

## **Colagem Aplicada a Indústria Automobilística**

**Alunos: Alexandre Tavares e Andrew Guedes**

**Orientador: Ivani de S. Bott**

**Co-Orientador: José Roberto D’Almeida**

### **Introdução**

A idéia de se unir corpos sólidos por meio de colagem, já existe há muito tempo. Tudo começou com o uso de colas animais e vegetais, para a colagem de materiais porosos. Entretanto, logo se percebeu que estas apresentavam fraca resistência a umidade e a moldagem [1].

As vantagens oferecidas pelas colas adesivas às indústrias são muito grandes, no entanto havia necessidade de uma melhora nas propriedades dos adesivos, para que pudesse realmente atender as necessidades industriais. Com isso, as inovações e estudos foram, aos poucos, desenvolvendo novos adesivos que atendessem cada vez melhor estas necessidades. Uma destas é a colagem de metais, que tem beneficiado muito a indústria automobilística, por exemplo.

Uma das principais vantagens dos adesivos em geral é poder unir materiais similares e dissimilares sem deixar de fornecer rigidez às juntas. Mas, para que as juntas funcionem como o esperado, é preciso conhecer as propriedades do adesivo, o processo de cura da colagem e levar em conta fatores que possam limitar a utilização deste, ou seja, as condições do ambiente. Tão importante quanto conhecer o adesivo, é conhecer o aderente, isto é, a superfície na qual será aplicada a cola. Geralmente, a condição da superfície do aderente influi diretamente para uma boa união e durabilidade das juntas [2]. Dentre outras vantagens, a colagem também apresenta um custo que pode ser considerado baixo, além de ser de relativamente fácil aplicação e possibilitar soluções inovadoras nas indústrias, com destaque para a automobilística e aeronáutica.

No caso da produção da carroceria de automóveis, a qual é realizada por chapas de aço cuja espessura pode variar entre 2,0 a 0,5mm, pode-se utilizar a colagem para formar uma unidade que permita gerar o automóvel como um todo. Essa Colagem (Adhesive Bonding) de aços é o objeto de estudo deste trabalho.

No atual estágio do trabalho, estão sendo caracterizadas as superfícies de dois aços do tipo DP (Dual Phase) de aplicação para a indústria automobilística, mais especificamente: DP600 e DP780.

O estudo das superfícies dos aços está sendo feito, e é necessário para poder compreender o comportamento do material aderente em si. Só então, poderão ser avaliadas as relações entre adesivos e aderentes (aços), ou seja, as juntas. Entretanto, é importante destacar que o trabalho abordará a relação aderente/adesivo de forma a avaliar as mais diversas condições (juntas/adesivos/ambiente). Deste modo serão avaliadas as condições nas quais haverá maior aderência do adesivo, ou rigidez, ou resistência ao cisalhamento da junta.

## Métodos Experimentais para a Caracterização das Superfícies Aderentes

### A. Microdureza

Para o teste de microdureza [3], foram separadas duas amostras de cada aço onde são realizados dois ensaios;

- um com a amostra sem embutimento, i. é, na condição de como recebida
- e outro com a amostra embutida.

Neste processo, chamado de embutimento a frio, as amostras são mergulhadas em uma solução de resina levando até 24 horas para a cura do conjunto. Após a cura as amostras de aço são lixadas, polidas e atacadas por uma solução de Nital 2% de modo a revelar a microestrutura do aço. Foram utilizadas lixas com granulometria de 220, 320, 400, 600 e 1200 e o procedimento é bem simples: quando todos os “arranhões” estiverem na mesma direção, pode-se ir para a lixa seguinte. Após o lixamento, as amostras são polidas em geral em panos especiais, colados a pratos giratórios, sobre os quais são depositadas pequenas quantidades de abrasivos, no caso pasta de diamante, e por fim atacadas pela solução de Nital 2%.

Para a medida de microdureza, o microdurímetro é calibrado com uma carga de 200 gf/mm<sup>2</sup>, devido à pequena espessura da chapa. O método utilizado para a medida de microdureza foi o Vickers (Hv) no qual o penetrador é uma pirâmide de diamante de base quadrada, praticamente indeformável, com um ângulo de 136° entre as faces opostas. Como todas as impressões são semelhantes entre si, a dureza Vickers independe da carga, i. é, o número de microdureza obtido é o mesmo qualquer que seja a carga usada para materiais homogêneos.

### Resultados e Discussão

Os resultados encontrados para ambos os aços e suas respectivas superfícies estão nas tabelas 1 e 2 abaixo:

**Tabela1** – Amostras na condição de como recebidas, sem embutimento

| DP600                        |                              |      | DP780                        |                              |      |
|------------------------------|------------------------------|------|------------------------------|------------------------------|------|
| Superfície 1<br>Vickers (HV) | Superfície 2<br>Vickers (HV) |      | Superfície 1<br>Vickers (HV) | Superfície 2<br>Vickers (HV) |      |
| 1                            | 81.2                         | 78.6 | 1                            | 83.1                         | 81.6 |
| 2                            | 80.4                         | 75.1 | 2                            | 82.0                         | 80.6 |
| 3                            | 79.7                         | 77.6 | 3                            | 81.6                         | 79.2 |
| 4                            | 79.2                         | 78.9 | 4                            | 80.9                         | 78.8 |
| 5                            | 79.0                         | 78.8 | 5                            | 80.5                         | 78.6 |

**Tabela2** – Amostras na condição de como recebidas após lixamento, polimento e atacadas

| <b>Vickers (HV)</b> |       | <b>Vickers (HV)</b> |       |
|---------------------|-------|---------------------|-------|
| 1                   | 176.0 | 1                   | 222.0 |
| 2                   | 179.0 | 2                   | 217.0 |
| 3                   | 178.0 | 3                   | 226.0 |
| 4                   | 180.0 | 4                   | 214.0 |
| 5                   | 179.0 | 5                   | 207.0 |
| 6                   | 181.0 | 6                   | 231.0 |
| 7                   | 188.0 | 7                   | 231.0 |
| 8                   | 172.0 | 8                   | 224.0 |
| 9                   | 181.0 | 9                   | 223.0 |
| 10                  | 173.0 | 10                  | 217.0 |
| <b>DP600</b>        |       | <b>DP780</b>        |       |

Nota-se que há uma considerável diferença na medida de microdureza entre as amostras na condição de como recebida sem embutimento e após preparação metalográfica e embutida.

Isso ocorre, devido ao fato da chapa na condição de como recebida possuir uma camada anti-corrosiva originada do processo de galvanização.

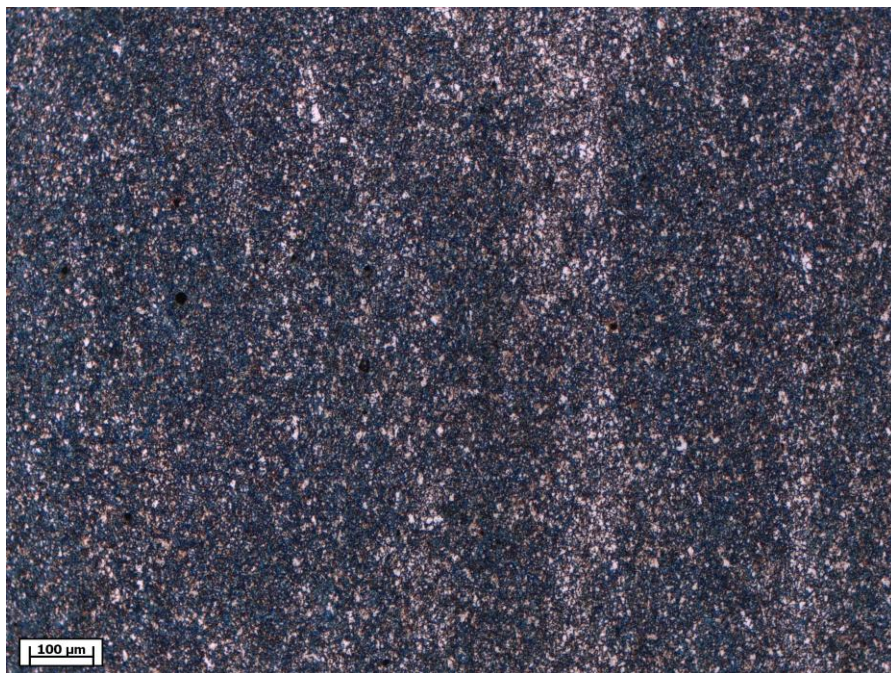
Já na amostra embutida, ao ser lixada, polida e atacada, essa camada é retirada e o ensaio é realizado diretamente na superfície abaixo da camada galvanizada.

## **B. Metalografia**

Para caracterização da microestrutura, foi utilizado o Microscópio Ótico (MO) e o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) nos aumentos de 50, 100 (Fig.1), 200, 500 e 1000 vezes e 150, 500, 1000 (Fig.2), 2500 e 10000 vezes, respectivamente. Também foi possível ter uma noção da espessura da camada de zinco no MEV, assim como a observação de algumas inclusões não metálicas presentes na microestrutura. Para o preparo das amostras, é necessário o mesmo procedimento do ensaio de microdureza, o embutimento a frio.



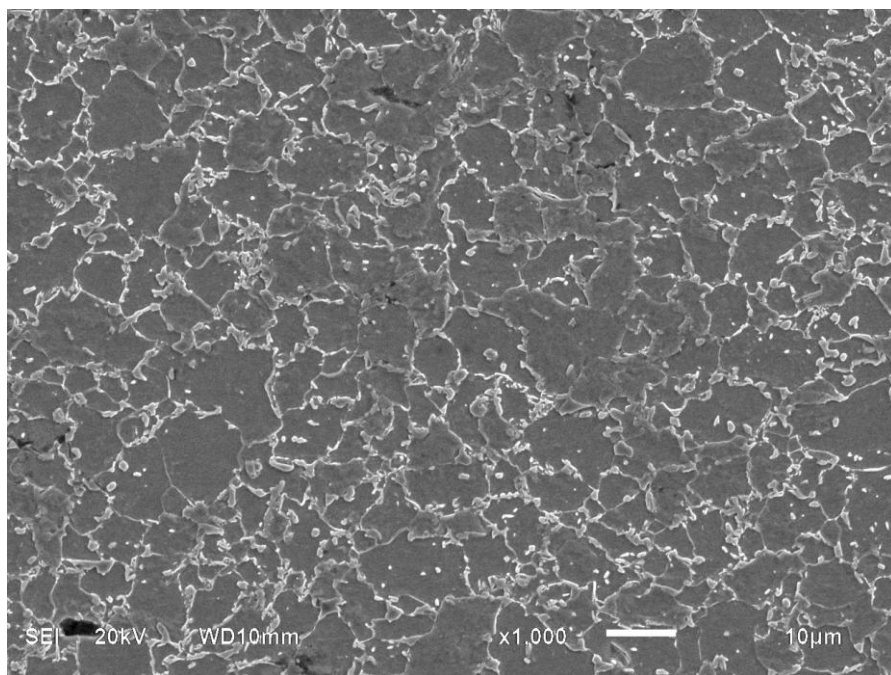
(a)



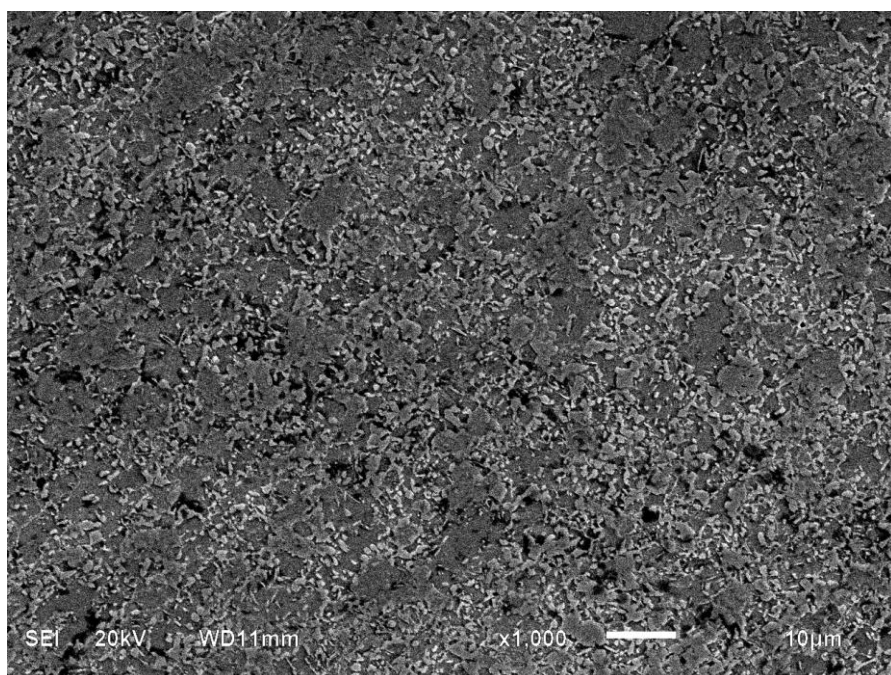
(b)

**Figura1:** Microscopia Ótica (MO) (a) DP600, com aumento de 100X e (b) DP780 com aumento de 100X





(a)



(b)

**Figura2:** Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) (a) DP600, com aumento de 1000X e (b) DP780, com aumento de 1000X

## Resultados e Discussão

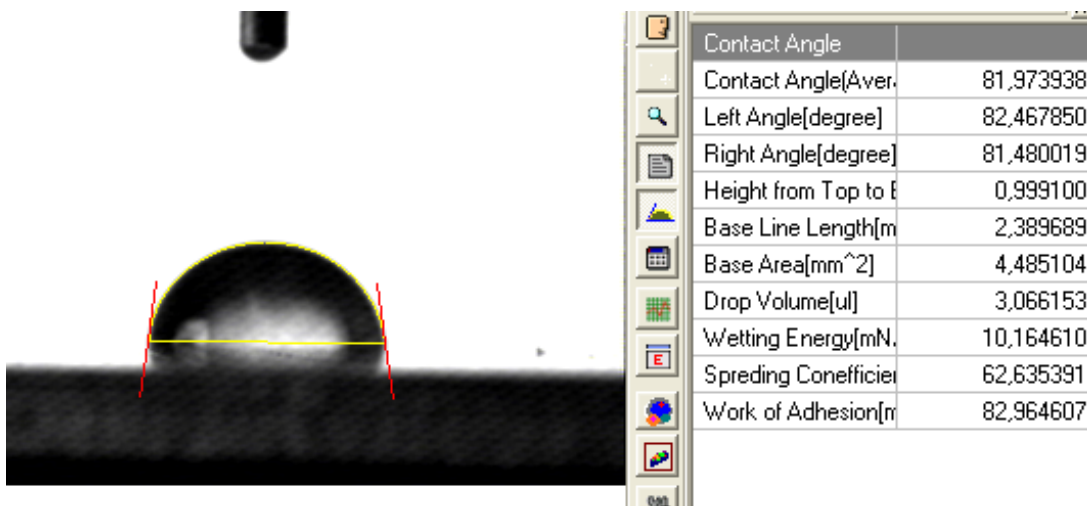
Analisando os resultados obtidos, tem-se uma noção geral da estrutura dos aços do presente trabalho, e pode-se observar que a granulometria da amostra DP780 é mais fina do que a da amostra do DP600. Em ambos os aços a microestrutura é ferrítica com ilhas martensíticas dispersas.

### C. Molhabilidade

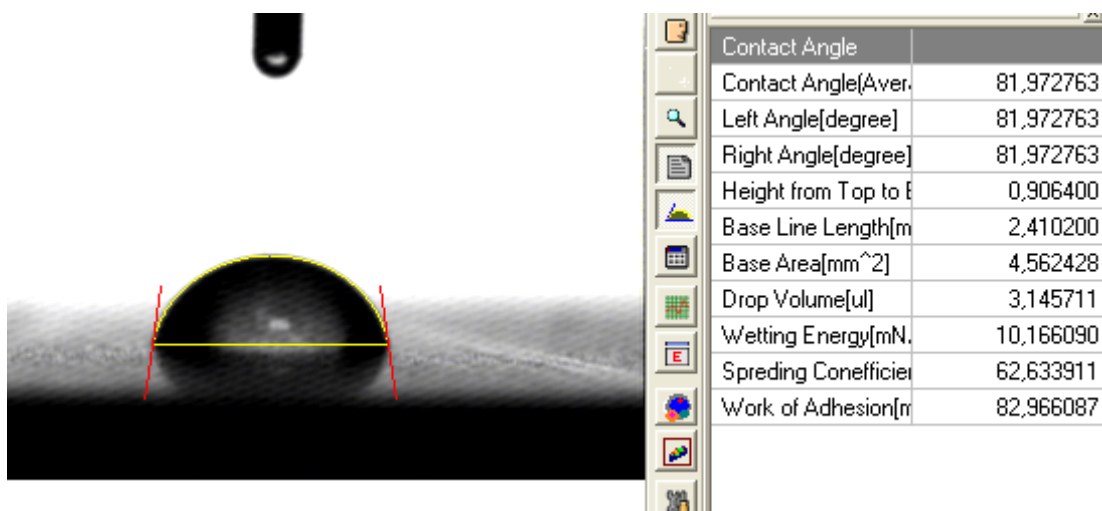
Os ensaios de molhabilidade [2] são feitos com uma máquina chamada goniômetro e consiste em aplicar uma gota de um fluido (no caso foi usado água filtrada por osmose reversa que não contém as impurezas encontradas na água comum de torneira como cloro, nitratos, mercúrio, alumínio, devido ao seu processo intenso de filtragem) na superfície de interesse e, ao atingir tal superfície, é registrado através de uma câmera acoplada ao equipamento, o ângulo de contato entre a amostra e a gota. Em seguida, o programa associado ao goniômetro faz os devidos cálculos, mostrando os resultados obtidos.

### Resultados e Discussões

A molhabilidade é avaliada pelo ângulo de contato do líquido com a superfície sólida e quanto maior esse ângulo maior a molhabilidade, i. é, mais o fluido molha a amostra. Durante a realização dos ensaios, as gotas não se espalharam e resultados muitos semelhantes foram obtidos em ambos os aços.



(a)



(b)  
**Figura3:** Imagens do ensaio de molhabilidade (a) DP600, (b) DP780

#### D. Análise Química

A caracterização da composição química das amostras de aço permite saber que elementos químicos formam a estrutura das chapas em questão, além do ferro. A partir da análise química é possível classificar e comparar a microestrutura dos aços em estudo.

#### Resultados e Discussões

A análise foi feita por uma empresa chamada Tork, os resultados para DP600 e DP780 encontram-se logo abaixo:

**Tabela 3 – Composição Química DP600**

| Elemento   | Composição Química (%) |
|------------|------------------------|
| Carbono    | 0.105                  |
| Manganês   | 1.81                   |
| Silício    | 0.247                  |
| Cromo      | 0.345                  |
| Molibdênio | <0.002                 |
| Nióbio     | <0.003                 |
| Vanádio    | 0.0027                 |
| Titânio    | 0.0023                 |
| Fósforo    | 0.014                  |
| Enxofre    | <0.001                 |

**Tabela4 – Composição Química DP780**

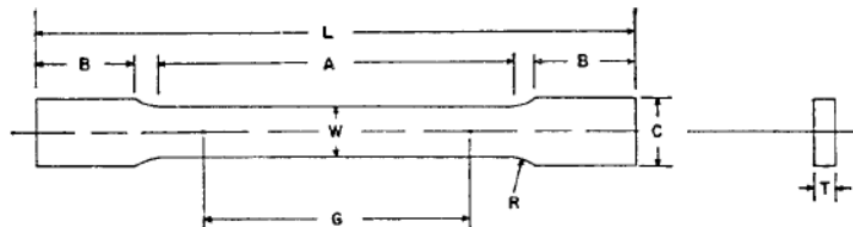
| Elemento   | Composição Química (%) |
|------------|------------------------|
| Carbono    | 0.136                  |
| Manganês   | 1.99                   |
| Silício    | 0.223                  |
| Cromo      | 0.264                  |
| Molibdênio | 0.087                  |
| Nióbio     | 0.0072                 |
| Vanádio    | 0.0042                 |
| Titânio    | 0.020                  |
| Fósforo    | 0.018                  |
| Enxofre    | 0.0029                 |

A análise química dos aços mostra que o teor de carbono no DP600 é menor do que no DP780, então, ao que tudo indica, o aço DP600 possui uma capacidade de se alongar maior, se comparado ao aço DP780, ao mesmo tempo em que possui, provavelmente, um limite de escoamento menor que o aço DP780.

### E. Ensaio de Tração

Na indústria automobilística, é muito importante conhecer o comportamento mecânico dos aços a serem utilizados. Antes das juntas serem analisadas, é necessário saber quantitativamente os limites de escoamento dos aços e as deformações a que possam ser submetidos, sem que se atravesse a fronteira do regime elástico para o regime plástico.

O ensaio de tração promove, então, a aplicação de uma força em um corpo sólido (aço, no caso) gerando uma deformação do material na direção do esforço, ou seja, alongando-o. O corpo de prova é fixado a partir de garras em uma máquina que aplica esforços crescentes na direção axial, em que as deformações no corpo de prova são medidas através de um extensômetro [4]. Esse dispositivo deve ser retirado antes do rompimento para não sofrer danos. As garras tracionam a amostra enquanto um gráfico Tensão x Deformação até o rompimento é gerado por um programa residente. Para o ensaio em questão, foi necessária a usinagem de três amostras das chapas finas nas dimensões especificadas pela norma ASTM A370 equivalentes ao *subsize* (última coluna – subsize specimen).



DIMENSIONS

|  | Standard Specimens                 |               |                               |               |                                     |              | Subsize Specimen                    |             |
|--|------------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------------|--------------|-------------------------------------|-------------|
|  | Plate-Type,<br>1½-in. (40-mm) Wide |               |                               |               |                                     |              | Sheet-Type, ½<br>in. (12.5-mm) Wide |             |
|  | 8-in. (200-mm)<br>Gauge Length     |               | 2-in. (50-mm)<br>Gauge Length |               | Sheet-Type, ½<br>in. (12.5-mm) Wide |              | ¼-in. (6-mm) Wide                   |             |
|  | in.                                | mm            | in.                           | mm            | in.                                 | mm           | in.                                 | mm          |
| G—Gauge length<br>(Notes 1 and 2)                                  | 8.00 ± 0.01                        | 200 ± 0.25    | 2.000 ± 0.005                 | 50.0 ± 0.10   | 2.000 ± 0.005                       | 50.0 ± 0.010 | 1.000 ± 0.003                       | 25.0 ± 0.08 |
| W—Width<br>(Notes 3, 5, and 6)                                     | 1½ + ⅛<br>– ¼                      | 40 + 3<br>– 6 | 1½ + ⅛<br>– ¼                 | 40 + 3<br>– 6 | 0.500 ± 0.010                       | 12.5 ± 0.25  | 0.250 ± 0.002                       | 6.25 ± 0.05 |
| T—Thickness<br>(Note 7)  | Thickness of Material              |               |                               |               |                                     |              |                                     |             |
| R—Radius of fillet, min<br>(Note 4)                                | ½                                  | 13            | ½                             | 13            | ½                                   | 13           | ¼                                   | 6           |
| L—Overall length, min<br>(Notes 2 and 8)                           | 18                                 | 450           | 8                             | 200           | 8                                   | 200          | 4                                   | 100         |
| A—Length of<br>reduced section, min                                | 9                                  | 225           | 2¼                            | 60            | 2¼                                  | 60           | 1¼                                  | 32          |
| B—Length of grip section, min<br>(Note 9)                          | 3                                  | 75            | 2                             | 50            | 2                                   | 50           | 1¼                                  | 32          |
| C—Width of grip section, approxi-<br>mate<br>(Notes 4, 10, and 11) | 2                                  | 50            | 2                             | 50            | ¾                                   | 20           | ¾                                   | 10          |

Em um ensaio de tração, o importante é registrar determinados pontos na curva do gráfico Tensão x Deformação: o limite de escoamento e a máxima deformação no regime elástico. Para aços como baixo teor de carbono (que é o caso dos aços utilizados para o ensaio) o limite de proporcionalidade entre tensão e deformação pode ser interpretado também como o limite de escoamento (escoamento nítido). Esse escoamento é a transição heterogênea localizada entre a deformação elástica e plástica. Com isso, sabe-se também que a deformação relacionada à tensão no limite de escoamento é a máxima para o regime elástico da amostra. Ainda no regime elástico, pode-se calcular o módulo de elasticidade do aço, que é a derivada da reta proporcional deste regime. As medidas fornecidas pelo extensômetro

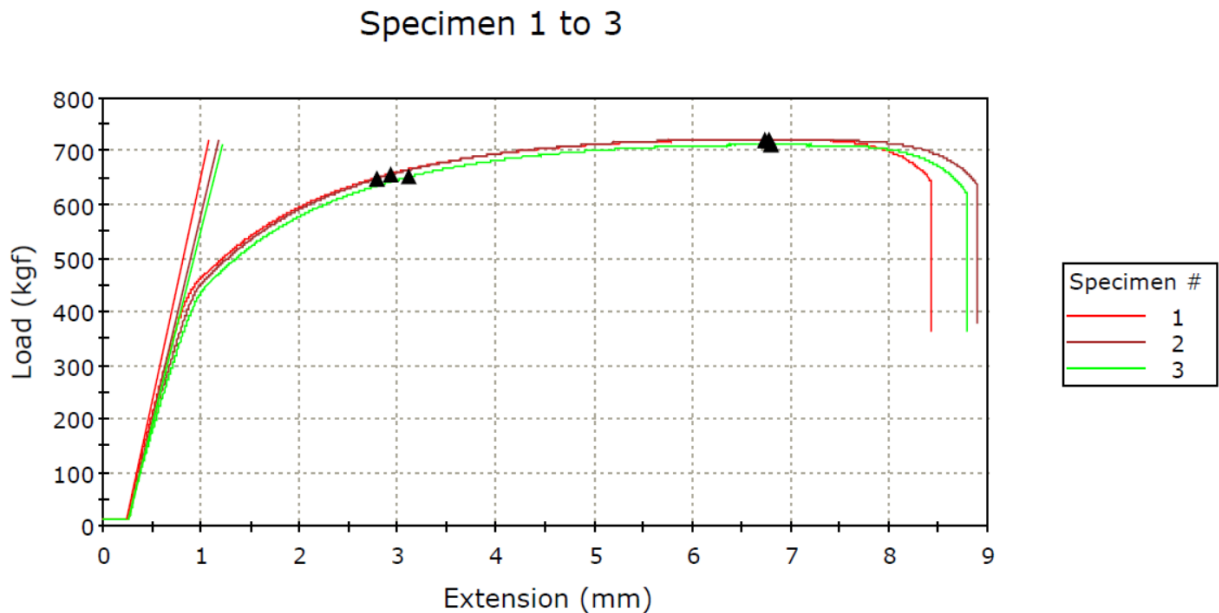


permitem calcular a rigidez do material nas direções perpendiculares a direção da carga aplicada, o coeficiente de Poisson.

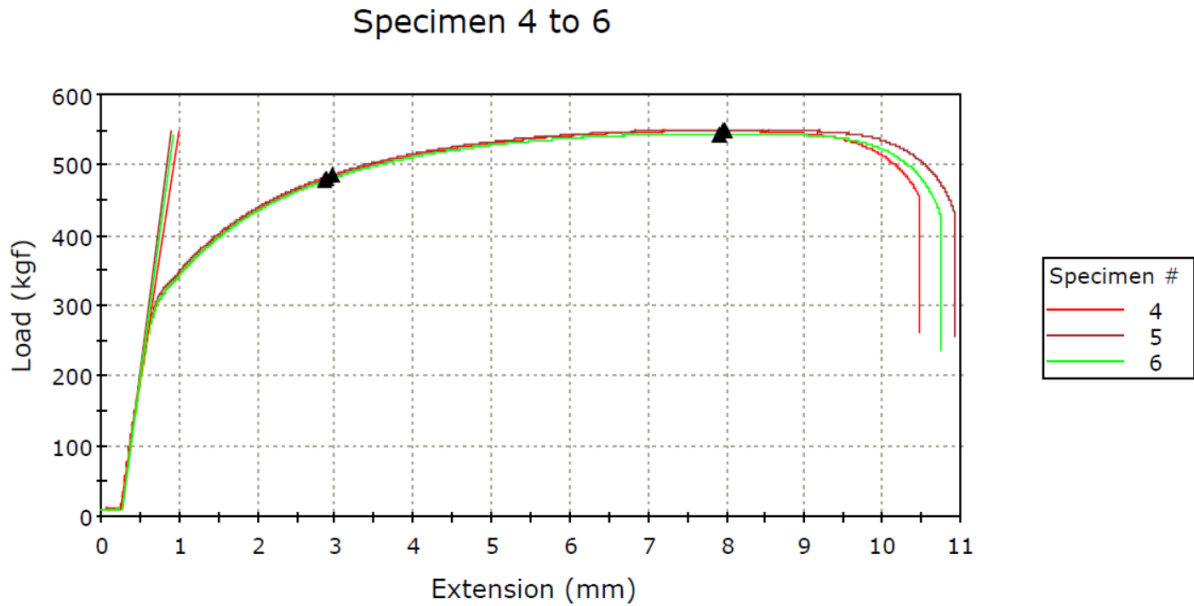
Há outros dados que os ensaios de tração possam fornecer, mas que no momento não são muito relevantes, visto que estes dizem respeito ao regime plástico: limite de ruptura, alongamento, estrição, tenacidade.

## Resultados e Discussão

A partir dos ensaios de tração foram traçados dois gráficos Carga Aplicada x Deformação (gráfico igual ao Tensão x Deformação se considerado que a tensão é a carga aplicada dividida pela área da seção transversal - que no caso é de aproximadamente  $8.8\text{mm}^2$ ) nos quais os corpos de prova 1, 2 e 3 correspondem a amostra de aço DP780 e 4 a 6 corresponde aos corpos de prova do aço DP600.



**Figura6:** Curva tensão –deformação para o aço DP780



**Figura7:** Curva tensão –deformação para o aço DP600

Analisando-se os gráficos, pode-se constatar que indícios que previamente haviam sido apontados pela análise química em relação à presença em maior ou menor quantidade de carbono procedem. Em outras palavras, o DP780 apresentou-se mais rígido, com limites de escoamento e de ruptura maiores que o DP600, enquanto que este se mostrou mais dúctil apresentando uma deformação total maior que o DP780, como fora previsto anteriormente.

Apesar das amostras terem comportamentos bem parecidos, as pequenas diferenças entre estas podem determinar a utilização de uma frente à outra, dependendo do quesito de mais relevância na situação. O aço DP600 apresentou um limite de escoamento médio de 302.96 MPa e uma deformação média máxima de 7.98mm. Enquanto que no aço DP780 o limite de escoamento médio foi de 348.21 MPa e a deformação média máxima de 5.65mm.

## F. Rugosidade

A rugosidade [5] é um aspecto de relevância significativa para a adesão nas colagens. Isto porque existe uma correlação entre a rugosidade inicial das superfícies com a taxa de desgaste. Essa correlação tem sido usada como um instrumento para estimar o tempo de ruptura da superfície de contato. A rugosidade superficial apresenta-se como importante parâmetro micro geométrico, na busca de melhores desempenhos de processos e produtos onde o atrito tenha uma acentuada participação.

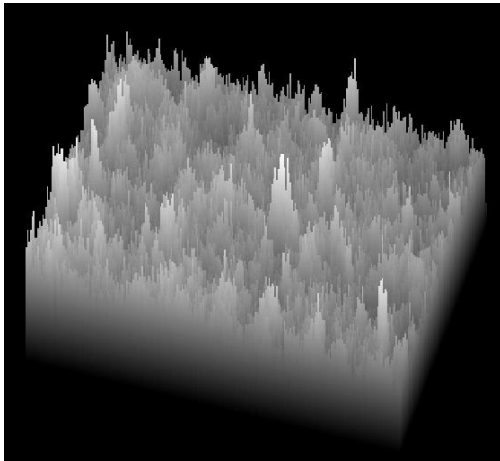
Para o teste de rugosidade, é importante saber que a linha média de medida é disposta paralelamente à direção geral do perfil, de modo que as áreas superiores e inferiores a linha média sejam iguais. As médias aritmética ( $R_a$  – roughness arithmetic) e quadrática ( $R_q$  – roughness quadratic) são medidas importantes que ajudam a avaliar a rugosidade da superfície em questão. A média aritmética é o parâmetro geralmente utilizado para medição de rugosidade, em que grandes picos e vales não são destacados com muita importância. Já na média quadrática a detecção de picos e vales na superfície analisada é evidenciada, visto que o desvio envolve um termo quadrado, o que acentua as discrepâncias.

Os dados de rugosidade obtidos para as amostras dos aços em estudo foram realizadas através de um instrumento ótico (Microscópio Ótico). Neste caso, a rugosidade é medida pela

reflexão da radiação eletromagnética, em que radiações de diferentes comprimentos de onda são refletidas de formas distintas, de acordo com a rugosidade da superfície avaliada.

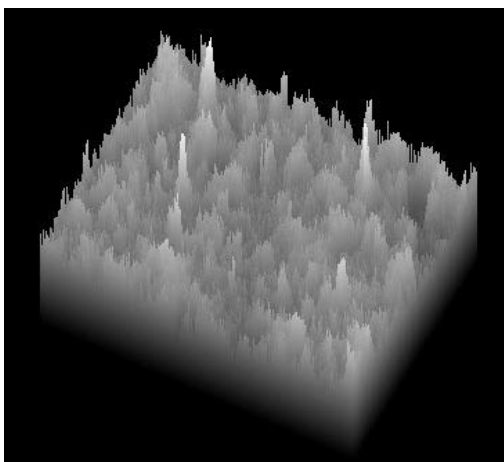
## Resultados e Discussão

Foram realizados testes de rugosidade nas amostras de cada aço: DP600 e DP780. Para cada amostra, tomaram-se cinco pontos aleatórios e distantes uns dos outros a fim de estimar-se a rugosidade nas superfícies.



| DP600 | Arithmetic Mean (mm) | Quadratic Mean (mm) |
|-------|----------------------|---------------------|
| 1     | 1,94                 | 2,47                |
| 2     | 2,07                 | 2,78                |
| 3     | 1,90                 | 2,48                |
| 4     | 2,00                 | 2,64                |
| 5     | 2,10                 | 2,76                |

**Figura 8:** Imagem e medidas de rugosidade da superfície o aço DP600



| DP780 | Arithmetic Mean (mm) | Quadratic Mean (mm) |
|-------|----------------------|---------------------|
| 1     | 2,34                 | 3,01                |
| 2     | 2,35                 | 3,00                |
| 3     | 2,32                 | 3,03                |
| 4     | 2,28                 | 2,92                |
| 5     | 2,34                 | 2,99                |

**Figura 9:** Imagem e medidas de rugosidade da superfície do aço DP780

A partir dos dados da tabela dos testes, juntamente com a ilustração das figuras, sabe-se que para o aço DP600 Ra é aproximadamente 2,00mm e Rq é aproximadamente 2,63mm e para o aço DP780 Ra é aproximadamente 2,33mm e Rq é aproximadamente 2,99mm. Com esses dados, é possível afirmar que o aço DP780 é levemente mais rugoso que o aço DP600. Assim como o DP780 também apresenta uma frequência suavemente maior de picos e vales acentuados, que pode ser comprovado pela diferença maior entre os valores Rq e Ra medidos para este.

No entanto, em termos de classificação de metrologia, esta diferença de rugosidade entre os dois aços não é relevante. Ambos possuem um grau de acabamento de alisamento

( $\nabla\nabla$ ) e se encaixam na classe de rugosidade N8 [6] (classe que abrange rugosidades até 3.2mm).

## **Conclusão**

A partir da disponibilidade dos equipamentos e dos laboratórios, foram iniciadas as atividades com objetivo de caracterizar as superfícies dos aderentes.

Foram determinados os parâmetros para caracterização dos aços, os quais são considerados relevantes para o comportamento da junta adesivada. Com essa etapa concluída, serão realizadas as colagens com os diferentes adesivos para determinar o desempenho das juntas e desenvolver o principal objetivo do projeto: a colagem aplicada na indústria automobilística.

## **Referências**

- 1 – MONTEIRO, Delfim Ferreira. **Análise do comportamento a fractura de juntas de aço efectuadas com adesivos estruturais**. Universidade do Porto. Porto. 1995
- 2 - MARRA, Kleiner Marques, ALVARENGA, Evandro de Azevedo e VIEIRA, Sérgio Luiz. **Adesividade de Aços Laminados a Frio da Usiminas Destinados a Indústria Automobilística**
- 3 - SOUZA, Sergio Augusto de. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos**. 5 Ed. São Paulo. Editora Edgard Blücher LTDA. p. 103-136
- 4 - SOUZA, Sergio Augusto de. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos**. 5 Ed. São Paulo. Editora Edgard Blücher LTDA. p. 6-78
- 5 - AMARAL, Ron e CHONG, Leonel Ho. **Surface Roughness**. december. 2002
- 6 - TALATI, Jigar. **Surface Roughness – Significance and symbol interpretation in drawing**. Hexagon Design Centre. Vadodara