



# DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO PARA MEDIR O ÍNDICE DE ADERÊNCIA DE SUPERFÍCIES<sup>1</sup>

*Julio Felix de Miranda Coelho Pinto<sup>2</sup>*

*Adilson Rodrigues da Costa<sup>3</sup>*

*Bruno Nazário Coelho<sup>2</sup>*

*André Luís Barroso Almeida<sup>4</sup>*

*Rafael Francisco Bernardes Junior<sup>5</sup>*

## Resumo

Uma fita adesiva padrão é aderida a uma determinada superfície, que está presa a um platô móvel. Esta base (platô) está acoplada a uma célula de carga, sensível ao seu movimento. A fita aderida é tracionada por um motor de baixa rotação por meio de um cabo rígido; é então destacada, podendo-se medir em tempo real a força necessária. A direção dessa força em relação à linha de destacamento da fita pode variar de 90° a 180°, conforme desejado. A informação obtida – trabalho global de destacamento – pode ser correlacionada às características físico-químicas das superfícies de interesse. Os resultados obtidos permitem comparar diferentes estados superficiais quanto ao seu desempenho em aplicações típicas da engenharia de superfícies. O experimento desenvolvido permite avaliar diferenças de comportamento de superfícies quanto à aderência. Os resultados obtidos podem ser correlacionados com outras propriedades das superfícies dos materiais de engenharia.

**Palavras-chave:** Adesão; Rugosidade; Teste da fita.

## CHARACTERIZATION OF COATED MATERIA BY MEANS OF MECHANICAL WAVES

### Abstract

A standard tape is adhered to a particular surface, which is attached to a mobile base. This base is coupled to a load cell, sensitive to its movement. The tape is pulled by an attached motor low speed through a rigid, is highlighted and can be measured in real time the force needed. The direction of this force in relation to the local detachment of the tape can vary from 90 to 180, as desired. The information obtained - global job posting - can be correlated to the physicochemical characteristics of their areas of interest. The results obtained allow to compare different surface states on their performance in typical applications of surface engineering. The experiment developed allows us to evaluate differences in behavior for adherence to surfaces. The results can be correlated with other surface properties of engineering materials.

**Key words:** Adesion; Roughness; Peeling test.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 66º Congresso Anual da ABM, 18 a 22 de julho de 2011, São Paulo, SP, Brasil.*

<sup>2</sup> *Mestrando, Universidade Federal de Ouro Preto - Redemat – Rede Temática em Enga. de Materiais 35400-000 Ouro Preto, MG, Brazil;*

<sup>3</sup> *Professor D.Sc., Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Redemat – Rede Temática em Enga. de Materiais 35400-000 Ouro Preto, MG, Brazil;*

<sup>4</sup> *Professor, Universidade Federal de Ouro Preto - Redemat – Rede Temática em Enga. de Materiais 35400-000 Ouro Preto, MG, Brazil;*

<sup>5</sup> *Graduando, Universidade Federal de Ouro Preto - Redemat – Rede Temática em Enga. de Materiais 35400-000 Ouro Preto, MG, Brazil;*

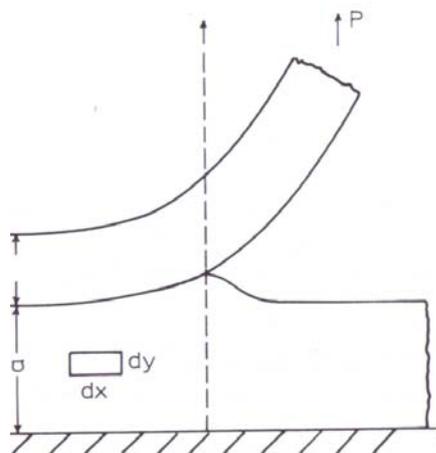
## 1 INTRODUÇÃO

A ciência dos adesivos está diretamente ligada a áreas do conhecimento da física, química e biologia. Ainda dentro da química, temos as ciências dos polímeros. Os conceitos básicos da ciência dos adesivos são: as forças intermoleculares, a ciência de superfície e as propriedades físico-químicas dos materiais em análise. Dentro desses temas, alguns conceitos têm maior importância, como as propriedades químicas dos polímeros, a termodinâmica de superfície e o estudo das tensões interfaciais. Medições de propriedades como  $tg$  e viscoelasticidade também são muito importantes. Existem vários tipos de adesivos: adesivos estruturais, adesivos à base de elastômeros e adesivos termoplásticos e pseudotermoplástico.<sup>(1)</sup>

Adesão é o estado em que duas superfícies estão presas unidas por forças interfaciais que pode consistir de forças de valência ou ação entrelaçamento ou ambas. A ciência da adesão pode ser dividida em duas partes: a química ou física de superfícies e interfaces e a mecânica da fratura de juntas adesivas (magnitude da resistência intrínseca da adesão através da superfície).<sup>(2)</sup>

Dependendo da natureza da interação da adesão entre dois materiais diferentes, através de uma interface, pode envolver tanto ligações físicas quanto químicas. A ligação química consiste de interligações diretas entre moléculas do adesivo e moléculas do substrato por ligações covalentes, iônicas ou interações de Van der Waals. A ligação física pode resultar da interação mecânica, quando um adesivo solidificar sobre uma superfície rugosa, advindas de forças de adsorção física entre as moléculas do substrato ou por penetração de moléculas do adesivo dentro do substrato por difusão, o que faz do mecanismo da adesão ser bem diferente para vários tipos de adesivos e substratos. Assim os principais tipos de mecanismos de adesão são o entrelaçamento mecânico (para superfícies porosas, madeiras, têxteis, papéis etc.) e a teoria da interdifusão (para adesivos líquidos) e a adsorção ou reação superficial (que envolve força de Van der Waals e polaridade de moléculas).

Dentre os principais testes, os testes de destacamento do adesivo (Peeling Test), testes de cisalhamento (Lap Shear), testes de expulsão da camada (Blister Test), entre outros, têm sua atenção focada no grupo de tensões no ponto ou na linha da fratura. Outro jeito de caracterizar a resistência de uma junta adesiva é pelo trabalho de destacamento ou fratura (Figura 1).<sup>(2,3)</sup> A energia é despendida por unidade de área da interface. Teoricamente, considerações sobre energia são mais simples para interpretar.



**Figura 1:** Trabalho do destacamento da fita adesiva por unidade de área

Quando ocorre uma fratura na junta adesiva, o trabalho de destacamento é maior, pois há energia despendida na deformação elástica de alguns materiais. Então é preciso julgar a adesão intrínseca ou a verdadeira força de atração na interface pela medida da resistência mecânica, que pode ser enganosa.

Quando dois sólidos estão em contato, eles não possuem uma boa aderência, pois não há um contato completo entre eles. A razão para isso é que todo sólido possui uma superfície rugosa em microescala. Assim um bom contato entre esses sólidos é obtido por meio de um filme adesivo que preencha os vazios entre os aderentes e age como uma aponte de ligação.

Como o filme deve ser capaz de fazer um contato completo entre as superfícies, ele deve espalhar-se livremente sobre elas, ou seja, ele deve ser capaz de molhar essas superfícies. A fixação do adesivo na superfície pode ocorrer por resfriamento, por remoção do solvente ou por reação química.

O grau no qual um líquido molha um sólido é medido pelo ângulo de contato (ângulo de molhamento). Quando  $\theta = 0$ , o líquido se espalha livremente sobre a superfície e esta é dita completamente molhada.

Isso ocorre quando a atração molecular entre o sólido e o líquido é maior do que a atração das próprias moléculas do líquido. Isso depende das tensões superficiais do líquido e do sólido. No equilíbrio, as relações entre essas tensões são dadas pela equação de Young:

$$\gamma_{sv} - \gamma_{sl} = \gamma_{lv} \cos \theta \quad (1)$$

Onde  $\gamma_{sv}$ ,  $\gamma_{sl}$  e  $\gamma_{lv}$  são as respectivas tensões entre as superfícies sólido/vapor, sólido/líquido e líquido/vapor.

Dupre foi o primeiro a relacionar trabalho reversível de adesão  $W_a$  com as tensões superficiais de um líquido e um sólido através da equação abaixo:

$$W_a = \gamma_{sv} + \gamma_{lv} - \gamma_{sl} \quad (2)$$

Esta equação mostra que o trabalho reversível  $W_a$  ( $\text{mJ/m}^2$ ) da separação de um líquido e um sólido deve ser igual a mudança de energia livre do sistema.

Relacionando as equações 1 e 2, temos:

$$W_a = \gamma_{lv}(1 + \cos \theta) \quad (3)$$

O conceito de trabalho característico de destacamento ( $W_a$ ) é uma excelente forma de avaliar as falhas de adesivos. Em quase todos os casos é considerado que a energia mecânica é fornecida por um dispositivo de carregamento e assumido que ela é armazenada elasticamente nos teste em questão. Por exemplo, para um material linearmente elástico, a densidade de energia armazena ( $U$ ) é dada por:

$$U = \frac{\sigma^2}{2E} \quad (4)$$

Onde  $\sigma$  é a tensão aplicada e  $E$  é o módulo de Young do material. Na falha, a energia ( $U_b$ ) é despendida de duas formas: na alimentação do trabalho de destacamento ( $W_d$ ) e no trabalho para deformar o material ( $W_{\text{def}}$ ). Então a equação da energia requerida para a propagação do destacamento ( $W_d + W_{\text{def}}$ ) pode ser deduzida da magnitude de  $U_b$  e então ser aplicada na tensão de ruptura ( $\sigma_b$ ) em termos de  $W_d$  e das dimensões do material.<sup>(2)</sup>

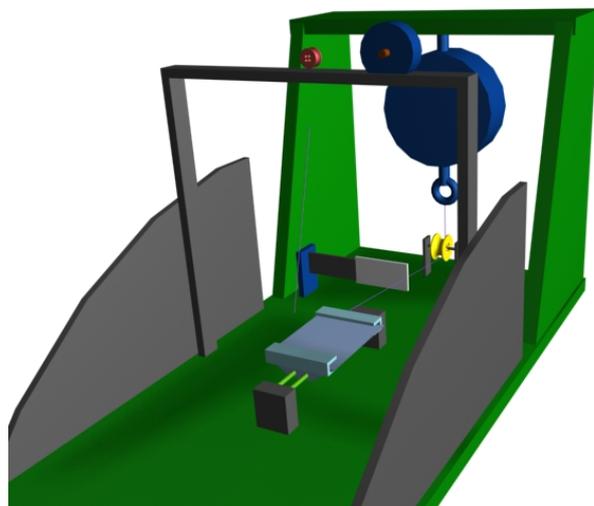
Devido à grande extensão desse campo, a maioria dos estudos sobre esse tema foram desenvolvidos por meio de diferentes grupos de especialistas ou até

mesmo autores individuais, levando a inconsistências de estilos e variando a profundidade do conteúdo estudado.<sup>(1)</sup>

Como quase a maioria dos estudos está voltada para a caracterização dos adesivos, este trabalho procura dar maior importância aos aspectos superficiais do substrato a ser aderido por um adesivo, pois em muitos casos, a importância dos aspectos práticos tem que ser observada, o que inclui a modificação superficial do substrato a ser aderido e, como o sistema substrato/adesivo pode ser formulado para proporcionar um desempenho satisfatório em condições especiais.

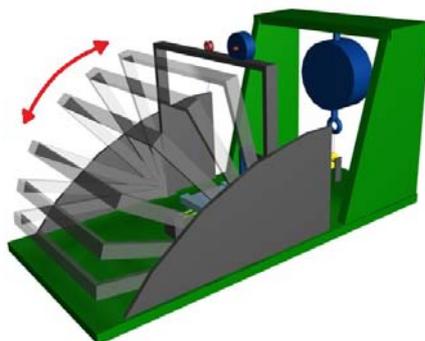
## 2 METODOLOGIA

O equipamento foi construído sobre uma base de ardósia, com suportes de acrílico colados em formato de “u”. Nesta base, um platô móvel, que recebe a superfície a ser estudada, está acoplado a um dinamômetro analógico de carga máxima de 2 kg e a uma célula de carga, que é sensível ao movimento desse platô, conforme a Figura 1 abaixo.



**Figura 1:** Geometria do equipamento desenvolvido.

Assim, uma fita adesiva padrão é aderida a uma determinada superfície, que está presa a esse platô. A fita aderida é tracionada por um motor de baixa rotação, por meio de um cabo rígido, que se encontra no suporte de acrílico; é então destacada, podendo-se medir em tempo real a força necessária. A direção dessa força em relação à linha de destacamento da fita pode variar de 90° a 180°, conforme desejado (Figura 2). A informação obtida – trabalho global de destacamento – pode ser correlacionada às características físico-químicas das superfícies de interesse.



**Figura 2:** Movimentação do suporte com o motor.

Foi utilizada uma superfície de alumínio para testar o equipamento. Essa superfície tem massa de 240 g e uma rugosidade de 320 mesh, que é paralela à direção da força de destacamento. Essa superfície (substrato) tem 165 mm de comprimento e 75 mm de largura. No final, a superfície foi lavada e secada para receber a fita adesiva.

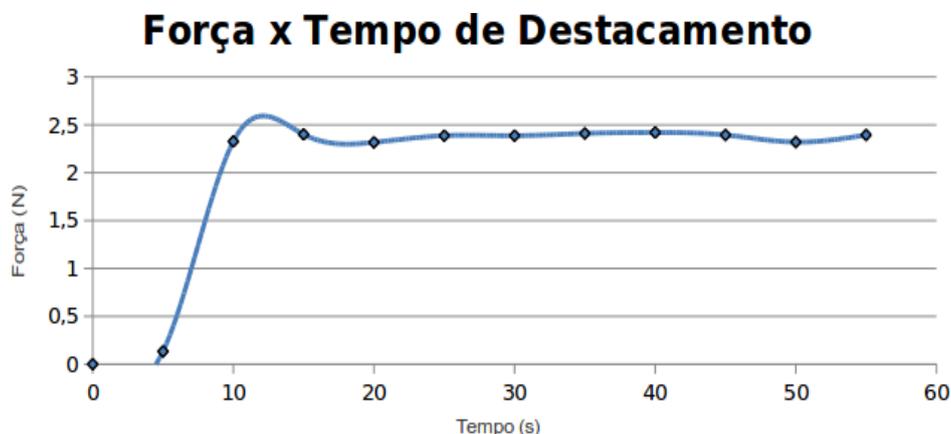
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este teste quantifica a permanência da adesão ou destacabilidade de materiais auto-adesivo sensíveis à pressão. Destacamento da adesão é a força necessária para remover o material de revestimento sensível à pressão, que tem sido aplicado a uma placa de teste padrão sob condições específicas da placa em um ângulo especificado e velocidade. Destacamento é definido como a força necessária para remover a fita adesiva.

Além dos ensaios de calibração, foram realizados 3 ensaios com uma fita adesiva padrão de 50 mm de espessura e 160mm de comprimento, que foi aderida a superfície de alumínio de forma a ficar bem esticada. Os ensaios tiveram uma duração média de 58 s.

Foi realizada uma média com os valores da força de destacamento dos três ensaios. Assim foi possível observar que o ensaio tem uma boa reprodutibilidade. Nos primeiros segundos do ensaio, é possível observar que há um ajuste de posição do platô móvel e do cabo de tração.

Assim, é possível observar que a força de destacamento da fita adesiva padrão é praticamente constante e que se estabeleceu próxima a 2,4N.



**Figura 3:** Gráfico da força de destacamento.

Ainda é preciso correlacionar essa força com o atrito que há nos trilhos do platô móvel. Para isso, a célula de carga será utilizada, como um método mais eficiente de aquisição de dados.

### 4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos podem ser correlacionados com outras propriedades das superfícies dos materiais de engenharia. Também pode ser feita uma comparação de diferentes estados superficiais, quanto ao seu desempenho em aplicações típicas da engenharia de superfícies. Assim o experimento desenvolvido permite avaliar diferenças de comportamento de superfícies quanto à aderência.



## Agradecimentos

A Capes (Redemat – UFOP). Ao Laboratório de Engenharia de Superfícies e Técnicas Afins da Escola de Minas – UFOP, onde foi desenvolvido o equipamento.

## REFERÊNCIAS

- 1 POCIUS, A. V. Adhesion and Adhesives Technology: an Introduction. 2. ed. Cincinnati-Ohio: Hanser/Gardner Publications, 2002. p. 319.
- 2 GENT, A.N; HAMED, G.R. Fundamentals of Adhesion. Journal of Educational Modules for Materials Science and Engineering, USA, v. 4. n. 6, p. 993-1034, 1982.
- 3 OZTURK, H.; TANNANT, D.D. Thin spray-on liner adhesive strength test method and effect of liner thickness on adhesion. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, v. 47. p. 808–815, 2010.