau de rugosidade de uma superfície (MARTINS, 2016).

A quantificação dessas irregularidades superficiais pode ir de uma natureza macroscópica até microscópica, sendo decomposta em erro de forma, ondulações e rugosidade. A desigualdade entre erro de forma, ondulações e rugosidade é baseada no comprimento de onda da superfície analisada ou no espalhamento entre picos (DE MARÉ et al., 1997)

De acordo com a norma NBR ISO 4287 (2002), o perfil de rugosidade é constituído de dois elementos básicos, denominados de picos (porção superior) e vales (porção inferior). Na Figura 12 têm-se, esquematicamente, os elementos de um

perfil de rugosidade, as cotas de altura  $Z_p$  e  $Z_v$  referem-se respectivamente aos picos e aos vales em função de uma linha média.

Figura 12 - Representação dos picos e vales no perfil de rugosidade



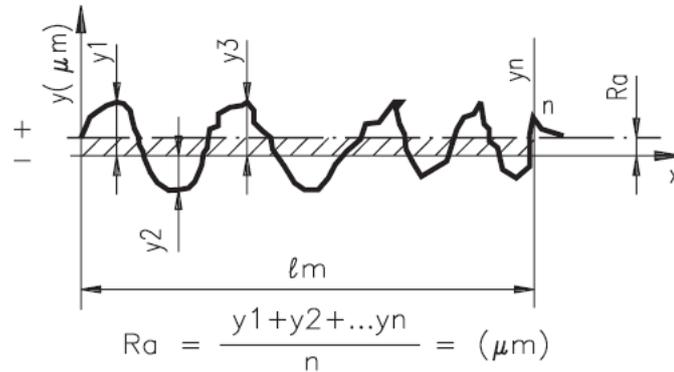
Fonte: Norma NBR ISO 4287 (2002, p. 9)

A determinação de  $Z_p$  e  $Z_v$  depende necessariamente da definição da região de interface entre picos e vales e do comprimento de amostragem. Os métodos mais utilizados para a determinação da rugosidade em perfis metálicos são os seguintes:

### 2.3.1 Rugosidade Média ( $R_a$ )

A rugosidade  $R_a$  é média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento ( $y_i$ ), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição ( $l_m$ ) e o número total de picos e vales no percurso de medição ( $n$ ) (Lima, 2008), conforme figura 13.

Figura 13 - Determinação da rugosidade média Ra



Fonte: Lima (2008, p. 2)

O parâmetro Ra pode ser usado nos seguintes casos:

- Quando for necessário o controle contínuo da rugosidade nas linhas de produção;
- Em superfícies em que o acabamento apresenta sulcos de usinagem bem orientados (torneamento, fresagem etc.);
- Em superfícies de pouca responsabilidade, como no caso de acabamentos com fins apenas estéticos.

A utilização do método de rugosidade média Ra tem suas vantagens e desvantagens, conforme tabela 6.

Tabela 6 - Vantagens e desvantagens do método de rugosidade média Ra

VANTAGENS	DESVANTAGENS
É aplicável a maioria dos processos de fabricação.	O valor de Ra em um comprimento de amostragem indica a média da rugosidade. Por isso, se um pico ou vale não típico aparecer na superfície, o valor da média não sofrerá grande alteração, ocultando o defeito.
É o parâmetro de medição mais utilizado.	Nenhuma distinção é feita entre picos e vales.

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2020, p. 30)

Para o processo de medição da rugosidade, são recomendados valores para o comprimento percorrido na amostra, conforme tabela 7.

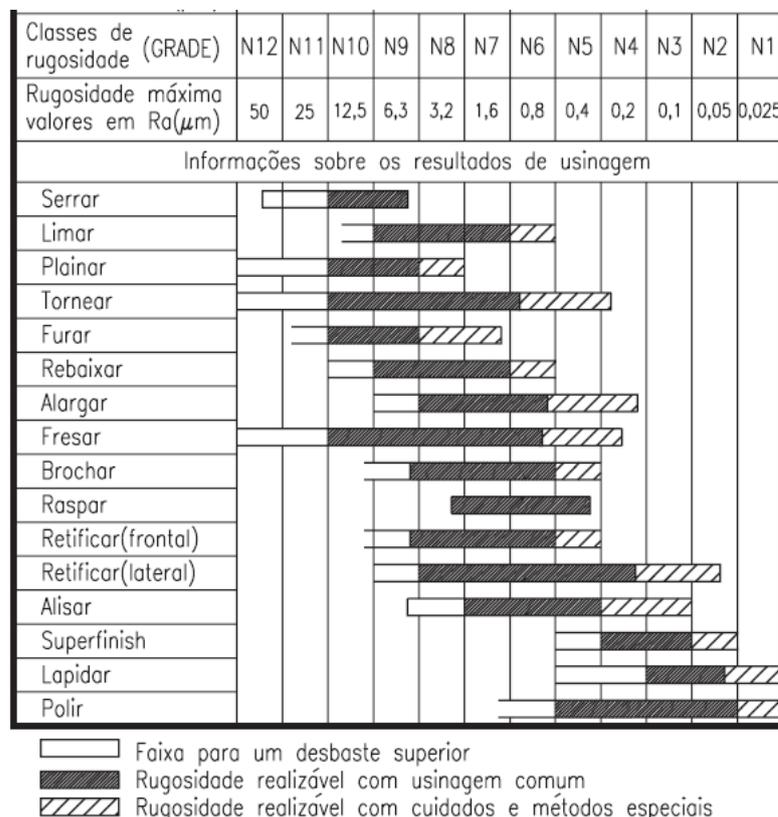
Tabela 7 - Relação entre Ra e o mínimo comprimento de amostragem necessário

TABELA DE COMPRIMENTO DA AMOSTRAGEM ( <i>CUT-OFF</i> )	
RUGOSIDADE RA (mm)	MÍNIMO COMPRIMENTO DE AMOSTRAGEM ( <i>CUT-OFF</i> ) (mm)
De 0 até 0,1	0,25
Maior que 0,1 até 2,0	0,80
Maior que 2,0 até 10,0	2,50
Maior que 10,0	8,00

Fonte: NBR ISO 4288 (2008, p. 12)

A figura 14 que se segue, classifica os acabamentos superficiais comumente encontrados na indústria mecânica em 12 grupos, e as organiza de acordo com o grau de rugosidade e o processo que pode ser usado para sua obtenção.

Figura 14 - Relação das classes de rugosidade e seus processos de obtenção

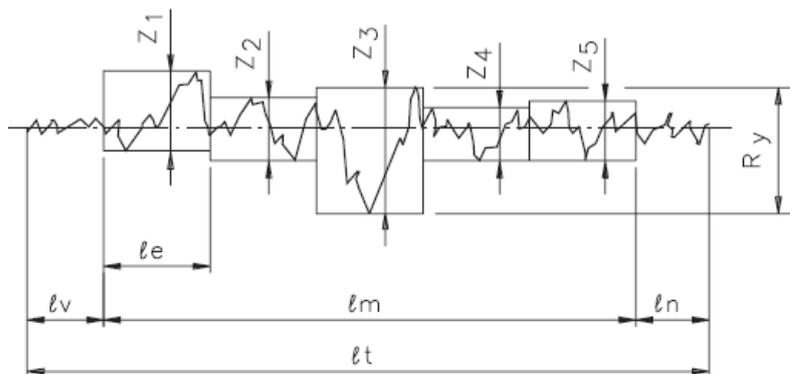


Fonte: Ferreira (2020, p. 4)

### 2.3.2 Rugosidade Máxima ( $R_y$ )

A rugosidade máxima  $R_y$  é definida como o maior valor das rugosidades parciais ( $Z_i$ ) que se apresenta no percurso de medição ( $l_m$ ). Por exemplo: na figura 15, o maior valor parcial é o  $Z_3$ , que está localizado no 3º *cut-off* (comprimento de amostragem), e que corresponde à rugosidade  $R_y$  (LIMA, 2008).

Figura 15 - Rugosidade  $R_y$  definida pela rugosidade parcial  $Z_3$



Fonte: Lima (2008, p. 3)

O parâmetro  $R_y$  pode ser empregado nos seguintes casos:

- Superfícies de vedação;
- Assentos de anéis de vedação;
- Superfícies dinamicamente carregadas;
- Tampões em geral;
- Parafusos altamente carregados;
- Superfícies de deslizamento em que o perfil efetivo é periódico.

A utilização do método de rugosidade máxima  $R_y$  tem suas vantagens e desvantagens, conforme tabela 8.

Tabela 8 - Vantagens e desvantagens do método de rugosidade máxima Ry

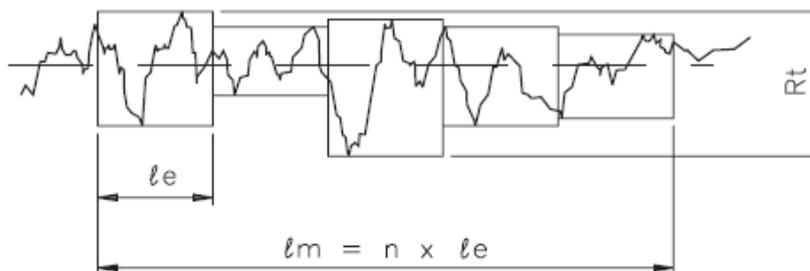
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Informa sobre a máxima deterioração da superfície vertical da peça.	Nem todos os equipamentos fornecem o parâmetro. E, para avaliá-lo por meio de um gráfico, é preciso ter certeza de que o perfil registrado é um perfil de rugosidade.
É de fácil obtenção quando o equipamento utilizado fornece o gráfico da superfície.	Pode dar uma imagem errada da superfície, pois avalia erros que muitas vezes não representam a superfície como um todo.
Fornecer informações complementares ao parâmetro Ra.	Individualmente, não apresenta informação suficiente a respeito da superfície, isto é, não informa o formato da superfície.

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2020, p. 38)

### 2.3.3 Rugosidade Total (Rt)

A rugosidade total  $R_t$  corresponde à distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento de avaliação ( $l_m$ ), independentemente dos valores de rugosidade parcial ( $Z_i$ ). Na figura 16, pode-se observar que o pico mais alto está no retângulo Z1, e que o vale mais fundo se encontra no retângulo Z3. Ambos configuram a profundidade total da rugosidade  $R_t$  (LIMA, 2008).

Figura 16 - Determinação da rugosidade  $R_t$



Fonte: Lima (2008, p. 3)

O parâmetro  $R_t$  tem o mesmo emprego do  $R_y$ , mas com maior rigidez, pois considera o comprimento de amostra igual ao comprimento de avaliação. Tendo em vista esta afirmação pode-se ressaltar algumas vantagens e desvantagens da utilização deste método de determinação de rugosidade, conforme tabela 9.

Tabela 9 - Vantagens e desvantagens do método de rugosidade total  $R_t$

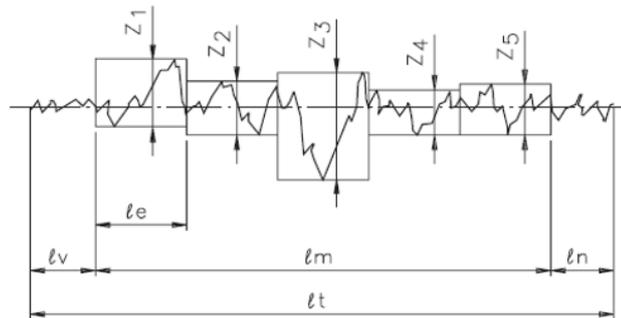
VANTAGENS	DESVANTAGENS
É mais rígido na avaliação que o $R_y$ , pois considera todo o comprimento de avaliação e não apenas o comprimento de amostragem (1 valor de <i>cut-off</i> ).	Em alguns casos, a rigidez de avaliação pode levar a resultados enganosos.
É mais fácil para obter o gráfico de superfície do que com o parâmetro $R_y$ .	
Tem todas as vantagens indicadas para o $R_y$ .	

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2020, p. 42)

#### 2.3.4 Rugosidade Média Parcial ( $R_z$ )

A rugosidade média  $R_z$  corresponde à média aritmética dos cinco valores de rugosidade parcial. Rugosidade parcial ( $Z_i$ ) é a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maior afastamento, acima e abaixo da linha média, existentes no comprimento de amostragem (*cut-off*). Na representação gráfica do perfil, esse valor corresponde à altura entre os pontos máximo e mínimo do perfil, no comprimento de amostragem ( $l_e$ ), conforme ilustra a figura 17 (FERREIRA, 2020).

Figura 17 - Determinação da rugosidade média Rz



$$R_z = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}{5}$$

Fonte: Ferreira (2020, p. 8)

O parâmetro Rz pode ser empregado nos seguintes casos:

- Pontos isolados não influenciam na função da peça a ser controlada. Por exemplo: superfícies de apoio e de deslizamento, ajustes prensados, etc.;
- Em superfícies onde o perfil é periódico e conhecido.

Como os outros métodos, a determinação da rugosidade média Rz tem suas vantagens e desvantagens, que podem ser conferidas na tabela 10.

Tabela 10 - Vantagens e desvantagens do método rugosidade média Rz

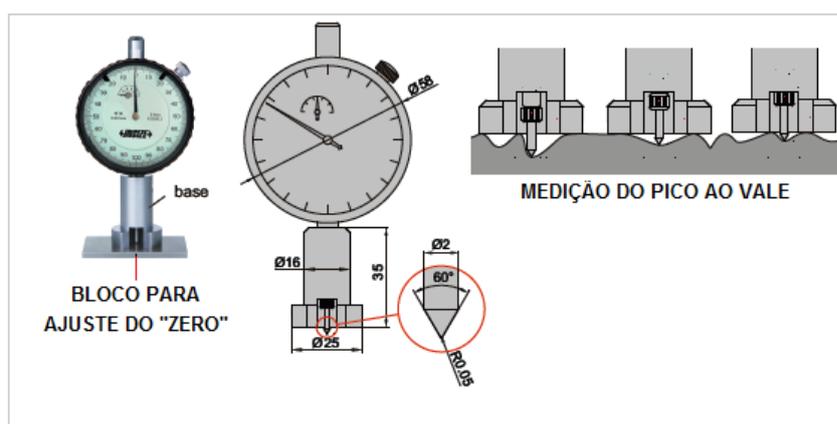
VANTAGENS	DESVANTAGENS
Informa a distribuição média da superfície vertical.	Nem todos os equipamentos fornecem este parâmetro.
Em perfis periódicos, define muito bem a superfície.	Em algumas aplicações, não é aconselhável a consideração parcial dos pontos isolados, pois um ponto isolado acentuado será considerado somente em 20%, mediante a divisão de $\frac{1}{5}$ .
Riscos isolados serão considerados apenas parcialmente, de acordo com o número de pontos isolados.	Assim como o Ry, não possibilita nenhuma informação sobre a forma do perfil, bem como da distância entre as ranhuras.

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2020, p. 45)

### 2.3.2 Rugosímetro

O rugosímetro é um equipamento utilizado para se determinar a rugosidade de superfícies de materiais, onde se mede a variação vertical em função de um deslocamento horizontal, conforme apresentado na figura 18, podendo o equipamento ser analógico ou digital. A maioria dos rugosímetros apresentam o valor de Ra e em  $\mu\text{m}$  (micrômetros), já os digitais têm a opção de alterar o modo de medição e pode apresentar valores em Ra, Rz, Ry, Rt, entre outros parâmetros de medida (WSEQUIPAMENTOS, 2020).

Figura 18 - Funcionamento de um rugosímetro analógico



Fonte: Pacontrol (2020, s.p.)

Os equipamentos analógicos, figura 19, são mais simples que os digitais e com custo bem inferior, os valores apresentados pelo equipamento estão em somente um modo de medição, o que significa que deve ser decidido qual parâmetro de medição será utilizado previamente a compra do equipamento.

Segundo a Tecnoferramentas (2020) antes de ser executada a medição o rugosímetro deve ser apoiado sobre uma placa de vidro ou cristal, a agulha toca o plano da base e o aparelho deve marcar zero, com isso o aparelho fica pronto para uso. Ao ser colocado sobre uma superfície irregular a agulha desce ao fundo dos vales ou ao topo dos picos e assim mostra o valor medido. A diferença entre o plano dos picos e os fundos dos vales é indicada no relógio comparador em micrômetros ( $\mu\text{m}$ ) e representa a medida do perfil de rugosidade em cada ponto onde é feita a leitura.

Figura 19 - Rugosímetro analógico Novotest TEC-RA001



Fonte: Tecnoferramentas (2020, s.p.)

Os equipamentos digitais têm uma estrutura básica, que é composta por diferentes partes, todas essenciais para a realização das medições. São elas:

- Apalpador – também conhecido como “*pick-up*”, é o dispositivo que desliza sobre a superfície que será verificada, levando os sinais da agulha apalpadora até o amplificador;
- Unidade de acionamento – é responsável por deslocar o apalpador sobre a superfície que está sendo medida. Faz o movimento em velocidade e direção constante pela distância desejada;
- Amplificador – contém a parte eletrônica principal, com um indicador de leitura que recebe os sinais da agulha, ampliando e calculando em função do parâmetro escolhido;
- Registrador – é um acessório do amplificador, presente no segundo grande grupo que citamos acima. É responsável por fornecer a reprodução, em papel, do corte efetivo da superfície, nos casos em que se tem essa função.

Segundo o Instrutherm (2020), ao medir a rugosidade de uma superfície, o captador é colocado na superfície da peça e traçado em proporção constante, capta-se a rugosidade da superfície pela agulha e esta causa um deslocamento do captador que resulta em mudanças no valor indutivo das bobinas, gerando um sinal analógico

proporcional à rugosidade da superfície na saída do retificador. Este sinal entra no sistema coletor de dados após a amplificação e conversão de nível. Então os dados coletados são processados e o resultado da medição pode ser lido no display LCD ou enviado ao PC.

Figura 20 - Rugosímetro digital Instrutherm modelo RP-200



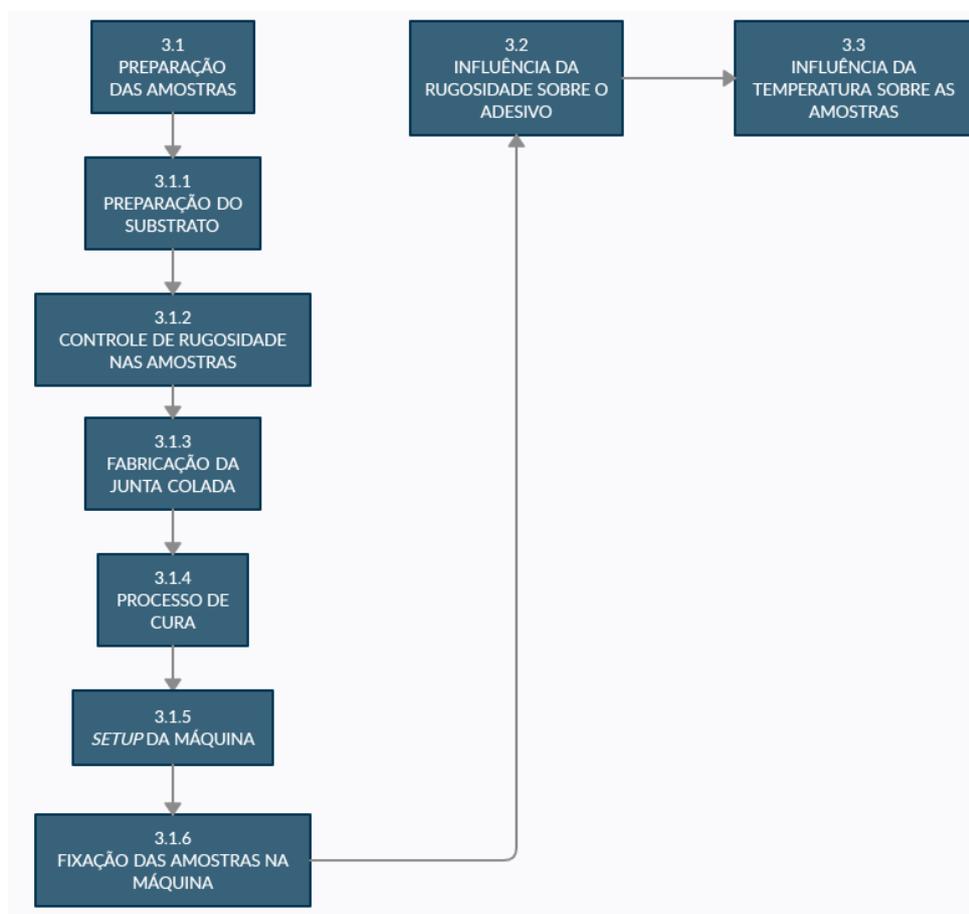
Fonte: Instrutherm (2020, p. 1)

Após, a apresentação das informações referentes à fundamentação teórica do presente trabalho, na sequência é descrita a metodologia, detalhando o passo a passo seguido para atingir os objetivos deste trabalho.

### 3 METODOLOGIA

Com intuito de atingir os objetivos descritos nas seções iniciais deste trabalho, serão descritos os métodos e abordagens utilizados para alcançar tais propósitos. É apresentado na figura 21 um fluxograma que ilustra as etapas do planejamento realizado e executado.

Figura 21 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor.

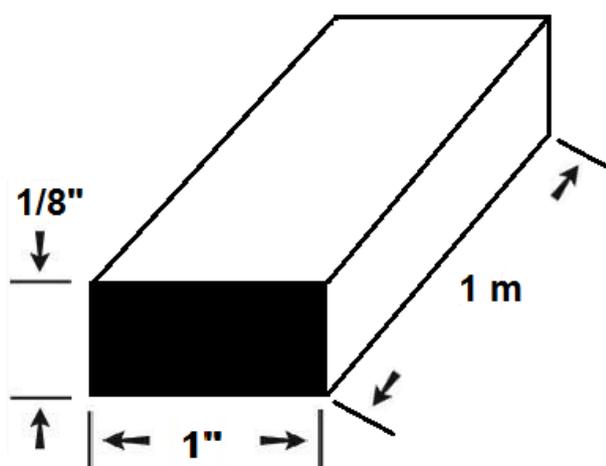
#### 3.1 Preparação das Amostras

Os tópicos seguintes detalham os processos e materiais que serão utilizados para a preparação das amostras visando a realização dos ensaios.

### 3.1.1 Preparação do Substrato

O substrato foi retirado de barras chatas de alumínio liga 6063-T5, adquirido do fornecedor Alumínio Alure com dimensões de 1 polegada por 1/8 de polegada e 1 metro de comprimento, conforme figura 22. Sendo fornecidas em 30 barras, totalizando 30 metros de material.

Figura 22 - Dimensional da barra chata de alumínio fornecida

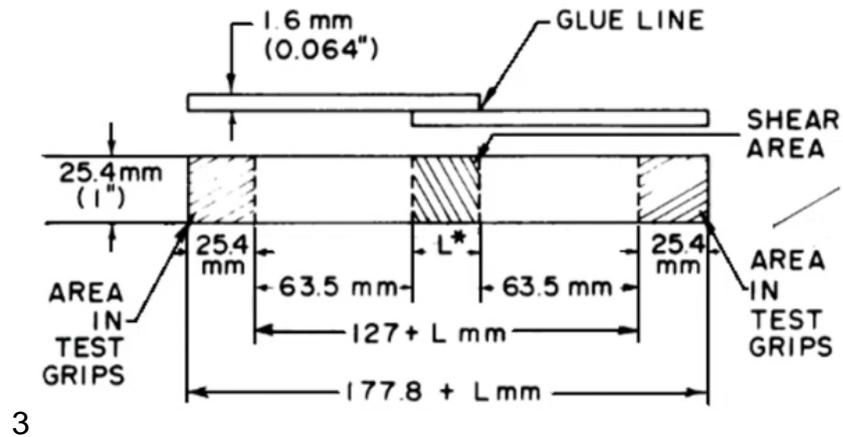


Fonte: Elaborado pelo autor

Foram cortados corpos de prova em dois tamanhos distintos 125 e 330 milímetros de comprimento, esta diferença de tamanho se fez necessária. Já que para realizar o ensaio com as amostras aquecidas elas devem ter no mínimo 600mm de comprimento para caberem no forno e poderem ser fixadas na máquina de ensaio.

O comprimento de 125 mm segue a recomendação da norma ASTM D1002 (1999), figura 23. Seguindo também esta mesma norma, que determina um mínimo de 4 ensaios para se ter um resultado onde se possa fazer uma comparação dos dados, optou-se por realizar 6 ensaios para cada tipo de variação.

Figura 23 - Dimensões para as amostras segundo a norma ASTM D1002



Fonte: ASTM D1002 (1999, p. 2)

Por meio da máquina de corte Franho FM 500H que pode ser visualizada na figura 24 e localizada no Laboratório de Usinagem da UNISINOS, foram cortadas as amostras, obtendo o total de 72 chapas, onde destas 24 foram cortadas com 125mm e 48 com 330mm, o que gerou um total de 36 amostras após o final do processo de fabricação.

Figura 24 - Máquina de corte Franho FM 500H



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 25 mostra a foto destes corpos de prova anteriormente a realização do controle de rugosidade e fabricação da junta colada.

Figura 25 - Corpos de prova após o processo de corte



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.1.2 Controle da Rugosidade nas Amostras

Após cortados, os corpos de prova foram divididos de modo que metade das 72 chapas, ou seja, 36 delas foram lixadas com lixa d'água grão 240 e as outras 36 lixadas com uma lixa de cinta grão 80. Para atingir uma rugosidade  $R_a$  média de  $1,14 \mu\text{m}$  é necessário lixar a área do substrato que ficará em contato com o adesivo com uma lixa para metais a base d'água grão 240 conforme figura 26, em uma área de uma polegada quadrada em uma das extremidades de cada substrato. O desvio padrão obtido para as chapas lixadas com lixa grão 240 foi de  $0,35 \mu\text{m}$ , levando em conta todas as amostras 36 amostras utilizadas.

Figura 26 - Lixa de metal grão 240



Fonte: codigog (2021, s.p.)

Para se atingir uma rugosidade  $R_a$  média de  $3 \mu\text{m}$  foi necessário lixar o substrato que ficará em contato com o adesivo com uma lixa para metais grão 80. Foi utilizada a lixadeira de cinta presente no Laboratório de Metalografia da UNISINOS, conforme figura 27, lixando uma área de uma polegada quadrada nas das extremidades de cada substrato. Para estas 36 amostras lixadas com a lixa grão 80 o desvio padrão obtido foi de  $0,36 \mu\text{m}$ . Como critério de aprovação utilizado o desvio padrão poderia ter até  $0,5 \mu\text{m}$  para o lote ser aprovado, este critério foi determinado pelo autor.

Após este processo tem-se os corpos de provas com suas rugosidades aferidas e dentro da faixa necessária para a realização dos testes.

Figura 27 - Lixadeira de cinta



Fonte: Elaborado pelo autor

O controle de rugosidade foi feito através de rugosímetro digital Starrett modelo SR200 conforme figura 28. A medição é necessária para se atingir a rugosidade média  $R_a$  estabelecida e não haver diferenças significativas entre as amostras ensaiadas e consequentemente comprometimento dos resultados obtidos.

Figura 28 - Rugosímetro Starrett SR200



Fonte: Elaborado pelo autor

Foi utilizado *cut-off* de 0,8 mm para as amostras lixadas com grão a 240, pois ele abrange uma faixa de  $R_a$  de 0,1 a 2  $\mu\text{m}$  e *cut-off* de 2,5 mm para as amostras lixadas com a grão 80 que abrange  $R_a$  de 2 a 10  $\mu\text{m}$ , conforme tabela do manual do rugosímetro, figura 29.

Figura 29 - Tabela de *cut-off* do rugosímetro Starrett

**Table of Cut-off values**  
If not otherwise indicated on a drawing, the following should be used to determine the cut-off  $\lambda_c$  (ISO4288)-1996. Recommended Cut-off ISO 4288-1996

Periodic Profiles Spacing Distances $S_m$ (mm)	Non-periodic Profiles		Cut-offs $\lambda_c$ (mm)	Sampling Length/ Evaluation Length $\lambda_c/L$ (mm)
	$R_z$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )		
>0.013 to 0.04	(0.025) to 0.1	(0.006) to 0.02	0.08	0.08/0.4
>0.04 to 0.13	>0.1 to 0.5	>0.02 to 0.1	0.25	0.25/1.25
>0.13 to 0.4	>0.5 to 10	>0.1 to 2	0.8	0.8/4
>0.4 to 1.3	>10 to 50	>2 to 10	2.5	2.5/12.5
>1.3 to 4	>50 to 200	>10 to 80	8	8/40

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.1.3 Fabricação da Junta Colada

A união das amostras se deu através do adesivo estrutural epoxi bicomponente 3M Scotch Weld DP460 de cura ambiente, vide figura 30. Na aplicação foi utilizado o bico misturador para a correta mistura da base e do acelerador, conforme recomendado pelo fabricante.

Figura 30 - Adesivo 3M Scotch Weld DP460, aplicador e bico misturador



Fonte: Elaborado pelo autor

Os corpos de prova foram limpos com desengraxante alcalino Maxijato da fabricante Maxibril na proporção de 1:3 litros com água, onde as amostras ficaram submersas por 1 hora para desengraxe total e então lavadas imediatamente após em água corrente para neutralizar e retirar o produto, conforme figura 31.

Figura 31 - Substratos submersos em mistura desengraxante

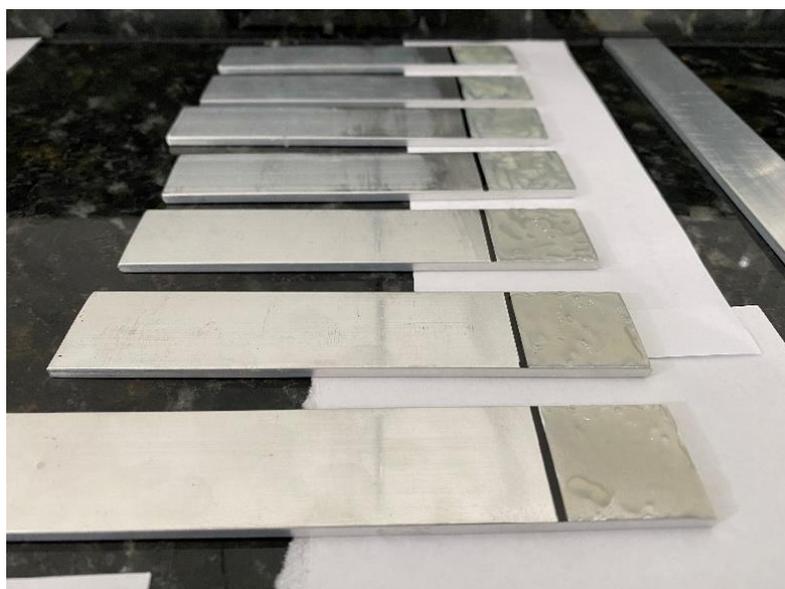


Fonte: Elaborado pelo autor

Esta etapa é de extrema importância para se conseguir um bom desempenho do adesivo estrutural, pois são eliminados quaisquer tipos de contaminantes, tais como óleos, graxas e sujeiras que possam ficar entre o adesivo e o substrato.

O adesivo foi aplicado de forma uniforme em uma área de 1 polegada quadrada na extremidade lixada de uma das partes que será colada, vide figura 32.

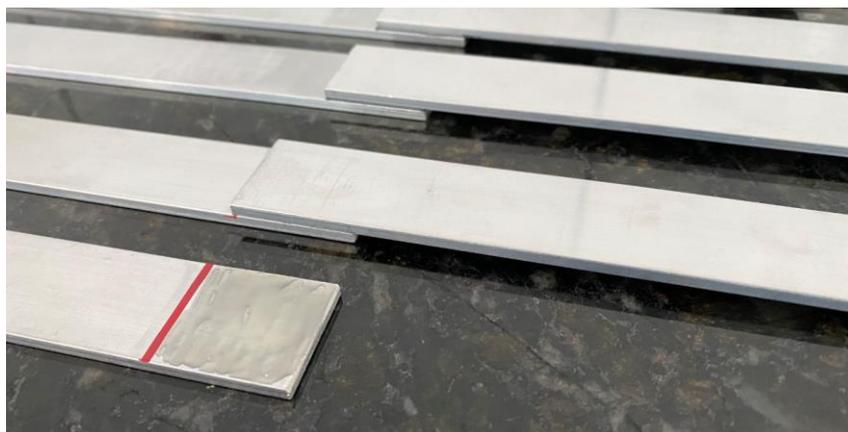
Figura 32 - Substratos com o adesivo já aplicado



Fonte: Elaborado pelo autor

Os substratos foram unidos com a configuração de junta sobreposta simples, como apresentado na figura 33.

Figura 33 - União dos substratos pro junta simples



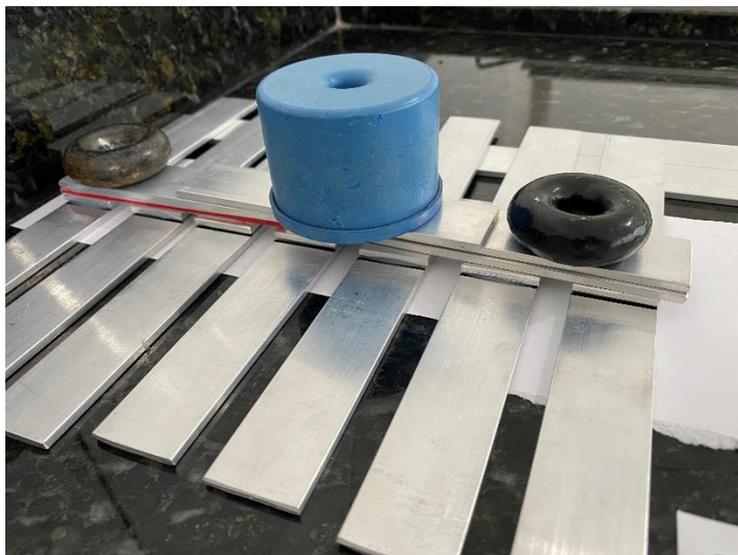
Fonte: Elaborado pelo autor

Manter as partes fixadas durante a cura, uma pequena pressão sobre a união é necessária, esta, foi feita com a colocação de pesos distribuídos homogeneamente sobre a área de contato das amostras, conforme figura 34. Segundo o fabricante a resistência máxima é obtida com um filme de adesivo de 0,13 a 0,20 mm.

#### 3.1.4 Processo de Cura

Após a união dos substratos com o adesivo o processo de cura total demorará 24 horas, porém as amostras ficaram 48h para eliminar qualquer possibilidade de erro de cura. Vale ressaltar que as amostras ficaram em local isolado, não sendo mexidas até o tempo total de cura finalizar. Caso ocorra de as amostras sofrerem algum dano durante o processo de cura, o adesivo deve ser totalmente retirado das amostras afetadas e deve se refazer o processo de fabricação da junta conforme item 3.1.3.

Figura 34 - Amostras durante o processo de cura do adesivo



Fonte: Elaborado pelo autor

Durante o processo de cura as peças foram deixadas em repouso com pesos sobre as juntas totalizando 623 gramas distribuídos ao longo de 7 amostras, conforme figura 34. Ao final deste processo obteve-se um filme de adesivo médio de 0,19 mm para todas as amostras, com desvio padrão de 0,07 mm. Estes valores foram obtidos através de um paquímetro digital, onde foram medidas as espessuras antes de serem realizados os ensaios. A variação da posição destes pesos sobre as amostras influenciou no filme adesivo final das amostras.

### 3.1.5 *Setup* da Máquina de Ensaio

O sistema utilizado para realizar os ensaios foi a máquina de ensaios universal MTS Landmark, figura 35, localizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos na UNISINOS. Foi definido uma velocidade de avanço de 0,042 mm/s, esta velocidade é indicada pelo fabricante do adesivo para a realização destes tipos de testes, foi também utilizado uma taxa de coleta de dados de 10 Hz, o que significa que a máquina de ensaio irá coletar dez medições por segundo.

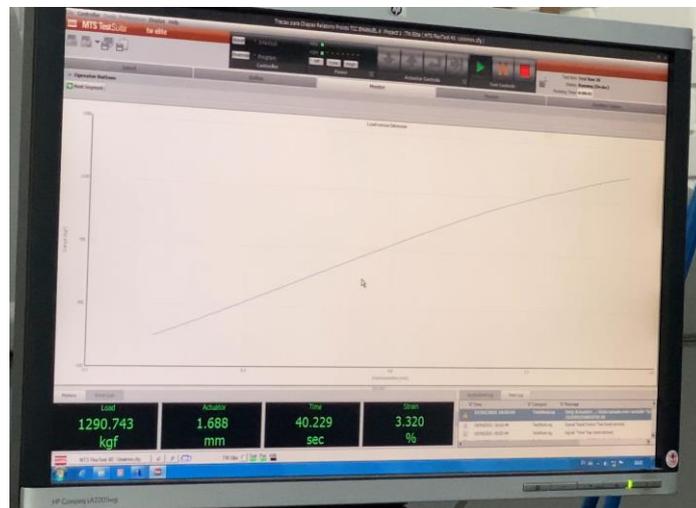
Figura 35 - Máquina de ensaios universal MTS Landmark



Fonte: Elaborado pelo autor

Os dados obtidos através dos ensaios foram o tempo total de ensaio e a força aplica pela máquina sobre a amostra. Durante a execução do ensaio foi possível acompanhar a força que o equipamento vai aplicando, o tempo decorrido do ensaio e o deslocamento realizado pelo atuador, figura 36.

Figura 36 - Tela do programa da máquina de ensaios durante um teste

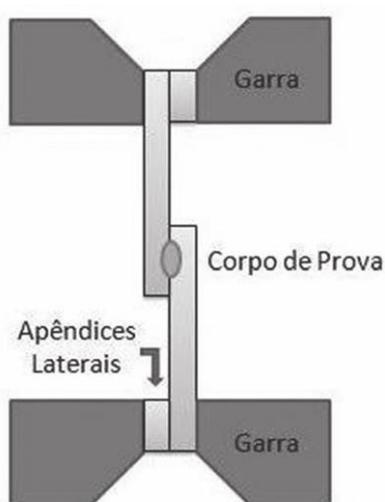


Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.1.6 Fixação das Amostras na Máquina

Durante o ensaio foi necessário garantir que a força de tração seja aplicada perpendicularmente a união ao longo de todo o ensaio. Ou seja, a posição da junta sobreposta não pode variar, e, deve-se garantir que não haja escorregamento da fixação da chapa na máquina. A figura 37 ilustra a fixação para o ensaio de cisalhamento por tração de acordo com a Norma JIS Z3136-1999 para chapas com espessura superior a 3 mm.

Figura 37 - Fixação da amostra



Fonte: Norma JIS Z 3136 (1999, p. 5)

Conforme a norma JIS Z 3136 (1999) determina, a fixação das amostras terá o uso de calços para manter o mais linear possível durante o ensaio. Dessa maneira não impondo tensões desnecessárias e que iriam prejudicar os testes e os dados coletados.

Figura 38 - Amostra fixada conforme norma JIS Z 3136



Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2 Influência da Rugosidade Sobre o Adesivo

Será avaliado a influência das diferentes rugosidades em todas as 36 amostras ensaiadas e o tipo de fratura obtido, verificando visualmente onde ocorreu a falha no adesivo ou no substrato. O resultado se dará principalmente com a comparação entre as 12 amostras ensaiadas em temperatura ambiente, 6 com rugosidade Ra de 1,14  $\mu\text{m}$  e 6 com rugosidade de 3  $\mu\text{m}$ .

Os ensaios irão ocorrer até haver a fratura nas amostras, no adesivo ou no substrato. Caso a falha ocorra no adesivo deve-se verificar com o ensaio de mais amostras e confirmar se a falha foi devido a rugosidade na área de contato com o adesivo ou preparo incorreto da amostra.

Os resultados obtidos são disponibilizados através de uma tabela onde temos as forças exercidas pela máquina de ensaio e o tempo do ensaio em que está força foi medida, assim pode-se gerar um gráfico de força (kN) x tempo (s) para se analisar a resistência ao cisalhamento em cada caso.

### 3.3 Influência da Temperatura Sobre as Amostras Ensaçadas

Será avaliado a influência da temperatura de resistência total da junta, onde as amostras serão ensaiadas serão separadas em três diferentes temperaturas. Temperatura ambiente (23 °C), metade da temperatura máxima de resistência do adesivo (55 °C) e próximo a temperatura máxima de resistência (100 °C), obtendo assim um total de 6 ensaios para cada temperatura e rugosidade.

As amostras serão aquecidas utilizando o forno de indução Sanchis, conforme figura 39, que é acoplado junto a máquina de ensaios universal presente no Laboratório de Ensaios Mecânicos da UNISINOS, este forno possui a capacidade de aquecer amostrar a mais de 1000 °C e seu controle interno para baixas temperaturas como as ensaiadas não é muito eficiente, mas como é o único equipamento deste tipo disponível no laboratório teve que ser utilizado.

Figura 39 - Forno de indução Sanchis acoplado a máquina de ensaio



Fonte: Elaborado pelo autor

O forno é então ligado e aquecido até as temperaturas necessárias para realização dos ensaios, o controle do forno se dá através de um sensor de temperatura que fica dentro da área aquecida, este sensor liga e desliga o equipamento automaticamente mantendo assim a temperatura programada no *display*, após o forno atingir a temperatura determinada, as amostras permaneceram 10 minutos em seu interior com a temperatura constante e então com termômetro infravermelho Vonder TIV 530 foi confirmado a temperatura da junta para poder ser dado início ao ensaio. Todas as amostras estavam dentro da faixa de temperatura proposta, com variação de mais ou menos 2 °C, o que não comprometeu o ensaio

Os ensaios ocorreram até haver a ruptura da junta adesivada nas amostras e os resultados obtidos são disponibilizados através de uma tabela onde é apresentado as forças exercidas pela máquina de ensaio e o tempo do ensaio em que está força foi medida, assim pode-se gerar um gráfico de força (kN) x tempo (s) para se analisar a resistência ao cisalhamento em cada caso.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

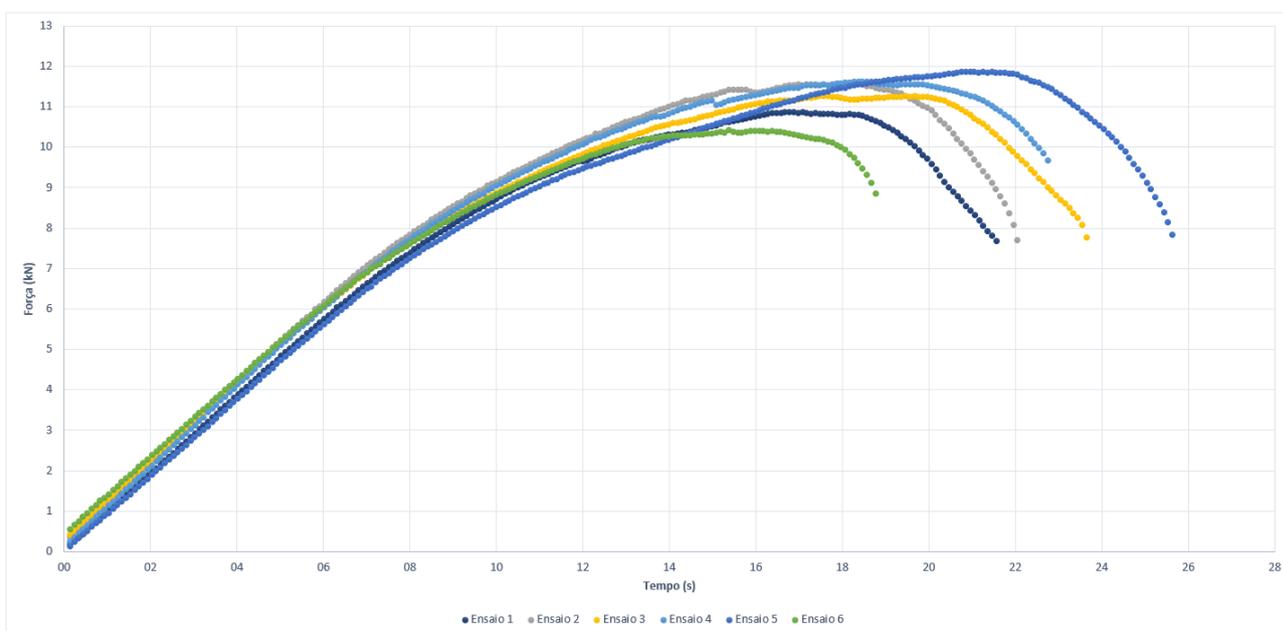
A seguir serão apresentados e discutidos os resultados obtidos através dos ensaios a fim de se entender o comportamento das juntas adesivadas com o adesivo 3M Scotch Weld DP460 sob os diferentes parâmetros.

### 4.1 Amostras Ensaadas em Temperatura Ambiente de 23°C

Os ensaios em temperatura ambiente tiveram resultados semelhantes na questão de força máxima suportada pelas amostras, apesar disso ao se analisar o comportamento das amostras durante o teste e o tipo de ruptura obteve-se resultados diferentes para as amostras lixadas em 240 e 80.

Analisando o gráfico das amostras lixadas em 240 (1,14  $\mu\text{m}$ ), figura 40, pode-se ver que as amostras suportaram por volta de 11 kN até se iniciar a ruptura. Os gráficos individuais dos ensaios estão disponíveis no apêndice A.

Figura 40 - Gráfico Força(kN) x Tempo(s) temperatura ambiente - 240



Fonte: Elaborado pelo autor

O tipo de ruptura encontrada nestes ensaios é ruptura adesiva com pequenos pontos de ruptura coesiva, onde a falha ocorre no adesivo e neste caso gerando descolamento entre o adesivo e o substrato, conforme figura 41.

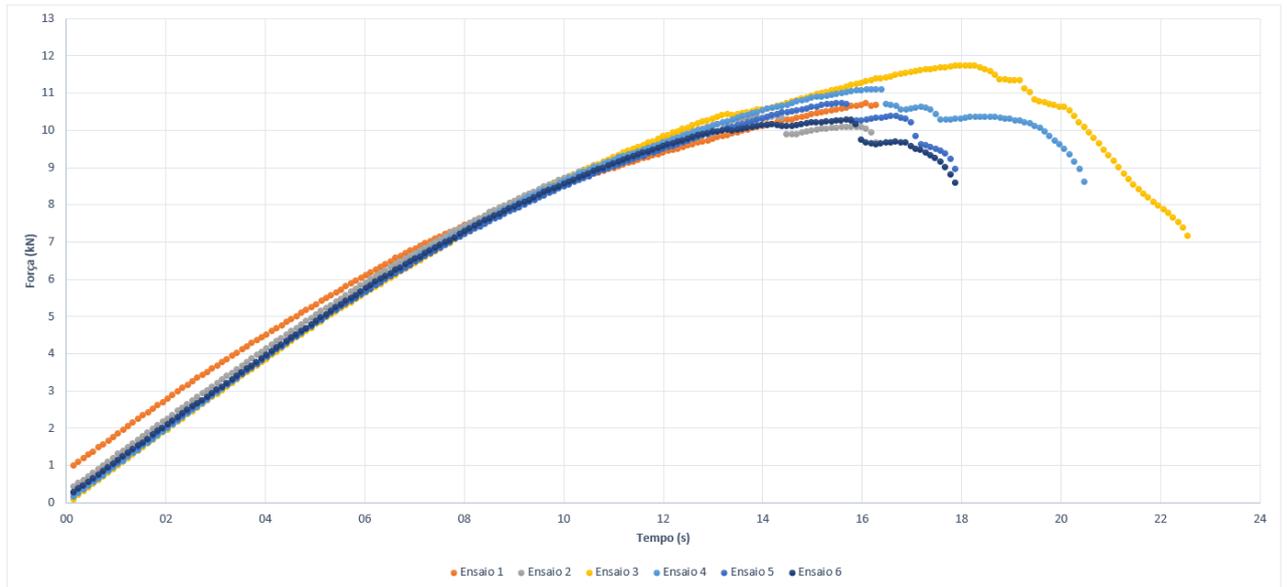
Figura 41 - Amostra 240 após o ensaio em temperatura ambiente



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao se analisar o gráfico das amostras lixadas com grão 80 ( $3\ \mu\text{m}$ ), figura 42, pode-se verificar que as amostras suportaram força máxima entre 10 e 11 kN até se iniciar a ruptura do adesivo, porém para a maioria destas amostras ensaiadas o tipo de ruptura foi mista de adesiva e coesiva. Por isto ao se analisar o gráfico tem-se uma queda nos valores obtidos durante o ensaio e não uma ruptura adesiva como nas amostras lixadas em 240. Os gráficos individuais dos ensaios estão disponíveis no apêndice B.

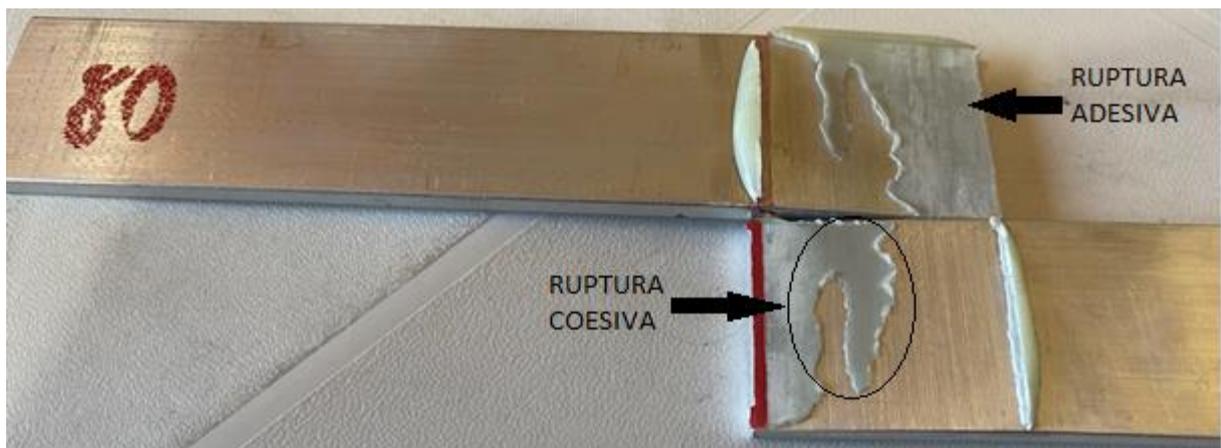
Figura 42 - Gráfico Força(kN) x Tempo(s) temperatura ambiente - 80



Fonte: Elaborado pelo autor

A ruptura coesiva ocorre no interior do adesivo, quando a tensão aplicada é superior à resistência interna do próprio adesivo, o que pôde ser constatado nestes ensaios, conforme figura 43.

Figura 43 - Amostra 80 após o ensaio em temperatura ambiente



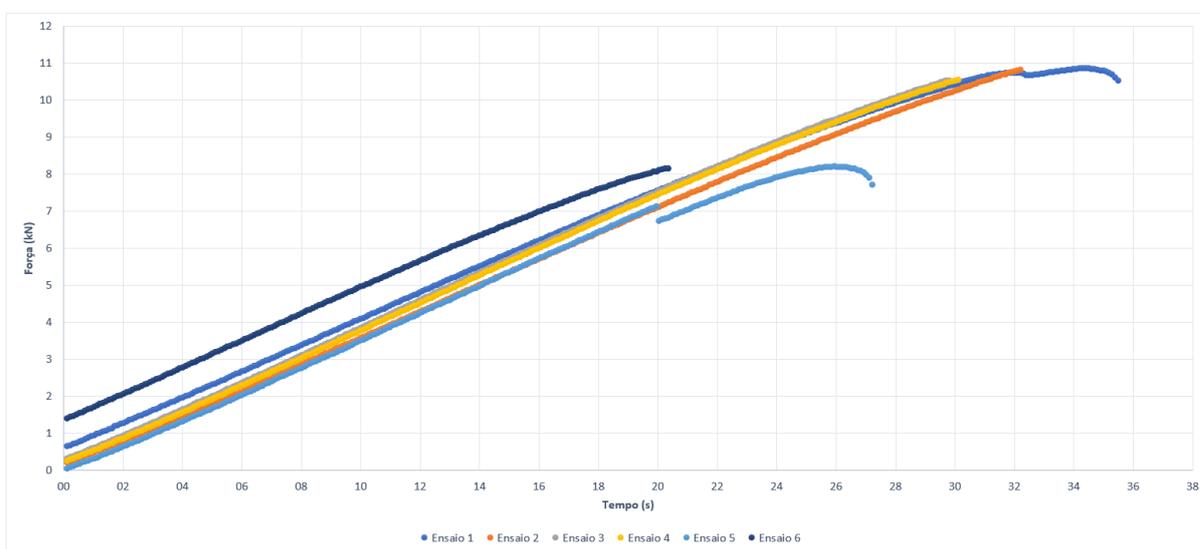
Fonte: Elaborado pelo autor

## 4.2 Ensaio na Temperatura de 55°C

As amostras ensaiadas na temperatura de 55°C, aproximadamente metade da temperatura máxima suportada pelo adesivo segundo o fabricante, tiveram resultados diferentes e bastante significativos.

Analisando graficamente os ensaios das amostras lixadas com grão 240 (1,14 µm), figura 44, observa-se que ao longo do ensaio ocorreu escorregamento entre o adesivo e o substrato no ensaio de número 5. Isto pode ter ocorrido pelo substrato não estar devidamente limpo e o adesivo ter sido colocado sobre esta superfície, gerando este escorregamento, outra hipótese é uma falha durante o processo de aplicação e cura onde o adesivo pode não ter coberto completamente a superfície do substrato gerando uma área com bolha e assim enfraquecendo aquele ponto da união. Além disso as forças máximas suportadas variaram, tendo duas amostras com valores próximos de 8 kN e as demais com valores próximos de 11 kN. Os gráficos individuais dos ensaios estão disponíveis no apêndice C.

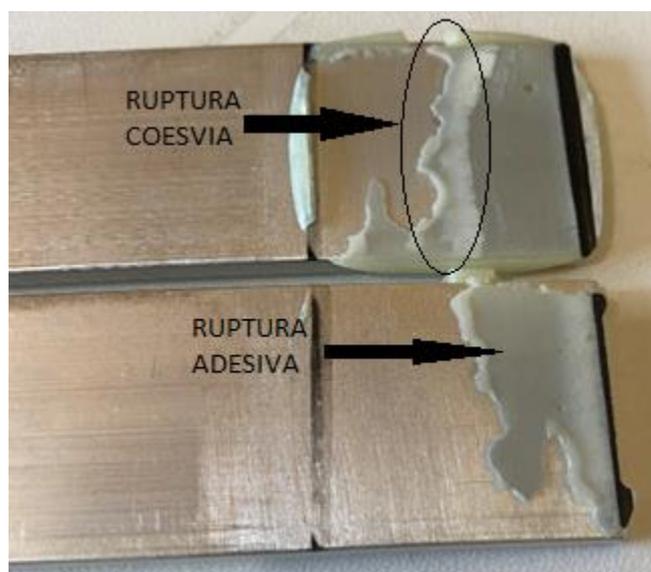
Figura 44 - Gráfico Força(kN) x Tempo(s) temperatura de 55°C - 240



Fonte: Elaborado pelo autor

O tipo de ruptura que pode ser verificado nestes ensaios foi ruptura adesiva e ruptura coesiva, onde a maior parte do adesivo sofreu ruptura adesiva, mas houve alguns pontos de ruptura coesiva, conforme figura 45.

Figura 45 - Amostra 240 após o ensaio em temperatura de 55°C

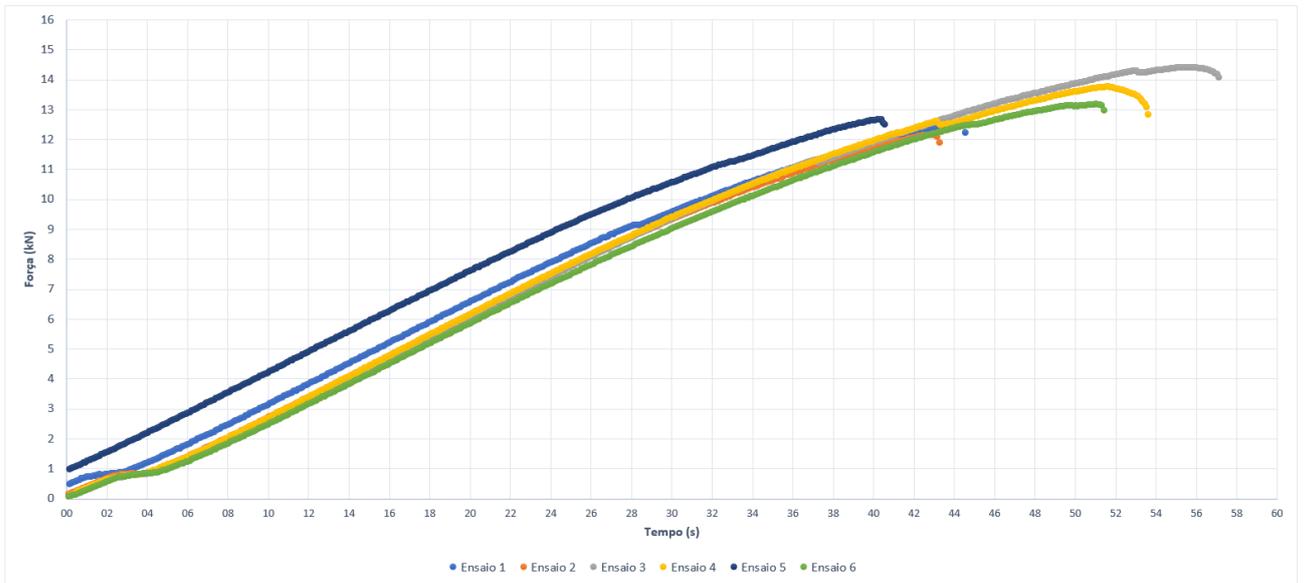


Fonte: Elaborado pelo autor

Ao se analisar o gráfico das amostras lixadas com grão 80 ( $3\ \mu\text{m}$ ), figura 46, pode-se ver que as amostras sofreram a falha com valores bem elevados se comparado com os ensaios realizados em temperatura ambiente em ambas as rugosidades e ao ensaio realizado a  $55\ ^\circ\text{C}$  com rugosidade média de  $1,14\ \mu\text{m}$ . Onde 3 amostras romperam com aproximadamente  $12,5\ \text{kN}$  e as demais foram acima de  $13\ \text{kN}$ , com destaque para a amostra número 3 que suportou aproximadamente  $14,5\ \text{kN}$ .

Além da força máxima obtida ser maior que as amostras lixadas com lixa grão 240, o tempo em que as amostras suportaram até a falha também foi maior. Os gráficos individuais dos ensaios estão disponíveis no apêndice D.

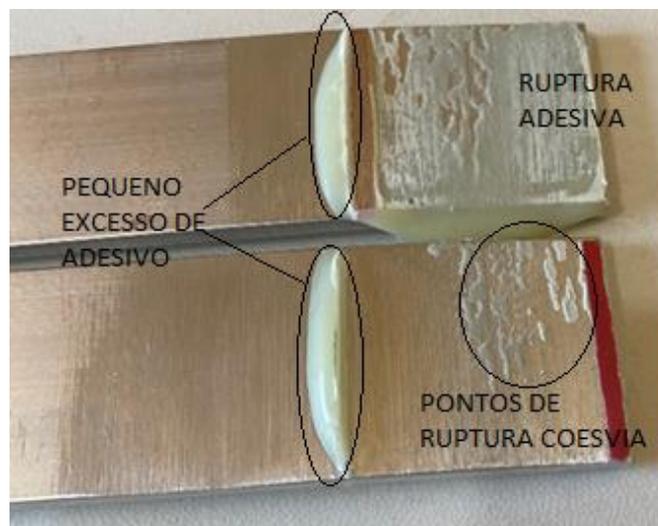
Figura 46 - Gráfico Força(kN) x Tempo(s) temperatura de 55°C - 80



Fonte: Elaborado pelo autor

O tipo de ruptura encontrada nestes ensaios foi uma ruptura quase por completo ruptura adesiva com pequenos pontos de coesiva, onde a principal falha ocorreu no adesivo, gerando descolamento entre o adesivo e o substrato, conforme figura 47. Estes pequenos pontos de ruptura coesiva pode ser justamente pela elevada rugosidade, pois comparando as figuras 45 e 47 tem-se duas rupturas bem distintas, onde a principal influência é esta diferença na rugosidade.

Figura 47 - Amostra 80 após o ensaio em temperatura de 55°C

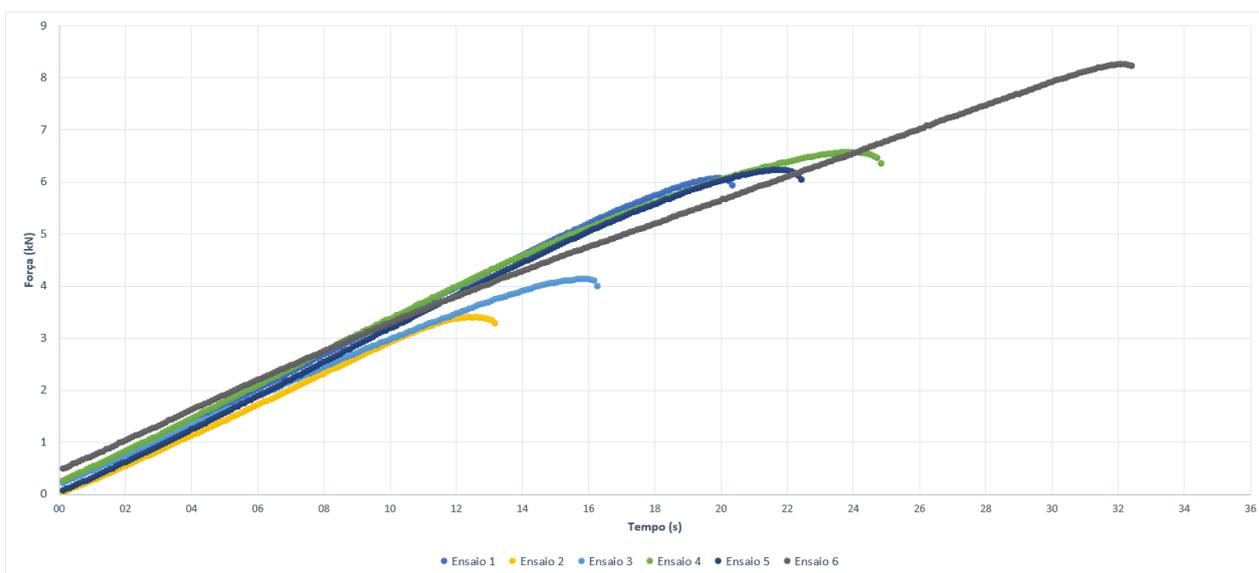


Fonte: Elaborado pelo autor

### 4.3 Ensaio na Temperatura de 100°C

As amostras ensaiadas na temperatura de 100°C, temperatura próxima da máxima suportada pelo adesivo segundo o fabricante, tiveram resultados diferentes e bastante expressivos. Analisando graficamente os ensaios das amostras lixadas com grão 240 (1,14  $\mu\text{m}$ ), figura 48, observa-se uma grande disparidade nos resultados obtidos, onde algumas amostras sofreram falha no início do ensaio com pouca força aplicada. Já outras levaram um pouco mais de tempo até a falha. Os gráficos individuais dos ensaios estão disponíveis no apêndice E.

Figura 48 - Gráfico Força(kN) x Tempo(s) temperatura de 100°C - 240



Fonte: Elaborado pelo autor

Esta diferença obtida também se dá pela união de dois fatores, o aquecimento do adesivo fazendo-o alterar suas propriedades, onde o esperado é ele perder rendimento se comparado aos ensaios realizados na temperatura ambiente, e a baixa rugosidade na qual facilitou para uma ruptura adesiva onde ocorreu o descolamento entre o adesivo e o substrato, vide figura 49.

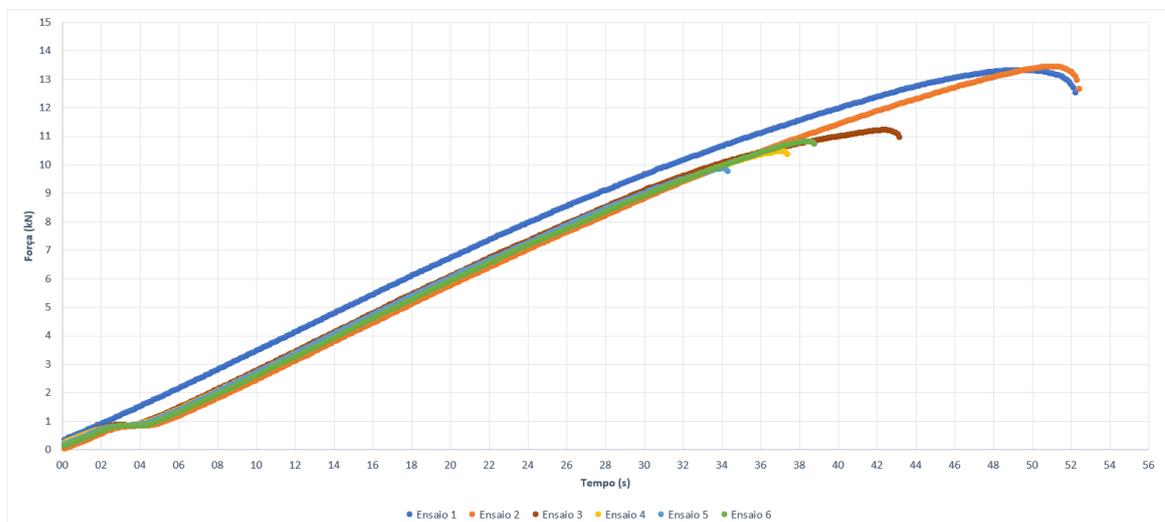
Figura 49 - Amostra 240 após o ensaio em temperatura de 100°C



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao se analisar o gráfico das amostras lixadas com grão 80 (3  $\mu\text{m}$ ), figura 50, pode-se ver que as amostras suportaram valores bem elevados até a ruptura, se comparadas as amostras com rugosidade de 1,14  $\mu\text{m}$  ensaiadas a 100°C. Todas as amostras suportaram no mínimo 10 kN de força até sua falha e em 2 ensaios obteve-se valores superiores a 13 kN. Além da força máxima obtida ser maior que as amostras lixadas com lixa grão 240, o tempo que levou até ocorrer a falha nas amostras também foi maior. Os gráficos individuais dos ensaios estão disponíveis no apêndice F.

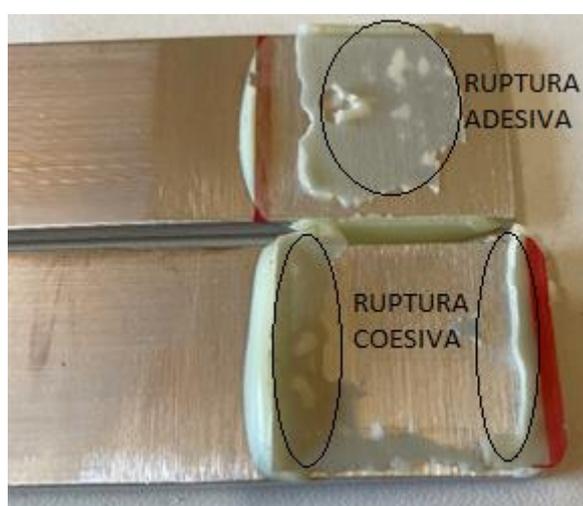
Figura 50 - Gráfico Força(kN) x Tempo(s) temperatura de 100°C - 80



Fonte: Elaborado pelo autor

Esta diferença obtida se dá pela união de dois fatores, o aquecimento do adesivo fazendo-o alterar suas propriedades se comparado aos ensaios em temperatura ambiente e a “alta” rugosidade na qual resultou em uma ruptura mista entre adesiva e coesiva onde a tensão aplicada foi superior à resistência interna do próprio adesivo, vide figura 51.

Figura 51 - Amostra 80 após o ensaio em temperatura de 100°C



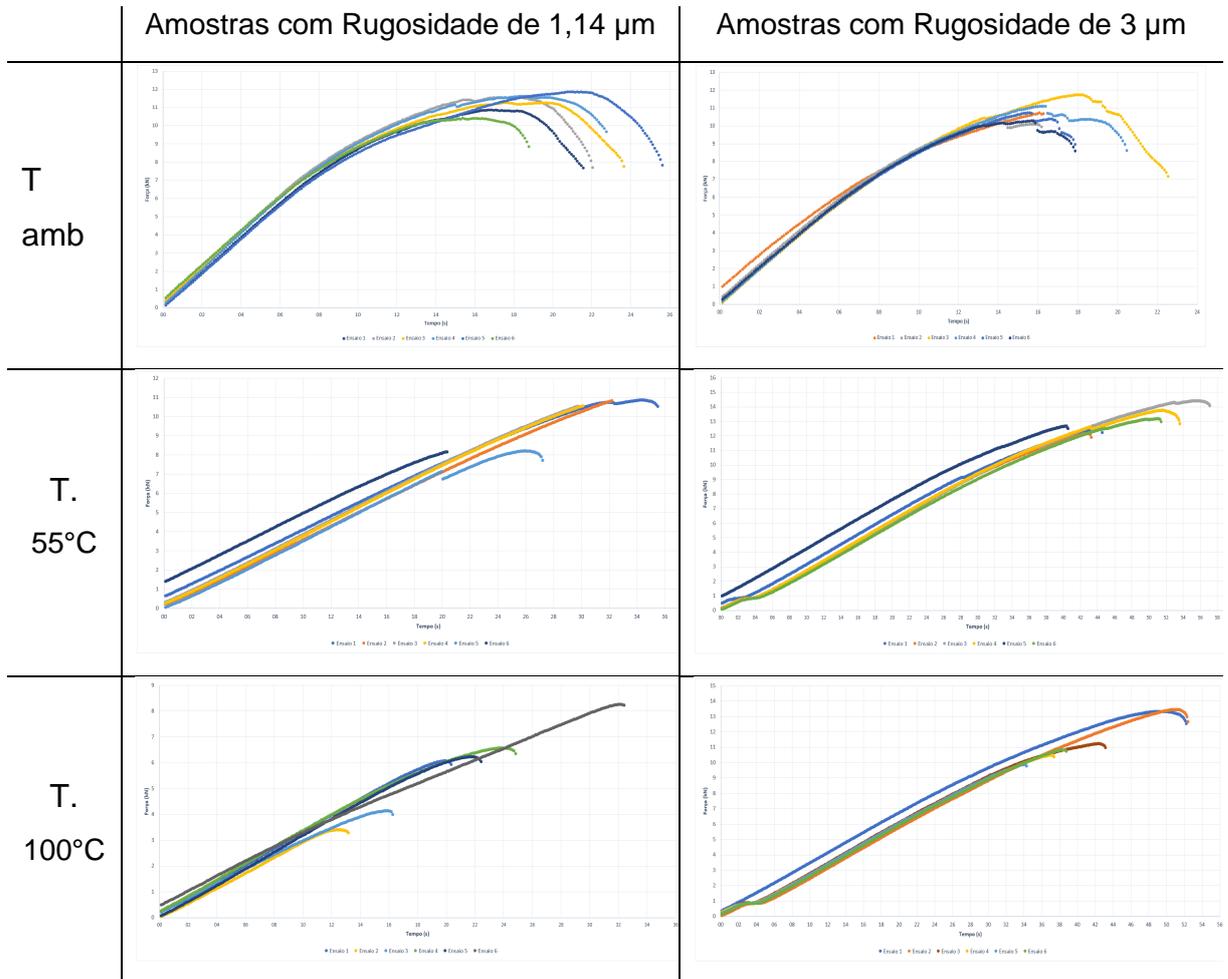
Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.4 Análise dos Resultados Obtidos

Tendo em vista estes resultados obtidos e comparando todos os ensaios de um modo geral, conforme tabela 11, pode-se verificar que as amostras com rugosidade de 3  $\mu\text{m}$  apresentaram desempenho 33% melhor para os esforços com temperatura de 55°C e 96% melhor para a temperatura de 100°C. Já para a temperatura ambiente os resultados obtidos para ambas rugosidades foram praticamente parecidos tendo uma variação de somente 2% entre as amostras com rugosidade de 1,14  $\mu\text{m}$  e as amostras de 3  $\mu\text{m}$ .

Estes valores das forças máximas obtidas através dos ensaios podem ser vistos no apêndice G.

Tabela 11 - Comparativo dos resultados obtidos com os ensaios



Fonte: Elaborado pelo autor

Para estes casos ensaiados, a melhor configuração de junta é a junta com rugosidade de 3  $\mu\text{m}$ , onde apresentou boa resistência aos esforços na temperatura ambiente, na temperatura de 55°C e também a 100°C.

## 5 CONCLUSÕES

A elaboração deste trabalho foi fundamental para a ampliação dos conhecimentos no processo de fixação de elementos metálicos por meio de adesivo industrial. Assunto este que está em constante evolução e sua utilização vem ganhando mais força ao longo dos últimos anos, pois a indústria vem buscando esta modernização dos elementos de fixação. A utilização dos adesivos industriais gera uma redução principalmente de peso, o que implica diretamente performance e autonomia dos meios de transporte hoje utilizados. Portanto, a partir dessa análise e a interpretação dos resultados obtidos através dos ensaios, pode-se concluir:

- a) Para os ensaios em temperatura ambiente as amostras com rugosidade  $R_a$  de  $1,14 \mu\text{m}$  obtiveram resultados um pouco melhores, suportando uma carga maior até sua ruptura, como as condições durante os ensaios eram as mesmas para todas as amostras esta diferença se dá somente pela diferença da rugosidade na área de contato do adesivo e substrato;
- b) Os ensaios realizados com aquecimento de  $55^\circ\text{C}$  da junta adesiva tiveram resultados diferentes se comparados as amostras ensaiadas em temperatura ambiente. Com o aquecimento do adesivo suas propriedades se alteraram e o que era esperado seria valores de força máxima de ruptura inferiores aos encontrados com as amostras ensaiadas a  $23^\circ\text{C}$ , e isto ocorreu com as amostras com rugosidade média de  $1,14 \mu\text{m}$ , porém as amostras com  $R_a$  de  $3 \mu\text{m}$  tiveram resultados melhores que os obtidos em  $23^\circ\text{C}$ . Ao analisar os gráficos gerados e a ruptura da junta adesiva pode-se concluir que a maior rugosidade ajudou o adesivo a se fixar melhor e assim a aguentar uma força maior até se romper;
- c) Para os ensaios realizados com aquecimento de  $100^\circ\text{C}$  da junta adesiva o comportamento se manteve o mesmo se comparado as amostras ensaiadas a  $55^\circ\text{C}$ . As amostras com rugosidade média de  $1,14 \mu\text{m}$  tiveram uma redução nas forças obtidas, porém houve uma disparidade nos resultados pois teve amostras com falha em 4,6 e 8 quilonewtons, esta diferença obtida pode ser causada pela mudança de propriedades com o aquecimento do adesivo, ao forno que talvez não tenha conseguido manter uma temperatura homogênea durante todo o processo ou também por alguma falha durante o processo de fabricação da junta e cura do adesivo. As amostras com  $R_a$

de 3  $\mu\text{m}$  também tiveram resultados inferiores que os obtidos em 55°C, mas a carga suportada até a ruptura foi maior que as amostras com rugosidade média de 1,14  $\mu\text{m}$ . Analisando os gráficos gerados e a ruptura da junta adesiva pode-se concluir que a maior rugosidade também ajudou o adesivo a se fixar melhor e assim aguentar uma força maior até se romper.

Com isso, é possível concluir, que para estruturas ou partes que utilizem o adesivo 3M Scotch Weld DP460 por sobreposição simples e somente sofram esforços em temperatura ambiente ambas as rugosidades podem ser empregadas. Porém caso seja necessário utilizar em temperaturas de até 100°C o indicado é a rugosidade de 3  $\mu\text{m}$ , conforme os resultados obtidos. Portanto para um uso geral onde é necessário suportar esforços em temperatura ambiente e altas temperaturas a rugosidade de 3  $\mu\text{m}$  para a junta adesivada é a mais indicada por não ter perda de desempenho significativo em altas temperaturas.

## 6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Realizar os mesmos testes com adesivos e/ou substratos diferentes para verificar se há algum que se comporte melhor com estas influências sobre ele;
- Realizar ensaios com amostrar soldadas, rebitadas e com união por parafuso e compara os resultados com os resultados obtidos com a união adesivada;
- Simular via software e comparar com os ensaios reais, a fim de validar os resultados obtidos com o simulado;
- Realizar ensaios envolvendo vibrações nos corpos de prova e verificar sua influência se comparado a ensaios não vibracionais;
- Realizar ensaios multiaxiais, não apenas uniaxial e assim verificar mais influências no processo.

## REFERÊNCIAS

Armini, Evandro; **Noções básicas de processo de soldagem e corte SENAI**. 1996.  
< <http://www.abraman.org.br/arquivos/73/73.pdf>> Acessado em 30 de set. 2020.

Azevedo, J. C. S.; **Determinação da tenacidade à fratura em corte (GIIc) de adesivos estruturais pelo ensaio End-Notched Flexure (ENF)**. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica; Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2014

Barbosa, J. P.; **Elementos de máquinas**; IFES - Instituto Federal do Espírito Santo; 2011

Chiaverini, Vicente; **Tecnologia Mecânica: Estrutura e Propriedades das Ligas Metálicas Volume 1**. 2ª ed. São Paulo McGraw-Hill. 1986

Chiaverini, Vicente; **Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamentos Volume 2**. 2ª ed. São Paulo McGraw-Hill. 1986

Cordeiro, G. S.; **Rugosidade Superficial**;  
<<https://www.passeidireto.com/arquivo/5702353/rugosidade-superficial>> acessado em 25 de nov. 2020.

De maré, C.; Scheers, J.; Lambert, F.; Vermeulen, M.; De graef, L.; Gadeyne, Y. **Development of the Sibetex sheet having excellent drawability and paint appearance**. La Revue de Métallurgie, jun, 1997.

Ferreira, J. C. E.; **Rugosidades**; UFSC departamento de engenharia mecânica; 2020;  
<[http://www.grima.ufsc.br/capp/transparencias/TransparenciasCAPP\\_Rugosidades1.pdf](http://www.grima.ufsc.br/capp/transparencias/TransparenciasCAPP_Rugosidades1.pdf)> acessado em 25 de nov. 2020.

Gordo, N.; Ferreira, J.; **Apostila de elementos de máquinas SENAI**. 2015.

<<http://professor.luzerna.ifc.edu.br/charles-assuncao/wp-content/uploads/sites/33/2016/07/Apostila-Elementos-de-M%C3%A1quina-SENAI.pdf>> Acessado em 30 de set. 2020.

Lima, F. E.; Corrêa, M.; **Correlação entre os parâmetros de rugosidade: uma abordagem matemática**; 2008 < <https://core.ac.uk/download/pdf/235418161.pdf>> acessado em 25 de nov. 2020.

**Manual rugosímetro digital Instrutherm** < [https://www.instrutherm.com.br/media/hexaattachment/products/attachments/r/p/rp-200\\_vers\\_pdf.pdf](https://www.instrutherm.com.br/media/hexaattachment/products/attachments/r/p/rp-200_vers_pdf.pdf)> acessado em 08 de out. 2020.

Martins, L. B. M.; **Estudo experimental da aferição da rugosidade superficial por ultrassom**. Dissertação de Mestrado em e Tecnologia de Materiais; Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. 2016

**Rugosímetro: Como funciona**; 2017 < <http://blog.instrusul.com.br/rugosimetro-como-funciona/>> acessado em 09 de out. 2020.

SENAI-SP; **Apostila metrologia**; 2000 < [https://www.academia.edu/34159781/Telecurso\\_2000\\_Metrologia](https://www.academia.edu/34159781/Telecurso_2000_Metrologia)> acessado em 08 de out. 2020.

Silva, L. F. M., de Magalhães, A. G. e de Moura, M. F. S. F.; **Juntas Adesivas Estruturais**. 1ª ed. Porto, Publindústria. 2007

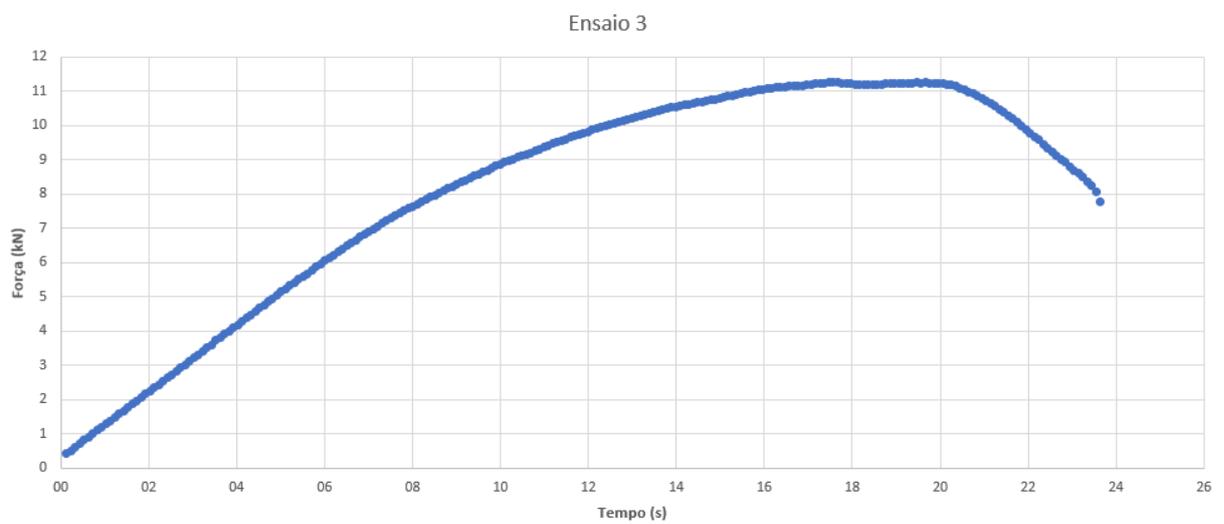
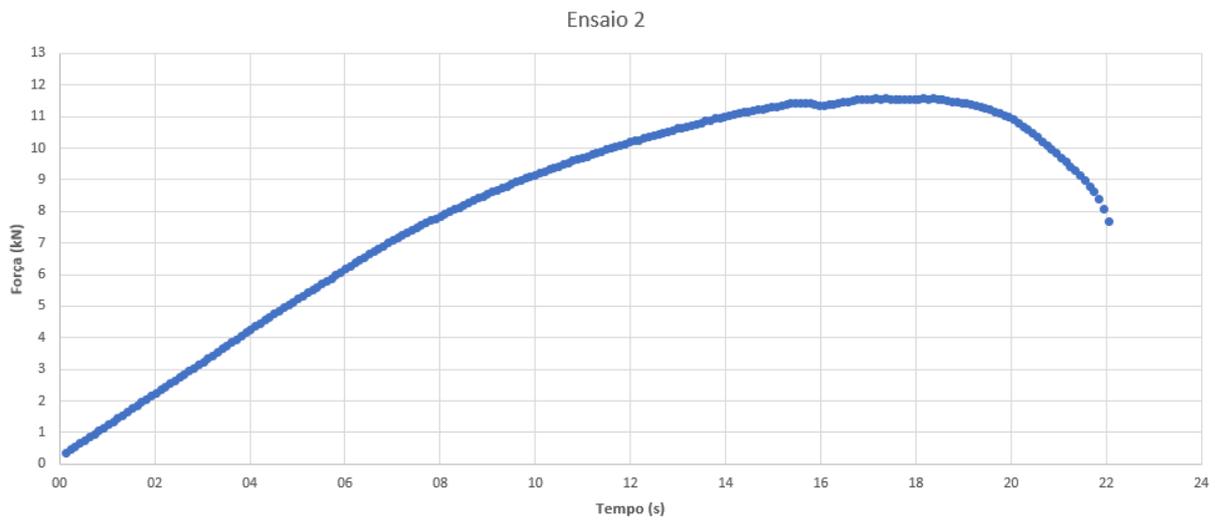
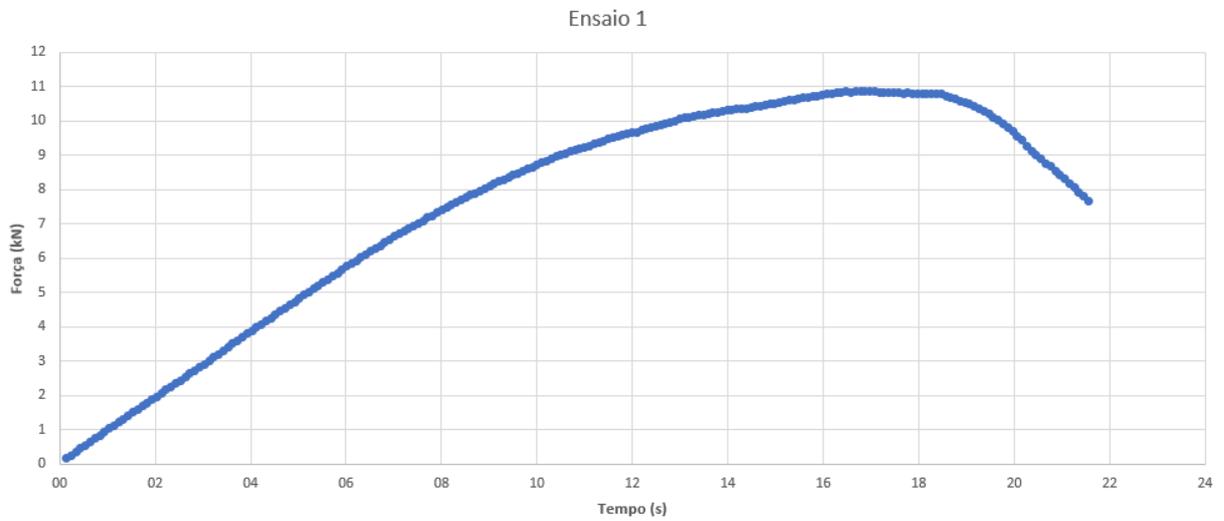
Souza, C. A. O.; **Análise de tensões e vida em fadiga de juntas coladas em estruturas aeronáuticas metálicas**. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica; Universidade Estadual de Campinas. 2013

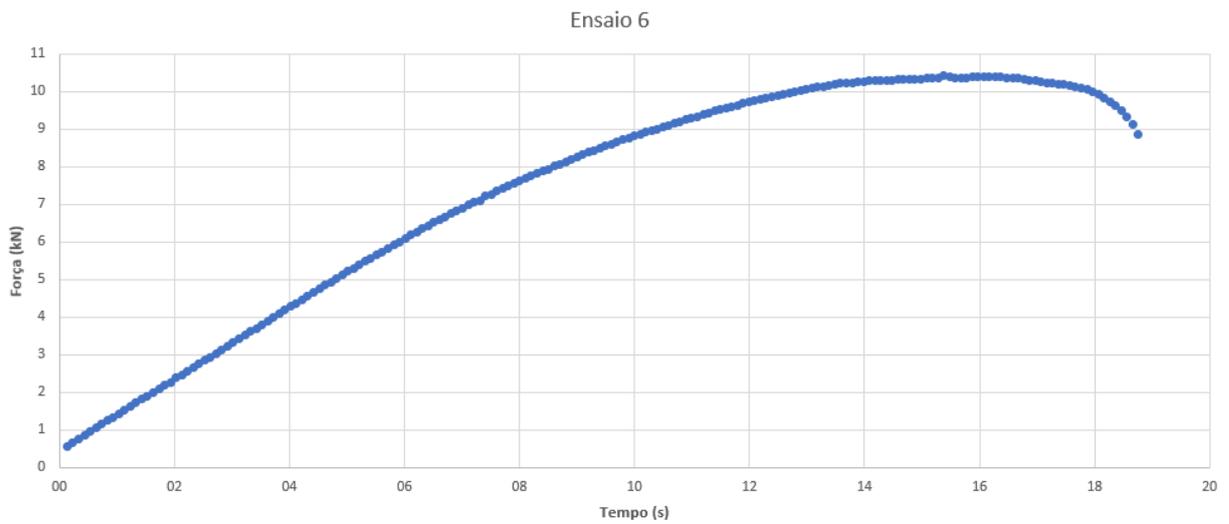
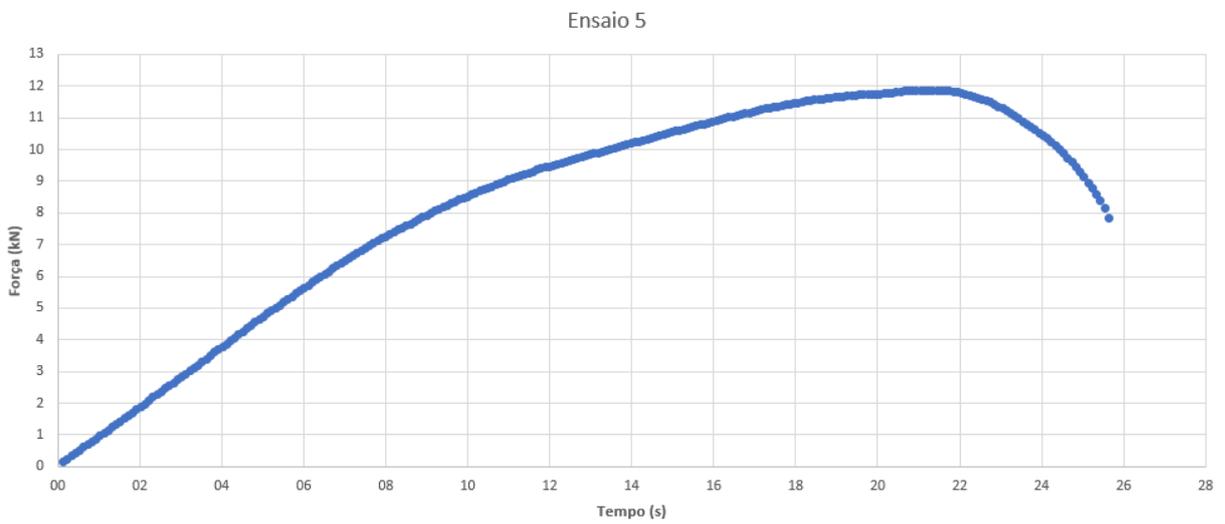
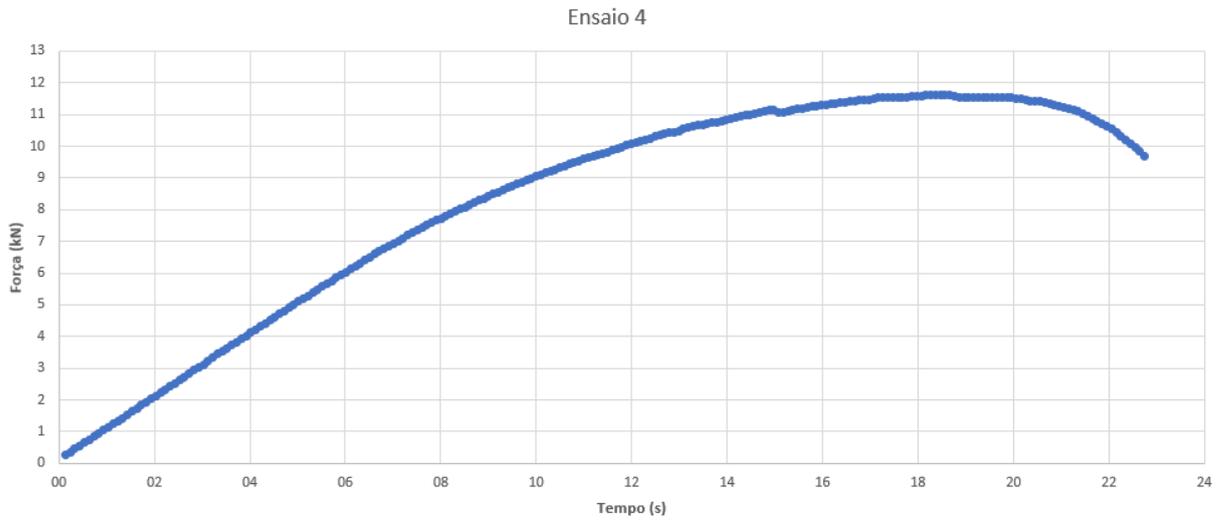
Stanley engineered fastening; **Rebites POP**; 2020 <<http://stanleyengineeredfastening.com.br/site/pt/rebites.asp>> acessado em 29 de nov. 2020.

**Tecnoferramentas;** 2020 < [www.tecnoferramentas.com.br/rugosimetro-analogico-0-a-1000%C2%B5m-resolucao-1%C2%B5m-norma-abnt-nbr-15488-com-relogio-mitutoyo\\_tecno-tec\\_ra001/p](http://www.tecnoferramentas.com.br/rugosimetro-analogico-0-a-1000%C2%B5m-resolucao-1%C2%B5m-norma-abnt-nbr-15488-com-relogio-mitutoyo_tecno-tec_ra001/p)> acessado em 08 de out. 2020.

**Wsequipamentos;** 2020

<<https://wsequipamentos.com.br/rugosidadeerugosímetros/#:~:text=O%20rugosímetro%20ou%20medidor%20de,%2C%20Rz%2C%20Ry%20e%20Rt.>> acessado em 29 de nov. 2020.

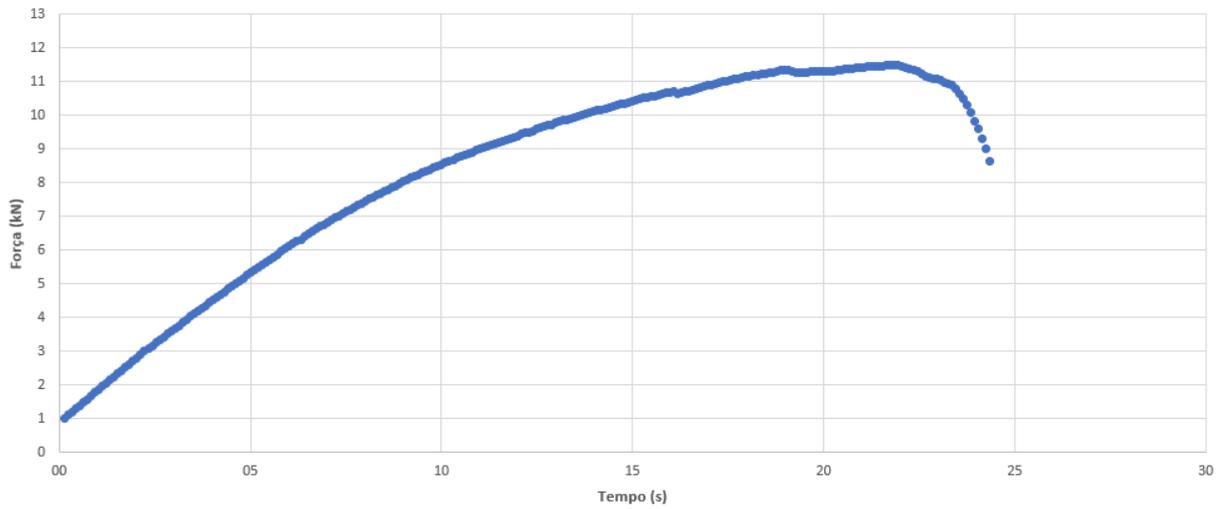
**APÊNDICE A – ENSAIOS 240 TEMPERATURA AMBIENTE**



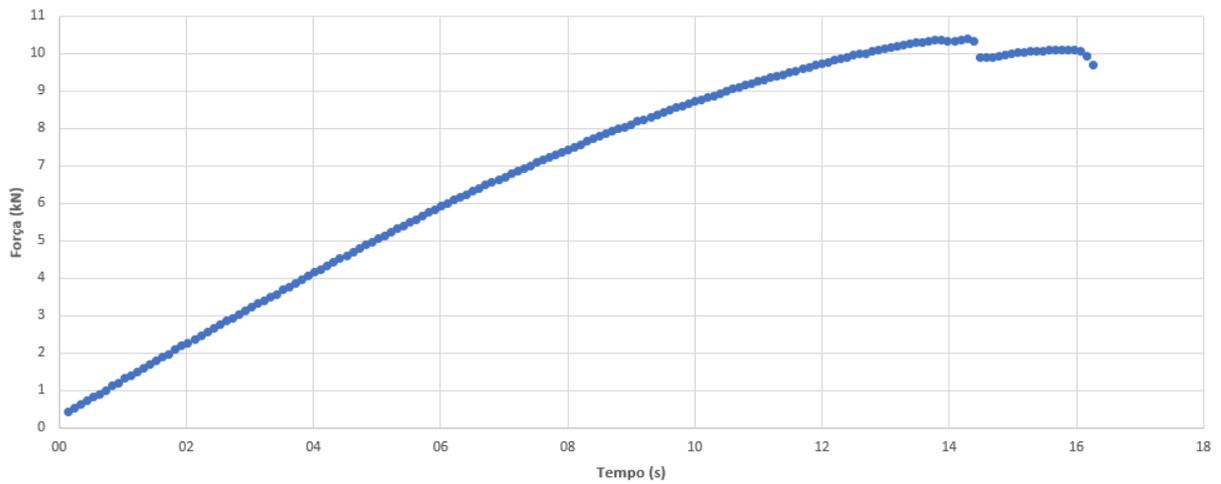
Fonte: Elaborado pelo autor

**APÊNDICE B – ENSAIOS 80 TEMPERATURA AMBIENTE**

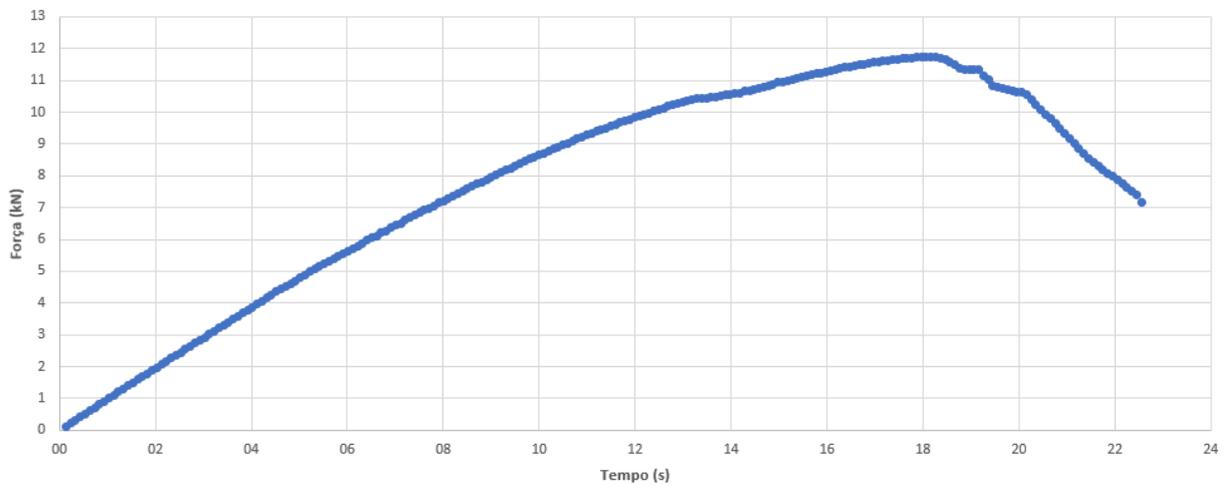
Ensaio 1

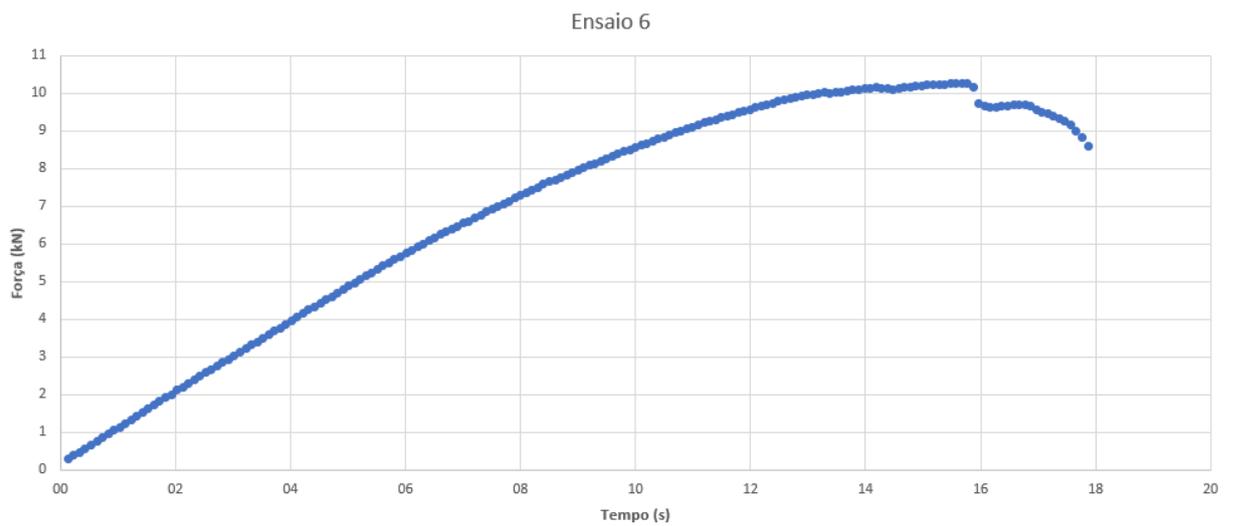
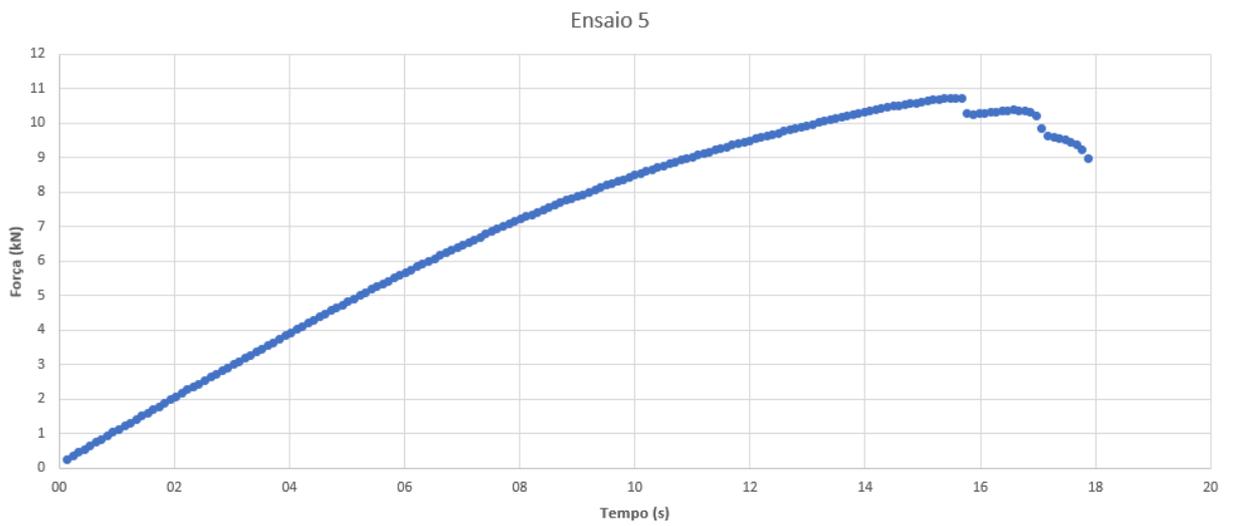
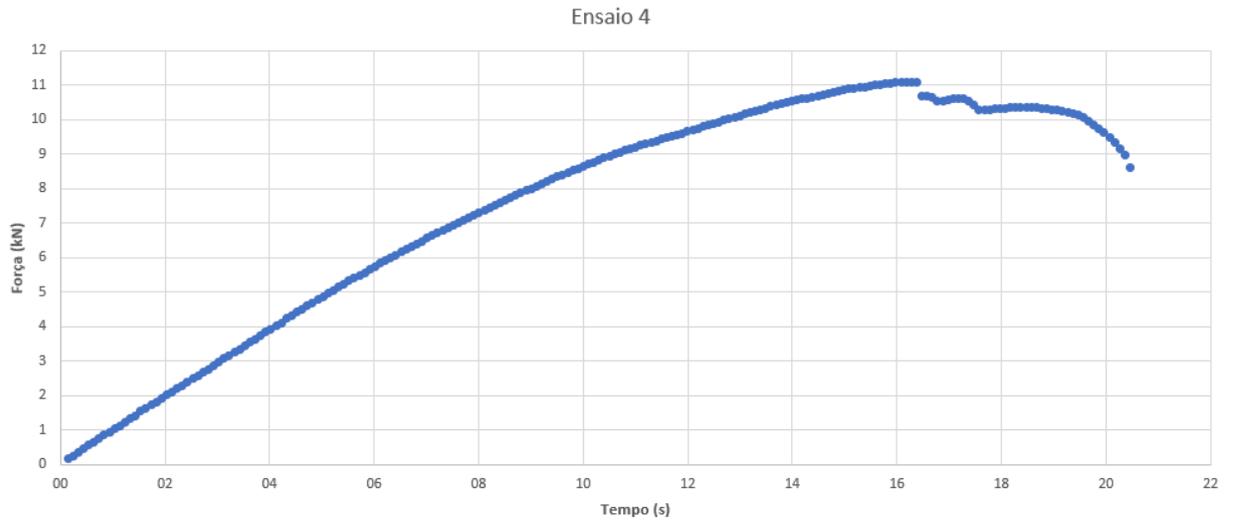


Ensaio 2



Ensaio 3

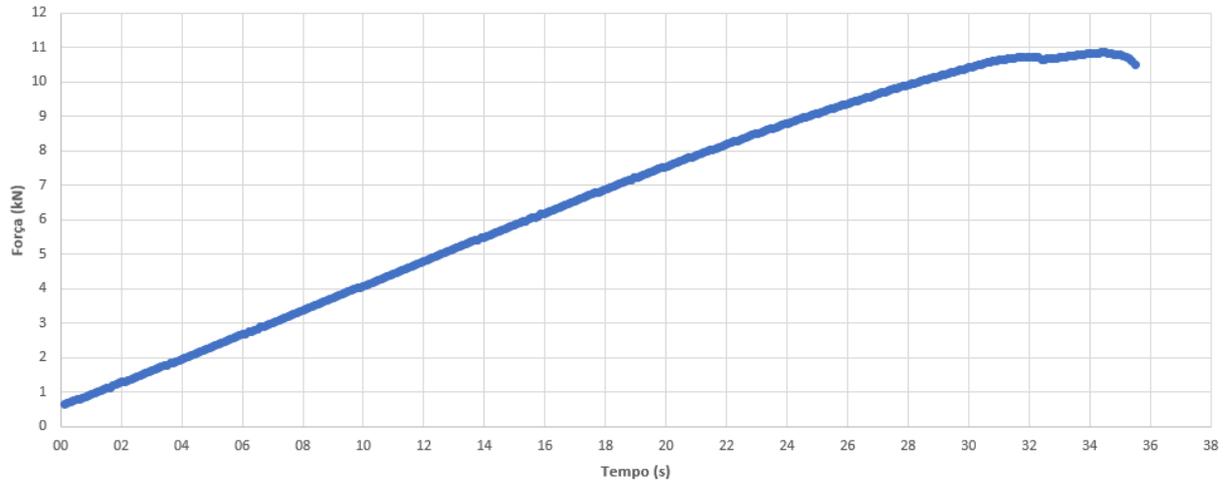




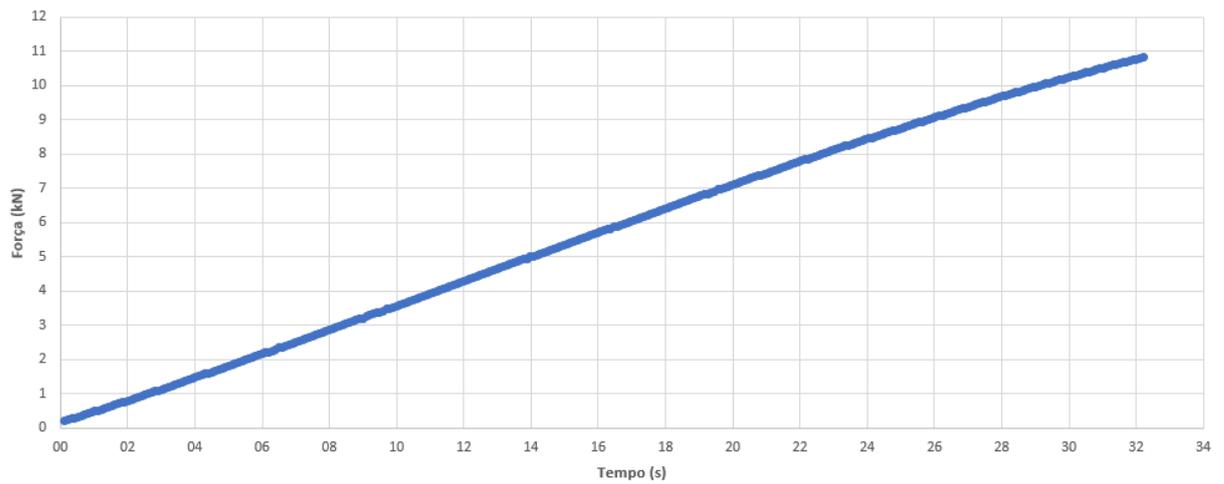
Fonte: Elaborado pelo autor

**APÊNDICE C – ENSAIOS 240 TEMPERATURA 55 °C**

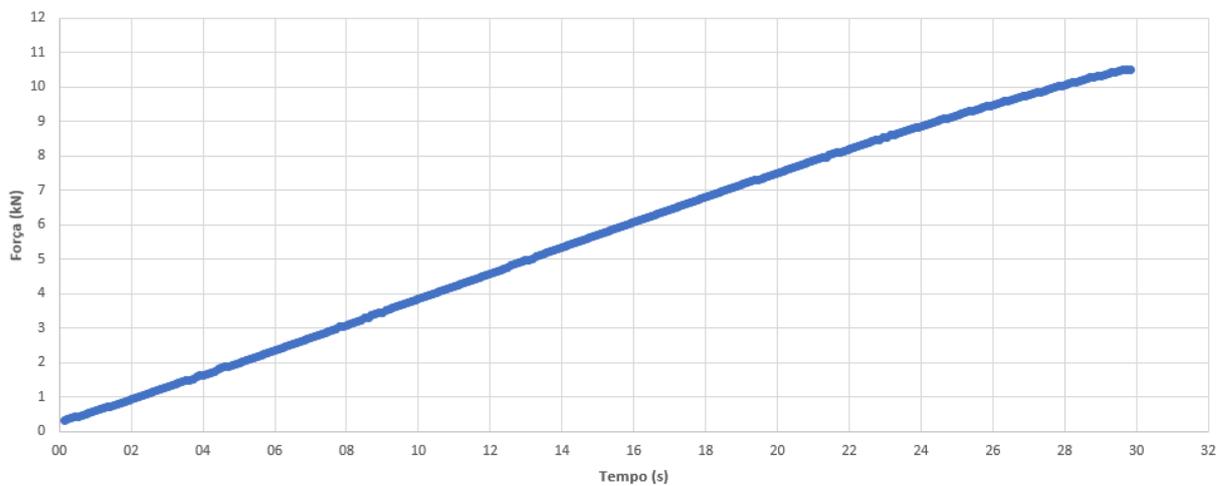
Ensaio 1



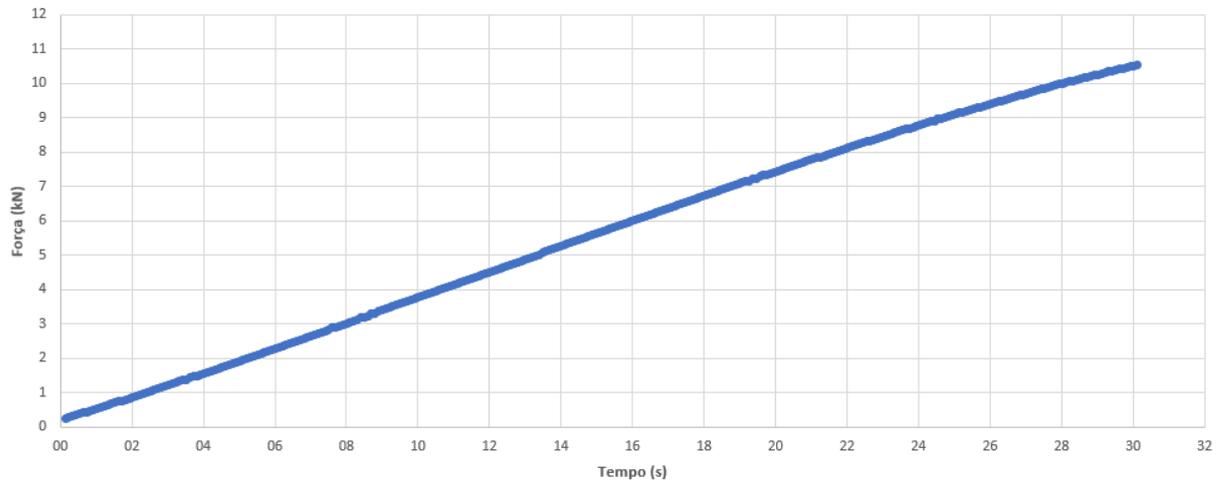
Ensaio 2



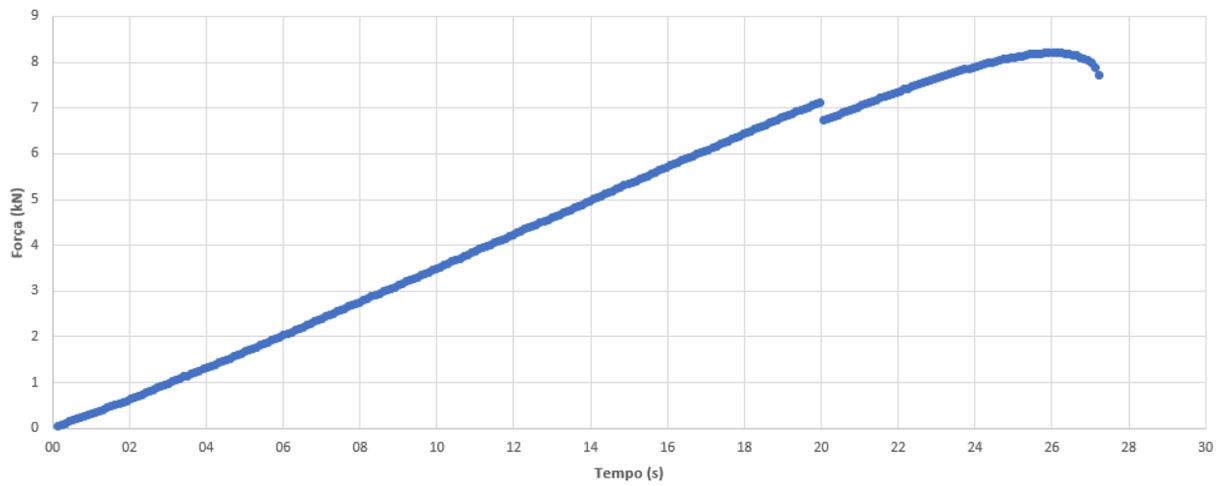
Ensaio 3



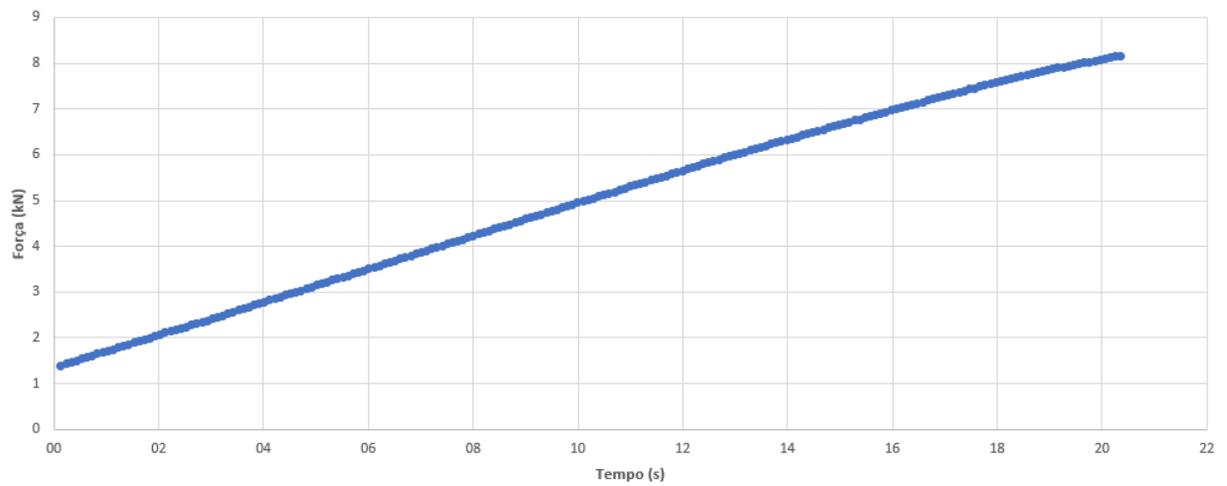
Ensaio 4



Ensaio 5



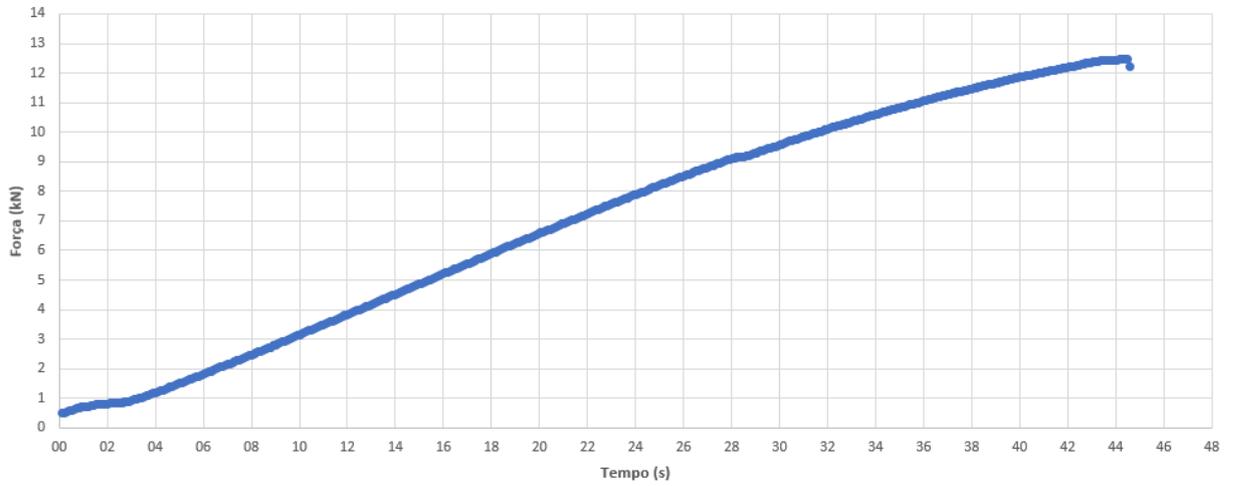
Ensaio 6



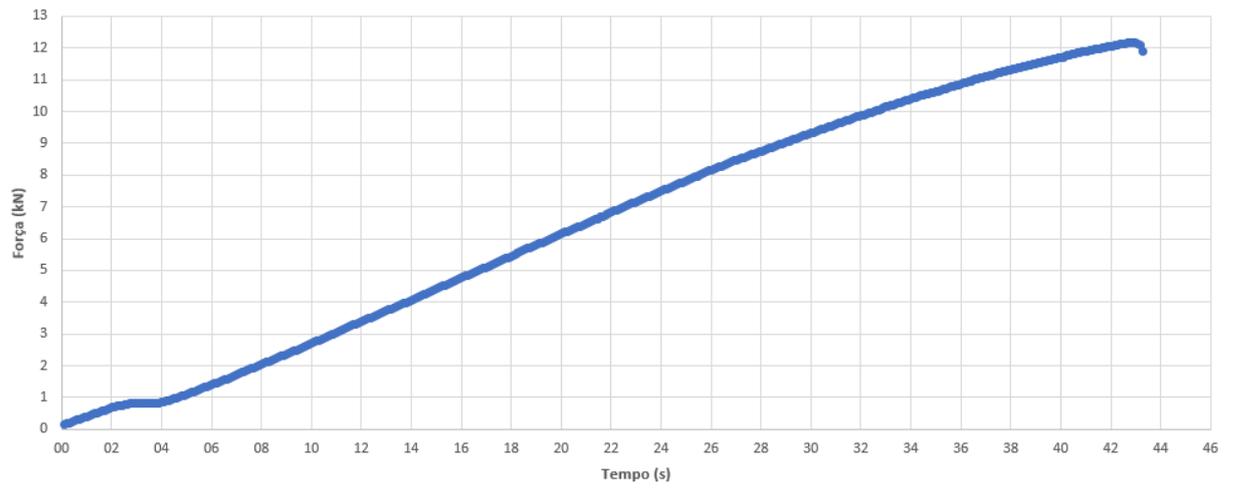
Fonte: Elaborado pelo autor

**APÊNDICE D – ENSAIOS 80 TEMPERATURA 55 °C**

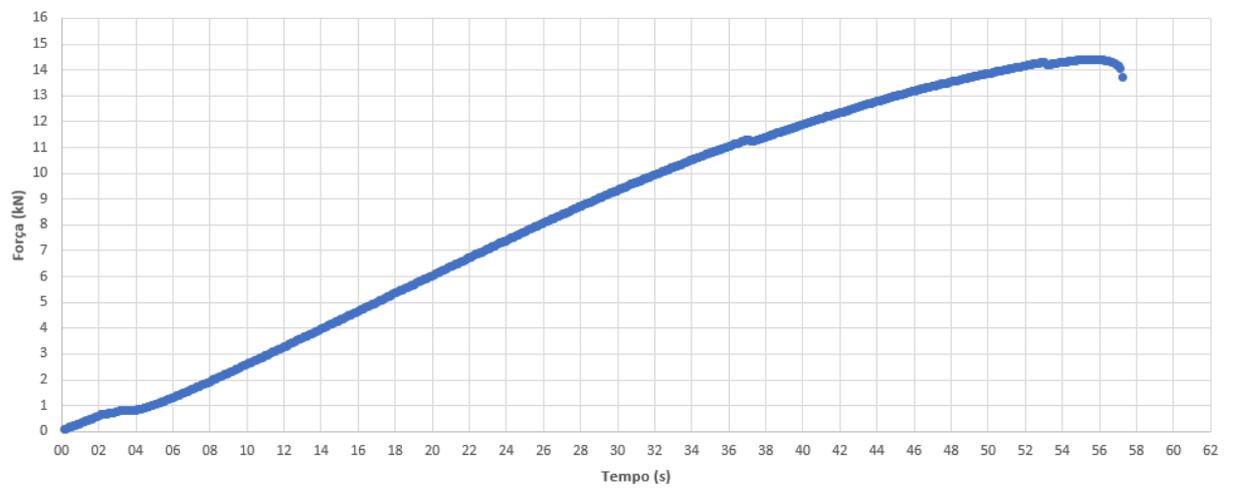
Ensaio 1



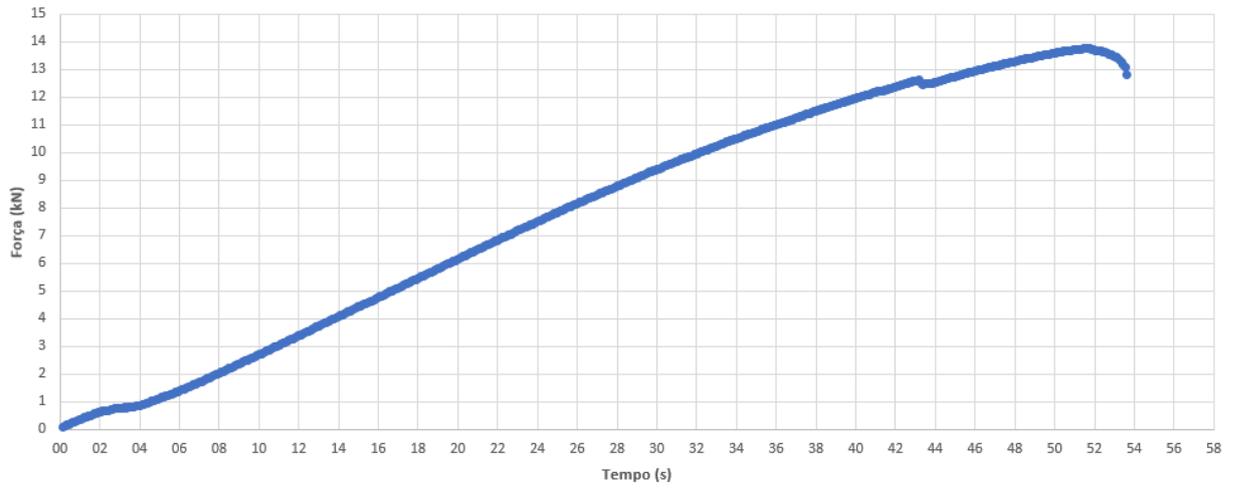
Ensaio 2



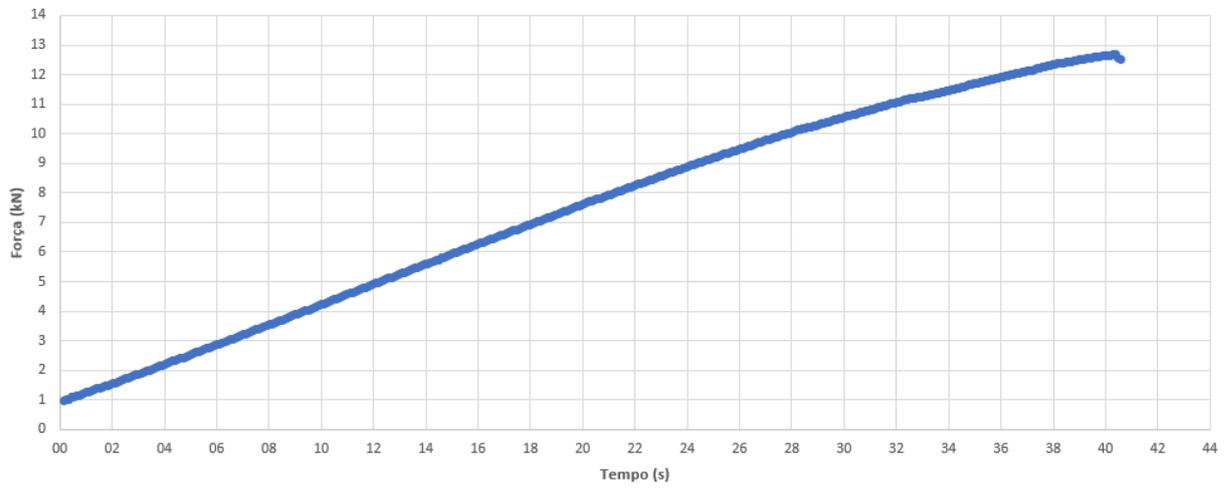
Ensaio 3



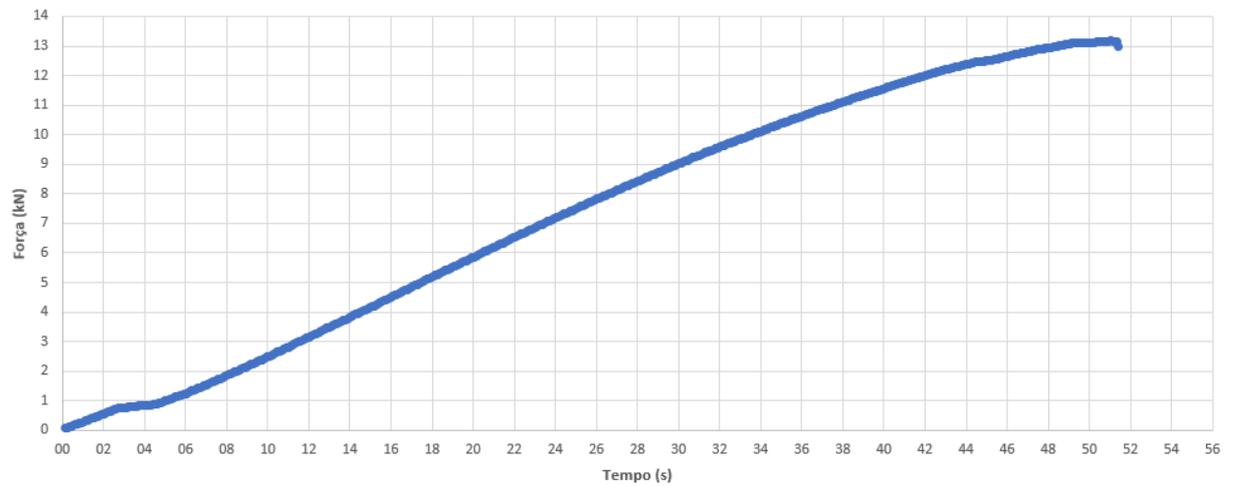
Ensaio 4



Ensaio 5



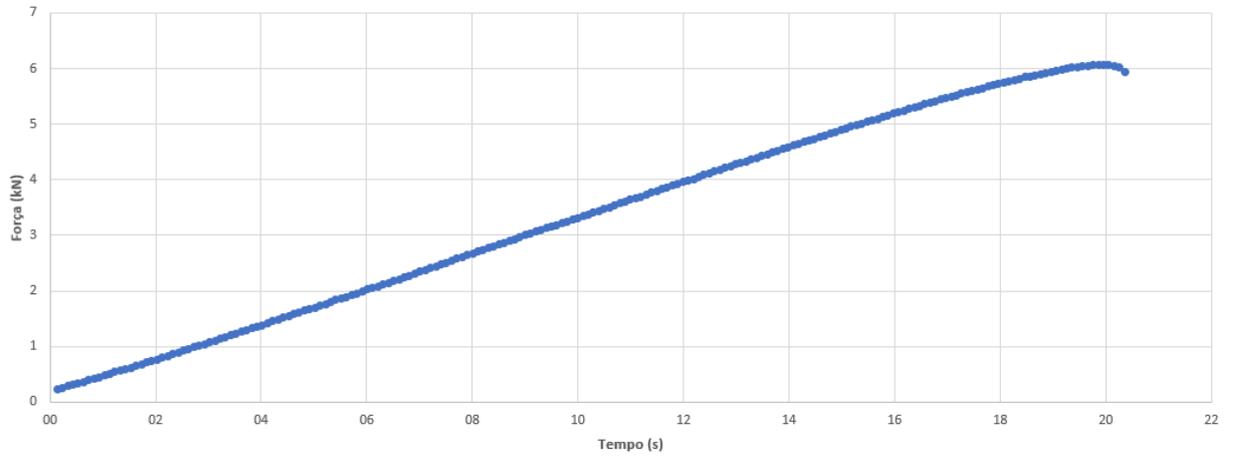
Ensaio 6



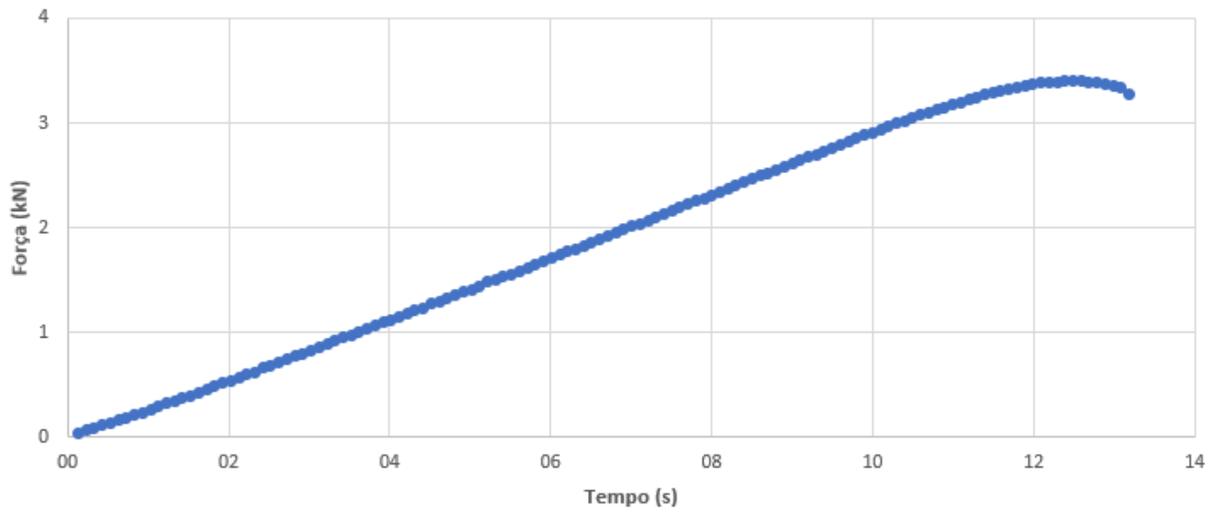
Fonte: Elaborado pelo autor

**APÊNDICE E – ENSAIOS 240 TEMPERATURA 100 °C**

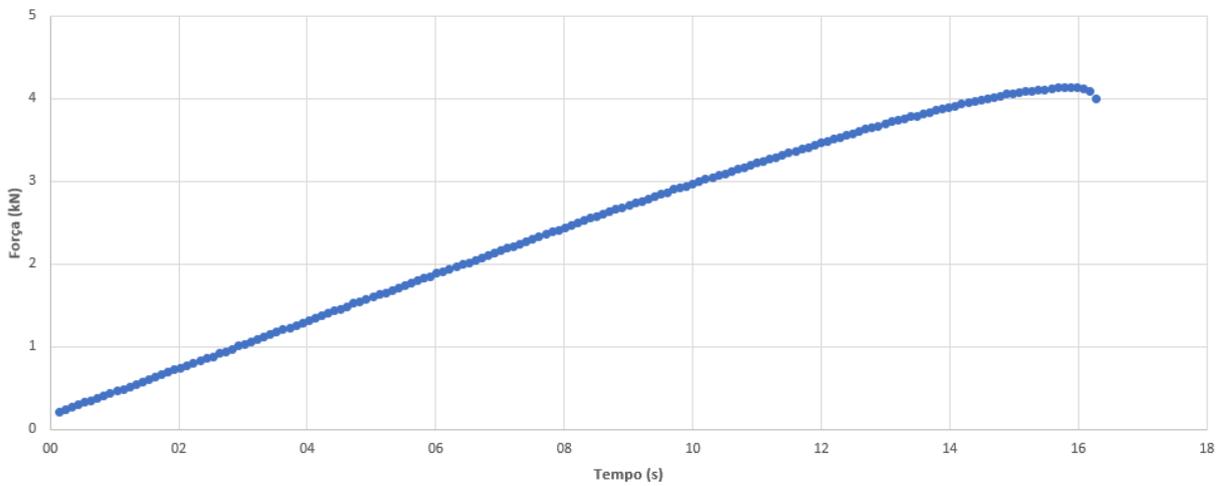
Ensaio 1



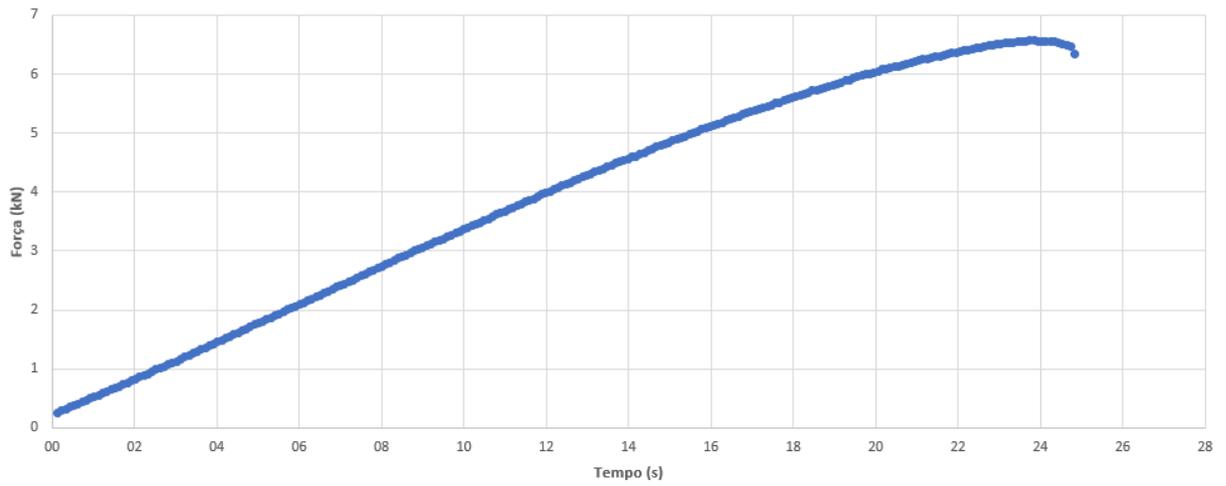
Ensaio 2



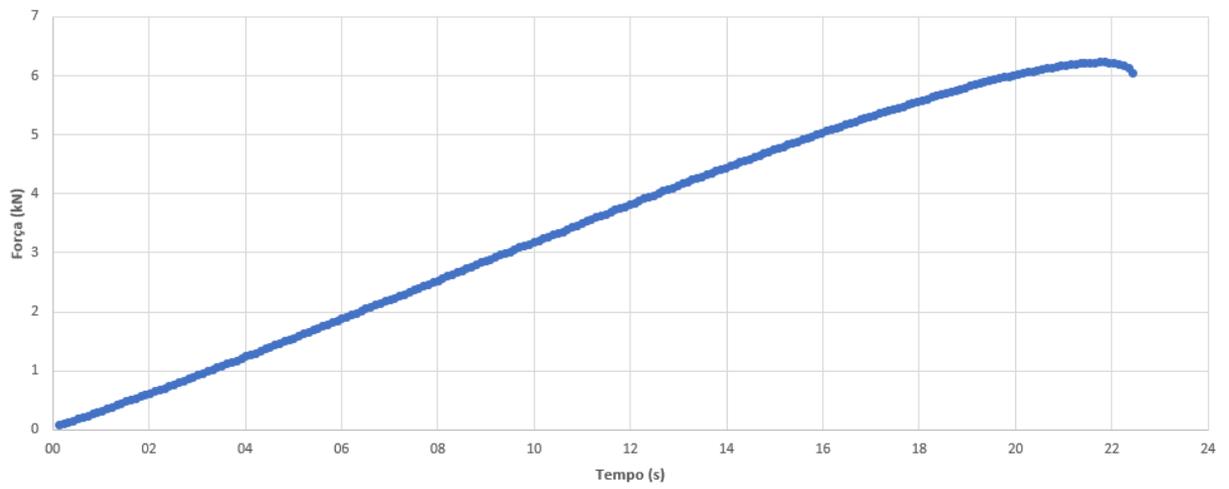
Ensaio 3



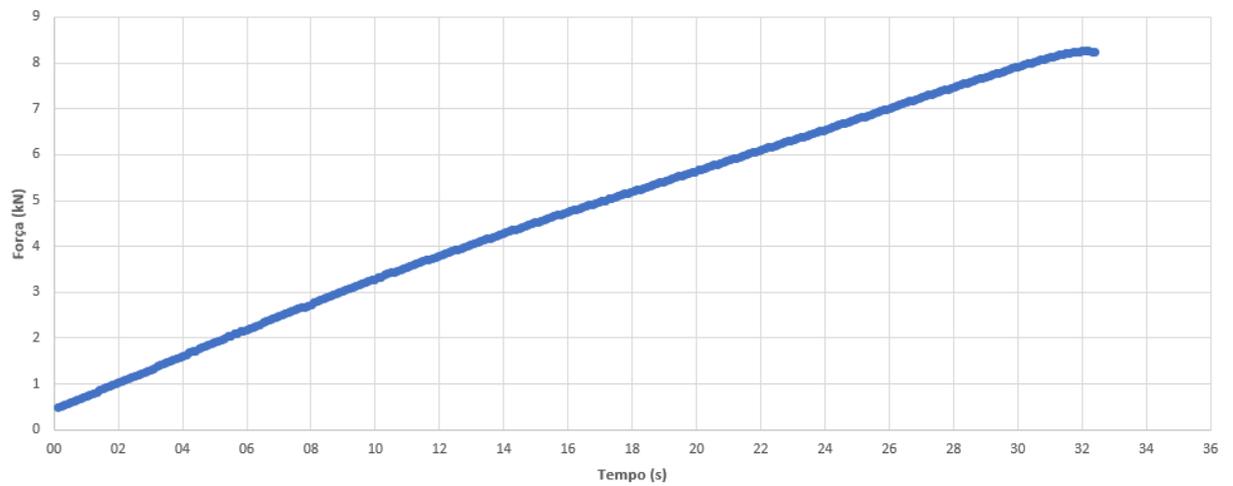
Ensaio 4



Ensaio 5



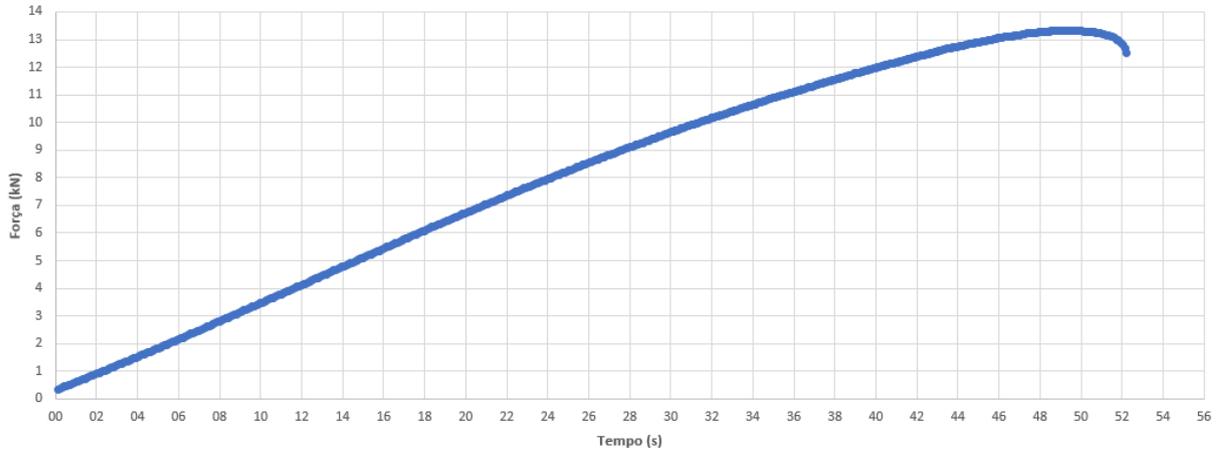
Ensaio 6



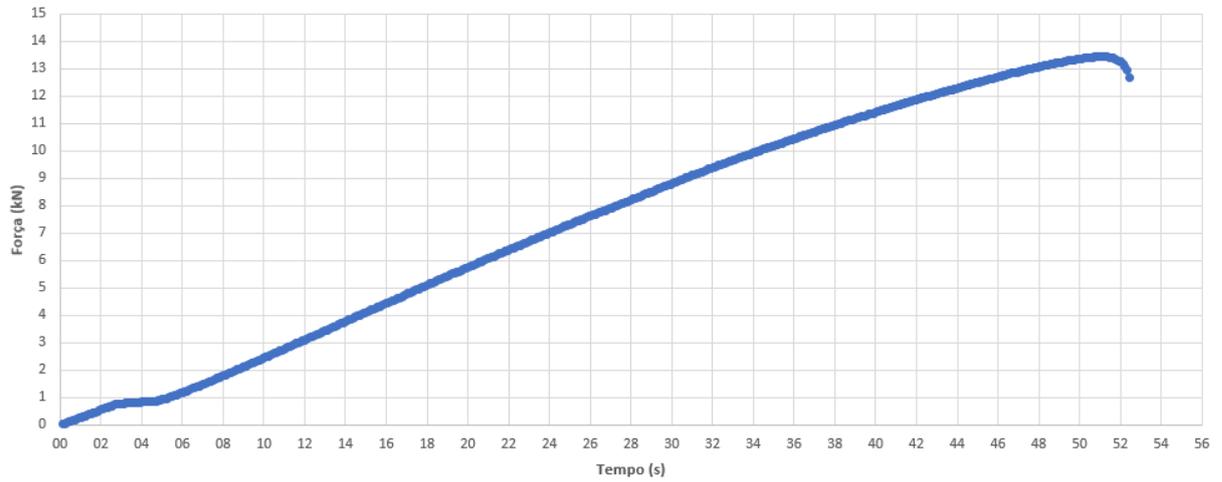
Fonte: Elaborado pelo autor

**APÊNDICE F – ENSAIOS 80 TEMPERATURA 100 °C**

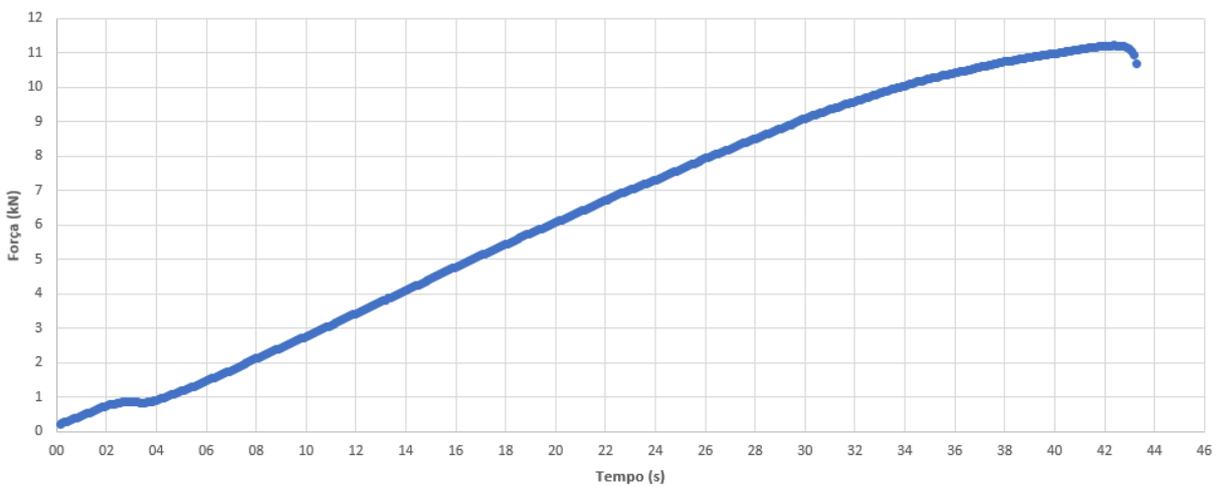
Ensaio 1



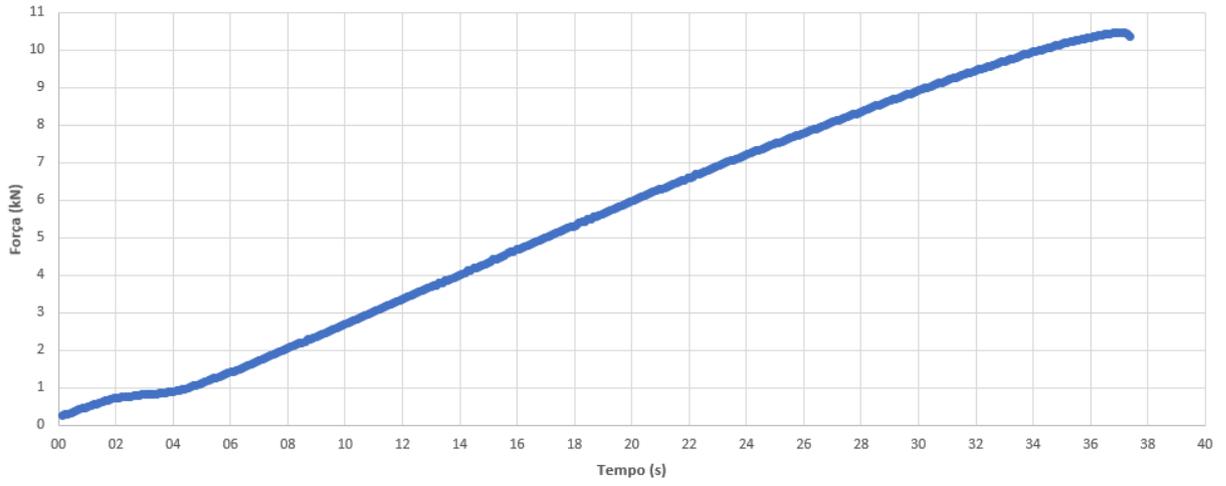
Ensaio 2



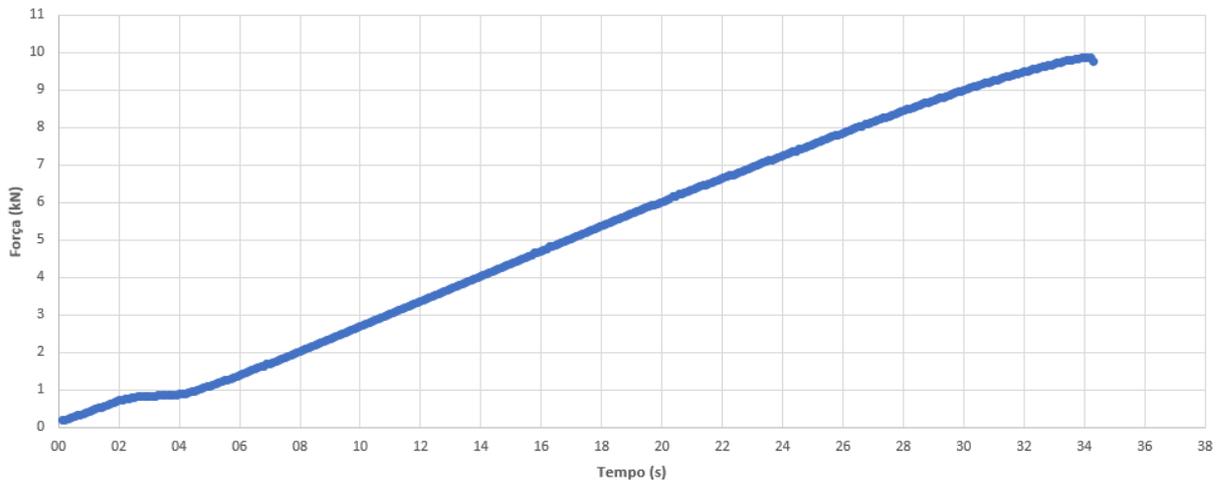
Ensaio 3



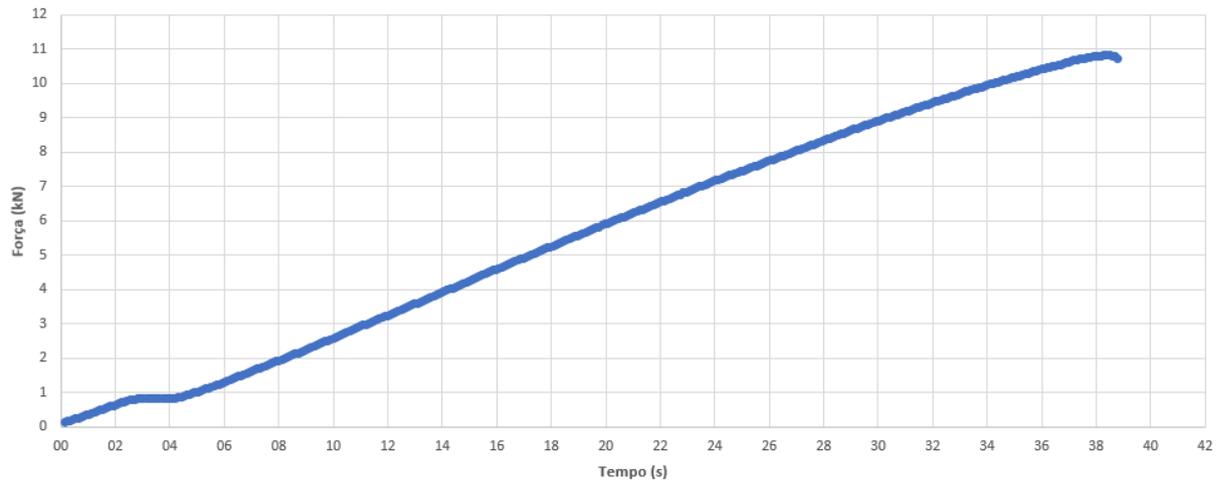
Ensaio 4



Ensaio 5



Ensaio 6



Fonte: Elaborado pelo autor

## APÊNDICE G – TABELA DE FORÇAS MÁXIMAS

	Força máxima (kN) obtida com rugosidade de 1,14 $\mu\text{m}$	Força máxima (kN) obtida com rugosidade de 3 $\mu\text{m}$
T amb	10,86	11,49
	11,56	10,38
	11,26	11,75
	11,63	11,1
	11,86	10,72
	10,42	10,28
T 55°C	10,85	12,47
	10,81	12,15
	10,52	14,4
	10,54	13,75
	8,2	12,67
	8,14	13,17
T 100°C	6,06	13,31
	3,42	13,44
	4,13	11,22
	6,57	10,46
	6,22	9,86
	8,26	10,82

Fonte: Elaborado pelo autor

## ANEXO A - FICHA TÉCNICA ADESIVO 3M SCOTCH-WELD DP460

# 3M Scotch-Weld™ Epoxy Adhesives DP460 Off-White and DP460NS

Technical Data Sheet

January 2019

**Product Description** 3M™ Scotch-Weld™ Epoxy Adhesives DP460 Off-White and DP460NS are high performance, two-part epoxy adhesives offering outstanding shear and peel adhesion, and very high levels of durability.

**Features**

- High shear strength
- 60 minute work life
- Easy mixing
- High peel strength
- Non sag (DP460NS)

**Typical Uncured  
Physical  
Properties**

**Note:** The following technical information and data should be considered representative or typical only and should not be used for specification purposes.

Product		3M™ Scotch-Weld™ Epoxy Adhesive DP460 Off-White	3M™ Scotch-Weld™ Epoxy Adhesive DP460NS
Viscosity (approx.) @ 73°F (23°C)	Base Accelerator	20,000-50,000 cps 8,000-14,000 cps	150,000-275,000 cps 8,000-14,000 cps
Base Resin	Base Accelerator	epoxy amine	epoxy amine
Color	Base Accelerator	white amber	white amber
Net Weight Lbs./Gallon	Base Accelerator	9.3-9.7 8.8-9.2	9.3-9.7 8.8-9.2
Mix Ratio (B:A)	Volume Weight	2:1 2:0.96	2:1 2:0.96
Work life, 73°F (23°C)	20 g mixed 10 g mixed 5 g mixed	60 minutes 75 minutes 90 minutes	60 minutes 60 minutes 60 minutes

## 3M™ Scotch-Weld™ Epoxy Adhesives DP460 Off-White • DP460NS

### Typical Cured Thermal Properties

Note: The following technical information and data should be considered representative or typical only and should not be used for specification purposes.

Product	3M™ Scotch-Weld™ Epoxy Adhesive DP460 Off-White	3M™ Scotch-Weld™ Epoxy Adhesive DP460NS
Physical Color	Off-white	Off-white
Shore D Hardness	75-80	78-84
Thermal Coefficient of Thermal Expansion (in./in./°C)	Below T <sub>g</sub> 59 x 10 <sup>-6</sup> Above T <sub>g</sub> 159 x 10 <sup>-6</sup>	74.44 x 10 <sup>-6</sup> 166 x 10 <sup>-6</sup>
Thermal Conductivity (btu - ft./ft. <sup>2</sup> - hr. - °F) @ 45°C	0.104	0.104
Electrical Dielectric Strength (ASTM D 149)	1100 volts/mil	727 volts/mil
Volume Resistivity (ASTM D 257)	2.4 x 10 <sup>14</sup> ohm-cm	3.25 x 10 <sup>15</sup> ohm-cm

### Typical Curing Characteristics

Note: The following technical information and data should be considered representative or typical only and should not be used for specification purposes.

Rate of Strength Build-Up  
Aluminum, Overlap Shear (7 mil Bondline) (ASTM D 1002-72)  
Bonds Tested at 73°F (23°C)

#### 3M™Scotch-Weld™ Epoxy Adhesive DP460 Off-White

Time in Oven	Cure Temperature		
	73°F (23°C)	120°F <sup>1</sup> (49°C)	140°F <sup>1</sup> (60°C)
30 minutes	—	<50	3000/60 <sup>2</sup>
60	—	1300	4500/60 <sup>2</sup>
90	—	4300/60 <sup>2</sup>	—
2 hours	—	4400/60 <sup>2</sup>	4800
3	—	4800/60 <sup>2</sup>	—
5	400	—	—
6	1000	—	—
7	3500	—	—
24	4000/60 <sup>2</sup>	—	—

#### 3M™Scotch-Weld™ Epoxy Adhesive DP460NS

Time in Oven	Cure Temperature		
	73°F (23°C)	120°F <sup>1</sup> (49°C)	160°F <sup>1</sup> (71°C)
15 minutes	—	—	4860
30	—	10	5250
60	—	2800	5300
2 hours	1	5050	5470
4	46	5400	5320
6	970	5570	5140
24	4500	—	5210

<sup>1</sup>This represents the oven temperature to which the bonds were subjected for the prescribed time. The average bondline temperature during the cure time will be somewhat lower than the oven temperature.

<sup>2</sup>The value in the denominator is the expected minimum 73°F (23°C) T-peel strength (piw) measured after the indicated cure cycle.

NOTE: The data in this Technical Data Sheet were generated using the 3M™ EPX Applicator System equipped with an EPX static mixer, according to manufacturer's directions. Thorough hand-mixing will afford comparable results.

## 3M™ Scotch-Weld™ Epoxy Adhesives DP460 Off-White • DP460NS

### Typical Adhesive Performance Characteristics

Note: The following technical information and data should be considered representative or typical only and should not be used for specification purposes.

#### Substrates and Testing

##### A. Overlap Shear (ASTM D 1002-72)

Overlap shear (OLS) strengths were measured on 1 in. wide 1/2 in. overlap specimens. These bonds were made individually using 1 in. x 4 in. pieces of substrate except for aluminum. Two panels 0.063 in. thick, 4 in. x 7 in. of 2024T-3 clad aluminum were bonded and cut into 1 in. wide samples after 24 hours. The thickness of the bondline was 0.005-0.008 in. All strengths were measured at 73°F (23°C) except where noted.

The separation rate of the testing jaws was 0.1 in. per minute for metals, 2 in. per minute for plastics and 20 in. per minute for rubbers. The thickness of the substrates were: steel, 0.060 in.; other metals, 0.05-0.064 in.; rubbers, 0.125 in.; plastics, 0.125 in.

##### B. T-peel (ASTM D 1876-61T)

T-peel strengths were measured on 1 in. wide bonds at 73°F (23°C). The testing jaw separation rate was 20 inches per minute. The substrates were 0.032 in. thick.

##### C. Bell Peel (ASTM D 3167)

Bell peel strengths were measured on 1/2 in. wide bonds at the temperatures noted. The testing jaw separation rate was 6 in. per minute. The bonds are made with 0.064 in. bonded to 0.025 in. thick adherends.

##### D. Cure Cycle

With the exception of Rate of Strength Build-Up Tests, all bonds, were cured 7 days at 73°F (23°C) at 50% RH before testing or subjected to further conditioning or environmental aging.

#### Aluminum, Overlap Shear, at Temperature (PSI)

	3M™ Scotch-Weld™ Epoxy Adhesive DP460 Off-White	3M™ Scotch-Weld™ Epoxy Adhesive DP460NS
-67°F (-55°C)	4500	4900
73°F (23°C)	4500	4650
180°F (82°C) (15 min.) <sup>1</sup>	700	1360
(30 min.) <sup>1</sup>	1000	1810
(60 min.) <sup>1</sup>	1400	2630
(4 hr.) <sup>1</sup>	2500	2680
250°F (121°C) (15 min.) <sup>1</sup>	220	420

<sup>1</sup>Represents time in test chamber oven before test.

#### Metals, Overlap Shear, Tested @ 73°F (23°C) (PSI)

Aluminum	Etched	4500	4500
	Oakite degreased	3200	2300
	MEK/abrade/MEK	3500	2670
Cold Rolled Steel	Oakite degreased	3500	—
	MEK/abrade/MEK	2800	3600
Copper	MEK/abrade/MEK	4000	4400
Brass	MEK/abrade/MEK	—	3400
	CDA 260	4000	—
	Cartridge	4200	—
Stainless Steel	MEK/abrade/MEK	4000	2400
Galvanized Steel	Oakite degreased	2000	2480
	Hot dipped	2100	3000
	Electrodeposited		