

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais**

**Michele Paoline de Marins Ulhôa**

**Desgaste abrasivo e dureza de seis resinas compostas expostas a diferentes tempos de fotopolimerização com aparelhos de LED e Lâmpada Incandescente**

Bauru  
2006

**Michele Paoline de Marins Ulhôa**

**Desgaste abrasivo e dureza de seis resinas compostas expostas a diferentes tempos de fotopolimerização com aparelhos de LED e Lâmpada Incandescente**

Dissertação apresentada ao programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais da Universidade Estadual Paulista – Curso de Mestrado, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais, sob a orientação do Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi.

Bauru  
2006

---

**Michele Paoline de Marins Ulhoa**

---

Filiação	Ronildo Ulhoa Carvalho Francisca de Marins Ulhoa	
Nascimento	09 de Março de 1981.	
Naturalidade	Tupã – SP	
2000-2003	Curso de graduação em Licenciatura Plena em Física – Faculdade de Ciências, UNESP, <i>Campus</i> Bauru	
2004	Início da carreira docente por aprovação no concurso PEBII, Ensino Médio	
2004-2005	Professora no curso pré-vestibular – Colégio Objetivo de Tupã.	
2005-	Professora no curso Ensino Médio – Colégio COC de Tupã.	

*Dedico este trabalho à Deus em primeiro lugar e aos meu pais, Ronildo e Francisca, que são exemplos de caráter, perseverança e amor incondicional. Obrigada pela presença constante, presença esta que sempre me incentiva e me dá forças para lutar pela vida e a superar obstáculos, com muito trabalho e sabedoria. Amo vocês!*

## AGRADECIMENTOS

*Ao generoso e perfeito **Deus**, pelo amor infinito, pela oportunidade que me deu de poder estar aqui, desfrutando de mais uma vitória.*

*Aos meus maravilhosos pais, **Ronildo e Francisca**, pelo imenso amor, pelo carinho, pela compreensão, pela força que me dão em todos os momentos, me ensinando a crescer e a lutar como eles, com muito trabalho e dedicação.*

*À minha irmã **Mirielle** porque sempre me apoiou e porque tenho por ela um amor muito especial.*

*Ao meu orientador querido **Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi**, do departamento de Engenharia mecânica da Unesp de Bauru, pela paciência, pelo carinho, pela simpatia, pelo respeito, pelo companheirismo, pelo apoio, pela disponibilidade e pelos auxílios prestados para a realização deste trabalho, por confiar em minha capacidade. Professor, apresento extrema felicidade por ser meu orientador. Ser-lhe-ei eternamente grata pela disponibilidade em atender as minhas solicitações de ajuda, permitindo, **com paciência**, que eu realizasse a conclusão deste trabalho.*

*Aos meus amigos, que posso afirmar que não saberia o que seria de mim sem vocês sempre aqui. Amigos inseparáveis, mesmo a longas distâncias. Amigos que me fazem acordar e pensar: quero viver, para poder ter o prazer da alegria que é estar junto de vocês.*

*Aos colegas, **Lúcio e Carlos**, do curso de Engenharia Mecânica da Unesp de Bauru, pelo apoio nos trabalhos e realização destes, pelas ajudas, pelos ensinamentos em suas aptidões, pela amizade, mesmo distante, por os ter conhecido.*

*Ao meu amigo **Carlão**, pós doutorando da Engenharia Mecânica da Unesp de Bauru, que muito me ajudou com suas palavras sábias nos meus momentos difíceis.*

*Ao **Prof. Dr. César Antunes de Freitas**, da Faculdade de Odontologia de Bauru - USP, pela imensa simpatia ao me receber em seu laboratório, pelo apoio imenso em vários momentos, sempre pronto a ajudar e dividir seu tempo entre tantos compromissos e pelo exemplo a ser seguido na vida acadêmica. Muito obrigada por todas as críticas e sugestões.*

*Ao Co-Orientador **Prof. Dr. Paulo Roberto de Aguiar**, do departamento de Engenharia Elétrica – Campus de Bauru, agradeço cooperação em todas as etapas da pesquisa.*

*Agradeço à **Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP** - pelo auxílio à pesquisa, que teve importância fundamental para a realização deste trabalho. Agradeço a esta instituição por incentivar a pesquisa e o desenvolvimento científico e intelectual.*

*Agradeço a **Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista - Campus de Bauru**, por gentilmente ceder o Laboratório de Usinagem por Abrasão para a realização deste trabalho.*

*Agradeço a mestrande e dentista, **Márcia Furtado Antunes de Freitas**, pela ajuda e colaboração no trabalho, por realizar a preparação das amostras e a todos os outros que participaram direta ou indiretamente deste.*

*A todos os meus queridos colegas da pós graduação, pelo apoio, pelas horas a fio estudando, pelas risadas, pelo companheirismo, e por todas as doçuras e amarguras compartilhadas ao longo do mestrado.*

*Agradeço também à funcionária **Djanira**, secretária da Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, pela sua simpatia e educação quando necessitei de sua ajuda. O meu mais sincero reconhecimento.*

*Agradeço a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.*

## RESUMO

A Humanidade, ao buscar as melhoras nas suas condições de vida, vem desenvolvendo materiais capazes de reparar e melhorar imperfeições naturais e acidentais. Encontra nas resinas compostas, constantemente utilizadas por dentistas, uma maneira de reparar imperfeições e perdas de materiais dentários no ser humano. A escolha de resinas compostas em substituição aos antigos materiais de restauração, como o amálgama, se dá pelo fato de serem fáceis de preparar, apresentarem menor desgaste, serem praticamente imperceptíveis após sua aplicação devido à grande quantidade de cores fornecidas pelos fabricantes. Porém não apresentam desgaste semelhante ao do esmalte dentário, sendo necessária substituição com o passar do tempo, devido ao desgaste abrasivo. Dentre os vários fatores determinantes do processo de desgaste abrasivo, encontram-se, genericamente, as características da própria resina e do preparo cavitário, assim como da restauração confeccionada e das condições das agressões a que ela for submetida. Para fazer a medição da resistência ao desgaste abrasivo, utilizou-se o método do disco retificado aperfeiçoado para Odontologia (COELHO, 1991; BIANCHI *et al.*, 2002). É utilizado um banco de ensaios onde um disco dinâmico revestido com porcelana desgasta um disco estático revestido com a resina polimerizada em um tempo pré-estabelecido. Com a aplicação dos equacionamentos matemáticos desenvolvidos para o sistema, foi possível determinar a resistência ao desgaste do material. Também foram realizados ensaios de Microdureza Vickers na tentativa de se fazer uma correlação entre o desgaste abrasivo obtido nos ensaios e os valores de microdureza. As resinas utilizadas no estudo de agressividade foram: XRV Herculite, Charisma, Suprafill, Fill Magic, Filtek Z 100 e Tetric Ceram, polimerizadas por tempos de 10, 20 e 40s, por aparelhos baseados em Lâmpada Incandescente (Lâmpada Halógena) e Diodo Emissor de Luz (LED). As amostras que puderam ser analisadas nos ensaios de microdureza foram Charisma, polimerizada por 10 e 20s, Suprafill, por 20 e 40s, e Fill Magic, Filtek Z100 e Tetric Ceram por 10, 20 e 40s, por ambos os aparelhos. Todos os resultados obtidos nos ensaios foram submetidos a análises estatísticas. Os resultados de agressividade mostraram diferenças estatísticas em sua maioria ao se fazer a comparação entre aparelhos, tempos e resinas. Porém, ao realizar análises estatísticas para os resultados obtidos dos valores de microdureza, não foram obtidas diferenças estatísticas entre estes resultados, não sendo, portanto, análise de microdureza, um método seguro para se analisar o desgaste da resina através dele. Segundo o método aplicado e dentro das condições experimentais do estudo, julga-se lícito concluir que utilizar os resultados de microdureza para justificar o desgaste abrasivo de resinas poliméricas dentárias

não é um método eficaz, pois, devido aos resultados desta pesquisa, observou-se que as medidas de microdureza não apresentaram diferenças estatísticas em seus resultados, como nos resultados de agressividade, devido ao fato das resinas serem materiais bastante heterogêneos.

***Palavras chave:*** resina composta, agressividade, microdureza, métodos de avaliação

## ABSTRACT

Humanity, when searching for a better life conditions, is developing materials capable to repair and to improve natural and accidental imperfections. It finds in composite resins, constantly used for dentists, a way to repair imperfections and losses of human dental material. The composed resin choice in substitution to the old restoration materials, as the amalgamates, it is for the fact of being easy to prepare, to present less wear, to be practically invisible after its application due to great amount of colors supplied for the manufacturers. However they do not show similar wear as the dental enamel, being necessary the substitution after a while, due to the abrasive wear. Among some determinative factors of the process of abrasive wear, there are, generically, the characteristics of the resin and the cavitary preparation, as well as the confectioned restoration and the conditions of the aggressions that it is submitted. To make the measurement of the resistance to the abrasive wear, the method of the rectified circular surface improved for odontology was used (COELHO, 1991; BIANCHI *et al.*, 2002). A Test bench is used where a dynamic circular surface covered with porcelain consumes a static circular surface covered with the polymerized resin in a pre-established time. With the application of the developed mathematical equations for the system, it was possible to determine the resistance to the consuming of the material. Also, it had been carried through tests of Micro Hardness Vickers in the attempt in making a correlation between the abrasive consuming gotten in the tests and the values of micro hardness. The resins used in the aggressiveness study were: XRV 100 Hercullite, Charisma, Suprafill, Fill Magic, Z and Tetric Ceram, polymerized by times of 10, 20 and 40s, for apparatus based on Incandescent Light (Halogen Light) and Light Emitting Diode. The samples that could have been analyzed in the micro hardness tests, were Charisma, polymerized for 10 and 20s, Suprafill, for 20 and 40s, and Fill Magic, Filtek Z100 and Tetric Ceram for 10, 20 and 40s, for both the apparatus. All the results were submitted to statistical analyses. The aggressiveness results had shown, in its majority, statistical differences if making the comparison between apparatus, times and resins. There were no difference statistics between the analyzed results, not being, therefore, a safe method to analyze the consuming of the resin through it. According to the methodology applied and inside of the experimental conditions of the study is judged allowed to conclude that to use the micro hardness results to justify the abrasive dental polymeric resin wear is not an efficient method, therefore, because of the results of this research, it was observed that the measures of micro hardness had not presented statistical differences in its results, as in the results of

aggressiveness, because of the fact of the resins being enough heterogeneous material, that is of its own nature.

**Key Words:** *composite resin, aggressiveness, micro hardness, methods of evaluation*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Mecanismos fundamentais de desgaste: A- Adesão; B- Abrasão; C- Fadiga; D- Corrosão. [MAIR, <i>et al.</i> (1996)].....	28
<b>Figura 2</b> - Mecanismo de análise do desgaste desenvolvido por YAP <i>et al.</i> (1997).....	30
<b>Figura 3</b> - Mecanismo de análise do desgaste desenvolvido por CONDON & FERRACANI (1997). .....	31
<b>Figura 4</b> - Ilustração esquemática do aparelho para análise do desgaste abrasivo (HIRANO <i>et al.</i> , 1998). (A) é a plataforma de carga; (B), a barra sustentadora do esmalte abrasivo; (C), suporte de rolamento excêntrico para o esmalte abrasivo; (D), centro da polia; (E), polia; (G), correia; (H), esmalte abrasivo; (I), corpo de prova.....	35
<b>Figura 5</b> - Desgaste abrasivo médio e seus desvios padrão após 5 000 ciclos na máquina de testes contra o esmalte abrasivo em saliva humana, conforme HIRANO <i>et al.</i> , (1998).....	36
<b>Figura 6</b> - Desgaste abrasivo médio e seus desvios padrão após 10 000 ciclos na máquina de testes contra o esmalte abrasivo em saliva humana (HIRANO <i>et al.</i> , 1998) .....	36
<b>Figura 7</b> - Esquema representando o equipamento desenvolvido para análise do desgaste abrasivo (DE GEE <i>et al.</i> , 1986).....	37
<b>Figura 8</b> - Perfis das superfícies das resinas e do aço do disco opositor, segundo (DE GEE <i>et al.</i> , 1986).....	38
<b>Figura 9</b> - Desenho esquemático das superfícies desgastadas da resina, de uma seção de aço até a outra. A = segmento de aço; B = resina composta (DE GEE <i>et al.</i> , 1986).....	38
<b>Figura 10</b> - Perfis circunferenciais de dois estágios sucessivos de desgaste com atrito em água, segundo De Gee <i>et al.</i> (1986).....	39
<b>Figura 11</b> - Desenho esquemático do dispositivo proposto por WASSELL <i>et al.</i> (1994). ....	45
<b>Figura 12</b> - Aparelhos de fotopolimerização empregados no trabalho de Tsai, P. C. L. <i>et al.</i> Da esquerda para a direita, E-light, Freelight, 475H, LJW1 e Ledlenser.....	54
<b>Figura 13</b> - Molde de fabricação dos discos dinâmicos em prensa .....	66
<b>Figura 14</b> - Disco de porcelana prensada confeccionado no Setor de Manipulação de Cerâmica da UFSCar .....	66
<b>Figura 15</b> - Rebolo de CBN, da marca Nikkon, usado na retificação da porcelana do disco dinâmico .....	67
<b>Figura 16</b> - Fotografia mostrando os dois inversores de frequência utilizados para controlar velocidades da máquina retificadora e do motor elétrico do banco de ensaios.....	68
<b>Figura 17</b> - Tacômetro usado na medição da rotação do cabeçote do banco de ensaios.....	68
<b>Figura 18</b> - Matriz de politetrafluoretileno usada na confecção dos discos de resina.....	70
<b>Figura 19</b> - Disco estático sendo fotopolimerizado utilizando-se o fotopolimerizador e a matriz empregados no trabalho .....	70

<b>Figura 20</b> - Em a. foto do radiômetro usado para medir a intensidade da luz do aparelho fotopolimerizador; em b. o aparelho fotopolimerizador de Lâmpada Incandescente sendo aferido.....	71
<b>Figura 21</b> - O fotopolimerizador de LED sendo aferido. ....	72
<b>Figura 22</b> - Rebolo de óxido de alumínio branco usado na retificação dos discos de resina..	73
<b>Figura 23</b> - Banco de ensaios mostrado em detalhes. Elementos: base (1), dispositivo- guia (2), hastes cilíndricas (3), trave para registro de deslocamento (4), haste cilíndrica central (5), suporte do disco estático (6) e mangueira (7).....	74
<b>Figura 24</b> - Fotografia do conjunto banco de ensaios/cabeçote de testes, juntamente com o motor de acionamento, posicionados sobre a mesa da máquina retificadora. Elementos: motor elétrico (1), o cabeçote (2), o sistema cursor de deslocamento (3) e a placa de aço (4) que serve de base para o conjunto descrito. ....	75
<b>Figura 25</b> - Fotografia com o posicionamento dos discos estático e dinâmico no conjunto banco de ensaios/cabeçote de testes (a); detalhe (b) mostra o contato da resina presente no disco estático (superior) com a cerâmica do disco dinâmico (inferior).....	75
<b>Figura 26</b> - Fotografia do medidor de deslocamento utilizado (TESATRONIC – modelo TT60).....	76
<b>Figura 27</b> - Imagem do programa de aquisição, feito em linguagem de programação LabView	76
<b>Figura 28</b> - Gráfico típico de deslocamento do dispositivo em função do tempo, obtido nos ensaios de agressividade das resinas compostas.....	77
<b>Figura 29</b> - Gráfico mostrando a tangente da curva de desgaste das resinas, cujo coeficiente angular é utilizado no cálculo da respectiva agressão. ....	78
<b>Figura 30</b> - Resumo Esquemático da Metodologia utilizada nos ensaios. ....	79
<b>Figura 31</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina CHARISMA para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente.....	85
<b>Figura 32</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina CHARISMA para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente.....	86
<b>Figura 33</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina CHARISMA para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente.....	86
<b>Figura 34</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio para da CHARISMA para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de LED.....	87
<b>Figura 35</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio para da CHARISMA para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de LED.....	87
<b>Figura 36</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina CHARISMA para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de LED.....	88
<b>Figura 37</b> - Gráfico de barras com os valores de agressividade média obtidos nos ensaios da resina CHARISMA comparando os aparelhos e os tempos de fotopolimerização.....	88

- Figura 38** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina FILLMAGIC para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente..... 89
- Figura 39** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina FILLMAGIC para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente..... 89
- Figura 40** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina FILLMAGIC para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente..... 90
- Figura 41** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina FILLMAGIC para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de LED..... 90
- Figura 42** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina FILLMAGIC para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de LED..... 91
- Figura 43** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina FILLMAGIC para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de LED..... 91
- Figura 44** - Gráfico de barras com os valores de agressividade média obtidos nos ensaios da resina FILLMAGIC comparando os aparelhos e os tempos de fotopolimerização. .... 92
- Figura 45** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina SUPRAFILL para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente..... 92
- Figura 46** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina SUPRAFILL para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente..... 93
- Figura 47** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina SUPRAFILL para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente..... 93
- Figura 48** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina SUPRAFILL para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de LED..... 94
- Figura 49** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina SUPRAFILL para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de LED..... 94
- Figura 50** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina SUPRAFILL para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de LED..... 95
- Figura 51** - Gráfico de barras com os valores de agressividade média obtidos nos ensaios da resina SUPRAFILL comparando os aparelhos e os tempos de fotopolimerização..... 95
- Figura 52** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina TETRIC CERAM para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente..... 96
- Figura 53** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina TETRIC CERAM para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente..... 96
- Figura 54** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina TETRIC CERAM para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente..... 97
- Figura 55** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina TETRIC CERAM para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de LED..... 97
- Figura 56** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina TETRIC CERAM para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de LED..... 98

<b>Figura 57</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina TETRIC CERAM para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de LED.....	98
<b>Figura 58</b> - Gráfico de barras com os valores de agressividade média obtidos nos ensaios da resina TETRIC CERAM comparando os aparelhos e os tempos de fotopolimerização.....	99
<b>Figura 59</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina XRV HERCULITE para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente.....	99
<b>Figura 60</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina XRV HERCULITE para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente.....	100
<b>Figura 61</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina XRV HERCULITE para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente.....	100
<b>Figura 62</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina XRV HERCULITE para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de LED.....	101
<b>Figura 63</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina XRV HERCULITE para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de LED.....	101
<b>Figura 64</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina XRV HERCULITE para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de LED.....	102
<b>Figura 65</b> - Gráfico de barras com os valores de agressividade média obtidos nos ensaios da resina XRV HERCULITE comparando os aparelhos e os tempos de fotopolimerização.....	102
<b>Figura 66</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina Z100 para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente.....	103
<b>Figura 67</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina Z100 para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente.....	103
<b>Figura 68</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina Z100 para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente.....	104
<b>Figura 69</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina Z100 para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de LED.....	104
<b>Figura 70</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina Z100 para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de LED.....	105
<b>Figura 71</b> - Gráfico (deslocamento x tempo <sup>2/3</sup> ) obtido em ensaio da resina Z100 para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de LED.....	105
<b>Figura 72</b> - Gráfico de barras com os valores de agressividade média obtidos nos ensaios da resina Z100 comparando os aparelhos e os tempos de fotopolimerização.....	106
<b>Figura 73</b> - Gráfico de barras obtido mostrando todos os materiais estudados para os dois diferentes aparelhos e tempo de 10, 20 e 40s de polimerização.....	109
<b>Figura 74</b> - Comparação entre os valores de agressividade para os corpos-de-prova fotopolimerizados com aparelho de Lâmpada Incandescente.....	110

<b>Figura 75</b> - Comparação entre os valores de agressividade para os corpos-de-prova fotopolimerizados com aparelho de LED.....	112
<b>Figura 76</b> - Comparação entre os valores de agressividade para os corpos-de-prova fotopolimerizados com aparelho de LED e Lâmpada Incandescente.....	113
<b>Figura 77</b> - Microdureza das Resinas Compostas Avaliadas .....	116

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Os resultados do estudo de Barkmeier, W. W., Wilwerding, T. M. <i>et al.</i> (1999)...47	47
<b>Tabela 2.</b> Resultados obtidos nos ensaios do trabalho realizado (BIANCHI <i>et al.</i> 1996a).....48	48
<b>Tabela 3.</b> Parâmetros usados na realização dos ensaios ..... 80	80
<b>Tabela 4.</b> Valores de agressividade média e respectivos desvios padrão obtidos com a polimerização por aparelho de lâmpada halógena..... 107	107
<b>Tabela 5.</b> Valores de agressividade média e respectivos desvios-padrão obtidos com a polimerização por aparelho de LED..... 107	107
<b>Tabela 6.</b> Quadro com os valores médios das microdurezas, em HV, e seus respectivos desvios-padrão ..... 115	115
<b>Tabela 7.</b> Valores médios de microdureza (HV) ..... 117	117

**LISTAS DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

%	porcentagem
$\mu\text{m}$	micrometro
>	procedência maior
ABNT	associação brasileira de normas técnicas.
ADA	american dental association
$\text{Al}_2\text{O}_3$	óxido de alumínio
BIS-GMA	bisfenol glicidil metacrilato
CBN	nitreto cúbico de boro
cm	centímetro
CQ	canforoquinona
CV	coeficiente de variação
g	grama
h	hora
HQTH	lâmpada halógena de quartzo/tungstênio de alta intensidade (high quartz tungsten halogen)
HV	dureza Vickers (Vickers Hardness)
Hz	hertz
ISO	International Organization for Standardization
kgf	quilograma-força
$\text{kgf/mm}^2$	quilograma-força por milímetro quadrado
LED	<i>Light-Emitting-Diode</i> (diodo emissor de luz)
m/h	metro por hora
m/s	metro por segundo
MEV	microscópio eletrônico de varredura
min	minuto
mm	milímetro
mm/min	milímetros por minuto

mm <sup>3</sup>	milímetro cúbico
mm <sup>3</sup> /N.s	milímetro cúbico por newton por segundo
MPa	megapascal
μW/cm <sup>2</sup>	microwatt por centímetro quadrado
N	newton
nm	nanometro
°C	grau Celsius
P/A	força da carga aplicada por área
pH	potencial hidrogeniônico
QTH	lâmpada halógena de quartzo tungstênio. (quartz tungsten halogen)
rpm	rotações por minuto
s	segundo
SEM	sigla em inglês de microscopia eletrônica de varredura
TEGDMA	trietilenoglicol dimetacrilato

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	20
2. OBJETIVO.....	23
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.1. ENSAIOS CLÍNICOS ( <i>IN VIVO</i> ).....	26
3.2. ENSAIOS LABORATORIAIS ( <i>IN VITRO</i> ).....	26
3.2.1. <i>Desgaste de Materiais Dentários</i> .....	27
3.2.2. <i>Comparação da Resina Composta Com Outros Materiais</i> .....	32
3.2.3. <i>Estudo do Desgaste de Resinas Compostas</i> .....	32
3.2.4. <i>Fatores que influenciam na resistência ao desgaste de resinas compostas</i> .....	51
3.2.4.1. <i>Fatores relacionados à luz fotopolimerizante</i> .....	51
3.2.4.2. Fatores relacionados à característica da resina.....	55
3.2.4.2.1. Tamanho das partículas da resina.....	55
3.2.4.2.2. Cor das resinas.....	55
3.2.4.2.3. Pós-polimerização e acabamento da superfície.....	55
3.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS RESINAS COMPOSTAS DENTAIS.....	57
3.4. FONTES DE FOTOPOLIMERIZAÇÃO.....	58
3.5. DUREZA VICKERS.....	59
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
4.1. CONFECÇÃO DOS DISCOS EMPREGADOS NOS ENSAIOS.....	65
4.1.1. <i>Disco Dinâmico</i> .....	65
4.1.2. <i>Disco Estático</i> .....	69
4.1.3. <i>Regularização da superfície</i> .....	73
4.2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO USADO PARA AVALIAÇÃO DO DESGASTE DAS RESINAS COMPOSTAS.....	73
4.3. ENSAIOS REALIZADOS.....	80
4.4. ANÁLISES COMPLEMENTARES AOS ENSAIOS DE AGRESSIVIDADE.....	80
4.4.1. <i>Ensaio de Microdureza</i> .....	81
4.4.2. <i>Fotografias de microscopia óptica</i> .....	82
4.4.3. <i>Fotografias por microscopia eletrônica de varredura</i> .....	82
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	85
5.1. AGRESSIVIDADE DAS RESINAS ENSAIADAS.....	85
5.2. ENSAIOS DE MICRODUREZA.....	114
6. CONCLUSÕES.....	121
<i>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</i> .....	123
<i>REFERÊNCIAS</i> .....	124
<i>GLOSSÁRIO</i> .....	131
<i>ANEXOS</i> .....	133

*CAPÍTULO 1*

***INTRODUÇÃO***

---

# 1. INTRODUÇÃO

Nos tempos atuais, o ser humano busca cada vez mais o seu bem-estar, tentando sempre fazer novas descobertas que promovam melhorias na sua qualidade de vida, por isso desenvolve materiais capazes de reparar algumas imperfeições naturais ou acidentais. Sendo assim, as resinas compostas foram desenvolvidas com o objetivo de reparar as perdas de material dentário do ser humano.

Assim, com a valorização da estética pela sociedade atual resultou em avanços no desenvolvimento de novos materiais sintéticos na Odontologia. Dentro destes avanços as novas fórmulas de resinas compostas fotopolimerizáveis, as quais são amplamente utilizadas como materiais restauradores para dentes da bateria anterior (cuja função principal é cortar, que são os dentes caninos para frente) e dentes da bateria posterior (cuja função é moer, molares e pré molares), são as que mais se destacam.

Dentre os vários materiais existentes que poderiam ser utilizados para este fim, as resinas compostas foram escolhidas por apresentarem menor desgaste, maior facilidade de manuseio (são vendidas em tubos como os de uma pasta dental) e por possuírem uma grande gama de cores, que, com a valorização da estética, possibilitando-se alcançar a semelhança com a coloração dos dentes humanos, tornando-se praticamente imperceptíveis após sua aplicação.

As resinas são materiais de composição química complexa e muito diferente entre elas. Desta maneira, tais compostos podem agir de maneira bastante própria aos testes a elas aplicados. Assim sendo, estudos mais detalhados se fazem necessários, no intuito de se conhecer melhor estes materiais, para maximizar suas qualidades e características.

Sabe-se que estes materiais restauradores desgastam-se muito mais rapidamente que o esmalte dentário. O ideal seria que esses materiais restauradores odontológicos tivessem o menor desgaste possível, de modo que sua resistência fosse semelhante à do esmalte dentário. Das várias razões que levam à substituição de restaurações confeccionadas com resinas compostas encontram-se o desgaste abrasivo, que pode ser proveniente das escovações e da mastigação e em condições não ideais de aplicação, de camadas excessivas de resina, tempos de fotopolimerização insuficientes, baixa radiação luminosa emitida do aparelho fotopolimerizador. O estudo deste fenômeno se faz necessário no intuito de prever uma substituição da resina com o tempo, devido ao seu desgaste.

O desgaste abrasivo das resinas compostas convencionais é descrito como um processo onde ocorre a esfoliação das partículas de material inorgânico e a matriz da resina é continuamente desgastada. A microabrasão da matriz ocorre sob tensão e sob a ação abrasiva do alimento, causando a exposição das partículas inorgânicas e o conseqüente aumento da tensão.

A fadiga mecânica é outro fator que também influencia no desgaste. Os movimentos dos dentes durante a mastigação são tensões cíclicas que podem iniciar e propagar microtrincas.

Além disso, a deterioração do material das restaurações é ainda acelerada pela diferença entre os módulos de elasticidade da matriz e da carga. Observações das restaurações realizadas com estes tipos de resinas em superfícies oclusais (faces mastigatórias dos dentes) revelaram que a perda de material é normalmente uniforme.

Então, dentre os vários fatores determinantes do processo de desgaste abrasivo, encontram-se, genericamente, as características da própria resina e do preparo cavitário, assim como da restauração confeccionada e das condições das agressões a que ela for submetida.

Esses são, entre outros, alguns dos inúmeros fatores que influem na resistência mecânica das resinas compostas. Dessa forma, a análise do desgaste faz-se necessária, e para isso são apresentados dois métodos distintos: **o clínico** (*in vivo*) e **o laboratorial** (*in vitro*).

*CAPÍTULO 2*

***OBJETIVO***

---

## **2. OBJETIVO**

O objetivo neste trabalho é avaliar o desgaste abrasivo de seis resinas compostas expostas a diferentes tempos de fotopolimerização, através de aparelho munido de lâmpada incandescente (halógena) ou Diodo Emissor de Luz (LED).

*CAPÍTULO 3*

***REVISÃO BIBLIOGRÁFICA***

---

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O mercado odontológico oferece grande número de opções na escolha de materiais de trabalho aos profissionais ligados à esta área. O avanço tecnológico e a competição existente em diversos ramos faz com que se tornem interessantes testes que possam garantir ao profissional da Odontologia uma maior confiabilidade na tecnologia que estão utilizando.

As resinas dentárias foram desenvolvidas principalmente para o uso em dentes anteriores, onde a estética é de suma importância. Contudo com o tempo, estas começaram a serem também utilizadas em dentes posteriores, onde o desgaste abrasivo é muito maior, devido à mastigação e à força maior da escovação, o que gera a necessidade de uma substituição do material, nos casos de restaurações. Mas o desempenho clínico destas resinas em longo prazo em dentes posteriores era desconhecido, como foi relatado pela organização American Dental Association (ADA) (1986), fato que impulsionou pesquisas sobre o assunto.

A ADA relatou que ainda eram muito limitadas as informações de longo prazo do desempenho clínico da resina composta em dentes posteriores, sendo que seu Conselho havia classificado algumas marcas deste material como “provisoriamente aceitáveis” para dentes permanentes, e que as linhas mestras de alguns limites anteriormente estabelecidos estavam sendo reavaliadas. Terminava alertando que a resina composta apresentava realmente desgaste oclusal, que os contatos proximais com ela eram difíceis de se obter, e que haviam evidências de seu desgaste proximal, sendo assim a classe odontológica deveria estar ciente de que existia uma quantidade muito limitada das informações acima descritas.

A ADA (1989) divulgou 5 recomendações relativas à utilização das resinas compostas na região posterior:

- 1 - Apresentar boa resistência ao desgaste oclusal e à abrasão;
- 2 - Permitir uma precisa adaptação às margens cavitárias e promover um efetivo vedamento da restauração, quanto ao ingresso de fluidos bucais, que podem conter microorganismos e criar um ambiente propício para o desenvolvimento de cáries secundárias;
- 3 - Apresentar adequada resistência à degradação pela água e outros solventes;
- 4 - Ser radiopaca e;
- 5 - Necessitar de técnicas de aplicação que sejam simples.

A seguir, serão apresentados dois métodos de avaliação do desgaste distintos: **o clínico** (*in vivo*) e **o laboratorial** (*in vitro*).

### **3.1. Ensaio Clínicos (*in vivo*)**

O método clínico (*in vivo*) consiste em realizar restaurações em um determinado número de pacientes e, após um certo período de tempo, normalmente bastante longo, cerca de 2 a 6 anos, analisar o desgaste ocorrido na resina. Este é um dos problemas mais comuns enfrentados pelos pesquisadores que utilizam este método, que é a demora na obtenção dos resultados, ao mesmo tempo em que novas resinas são fornecidas pelo mercado. Assim, após a obtenção destes resultados, a composição química analisada pode já não estar mais disponível no mercado, inviabilizando a aplicação prática dos resultados obtidos.

No presente trabalho, não foi abordado um estudo comparativo entre ensaios clínicos e laboratoriais, portanto, a revisão bibliográfica ficará restrita a ensaios realizados apenas em laboratórios.

### **3.2. Ensaio Laboratoriais (*in vitro*)**

Condon & Ferracani (1997) observam que as análises clínicas são, geralmente, mais aceitas para medir a performance das resinas compostas. Entretanto, os testes clínicos são caros e demorados. Além disso, existe a falta de controle sobre variáveis importantes como a força empregada na mastigação, a dieta ou fatores biológicos (buciais), que limitam o estudo clínico e, em consequência, o estudo do desgaste dos materiais dentários.

Verifica-se que ao utilizar o método *in vivo* para avaliá-las, surgem diversas dificuldades que impossibilitam resultados precisos sejam obtidos rapidamente. Dificuldades essas, relacionadas ao controle da frequência dos pacientes, variedade de hábitos alimentares e formas de mastigação, influenciados pelo pH salivar da cavidade bucal de cada paciente, além de outros.

Já nos testes laboratoriais, esses inconvenientes são minimizados. Dessa forma, torna-se interessante realizar ensaios *in vitro*, que é um método que propõe ensaios laboratoriais onde pode reduzir o tempo, o custo das análises com as resinas para avaliar seu comportamento, suas características e eficiência contra o desgaste abrasivo, entre outras variáveis, buscando resultados precisos, porém mais rápidos que os testes *in vivo*.

A seguir apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os testes *in vitro*.

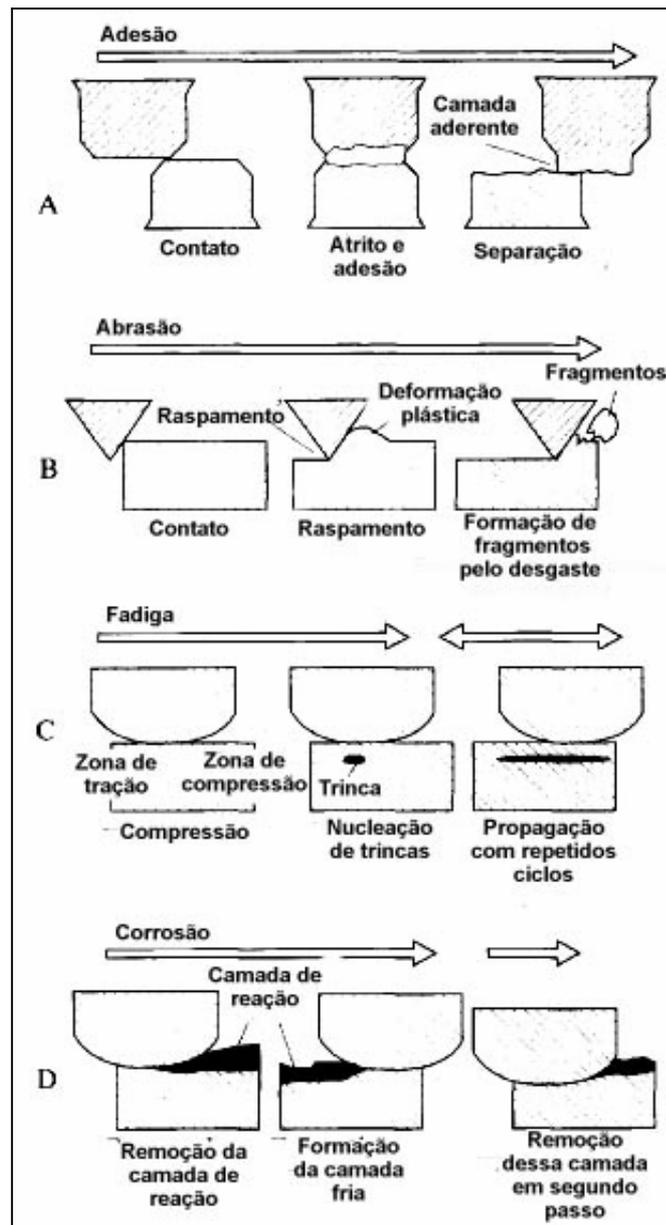
### 3.2.1. Desgaste de Materiais Dentários

Mair *et al.* (1996) discutiram em um seminário os mecanismos do desgaste e suas manifestações e avaliações na Odontologia. Salientaram que o desgaste é um processo natural que ocorre quando superfícies se movimentam em contato umas às outras, sendo o tempo de duração desse contato, um importante fator com relação às proporções desse desgaste. Como os pacientes têm seus dentes naturais por um longo período da vida, o desgaste passa a ser um fator clínico preocupante. E a condução desse problema envolve o conhecimento do processo pelo qual ele ocorre e seus efeitos nas estruturas dentais.

Dessa forma, apresentam os quatro mecanismos fundamentais de desgaste que se consegue distinguir: desgaste adesivo (ou por adesão), desgaste abrasivo, desgaste por fadiga e desgaste por corrosão. O desgaste adesivo (esquema na Fig. 1 – A) ocorre quando superfícies deslizam uma sobre outra e o atrito causa asperezas em uma das superfícies, fazendo que ela se solde à outra; contudo há transferência de material de uma para outra, e o volume de material transferido é proporcional à área de contato entre tais superfícies e a distância de deslizamento entre elas. Já o desgaste abrasivo (mostrado esquematicamente na Fig. 1 – B), provavelmente o mais comum, ocorre quando partículas ásperas raspam sobre superfícies mais macias, podendo essas asperezas serem partes integrantes da própria superfície, como partículas protruídas de um composto dental (abrasão de dois corpos), ou partículas soltas que permanecem entre as superfícies (abrasão de três corpos). O desgaste abrasivo é proporcional à dureza dos materiais em contato, geometria das partículas abrasivas, carga e distância de deslizamento. O desgaste por fadiga (Fig. 1 – C) ocorre da seguinte forma: quando uma superfície desliza sobre outra é criada uma zona de compressão no material. A deformação plástica do mesmo gera uma zona de tensões em decorrência do movimento. Há, então, a nucleação e propagação de trincas na superfície como resultado de repetitivos ciclos de movimentação, que internamente, são governadas pelas propriedades do material. Este material então se fragmentará e haverá uma conseqüente abrasão de três corpos. Finalmente, o desgaste por corrosão (Fig. 1 – D) é decorrente de reações químicas formadas nas camadas superficiais que podem ser raspadas pela superfície oposta. Esse material raspado gera, então, fragmentos que causam a abrasão.

Apresentados os principais tipos de desgastes, os autores enfatizam que, na boca, o desgaste deve ser considerado em função de sua localização, tempo e mecanismo causador.

Este último pode envolver o contato direto entre superfícies, ou o resultado de uma variedade de ações; contudo ambos sendo afetados pela erosão. Faz-se necessário, então, o uso de réplicas laboratoriais, para simular e estudar, de maneira eficiente, os mecanismos de desgaste; contudo isso ainda não é capaz de prever o real desgaste clínico.



**Figura 1** - Mecanismos fundamentais de desgaste: A- Adesão; B- Abrasão; C- Fadiga; D- Corrosão. [MAIR, *et al.* (1996)]

Concluem, então, a partir do trabalho exposto, que a administração do desgaste clínico requer um conhecimento próprio de todos fatores que estão sob ele. E isso somente

pode ser alcançado através do inter-relacionamento das várias disciplinas que buscam entender profundamente o desgaste.

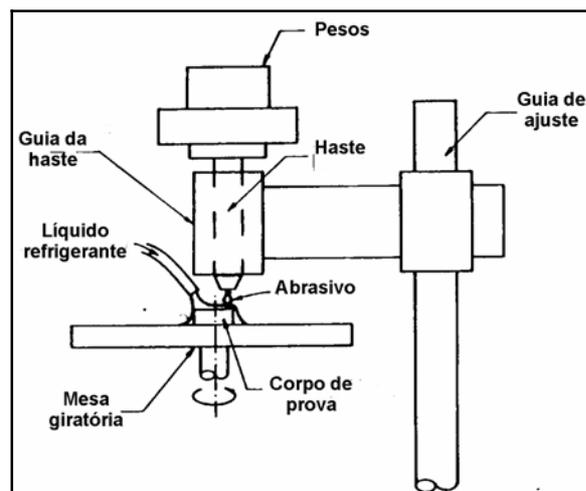
Conforme Yap *et al.* (1997); o desgaste ocorre quando duas superfícies deslizam, uma sobre a outra, com aplicação de uma carga. Citam que o Instituto de Engenharia Mecânica da Inglaterra define desgaste como sendo a perda progressiva de material da superfície de um corpo por ação mecânica. O material removido da superfície desgastada pode ser atribuído a diversos fatores como: erosão, corrosão, adesão, abrasão e impacto. O desgaste por erosão ocorre quando partículas sólidas ou líquidas colidem com a superfície do material. O desgaste por corrosão pode ser definido como uma forma química de desgaste resultante da interação do meio com a superfície. O desgaste por adesão ocorre quando material sólido desliza sobre a superfície de outro material, ou é pressionado contra ele, causando remoção de pequenas partículas da superfície. O desgaste abrasivo ocorre quando uma superfície dura e rugosa arranca partículas de um material mais macio. E por fim, o desgaste por impacto é definido como sendo proveniente de choques repetitivos entre duas superfícies.

Afirmaram também que o mecanismo de desgaste das restaurações dentárias, quando ensaiados clinicamente, apresenta variáveis complexas e imprecisas, como por exemplo: movimentos, cargas, e as características químicas, térmicas e biológicas do meio a que estão submetidas as restaurações. Contudo, por enquanto a correlação dos resultados clínicos e laboratoriais é pequena. Mesmo assim, ensaios laboratoriais são pertinentes uma vez que testes clínicos são caros, demorados e não repetitivos, e também porque a forma dos dentes e o acabamento das restaurações variam.

Os ensaios laboratoriais são importantes para o estudo do mecanismo de desgaste, sendo que podem prever o tempo de duração do material com maior rapidez que os testes clínicos.

Yap *et al.* (1997) desenvolveram um mecanismo de análise de desgaste que se compõe de uma mesa giratória com um rasgo em forma de anel onde é alojado o material em estudo. Um pino de ponta esférica de 2 mm de diâmetro, recoberto com abrasivo, é preso a um suporte que possui movimento vertical livre por meio de uma guia. No suporte, é aplicada uma carga constante de 15 N provocando uma pressão de aproximadamente 19 MPa na superfície do material. A mesa onde está o material a ser estudado gira a uma velocidade angular de 160 rpm. Cada material é testado por duas horas, o que corresponde a 19.200 ciclos de desgaste. Durante o teste, água foi dirigida ao ponto de contato para remover as partículas resultantes do desgaste e promover o desgaste por “terceiro corpo” (entre as

partículas removidas e a superfície ensaiada para simular o material orgânico entre os dentes, existente na mastigação). O desgaste é então medido por meio do perfil de rugosidade (devido ao reduzido valor do desgaste) entre as superfícies sem desgaste e a superfície desgastada usando-se um rugosímetro colocado radialmente ao anel do material ensaiado. O mecanismo desenvolvido por estes autores está ilustrado na Fig. 2

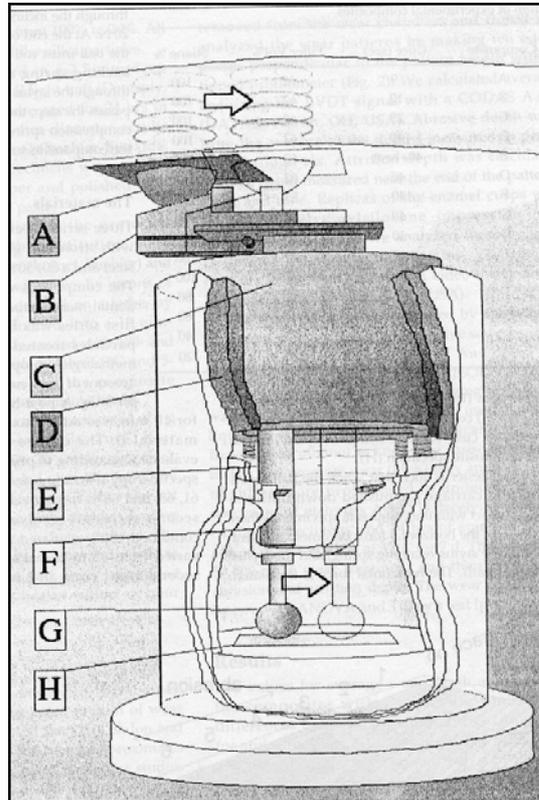


**Figura 2** - Mecanismo de análise do desgaste desenvolvido por YAP *et al.* (1997).

Yap *et al.* (1997) também desenvolveram e fabricaram um simulador do sistema de mastigação para analisar o desgaste provocado pelo movimento intra-oral dos dentes durante a mastigação. O desgaste proporcionado por este mecanismo é medido utilizando-se um rugosímetro de lado a lado na superfície desgastada, a cada 1 mm. Os autores chegaram à conclusão de que, dentre os materiais ensaiados, o DISPERSALLOY é o mais duro e o mais resistente ao desgaste sem impacto, sendo menos resistente que os demais no desgaste por impacto. O desgaste das resinas compostas está diretamente relacionado com a quantidade e tipo de suas partículas.

O equipamento construído por Condon & Ferracani (1997) consiste de um disco rotativo horizontal de 28 cm. Quatro esferas de aço de 19 mm são presas por molas à superfície inferior do disco. Cinco compartimentos de desgaste são posicionados de forma com que a rampa (B) fique no caminho das esferas (A). A rampa é forçada a mover-se linearmente por meio das guias do cilindro (C), na qual desliza. O cilindro possui movimento vertical em uma bucha de bronze (D). A rampa possui um anteparo, no seu topo, que está ligado a uma haste (E). Uma mola horizontal interna ao cilindro proporciona o movimento de

retorno à haste. O diafragma (F) ligado à haste mantém o meio abrasivo isolado. No fim da haste, existe uma esfera de 10 mm de diâmetro (G) recoberta por material abrasivo que transmite a carga ao material em estudo (H). Este mecanismo é ilustrado na Fig. 3.



**Figura 3** - Mecanismo de análise do desgaste desenvolvido por CONDON & FERRACANI (1997).

O funcionamento deste sistema é tal que, quando a esfera encontra a rampa, a haste é empurrada para baixo até que ocorra o contato entre o material abrasivo e o material em estudo. Deslizando sobre a rampa, a esfera encontra o anteparo e eleva o valor da força horizontal a um valor superior à resistência proporcionada pela mola horizontal, deslocando a haste por sobre o material em estudo. No final do curso, o deslocamento da haste é limitado, o que faz com que a esfera ultrapasse o anteparo. A seguir, a mola de retorno posiciona os componentes em suas posições originais, aguardando o contato da próxima esfera com a rampa, para se iniciar o ciclo de desgaste novamente.

Condon e Ferracani (1997) concluem que para se prever o desgaste das resinas compostas, deve-se analisar o desgaste abrasivo, pois este é responsável pela remoção gradual das partículas da resina. O efeito do volume de partículas na resistência ao desgaste segue

uma relação linear, com grande redução na resistência ao desgaste para resinas com menos de 48% de partículas.

### **3.2.2. Comparação da Resina Composta Com Outros Materiais**

Lee *et al.* (1974) determinaram, utilizando o mecanismo da escova de dentes mecânica e uma pasta de dentes comercial como abrasivo, que a taxa de desgaste do amálgama, uma liga de mercúrio/prata que é usada em restaurações, foi maior que duas vezes a taxa de desgaste abrasivo das três resinas compostas por eles estudadas

Ratledge *et al.* (1994) pesquisaram os efeitos dos materiais restauradores no desgaste contra esmalte humano, usando uma máquina de ciclos de tensão, movida eletricamente, da qual se serviram para abrasonar os espécimes de esmalte contra uma variedade de materiais restauradores: o próprio esmalte, 1 amálgama (Amalcap), 1 compósito convencional (Concise), 1 compósito de micropartículas (SR-Isosit Inlay/Onlay), 1 porcelana cozida (Vitadur-N) e 1 cerâmica pura não cozida (IPS Empress). A avaliação de desgaste dos espécimes de esmalte foi feita pela medida do perfil de redução do dente, com um programa de análise de imagem computadorizada. Relataram que o teste em ácido cítrico aumentou significativamente o desgaste do esmalte antagonista; a porcelana Vitadur-N foi o material mais abrasivo; a resina Concise produziu maior desgaste no esmalte que a resina SR-Isosit; e a combinação esmalte-esmalte também produziu alta taxa de desgaste. Comentaram que, na análise de espécimes dos materiais, observaram sulcos de desgaste de profundidade reduzida para os materiais mais abrasivos, como esmalte, Vitadur-N e Empress. e que os resultados desse estudo mostraram que as superfícies oclusais de porcelana podiam danificar o esmalte dentário antagonista.

### **3.2.3. Estudo do Desgaste de Resinas Compostas**

#### **3.2.3.1. Estudos Mediante o Emprego de Métodos Distintos do Utilizado Nesse Trabalho**

Dickson (1979) publicou um trabalho onde afirmou que o fator limitante do uso das resinas compostas é a deterioração que ocorre quando estes materiais são utilizados onde estão sujeitos ao desgaste oclusal. O desgaste tem sido analisado em um enorme número de

estudos clínicos, e vários tipos de testes têm sido desenvolvidos para analisá-lo nas resinas compostas e também em outros materiais restauradores.

Uma análise confiável da resistência ao desgaste abrasivo deve auxiliar no desenvolvimento e melhora das resinas compostas, pois fornecerá uma forma de análise rápida destes produtos, sem a necessidade de aguardar os resultados dos demorados ensaios clínicos.

Estudos clínicos comparando o desgaste das resinas compostas com o desgaste do amálgama, em períodos de dois a quatro anos, têm sido desenvolvidos por diversos pesquisadores. Todos estes estudos relatam que o desgaste torna-se notável em superfícies restauradas com resina composta, onde ocorre o contato oclusal em apenas um ano, e que a perda progressiva da forma anatômica continua durante o período de estudo.

Dickson (1979) afirma que restaurações realizadas com o amálgama, com o qual as resinas compostas eram comparadas, mostraram menor ou nenhuma perda da forma anatômica. Mas, o desgaste abrasivo não está restrito às superfícies onde ocorre o contato oclusal. Também foi observado que a perda de material foi geralmente uniforme, e que o modo como ocorre o desgaste “normalmente dá a impressão de que a restauração submerge abaixo da superfície”.

Dos vários métodos que têm sido utilizados para analisar a resistência ao desgaste abrasivo das resinas compostas e de outros materiais dentários, provavelmente o mais simples consistia no seguinte: colocar-se pequenas esferas (0,4 g) de material de restauração em uma cápsula de plástico com 0,4 g de abrasivo (carboneto de silício) e fazer com que a cápsula vibrasse por 3 minutos. O desgaste era então determinado conforme a perda de peso das esferas. Este método detectava diminuições significativas. Também mostrou-se que o valor da abrasão do “Silicap” era aproximadamente o mesmo que os maiores valores encontrados para as resinas compostas. Este teste pioneiro indicou a necessidade de se realizar testes posteriores com a finalidade de se determinar quando os resultados laboratoriais terão relação com os encontrados clinicamente. Outro método que também foi bastante utilizado, e que também é comentado por Dickson (1979), é o método da escova de dentes desenvolvido por Phillips *et al.*(1971), no qual utilizaram uma escova de dentes mecânica para analisar o desgaste abrasivo de dois materiais utilizados em restaurações dentárias e que já haviam sido analisados clinicamente. Os autores concluem seu trabalho afirmando que o ensaio por eles realizado pode analisar a resistência à abrasão causada pela escovação, mas não fornece resultados satisfatórios quanto ao desgaste oclusal.

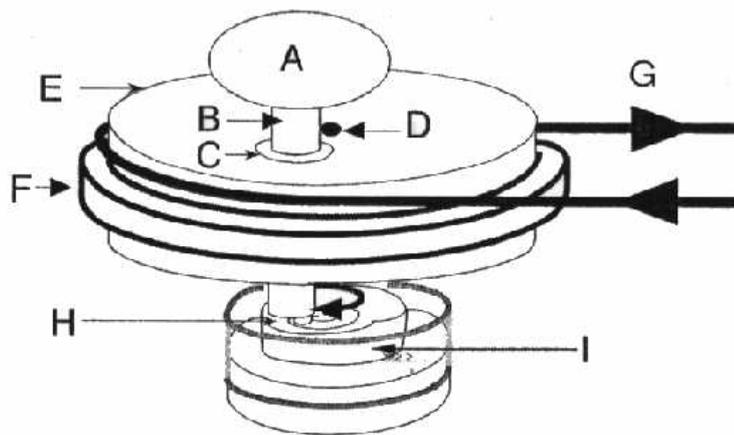
Em 1985, Lugassy & Moffa desenvolveram e testaram um modelo laboratorial para determinar a quantidade mínima de perda oclusal que pudesse ser detectada por avaliadores clínicos, por julgarem que era difícil se estabelecer pequenas diferenças de tal desgaste, em condições clínicas, como vinha sendo feito em numerosos estudos que utilizavam os critérios então existentes. Para tanto, utilizaram uma série de réplicas de dentes posteriores restaurados, representativos de um espectro de desgaste oclusal induzido, com intervalos estatisticamente válidos. Este modelo podia ser usado como um padrão tridimensional para medir qualitativa e quantitativamente o desgaste oclusal. Dez examinadores foram solicitados a ordenar uma série de moldes de poliéster, réplicas de gesso e de resina epóxica dos modelos oclusais. Os modelos representavam um espectro dos defeitos oclusais em intervalos quantificados. Este estudo mostrou que todos os examinadores foram capazes de discriminar, com confiabilidade, uma perda oclusal mínima de 25  $\mu\text{m}$ , com alguns deles detectando intervalos de 15  $\mu\text{m}$ . Não houve diferenças entre o potencial discriminador dos moldes e suas respectivas réplicas em gesso e resina epóxica. Uma série de modelos de dentes posteriores restaurados foi produzida, representando o citado espectro, para servir de padrão que permitisse classificar e quantificar o desgaste oclusal, em clínica.

Hirano *et al.* (1998) em seu estudo laboratorial comparativo do desgaste abrasivo de quatro diferentes tipos resinas contra um esmalte abrasivo, afirmam que a mais importante propriedade física dos “dentes artificiais” utilizados em restaurações é a resistência ao desgaste abrasivo. No passado os materiais mais utilizados para este fim foram a porcelana e a resina acrílica. Informam ainda que a porcelana possui uma elevada resistência ao desgaste e melhor estabilidade de coloração do que a resina, entretanto, a porcelana possui uma maior propensão à fratura. Por outro lado, as resinas possuem excelente resistência e adesão à base do dente, entretanto sua resistência ao desgaste abrasivo ao longo do tempo está sendo questionada.

Afirmam ainda que pesquisas têm sido desenvolvidas para melhorar a resistência ao desgaste abrasivo das resinas compostas. Os aparelhos para testes laboratoriais utilizados para pesquisa de desgaste abrasivo, em sua maioria, envolvem uma boca artificial que simula os movimentos de mastigação. Em seu trabalho eles desenvolveram um meio alternativo de simular estes movimentos e estudar laboratorialmente esse desgaste abrasivo.

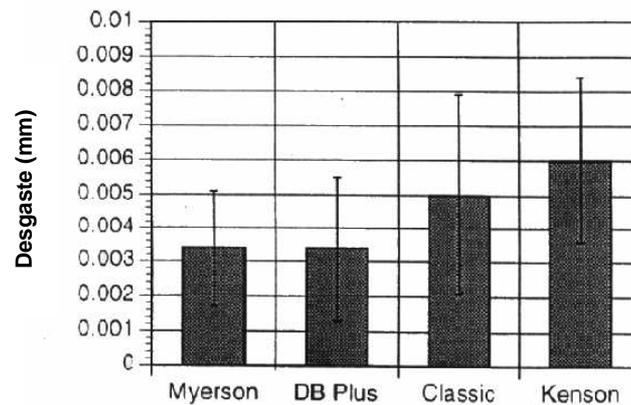
O método utilizado por eles foi o de construir corpos-de-prova posicionando a resina composta sobre a superfície oclusal de cada dente. Cinco esmaltes abrasivos e cinco corpos-de-prova foram utilizados para cada ensaio. Um abrasivo e um corpo de prova são posicionados na máquina para análise de desgaste abrasivo e ensaiados por 5.000 ciclos,

seguido por um adicional de 5.000 ciclos, ou seja, um total de 10.000 ciclos sob uma carga de 13,4 N. O aparelho desenvolvido para análise do desgaste estabelece o contato entre o esmalte abrasivo e a superfície do dente artificial (corpo de prova) por 10.000 ciclos. O arranjo experimental do aparelho de análise de desgaste abrasivo é ilustrado na Fig. 4. Todos os testes de desgaste abrasivo foram realizados com a presença de saliva humana. O desgaste dos corpos-de-prova foi medido por meio de um perfilômetro posicionado em quatro pontos ao longo da superfície circular criada pelo abrasivo na superfície do corpo de prova. A máxima profundidade na faixa de desgaste em relação à superfície não desgastada foi considerada como a quantidade de desgaste. A precisão destas medidas foi de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$ .

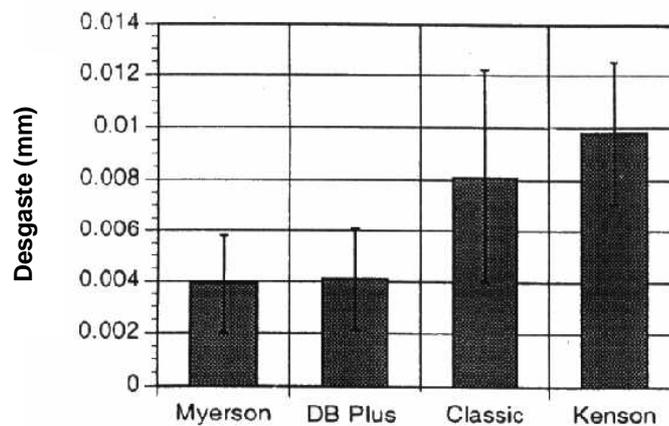


**Figura 4** - Ilustração esquemática do aparelho para análise do desgaste abrasivo (HIRANO *et al*, 1998). (A) é a plataforma de carga; (B), a barra sustentadora do esmalte abrasivo; (C), suporte de rolamento excêntrico para o esmalte abrasivo; (D), centro da polia; (E), polia; (G), correia; (H), esmalte abrasivo; (I), corpo de prova.

Obtiveram como resultados, para os valores do desgaste, os gráficos representados nas Fig. 5 e Fig. 6. Afirmam que, avaliar a taxa de desgaste abrasivo das resinas compostas é importante devido à sua influência na manutenção da eficiência da mastigação, na dimensão vertical da superfície oclusal e na estabilidade da superfície oclusal.



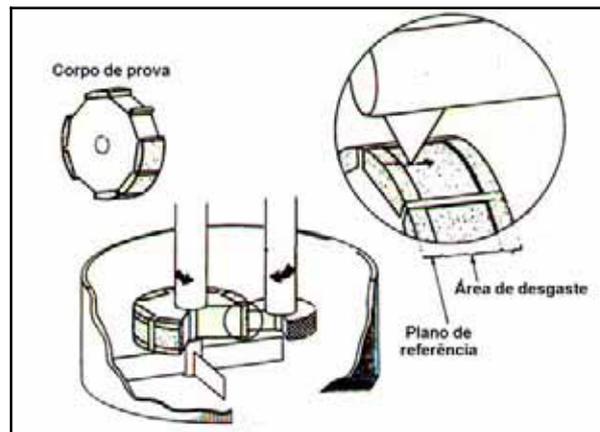
**Figura 5** - Desgaste abrasivo médio e seus desvios padrão após 5 000 ciclos na máquina de testes contra o esmalte abrasivo em saliva humana, conforme HIRANO *et al.*, (1998)



**Figura 6** - Desgaste abrasivo médio e seus desvios padrão após 10 000 ciclos na máquina de testes contra o esmalte abrasivo em saliva humana (HIRANO *et al.*, 1998)

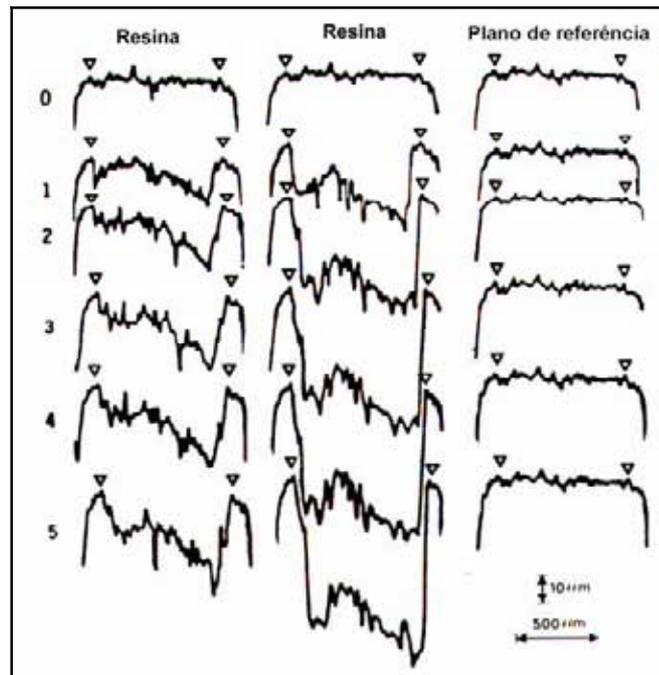
De Gee *et al.* (1986), em trabalho publicado, relata que a taxa de desgaste é uma propriedade de grande importância na caracterização de um material restaurador, especialmente quando utilizado em restaurações sob tensão (contato oclusal). O desgaste é provavelmente o resultado de uma ação combinada de processos erosivos químicos e mecânicos. Experimentos anteriores têm enfatizado a falta de concordância entre os dados laboratoriais e os dados clínicos, com relação ao desgaste de resinas compostas. Obviamente, nos vários testes laboratoriais realizados anteriormente o material não deve ter sido desgastado de um modo comparável ao modo de desgaste clínico. Provavelmente os vários experimentos já realizados não consideraram, simultaneamente, um número suficiente de variáveis. Neste estudo, De Gee *et al.* (1986) se propuseram a desenvolver uma máquina capaz de analisar o desgaste abrasivo de resinas compostas, onde as variáveis consideradas podiam ser controladas, de modo que os resultados obtidos pudessem ser comparados aos obtidos clinicamente. A máquina era basicamente formada por um anel cilíndrico, com

diversas ranhuras onde eram colocadas as resinas a serem ensaiadas. Um outro anel cilíndrico, de aço, entrava então em contato com o primeiro. Os dois anéis possuíam rotações com sentidos contrários. Após o ensaio, os discos eram retirados e o desgaste das resinas era analisado por meio de um rugosímetro. Este experimento também foi realizado com os discos submersos em água. O esquema da máquina por eles desenvolvida está ilustrado na Fig. 7.



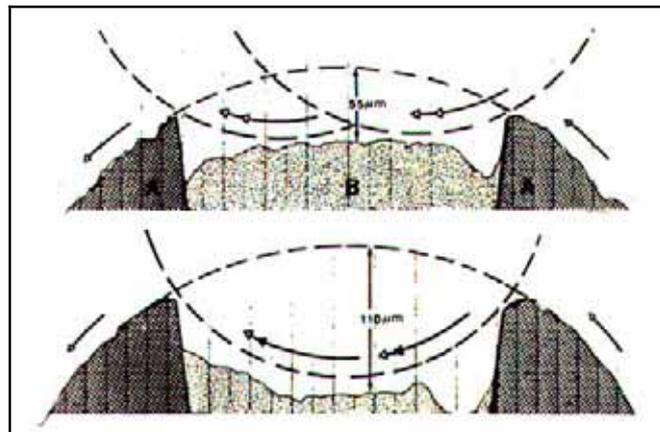
**Figura 7** - Esquema representando o equipamento desenvolvido para análise do desgaste abrasivo (DE GEE *et al.*, 1986)

A Fig. 8 representa o perfil longitudinal de duas das resinas ensaiadas e do disco de aço. As marcas representam as partes que não eram desgastadas. A primeira linha (0) representa a forma original das superfícies, ainda não desgastadas. É possível notar que o aço praticamente não se desgastou, enquanto que as resinas compostas apresentaram um desgaste cumulativo.

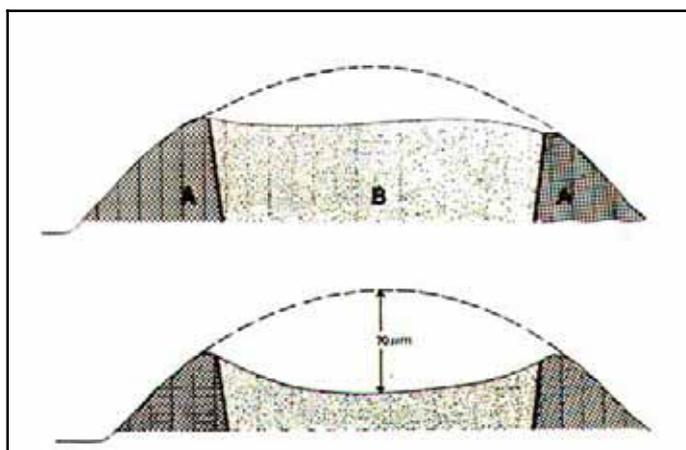


**Figura 8** - Perfis das superfícies das resinas e do aço do disco opositor, segundo (DE GEE *et al.*, 1986)

A Fig. 9 apresenta um desenho esquemático do modo como se dá o desgaste das resinas. Já a Fig. 10, apresenta um esquema de dois estágios sucessivos de desgaste realizados submersos em água.



**Figura 9** - Desenho esquemático das superfícies desgastadas da resina, de uma seção de aço até a outra. A = segmento de aço; B = resina composta (DE GEE *et al.*, 1986)



**Figura 10** - Perfis circunferenciais de dois estágios sucessivos de desgaste com atrito em água, segundo De Gee *et al.* (1986).

De Gee *et al.* (1986) concluem seu trabalho dizendo que a máquina proposta oferece resultados realísticos, mas outras variáveis ainda deveriam ser consideradas para a obtenção de melhores resultados.

Pallav *et al.* (1988) apresentaram um método de simulação de desgaste de materiais restauradores, que consistia no uso de uma máquina com dois tambores cilíndricos que rodavam um contra o outro, impulsionados por 2 motores acoplados a seus respectivos eixos. Um tambor cilíndrico acomodava as amostras a serem testadas e o outro, funcionando como “cúspide antagonista”, era mantido pressionado contra o de testes, com uma força de 15 N. A frequência de rotação foi de 1,3 Hz. O conjunto ficava imerso em um meio constituído de uma mistura de 36% de sementes moídas, 9% de pérolas de poli (metil-metacrilato) e 55% de água, sendo todas estas porcentagens em peso. A análise da quantidade de desgaste era efetuada por meio de um perfilômetro computadorizado. Afirmaram que, com esta técnica, em poucos dias pode-se prever o desgaste oclusal de compósitos e que seus dados se correlacionavam bastante bem com as observações clínicas de vários outros autores. Apresentaram os valores de desgaste (em micrômetros) de 19 resinas compostas e do esmalte (relativos a um amálgama, Dispersalloy, considerado como padrão, com o valor 1), sendo que o esmalte apresentou desgaste relativo numa quantia de 0,5 (com desvio-padrão de 0,4), e com as resinas variando desde 1,2 (com desvio-padrão de 0,1), tanto para o Miradapt como para o P10, até 5,9 (com desvio-padrão de 0,3) para o Adaptic; o Herculite apresentou desgaste de 2,0 (com desvio-padrão de 0,2).

Em 1989, Braem *et al.* estudaram a quantidade de carga, em relação à matriz orgânica, em função de melhores características mecânicas das resinas compostas. Prepararam misturas experimentais de uma matriz de resina composta, com 62% de BIS-GMA e 38% de TEGDMA, em peso, e como iniciador da reação de fotopolimerização utilizaram um complexo canforoquinona/amina, sendo que tais misturas variaram apenas quanto ao teor (em volume, de 0%, 9,5%, 19%, 28,6%, 38,4%, 48,3% e 55,2%) de partículas de carga; esta era composta de uma outra mistura de 10% (em volume) de pequenas partículas de sílica pirogênica tratada com silano (de tamanho médio de grão de 20 nm e densidade de 2,2 g/cm<sup>3</sup>), e 90% de vidro de bário pulverizado, com partículas (de densidade de 2,73 g/cm<sup>3</sup>), igualmente tratadas com silano. Prepararam 6 amostras retangulares de 135 x 5 x 1,5 mm, fotopolimerizadas por 60s no topo e 60s no fundo, que foram polidas e armazenadas em local seco por 24 horas à temperatura ambiente, para determinação do módulo dinâmico de Young. Para determinar o módulo estático de Young, confeccionaram espécimes de 12 x 2 x 25 mm, em moldes de aço, fotopolimerizados por 60s em cada superfície exposta, e armazenados, por 24 horas, em água deionizada a 23°C. Aplicaram carga transversa de três pontos, a uma velocidade de 1 mm/min, em máquina universal de testes. Realizaram também testes de dureza Vickers, em 10 espécimes, através de 5 leituras com carga de 100g, por 60s. O desgaste *in vitro* foi simulado pelo método desenvolvido por De Gee; Pallav; Davidson. Neste, duas rodas cilíndricas giravam, movidas a motor, na velocidade de 1.000 m/h; uma delas era de aço e a outra continha as amostras, pressionadas entre si com força de 10 N, sendo os testes realizados com as amostras submersas em solução aquosa, a 25%, de sementes de papoula. Concluíram que, para todos os testes realizados, a quantidade de carga influenciou no resultado final e que as resinas com maior quantidade de carga apresentaram os melhores resultados, de forma diretamente proporcional àquela quantidade.

Leinfelder *et al.* (1989) realizaram um experimento *in vitro*, através de um sistema modificado (basicamente um dispositivo de carregamento cíclico, com um sistema de avanço próprio, um sistema de ciclagem térmica de rápida resposta e uma fonte elétrica para controlar a taxa de carregamento aplicada), com 4 tipos de resinas compostas diferentes, com o objetivo de prever o desgaste clínico. As resinas por eles utilizadas foram Concise, Estilux Posterior, Herculite e Heliomolar RO, cujas partículas relataram ser, respectivamente, de 15 a 30 µm, 5 a 8, 0,6 e 0,04. Informaram que a perda de material foi maior na área onde o estilete (que simulava uma cúspide e cuja ponta apresentava secção vertical elíptica) do dispositivo de teste contactou a superfície da resina; que, entretanto, a degradação microestrutural foi maior nas resinas em que o tamanho das partículas estava abaixo de 1 micrômetro (“submicron sized”,

no original); e que a perda de material em toda a superfície da restauração foi mais comum nas resinas contendo partículas de carga maiores.

Pintado (1990) avaliou *in vitro* o desgaste do P-50, para posteriores, com um tamanho médio das partículas de carga em torno de 1,5  $\mu\text{m}$ , e do Herculite, uma resina composta universal, com uma média de tamanho das partículas de 0,6  $\mu\text{m}$ . Foram feitos 12 discos circulares (com 912,7 mm de diâmetro e 2,4 mm de espessura), para cada resina composta. Terceiros molares foram escolhidos para serem antagonistas destes discos e ambos, discos e dentes, foram armazenados em água deionizada, a 37°C, por no mínimo 4 horas, para permitir o “condicionamento”. Um teste servo-hidráulico *in vitro*, simulando os movimentos mastigatórios foi usado, com 300.000 ciclos mastigatórios definidos; isso equivale a 1,2 anos de desgaste na boca. Após estes ciclos, as resinas foram lidas num perfilômetro. A leitura e a digitação foram feitas usando-se uma agulha de deslocamento precisa e um sistema de aquisição de dados. Foram feitas fotomicrografias ao MEV. Os resultados indicaram desgastes de volume de 0,059 mm<sup>3</sup> para o P-50 e 0,081 mm<sup>3</sup> para o Herculite, em média, com as fotomicrografias ao M.E.V. confirmando essas diferenças. No local de desgaste dos discos das resinas, as áreas eram semelhantes, sendo que foram observadas fraturas, no interior destas áreas, em cerca da metade dos casos, apenas para o Herculite. Além disso, o esmalte das cúspides apresentava-se com diferentes padrões de rugosidade, pois aquele oposto ao P-50 mostrou sulcos mais profundos e em maior número que o oponente do Herculite.

Pintado (1990) termina seu estudo relatando que, ao se utilizar dentes humanos no experimento, adiciona-se uma variável biológica (forma variada dos dentes) que aproxima mais o estudo laboratorial do estudo clínico. Concluiu que o desgaste abrasivo das resinas compostas está diretamente relacionado com a dimensão de suas partículas (cargas), o que também causa uma variação no desgaste do esmalte dos dentes que fazem o contato oclusal com as resinas compostas.

Satou *et al.* (1992) avaliaram o desgaste *in vivo* e *in vitro* de 10 resinas compostas (6 polimerizáveis por luz visível e 4 quimicamente ativadas), juntamente com o esmalte. Tais materiais foram submetidos simultaneamente à vibração e ação de deslizamento, num desgaste do tipo 3 corpos, com diferentes abrasivos espalhados no disco acrílico. Comparações com micrografias de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV) das superfícies de desgaste *in vivo* permitiram a determinação de condições adequadas para o teste de desgaste *in vitro*. Relataram ter existido uma considerável variação no padrão de desgaste *in vitro* pela hidroxiapatita e pelo carborundo verde usados neste estudo. Também apontaram que, com o primeiro abrasivo, o compósito híbrido abraseou-se menos que o de

micropartículas, e que foi observada uma correlação negativa entre a taxa de desgaste e os valores de dureza Knoop.

Satou *et al.* (1992) concluem ainda, que o desgaste abrasivo de resinas compostas está associado ao contato entre o dente opositor e o dente onde é realizada a restauração. Em seu experimento, utilizaram uma máquina que fornecia às amostras vibração e deslizamento sob suas superfícies simultaneamente, produzindo diferentes tipos de desgaste. Relatam também que a fraqueza relativa das resinas com micropartículas relacionadas à vibração deve ter contribuído para a elevação do desgaste, em contraste ao baixo desgaste apresentado pelas resinas com micropartículas em superfícies sob tensão.

Pallav *et al.* (1993) analisaram a influência da ação de deslizamento de um dente antagonista (como descrito em trabalho anterior de DE GEE *et al.*), ao causar desgaste sobre várias resinas compostas e um amálgama, ao se alterar gradualmente a distância entre os substratos oponentes. Utilizaram um sistema tipo 3 corpos (onde existe uma pasta que simula a película de alimentos). Com base em trabalhos de Engenharia, teceram considerações sobre separação hidrodinâmica e os tipos de desgaste existentes (erosivo e de contato direto), que podem ocorrer caso exista ou não contato direto entre os discos oponentes. Lembraram que a perda de material, ocorrida por fadiga nas camadas abaixo da superfície do substrato, não pode ser demonstrada com a pressão de contato de 45 MPa, na qual realizaram seu experimento. Pode-se concluir que pequenas diferenças na espessura da película de alimento na área de contato podem resultar em grandes variações nas taxas de desgaste e na classificação destas taxas, o que pode ser uma das causas de resultados conflitantes entre diferentes estudos clínicos. Foi sugerido que o desgaste oclusal era causado por 3 componentes: 1)- atividade erosiva na área livre de contato; 2)- fenômeno tipo pino-sobre-disco das partículas de carga, em micro-escala, nas áreas de contato oclusal e 3)- fadiga de superfície, das quais especialmente a última deve ser assunto de maiores estudos. Os resultados presentes justificavam o modelo como sendo aquele que incluía uma simulação real da complexidade do desgaste clínico. Mais experiências deveriam ser feitas para esclarecer as implicações complexas da carga dinâmica na destruição de material sob tensão, para que materiais apropriados fossem idealizados, possibilitando um funcionamento durável das restaurações.

Matsumura & Leinfelder (1993) analisaram a resistência ao desgaste *in vitro* de resinas compostas fotopolimerizadas em laboratório (Cesead, Dentacolor, Elcebond, New Metacolor, Thermoresin L C e Visio-Gem) em áreas de contato oclusal; uma resina acrílica convencional, usada comumente nestes casos de próteses fixas, serviu de parâmetro. Todas as

resinas sofreram polimerização após terem sido colocadas (em incrementos) em cavidades de 4 mm de diâmetro por 3 mm de profundidade existentes em discos confeccionados em ligas de Ag-Pd; além disso todos os espécimes ficaram armazenados em água a 37°C, por 72 horas, após a superfície dos corpos-de-prova terem sido regularizados com lixas de carbetto de silício de granulação no 1000. Na execução dos testes, os espécimes permaneciam imersos num banho de água à 25°C e sobre eles era colocado uma pasta de água com pérolas acrílicas (diâmetro médio de 44 µm) para simular o bolo alimentar. Um estilete de aço com ponta arredondada era posicionado no centro da resina de cada corpo-de-prova, aí aplicando uma carga de 75,6 N, com 7500 ciclos por hora; durante este período o estilete sofria movimentos de rotação, com o ciclo de subida e descida do mesmo de 100.000 vezes. O desgaste, analisado com um perfilômetro, era definido como a distância desde a superfície do espécime até o ponto mais profundo da cavidade cilíndrica produzida pelo dispositivo de teste. Os espécimes foram analisados também ao M.E.V. Os valores de desgaste observados variaram de 85,0 µm a 160,0 µm, sendo de 352,5 µm para o P.M.M.A. O desgaste das resinas compostas, apesar de algumas diferenças entre si, exibiu-se substancialmente menor do que a resina acrílica, entretanto esta apresentou-se mais lisa que as demais.

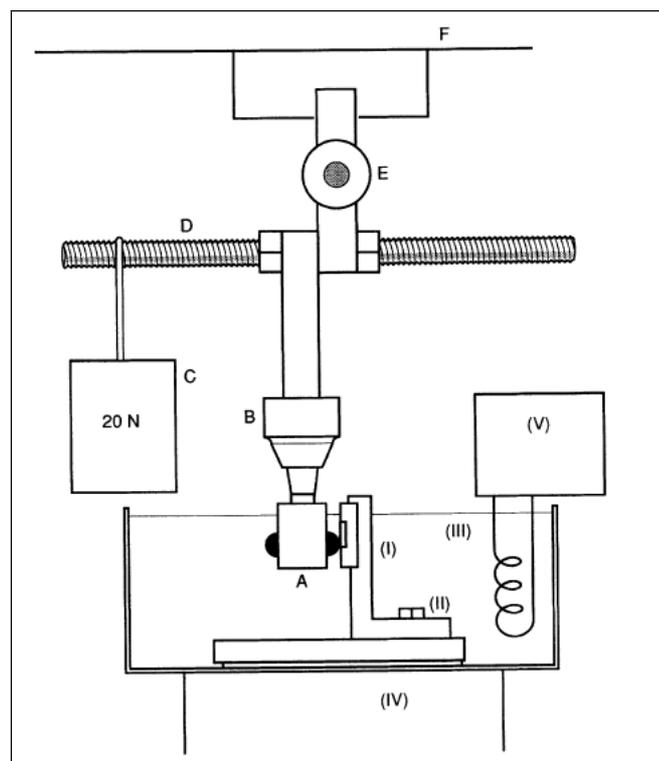
Matsumura & Leinfelder (1994) estudaram o desgaste de 4 tipos de resinas compostas fotopolimerizáveis (Cesead, Elcebond, New Metacolor e Thermoresin LC) através de teste de desgaste tipo 3 corpos, por eles desenvolvido, sendo que este instrumento era capaz de prognosticar o desgaste oclusal das resinas compostas posteriores. Este instrumento consistia de um mecanismo que possui uma haste de ponta esférica de 8 mm de diâmetro, dotada de movimento circular, que aplica sobre a superfície coberta com o material ensaiado (resinas compostas) uma carga de 7,7 kgf à uma frequência de 7.500 ciclos por hora, até atingir 400.000 ciclos. Os resultados obtidos geralmente correlacionavam-se bem com os resultados clínicos; utilizaram um perfilômetro para medição e os corpos-de-prova foram analisados por um microscópio eletrônico de varredura. Observaram que todas as resinas testadas exibiram melhor resistência ao desgaste do que as resinas sem partículas; como as fotomicrografias dos 4 compósitos exibiram partículas de carga expostas, após o teste, afirmaram que isto apontava diferenças na resistência ao desgaste entre a matriz de resina e as partículas de carga. Relataram que, entre os 4 materiais testados, Cesead e New Metacolor pareciam ser aceitáveis como materiais para uso em restaurações de dentes posteriores e anteriores, porém não tendo ainda sido comprovado ser adequado o uso de resinas compostas, quanto a sua resistência ao desgaste, nas áreas de contato oclusal intenso, como áreas de relação cêntrica, onde deveriam ainda ser usados materiais metálicos. Após analisar os

resultados, os autores chegaram à conclusão de que a resistência ao desgaste das resinas compostas é diretamente influenciada pelas propriedades do ambiente ao qual está submetida e pelas propriedades de seus materiais constituintes, como o tamanho de suas partículas (cargas), por exemplo.

Wassell *et al.* (1994) efetuaram um estudo, no qual afirmaram que o desgaste dos materiais restauradores é um fenômeno complexo que envolve componentes abrasivos, adesivos, de fadiga e de corrosão; lembraram que os estudos clínicos acerca deste desgaste consomem muito tempo, além de terem um alto custo; e que nenhum dos numerosos testes *in vitro* desenvolvidos para se antecipar o desempenho clínico dos materiais tem se mostrado totalmente adequado para este objetivo. Apontaram que uma importante dificuldade, nos testes pertinentes do tipo dois-corpos, era que, se o esmalte fosse usado como o agente de abrasão, suas características físicas e morfológicas variavam de um espécime para outro; considerando ainda que a forma do agente de abrasão era também um fator de importante influência neste processo, afirmaram que, num esforço para vencer os problemas de heterogeneidade dos espécimes de esmalte e da concentração de esforços nas arestas de espécimes cilíndricos, escolheram um material cerâmico, denominado esteatita (composto por óxidos de silício, magnésio, titânio, ferro, cálcio, potássio e sódio), como um substituto em potencial do esmalte, pelo fato da dureza de ambos serem semelhantes e dela ser encontrada comercialmente na forma de esferas de 9,5 mm. Utilizaram uma máquina de ensaios universal, em conjunto com um dispositivo especialmente construído para padronizar a velocidade de abrasão e medir a força de atrito. Lembraram que o coeficiente de atrito é um fator que pode ser importante na determinação da taxa de desgaste, e que, apesar da impressão de existir uma inter-relação entre desgaste e atrito, pois ambos resultam da interação da rugosidade das superfícies envolvidas, em muitos materiais tal relação não pode ser claramente observada, apesar deste ser curiosamente um conceito bastante difundido na literatura. Baseados no princípio de que a resistência ao desgaste de resinas compostas poderia ser incrementada através da redução do coeficiente de fricção (para evitar inclusive a fusão localizada de material, quando do uso de dispositivos de abrasão na forma de esferas de aço), o que talvez fosse um caminho para o alcance de maiores resistências para tais materiais, compararam as taxas de desgaste e as características friccionais de dispositivos de abrasão, confeccionados com esmalte e esteatita, no desgaste de 4 resinas compostas e 1 amálgama. Um detalhe interessante é que procuraram escolher dentes cujas cúspides tivessem curvaturas semelhantes às das esferas de esteatita, no local do contato que teriam com os materiais a serem desgastados. Seus resultados mostraram que a esteatita e o esmalte apresentaram

coeficientes de atrito similares (com coeficiente de correlação de 0,98), tendo sido observada uma correlação linear entre profundidade (e volume) no local desgastado e a quantia de ciclos realizados (com coeficiente de correlação de 0,98 a 0,99); a taxa de desgaste não foi afetada pelo aumento da área da faceta abrasiva, sendo aquela ligeiramente maior, quando do emprego da esteatita, mas tendo existido uma correlação razoável entre ambos os agentes de abrasão ( $r = 0,94$ ). Observaram um alto índice de correlação entre fricção e desgaste, para a esteatita ( $r = 0,88$ , com  $P < 0,05$ ), mas não para o esmalte. Verificaram que os compósitos híbridos sofreram maior taxa de desgaste, desgastando ambos os abrasionadores mais do que o fizeram as resinas de micro-partículas ou o amálgama, e consideraram a esteatita como um substituto adequado para o esmalte, em estudos deste tipo.

Wassell *et al.* (1994); desenvolveram um equipamento para analisar o desgaste abrasivo de resinas compostas, como é ilustrado na Fig. 11.



**Figura 11** - Desenho esquemático do dispositivo proposto por WASSSELL *et al.* (1994).

- |                                |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| A, moedor hemisférico montado  | (I) apoio cilíndrico montado |
| B, mandril da broca            | (II), placa ajustável        |
| C, carga de 20N                | (III) – água do banho (37°C) |
| D, membro transversal colocado | (IV) pilha de carga          |
| E, rolamento de baixa fricção  | (V) calefador e o termostato |
| F, cabeça transversal          |                              |

Assim, no equipamento de Wassell *et al.* (1994), o abrasivo era colocado em calotas esféricas (A) e a resina colocada em um apoio cilíndrico (I), de 9 mm de diâmetro e 2mm de profundidade. Uma força de 20 N causa o avanço do abrasivo, de encontro à resina. O sistema era mantido imerso em água à temperatura de 37°C, controlado por um aquecedor e um termostato (V).

Dias (1995), em seu trabalho de graduação, apresentou as razões matemáticas que nortearam o desenvolvimento de um método para avaliar o desempenho de resinas restauradoras, assim como seu respectivo banco de ensaios, que incluía um software, entre outros aspectos.

Menezes & Muench (1998) realizaram um trabalho que teve a finalidade de determinar o número relativo de radicais livres e a dureza Knoop de três resinas compostas (Z100, Silux Plus e Heliomolar RO). Para o ensaio dos radicais livres, as irradiações foram: 110, 180, 300, 580  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , pelos tempos de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 e 90 segundos. As durezas foram determinadas com as cores claras com irradiação de 110 e 300  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , por 20, 40, 60 e 80 segundos, nas faces da frente e do fundo, nas idades de 5 minutos, 1 hora, 1 dia, 1 semana e 1 mês. As conclusões foram: a resina Z100 apresentou cerca de 3 vezes mais radicais livres do que as outras; o número relativo de radicais livres aumenta com a intensidade e tempo de exposição; maior intensidade de luz aumentou a dureza; maior tempo de exposição aumentou as durezas das resinas Silux Plus e Heliomolar, mas não da Z100; a dureza aumentou com a idade até 1 mês; o lado da irradiação apresentou maior dureza do que o do fundo; a resina Z100 foi bem mais dura e sofreu menos a influência da irradiação.

Wang *et al.* (1998) modificaram um tribômetro (aparelho utilizado para medir a intensidade do atrito entre duas superfícies) de forma que ficasse como o aparato de um teste de desgaste do tipo agulha-no-disco. Uma amostra de material dentário restaurador foi utilizada como agulha e um rebolo de diamante como o abrasivo. Ambas forças normais e de atrito foram registradas no decorrer do teste. A razão volumétrica de desgaste foi calculada pela mudança do comprimento e área de secção transversal da amostra. O modo de falha na superfície desgastada foi analisado utilizando-se fotografias de microscopia eletrônica de varredura (SEM). A razão de desgaste específico e coeficientes de atrito de três produtos restauradores dentais comerciais (Z-100 (3M), Renamel (Cosmedent) e Clearfil AP-X (Kuraray)), fora comparados. Pela combinação dos resultados do teste de desgaste com a observação microscópica das superfícies desgastadas, puderam-se determinar os mecanismos primários de desgaste e interpretar os dados sob as condições do teste. Os resultados foram racionalizados em termos do espaçamento entre partículas, arrancamento das mesmas e

fratura frágil dos materiais. Enfatizou-se que esse trabalho não correlaciona tão bem os testes *in vitro* quanto um estudo clínico, contudo é um bom controle experimental das condições e pode identificar os fatores que levam o material a iniciar o mecanismo de desgaste.

Barkmeier, Wilwerding, *et al.* (1999), afirmam que novas resinas compostas têm sido desenvolvidas com um potencial de substituir o amálgama. Propõem determinar e comparar o desgaste abrasivo localizado de três resinas compostas de “alta densidade” (Alert, Solitair e Surefil) e duas resinas compostas “convencionais” (TPH e Z-100). Os corpos-de-prova foram preparados de modo a obter uma superfície polida. O perfil da superfície foi registrado utilizando-se um perfilômetro. Os corpos-de-prova foram submetidos à 400.000 ciclos na máquina de desgaste de LEINFELDER. Após o ensaio, um segundo perfil do corpo de prova foi gerado e comparado ao primeiro utilizando o “software” AnSur 3D. O volume total removido e a máxima profundidade de desgaste abrasivo em cada corpo de prova foram calculados. Os resultados por eles obtidos é apresentado da tabela 1. Concluem que existe uma diferença significativa no desgaste abrasivo localizado das cinco resinas compostas analisadas.

**Tabela 1.** Os resultados do estudo de Barkmeier, W. W., Wilwerding, T. M. *et al.* (1999).

	<b>Volume removido (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Profundidade máxima (µm)</b>
<b>Z-100</b>	0,010±0,003	69,2±8,8
<b>SureFil</b>	0,014±0,004	82,6±11,4
<b>Alert</b>	0,016±0,005	80,9±15,4
<b>Spectrum TPH</b>	0,042±0,003	125,2±11,1
<b>Solitaire</b>	0,062±0,008	159,2±15,0

### 3.2.3.2. Quanto ao método empregado nesse trabalho de pesquisa

Coelho (1991) estudou as propriedades de dressagem de rebolos em operações de retificação de precisão. Em linhas gerais, o método por ele desenvolvido consistia em se manter um disco estático (confeccionado com o material da peça cilíndrica que seria retificada e que seria o agredido), o qual era imobilizado no eixo horizontal de uma extremidade de uma balança própria, pressionado em sua superfície externa contra a superfície similar de um determinado rebolo (agressor), sob ação de uma força normal constante, com este girando por um tempo determinado, para se verificar quanto de desgaste sofria o agressor e/ou o agredido. Era continuamente registrado o deslocamento sofrido pelo disco estático, em direção ao rebolo contra o qual se mantinha pressionado, por aquela força normal constante, para que os

cálculos desejados pudessem ser efetuados. Embora este trabalho não tivesse, até aquela data, nenhuma previsão de utilização para desgastar resina, este foi o propulsor do método proposto neste trabalho.

Bianchi *et al.* (2002) modificaram o método do disco retificado de Coelho, adaptando-o para a avaliação de materiais restauradores odontológicos. As modificações introduzidas naquele método basicamente consistiram de: 1) uma substituição dos discos agressor e agredido de Coelho (respectivamente, rebolo e material da peça a ser retificada) por discos metálicos revestidos de um mesmo material restaurador odontológico, sendo que nestes primeiros ensaios foram utilizadas duas resinas compostas; 2) uma alteração da localização do disco agressor, agora girando preso ao eixo árvore de um cabeçote de teste; e 3) de uma alteração dos diâmetros destes discos, que passaram a ser iguais. Conseqüentemente, foi necessária uma modificação do equacionamento do método, que consistiu na elaboração de um programa computacional (“software”) de aquisição e manipulação de dados, semelhante ao desenvolvido por aquele autor (Coelho). A elaboração deste programa ocorrera no trabalho de Dias.

A escolha das resinas foi feita pela diferença de desempenho clínico apresentado, apesar de ambas possuírem uma boa qualidade clínica.

Os dois tipos de resinas ensaiadas são híbridas e possuem composições muito semelhantes. A resina Herculite possui boro, silicato de bário, alumínio e sílica coloidal, e a APH apresenta sílica coloidal e silicato de bário modificado, na suas respectivas constituições. A diferença básica entre elas é o tipo de vidro cerâmico utilizado e as pequenas partículas híbridas das resinas.

Entretanto, pode-se verificar que o método desenvolvido apresenta pequena variabilidade. Isto pode ser verificado através da análise estatística dos resultados apresentados na tabela 2, que apresentou valores reduzidos de dispersão.

**Tabela 2.** Resultados obtidos nos ensaios do trabalho realizado (BIANCHI *et al.* 1996a)

*	Resultados em termos de Agressão obtidos nos 4 ensaios [mm <sup>3</sup> /N.s]				X [mm <sup>3</sup> /N.s]	S [mm <sup>3</sup> /N.s]
<b>AxA</b>	0,119	0,125	0,128	0,115	0,121	0,006
<b>AxH</b>	0,126	0,125	0,126	0,120	0,124	0,002
<b>HxA</b>	0,042	0,043	0,047	0,043	0,043	0,002
<b>HxH</b>	0,037	0,033	0,033	0,033	0,034	0,002

\*: Combinação das resinas estudadas / X: Média dos resultados obtidos/ S: Desvio padrão

O coeficiente de variação (CV), que fornece um indicativo da dispersão, é calculado através do desvio padrão. Para os casos analisados, os valores de CV obtidos foram: 5,0% para AxA, 1,6% para AxH, 4,7% para HxA e 5,9% para HxH.

Considerando-se que estes valores de CV são reduzidos, mostrando um indicativo de pequena variabilidade dos elementos do universo, isso possibilita dimensionar uma amostra com quinze casos, por exemplo, obtendo-se uma margem de erro de no máximo 0,003 mm<sup>3</sup>/N.s, com confiança de 95%, de acordo com o método editado por Costa Neto em 1977.

Os dados existentes sobre desgaste de resina, nos métodos de avaliação clínicos, são puramente experimentais, apesar de existir fatores interferentes e indesejáveis como hábito alimentar, variação na forma de mastigação, influência do pH da cavidade bucal, dentre outros. Isto dificulta uma análise imparcial do desgaste da resina composta.

Para otimizar e fornecer uma maior credibilidade aos resultados já existentes, e a outros, foi proposto neste trabalho o desenvolvimento de um banco de ensaios e de uma metodologia para a avaliação do desgaste em restaurações dentárias, em laboratório; portanto isenta de ações secundárias como pH, hábito alimentar, dentre outros.

Deste trabalho pôde-se concluir que apesar do método do disco retificado já existir, não bastou apenas aplicá-lo. Foi necessária uma série de adaptações tanto no método, quanto no banco de ensaios, para que se conseguisse encontrar as condições necessárias para que o método fosse aceitável e, simultaneamente, melhorar as condições de ensaio.

Para uma melhor compreensão do que ocorre durante os ensaios, deve-se observar os resultados como sendo a soma de duas características diferentes de um mesmo material: a resistência ao desgaste e a capacidade de um material em desgastar o outro. O principal responsável pelo desgaste é o disco dinâmico e quem sofre a maior parcela do desgaste é o disco fixo.

Comparando-se a coluna HxH e AxH, pode-se verificar que a característica de resistência ao desgaste do disco fixo é a mesma. Assim, a resina A é mais agressiva que a resina H; ou seja, a resina A desgasta-se mais.

A compreensão deste raciocínio é fundamental para se conseguir identificar como este método avalia a resistência ao desgaste de cada resina.

Como aplicação prática, este método possibilita a elaboração de tabelas de desgaste de vários tipos de materiais, com uma ordenação de resistência ao desgaste, das

resinas existentes no mercado, para a identificação das resinas. Também pode auxiliar em pesquisas, agilizando a avaliação destas características da resina composta.

Da análise estatística pode-se concluir que o método desenvolvido apresenta valores reduzidos de variabilidade. Portanto, trata-se de um método que possibilita a repetitividade dos resultados com uma margem de erro de no máximo  $0,003 \text{ mm}^3/\text{N.s.}$

Os referidos autores terminam afirmando que esta nova metodologia de ensaios para o estudo do desgaste abrasivo de resinas compostas poderá colaborar em pesquisas de desenvolvimento de resinas dentárias.

Bianchi *et al.* (1996b) divulgaram o método apresentado em seu trabalho anterior (Bianchi *et al.*, 1996a), junto à classe odontológica, com o título “Uma contribuição à avaliação do desgaste abrasivo de resinas compostas”, durante um Fórum Nacional de Ciência e Tecnologia em Saúde - em conjunto com o III Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, XV Congresso Brasileiro de Físicos em Medicina, VI Congresso Brasileiro de Informática em Saúde, V Encontro Brasileiro de Proteção Radiológica, realizado em Campos do Jordão - SP, sendo o mesmo bem aceito pelos pesquisadores presentes.

Também em 1996 o referido trabalho foi apresentado com o título “Avaliação do desgaste abrasivo de resinas compostas”, no 14º Congresso Mundial do Comitê Internacional de Pesquisa em Implantologia Oral - IRCOI, realizado em Juiz de Fora no período de 19 a 22 de setembro de 1996, obtendo novamente boa aceitação e despertando grande curiosidade dos expectadores formada, principalmente, por dentistas.

Bianchi *et al.* (2000) apresentaram a otimização da metodologia e o estudo do desgaste de cinco resinas compostas, as mais utilizadas pelos cirurgiões dentistas. Para a realização da análise estatística dos resultados obtidos foi utilizado o método One Way ANOVA e o Teste de Tukey para as comparações entre os grupos de resinas testadas. Pôde-se classificar as mesmas quanto à resistência ao desgaste, em ordem crescente, da seguinte forma: Charisma (menos resistente ao desgaste), Tetric, TPH, Herculite e Z-100 (mais resistente ao desgaste) ( $p < 0,05$ ). Dos resultados obtidos, pôde-se verificar que o método proposto foi o que apresentou menor coeficiente de variação.

Bianchi *et al.* (2002) realizaram a publicação na revista WEAR de seu trabalho, o desenvolvimento de um novo processo de avaliação no desgaste abrasivo de resinas compostas, com as alterações feitas no método do disco retificado de Coelho (1991). Utilizaram cinco compostos que, segundo eles, eram os mais utilizados por dentistas. Usando a metodologia proposta, estas resinas foram classificadas em uma ordem crescente da força abrasiva do desgaste, como segue: Charisma (menor valor de desgaste abrasivo), Tetric, TPH,

Herculite e Z-100 (maior valor de desgaste abrasivo) do desgaste ( $P < 0.05$ ). Na comparação com outras metodologias, os resultados da metodologia proposta apresentaram o mais baixo coeficiente de variação.

### **3.2.4. Fatores que influenciam na resistência ao desgaste de resinas compostas**

#### **3.2.4.1. Fatores relacionados à luz fotopolimerizante**

Vieira *et al.* (1998) avaliaram cinco diferentes aparelhos fotopolimerizadores, com a intenção de analisar a irradiação por eles emitida. Utilizando-se de um método composto por espectrofotômetro, monocromador e uma óptica adequada, analisaram a transmitância dos filtros, as características da fonte de radiação de luz (lâmpada) e o desempenho das ponteiros. Concluíram que os aparelhos emitem energia na faixa de comprimento de onda adequada, de 350 nm a 530 nm, e que a concentração maior de energia ocorre na faixa de 430 nm a 470 nm.

Santos *et al.* (2000) avaliaram a eficácia de dois aparelhos fotopolimerizadores do tipo pistola (de alta intensidade de luz), comparando com a de um aparelho a cabo (de baixa intensidade de luz), com tempos de exposição de 20 e de 40 segundos e em profundidades de 1 a 4 milímetros. Os testes avaliaram o grau de polimerização da resina por meio de testes de microdureza Knoop. Os resultados mostraram haver diferença estatisticamente significativa entre os tempos, sendo que com 40 segundos a dureza foi maior que com 20 segundos para as 4 diferentes profundidades. Para o fator aparelhos, os dois aparelhos tipo pistola se comportaram superiores ao do tipo cabo Fibrilux (Dabi Atlante), e entre eles, o XL 1500 (3M) promoveu dureza maior que o Optilight II (Gnatus) no tempo de polimerização de 40 segundos. As profundidades de 1, 2, 3 e 4 milímetros mostraram estatisticamente diferença entre si tendo sido encontrada maior dureza para as menores profundidades ( $p < 0,05$ ).

Segundo Kurachi *et al.* (2001), com um maior desenvolvimento dos instrumentos de fotopolimerização baseados em LED, estes podem tornar-se dispositivos mais eficientes que as lâmpadas convencionais. Em seu trabalho desenvolveram um estudo cujo objetivo foi a avaliação da dureza de uma resina composta polimerizada por cinco dispositivos baseados em LED (diodo emissor de luz), e uma comparação com uma unidade de polimerização convencional. O teste de dureza foi usado para comparar a eficácia de ambos os tipos de fontes de luz.

Os dispositivos baseados em LED foram feitos empregando uma matriz de LEDs (Nichia Chem. Ind., Japão) emitindo pico de luz em 470 nm. A resina composta (Z100, cor

A3) foi polimerizada por 20, 40, 60, 120 e 180 s com cada dispositivo baseado em LED e por 40 s com a lâmpada halógena. As amostras de compostos foram preparadas com 0.35, 1.25 e 1.8 mm de espessura. Cinco amostras de cada configuração de parâmetros foram feitas. A avaliação da dureza foi executada na superfície não iluminada com três indentações para cada amostra.

Todas as amostras fotopolimerizadas pelos dispositivos baseados em LED mostraram valores inferiores de dureza quando comparados com a lâmpada halógena no tempo de fotopolimerização típico (40 s). O L6 (dispositivo composto de seis LEDs) foi o mais eficiente dos dispositivos baseados em LED. A irradiação obtida foi de  $72 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , visto que a irradiação da lâmpada halógena foi de  $475 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Para o dispositivo L6 apresentado, tempos de exposição longos ou uma camada de resina mais fina são necessários para conseguir valores razoáveis da dureza.

Segundo Abate *et al* (2001), variações nos parâmetros de luz polimerizante, tais como intensidade da luz e distância da luz ao material, podem afetar as características físicas das resinas polimerizadas. O propósito deste estudo foi caracterizar a relação entre energia de luz total e a dureza final de 4 compostos polimerizados sob condições variadas.

Quatro resinas compostas de restauração (Z100, Filtek A110, Tetric Ceram e Tetric Flow) foram usadas para preparar 4 discos (6 x 2 mm) para cada condição experimental. Fotoativações foram realizadas com um dispositivo de luz e energia de 22.6, 15.7, 9.0, ou  $6.7 \text{ J}/\text{cm}^2$ . Qualquer das distâncias (0,5, 10, 15 mm) ou tempo de ativação (40, 28, 16, 12 segundos) foram variados. Imediatamente após a polimerização, a dureza Barcol foi determinada na superfície que foi exposta à luz. Análises da variância e de regressão foram usadas para examinar os dados. Nenhuma significância foi encontrada para todo efeito de variáveis experimentais (tempo de polimerização e distância), mas diferenças significantes foram encontradas entre materiais e níveis de energia. Valores de dureza foram 3,0 a 3,5 para a Tetric Ceram, Tetric Flow e Filtek A110 e aproximadamente 4,9 para Z100. Entre as limitações deste estudo, a dureza de 4 compostos testados foram relacionados à energia de polimerização total usada. A maneira na qual a energia foi modificada (distância da luz ao material ou tempo de ativação) não teve nenhuma influência nos valores de dureza.

Halvorson *et al* (2002) estudaram o relacionamento entre a extensão da polimerização e a energia radiante (dose) aplicada durante a fotopolimerização de compostos baseados em resinas. Foi usado um espectrômetro FTIR para medir a conversão - a extensão na qual o monômero é transformado em polímero - (5 min e 24 h) de quatro compostos baseados em resina preparados num filme fino e polimerizados sob condições de intensidade

decrecente e um tempo de exposição constante (30 s) usando uma luz de fotopolimerização halógena de tungstênio. A conversão de medida foi obtida sobre uma larga escala de energia radiante aplicada. Adicionalmente, exemplos de 2 dos materiais foram polimerizados em varias intensidades e tempos de exposição tais que a dose continuara constantes. Este processo foi executado em quatro níveis de dose representando aproximadamente 75% da escala de conversão.

O perfil de polimerização (conversão percentual versus energia radiante aplicada) descreve um decréscimo gradual na conversão com seguido decréscimo de energia por uma rápida descida. Embora haja diferenças na máxima conversão alcançada entre os materiais, quando a conversão é representada como uma relativa conversão fracional ao Máximo valor 24 h, seus perfis de polimerização de 5 min e 24 h parecem completamente similar. Adicionalmente, conversões muito similares foram medidas quando os filmes foram expostos usando equivalentes doses fornecendo evidências para uma relação recíproca entre irradiação (densidade de potência) e tempo de exposição. Para medições de 24 h, equivalências estatísticas foram registradas para a maioria das combinações de tempo de exposição e densidade de potência entre as doses dadas. Geralmente, as exceções ocorridas com os menores tempos de exposição. A relação de reciprocidade entre tempo de exposição e densidade de potência adiciona significância ao estudo de conversão como uma função duma dose aplicada total. Este relacionamento estabelece o perfil de polimerização como uma correlação universal entre tempo de exposição e densidade de potência.

Perfis de polimerização muito similares e quatro materiais compostos baseados em resina comercialmente disponíveis e foto-inicializáveis foram observadas quando filmes finos foram expostos para diminuir a densidade da potência. Conversão em pontos distintos ao longo deste perfil de conversão pode ser duplicado com energia aplicada equivalente, que documenta a relação de reciprocidade entre a densidade da potência e tempo de exposição sobre um quadro de tempos de interesse prático. A significância destes resultados é que, dadas o perfil de polimerização para compostos baseados em resina e suas propriedades de transmissão para a luz de polimerização, a conversão de algum ponto entre o material pode, teoricamente, ser determinada por alguma dose aplicada.

Tsai *et al.* (2004) concluíram em seu trabalho que as luzes de polimerização LED disponíveis comercialmente usadas no estudo oferecem profundidade de polimerização e microdureza adequadas para espessuras de resinas que são recomendadas para uso no método de construção incremental (2mm ou menos). Para espessuras de resinas maiores que esta, suas performances não são iguais àquela das luzes de polimerização de quartzo tungstênio

halógenas convencionais e de alta intensidade. Nesse trabalho examinou-se a profundidade da microdureza da fotopolimerização da resina composta Filtek Z250 de diferentes cores (B1, A3 e C4), com o uso de 3 equipamentos de fotopolimerização baseados em LED, comparado com aparelhos de luz alógenas de quartzo tungstênio de alta intensidade (HQTH) e luz halógena de quartzo tungstênio (QTH), apresentados na Fig. 12.



**Figura 12** - Aparelhos de fotopolimerização empregados no trabalho de Tsai, P. C. L. *et al.* Da esquerda para a direita, E-light, Freelight, 475H, LJW1 e Ledlenser

Os efeitos das fontes de luz e cores da resina foram avaliadas como variáveis independentes. Profundidade de fotopolimerização após 40 s de exposição foram determinadas usando o método ISO 4049:2000 e dureza Vickers determinadas em intervalos de 1 mm.

As lâmpadas HQTH e QTH proporcionaram as maiores profundidades de polimerização. As três luzes de LEDs mostraram performances similares em todos os parâmetros, e cada unidade excedeu o padrão ISO para profundidade de polimerização, exceto GC ELight para a cor B1. Dureza nas superfícies das resinas não foi significativamente diferente entre LED e luzes de polimerização convencionais, entretanto, abaixo da superfície, a dureza reduziu mais rapidamente para luz LED, especialmente na profundidade além de 3 mm. Considerando-se o desempenho da reunião das três luzes de LED face o padrão ISO para

profundidade de cura, este sistema parece apropriado para aplicação clínica de rotina para polimerização de resinas.

### 3.2.4.2. Fatores relacionados à característica da resina

#### 3.2.4.2.1. *Tamanho das partículas da resina*

Leinfelder *et al.* (1989), Pintado (1990), Braem *et al.* (1989) e Matsumura & Leinfelder (1994) estudaram a relação entre a resistência ao desgaste abrasivo e as características das partículas. Seus trabalhos estão descritos na seção 3.2.3.1

#### 3.2.4.2.2. *Cor das resinas*

Tsai (2004) realizou um trabalho no qual examinou-se a profundidade da microdureza da fotopolimerização da resina composta Filtek Z250 de diferentes cores (B1, A3 e C4). Em termos das cores, as radiações obtidas por LED estudadas têm maiores profundidades de polimerização com a cor A3, enquanto as luzes QTH e HQTH estudadas tem maiores profundidades de polimerização com cor C4. Portanto as luzes podem influenciar na profundidade de polimerização.

#### 3.2.4.2.3. *Pós-polimerização e acabamento da superfície*

Menezes & Muench (1998), realizaram um trabalho onde se constatou que a dureza das resinas se altera com o passar do tempo após a polimerização. A dureza aumentou com a idade até 1 mês. Acima, no item 3.2.3.1, são encontradas mais informações a respeito desse estudo.

Reis *et al.* (2000) estudaram a influência de diferentes sistemas de polimento sobre 2 resinas compostas “condensáveis”. Usaram as resinas Solitaire e Alert e confeccionaram 30 amostras de cada material, as quais foram submetidas a 6 diferentes tratamentos de polimento, especificados a seguir: 1- pontas Enhance; 2- pontas Politip F; 3- pontas diamantadas F e FF; 4- brocas “carbide” de 30 lâminas; 5- pasta diamantadas Poli I e Poli II; 6- pasta diamantada Ultralap. A rugosidade superficial foi determinada através de um rugosímetro (Surftest 211 – Mitutoyo). A resina Solitaire apresentou maior lisura de superfície que a Alert. Entre os tratamentos aplicados para polimento, as pontas Politip F e as brocas “carbide” de 30 lâminas apresentaram os melhores resultados para as 2 resinas testadas.

Peutzfeldt & Asmussen (2000) publicaram um trabalho para determinar o efeito de diferentes métodos de pós-polimerização nas propriedades mecânicas, grau de conversão e desgaste *in vitro* de duas resinas compostas (Z100 e Charisma). Os métodos de pós-polimerização envolveram aparelhos específicos para restaurações, assim como aparelhos atuais para outros propósitos em vários laboratórios dentais ou clínicas dentárias. Os espécimes de resinas compostas foram inicialmente polimerizados e então pós-polimerizados de acordo com os seguintes métodos: unidade de polimerização portátil Translux EC (10 min.), caixa de luz Translux EC (10 min.), Triad II (10 min.), 40°C (10 min.), 70 ou 110°C por 10 min., 1, 6, ou 24 horas. E as propriedades foram determinadas seguindo-se de um armazenamento dos espécimes por uma semana em água a 37°C. As propriedades mecânicas testadas foram resistência à tensão diametral, resistência à flexão e módulo de flexão. O desgaste *in vitro* foi induzido por um simulador de desgaste de três-corpos. A maioria dos processos de pós-polimerização aumentaram o grau de conversão de ambos materiais. Aumentou também as propriedades mecânicas e a resistência ao desgaste *in vitro* da Charisma, considerando que nenhum efeito foi encontrado nas propriedades da Z100. Dessa forma concluíram que a pós-polimerização com o uso de aparelhos prontamente disponíveis em laboratórios e clínicas dentárias, aumentam o grau de conversão da Z100 e Charisma, assim como as propriedades mecânicas e desgaste *in vitro* da Charisma. Um tratamento térmico a 110°C, por 10-60 min. pareceu ser o mais promissor método de pós-polimerização.

Estes métodos propostos pelas bibliografias consultadas mostram diferentes variáveis consideradas, mas deve-se considerar também que existem poucos dados clínicos com relação ao desgaste de diferentes resinas compostas. Torna-se então muito difícil dizer qual dos testes irá se correlacionar melhor com os experimentos clínicos. Correlação com os dados clínicos para diferentes tipos de materiais restauradores (amálgama, resinas compostas) servem como guia para a análise dos métodos, mas dados mais detalhados de variações dos métodos clínicos comparando as resinas compostas também se tornam necessários.

Em resumo, parece que uma grande variedade de testes está surgindo para analisar alguma propriedade, ou uma combinação de propriedades das resinas compostas. E o estudo dos mecanismos controladores destas propriedades em ambos os tipos, clínico e laboratorial, devem ser desenvolvidos, pois apenas com o desenvolvimento de ambos os métodos pode-se compará-los e chegar a um padrão confiável de análise do desgaste abrasivo das resinas compostas.

Visando a análise deste desgaste sofrido pelas resinas compostas, nota-se que dos diversos processos de usinagem existentes, o que mais se aproxima do proposto neste trabalho

é o processo de retificação, que consiste no desgaste de uma estrutura por um reboło em movimento. Rebolos são ferramentas abrasivas constituídas, basicamente, por grãos e ligante.

Com base neste fato é que se desenvolveu todo o método e o banco de ensaios do presente trabalho.

### **3.3. Características químicas das resinas compostas dentais.**

As resinas compostas dentais compreendem uma mistura de partículas duras, inorgânicas, unidas por uma matriz de resina macia, as quais geralmente são constituídas de três componentes principais: a matriz de resina incluindo: um sistema de monômero, um sistema iniciador para polimerização de radicais livres, e estabilizadores para maximizar a estabilidade de armazenamento das resinas compostas não-polimerizadas e a estabilidade química da resina polimerizada; partículas inorgânicas, consistindo de partículas como vidro, quartzo e/ou sílica fundida; e, finalmente, o agente de união, usualmente um silano-organo, que se une quimicamente, reforçando a ligação da partícula com a matriz de resina.

O componente resinoso de um compósito dental polimerizado é a matriz polimérica. Um polímero é uma grande molécula, construídas por uniões repetitivas próximas de várias unidades pequenas chamadas monômeros. Polimerização é o processo pelo qual os monômeros são unidos e convertidos em polímeros. Em Odontologia, geralmente, usam-se monômeros líquidos, sendo que durante o processo de polimerização eles se convertem em sólidos.

Nas resinas compostas fotopolimerizáveis por luz visível, o processo de polimerização inicia-se com a absorção de luz pela molécula do fotoiniciador. Este fotoiniciador na maioria das vezes é a canforoquinona (CQ). A luz que interage com o fotoiniciador funciona como fonte de energia necessária para promover uma excitação da CQ, bem como a ligação química com outros monômeros resinosos durante o processo de cura.

A energia total fornecida para que determinada resina composta polimerize é o produto da intensidade de luz emitida pelo aparelho fotopolimerizador (em  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) pelo tempo de exposição à luz (em segundos) (Nomoto, 1997). Assim, os principais fatores que são responsáveis pelo sucesso das restaurações estéticas realizadas em resina composta são: emissão suficiente de intensidade de luz, correto comprimento de onda emitido e tempo de exposição adequado. Assim, a energia luminosa emitida pela fonte deve pertencer à faixa de luz (em nm) capaz de sensibilizar o fotoiniciador da resina composta. Desta maneira, faz-se

necessária a qualidade e um bom funcionamento do aparelho fotopolimerizador, pois são diretamente responsáveis pela formação do polímero formado.

### 3.4. Fontes de fotopolimerização

Em Odontologia, as unidades de luz equipadas com as lâmpadas do halogênio são extensamente usadas para polimerizar as resinas que são curadas pela luz visível. As lâmpadas de halogênio emitem comprimentos de onda em uma larga escala e cobrem uma grande parte do espectro. Estes aparelhos requerem filtros especiais para limitar os comprimentos de onda a 370-550nm que caibam no espectro de absorção da canforoquinona (CQ), que é o mais popular fotossensível que se usa em resinas comerciais curadas com luz visível, e, segundo Nomoto (1997), tem um pico de absorção em 470 nm. De acordo com Nomoto (1997) , o comprimento de onda mais eficiente é 470 nm e o comprimento de onda mais adequado está na escala de comprimentos de onda de 450-490 nm.

Um grande inconveniente no uso das luzes de cura convencionais que é ocorre um declínio da irradiância excedente, ao passar do tempo, devido ao envelhecimento do bulbo e do filtro. Toda a fonte de luz com uma irradiância razoável nesta região pode ser empregada como um dispositivo de cura, mas a maioria das unidades de cura existentes que utilizam luz visível falham freqüentemente quando enfrentadas com os desafios das demandas de hoje para uma restauração mais complexa da resina.

A luz do halogênio é produzida quando uma corrente elétrica passa através dos filamentos extremamente finos de tungstênio-quartzo, que funcionam como um resistor e geram muito calor. O calor tem vários inconvenientes, incluindo a necessidade de ventiladores de refrigeração e a recolocação do bulbo ou filtro quando é queimado ou escurecido pela alta temperatura. Se a operação for feita com a irradiância diminuída, com um bulbo ou filtro danificado produz-se um polímero com propriedades físicas pobres, como falhas nas restaurações.

Uma nova e promissora tecnologia que surgiu no mercado como opção para polimerizar materiais fotossensíveis sem os inconvenientes dos aparelhos de lâmpada halógena é o LED (*light-emitting-diode*) que é fonte de luz no estado sólido, composto de diferentes semicondutores, para emissão de luz azul. Há uma grande vantagem neste aparelho: a energia luminosa produzida, a partir do nitrato de gálio, concentra-se em uma estreita faixa do espectro de luz visível, a qual coincide com espectro de absorção máxima da CQ (470nm). (FERRACANI, 1986). Outra vantagem é que os aparelhos de tipo LED não necessitam de

filtros, uma vez que comprimentos de onda desnecessários não são gerados, havendo mínima geração de calor.

Outra vantagem deste aparelho é que ele possui uma longa vida útil, de 10 mil (Mills, R.W.; Jandt, K.D.; Ashworth, S.H., 1999) a 100 mil horas, sem significativa degradação do fluxo de luz com o passar do tempo.

Sabe-se que os aparelhos LED emitem energia luminosa em comprimento de onda compatível com o fotoiniciador mais usado nas resinas, a CQ, mas ainda, muitas dúvidas têm sido levantadas por parte da comunidade odontológica, visto que a intensidade de luz geralmente emitida pelo LED é inferior à dos aparelhos de luz halógena. Face ao exposto, além das medidas de desgaste, também foi realizada a medida de intensidade de luz .

### **3.5. Dureza Vickers**

Uma propriedade importante que deve ser considerada para a caracterização de materiais dentários restauradores é a sua dureza de superfície. Devido à relação que existe entre dureza e outras propriedades físicas, os testes de dureza encontram aplicação universal.

Dureza é uma medida de efetiva polimerização e é, freqüentemente, utilizada como um indicador do grau de conversão monômero-polímero e da profundidade de cura. A interpretação usual dada ao termo dureza é a de “resistência à indentação”.

O conceito clássico de dureza fundamenta-se na resistência do material à penetração por uma ponta, sob carga específica, produzindo uma deformação permanente no mesmo.

Os testes clássicos de dureza por indentação são usualmente classificados em duas categorias: testes de macroindentação, para cargas maiores do que um quilograma, e teste de microindentação, para cargas com menos de um quilograma. Estes últimos são comumente usados em estudos comparativos de materiais dentários. A dureza de microindentação de materiais restauradores pode ser medida de várias maneiras. As mais comuns em Odontologia são os testes de microindentação Knoop e Vickers. Estas são técnicas em que a indentação é realizada e sua área medida para calcular a dureza para a carga correspondente. A dureza Vickers é definida como a resistência à deformação plástica permanente, causada por indentação e pode ser calculada como a carga aplicada, dividida pela área de superfície projetada da indentação criada em consequência do teste.

Ao se executarem medições de dureza com a técnica de indentação Vickers, a indentação tem de ser visualizada e seu tamanho tem de ser medido, pois a dureza Vickers (HV) é definida como  $VH = P/A$ , onde P é a carga aplicada (força) e A é a área da superfície

projetada da indentação deixada após o teste. Os valores de dureza Vickers para as resinas compostas variam de 25,4 a 186,4 kgf/mm<sup>2</sup>.

A medição de microdureza de resinas compostas é difícil, devido à natureza específica destes materiais (as resinas compostas consistem de um componente inorgânico e um orgânico). As partículas de carga inorgânica são duras em comparação com a matriz resinosa macia. Algumas áreas da superfície de uma resina composta contêm uma quantidade proporcionalmente mais alta ou baixa de partícula de carga inorgânica. Medições de microdureza feitas numa superfície heterogênea como a das resinas compostas levam a desvios-padrão mais altos, como os que foram encontrados para algumas resinas compostas.

Com o intuito de analisar o possível comportamento existente entre as duas propriedades de resinas compostas: microdureza estrutural e resistência ao desgaste abrasivo, realizou-se uma pesquisa bibliográfica ao redor do assunto. Assim, alguns trabalhos são apresentados:

Fraunhofer (1971), relacionou a resistência à abrasão e o desgaste de um material com sua microdureza usando 2 resinas acrílicas (Sevitron e Orthofil) e 2 compostas (Adaptic e TD71), confeccionando, para cada uma delas, corpos-de-prova cilíndricos, com 8 mm de diâmetro por 5 mm de espessura; decorridos 15, 30, 60 minutos e 24 horas de sua confecção, foi realizado um teste de microdureza utilizando um indentador Reichert, com carga de 0,02 kgf por 10 segundos. A análise dos resultados mostrou que as 2 resinas compostas possuíam maiores valores de dureza do que as acrílicas, e estes valores aumentavam com o envelhecimento desses materiais, ou seja, com o aumento do tempo entre a confecção dos corpos-de-prova e a medição de sua respectivas microdurezas.

Pagniano & Johnston (1993) estudaram os efeitos da diluição de resinas compostas em resina fluida sem carga sobre a dureza e a resistência à abrasão, utilizando uma resina composta de micropartículas (Prisma Micro Fine - Dentsply) e uma híbrida (Prisma APH - Dentsply). Confeccionou-se 10 corpos-de-prova para cada diluição, sendo que para cada uma das duas resinas havia um grupo de controle (com nível zero de diluição), um grupo diluído em 0,5 gota de resina fluida, um grupo diluído em 1 gota e finalmente um outro grupo diluído em 2 gotas. Para o teste de dureza Knoop os corpos-de-prova circulares foram confeccionados com 1 mm de espessura e 8 mm de diâmetro, sobre os quais a resina foi posicionada e fotopolimerizada por 40 segundos e posteriormente armazenados em local escuro, com 100% de umidade relativa, por 24 horas. O teste de dureza foi realizado utilizando-se 25 g de carga durante 30 segundos. Para o teste de resistência à abrasão os corpos-de-prova foram confeccionados com 2 mm de espessura e 19,8 mm de diâmetro,

fotopolimerizados por 2 minutos e armazenados em água destilada a 37° C por 5 dias. O teste de abrasão foi realizado com escova de dentes, aplicada com carga de 250 g, imersos em solução aquosa de pasta dental realizando 250 ciclos por minuto, durante 3 horas, totalizando 45000 ciclos. O teste de dureza Knoop mostrou que as resinas compostas, quando diluídas com 1 gota apresentaram maiores valores do que as do grupo de controle, e quando diluídas com 2 gotas, menores valores de dureza. Os experimentos de desgaste não mostraram diferenças estatisticamente significativas para os dois materiais quanto à diluição.

Willems *et al.*(1993) desenvolveram um trabalho extenso no qual investigaram várias propriedades de 89 resinas compostas comerciais utilizadas em restaurações de dentes posteriores, com a finalidade de determinar uma classificação a partir de suas características particulares. Foi estudada a distribuição e o tamanho das partículas, o módulo de elasticidade (Módulo de Young), a rugosidade superficial, a dureza Vickers, a radiopacidade, as resistências à compressão e à fratura, o desgaste e a microdureza das resinas. Os autores afirmam que cada propriedade investigada deve ser comparada com algum tipo de padrão e que o esmalte e a dentina, dois dos principais componentes do dente humano, devem ser usados como padrões fisiológicos para comparar as diferentes resinas compostas. Concluíram ao final que as resinas compostas contendo partículas ultra finas compactadas são as que melhor atendem a todos os requisitos de um material restaurador para dentes posteriores.

Suzuki *et al.* (1995) avaliaram o efeito do tamanho e forma das partículas inorgânicas em diferentes formulações de resinas compostas em relação ao seu desgaste e dureza Brinell. Testaram 4 primeiros produtos, onde as partículas esféricas eram de silicato de vidro, porém com tamanhos de 9,88 µm (S1), 2,01 µm (S2), 0,62 µm (S3) e 0,20 µm (S4), e 2 outros agora com partículas irregulares, também de silicato de vidro, com 9,46 µm (I1) e 1,97 µm (I2). A quantidade de partículas esféricas foi de 72,3% em peso e nas irregulares foi de 70,3% (I1) e 62% (I2). As partículas foram silanizadas e a mesma matriz de resina (70% UDMA e 30% TEGMA) foi usada em todas, adicionadas do agente fotoiniciador. A dureza foi medida em espécimes cilíndricos de 6 mm de diâmetro por 3 mm de altura, confeccionados em matriz de aço inoxidável cobertos por lâmina de vidro, fotopolimerizado por 30 segundos e imersos em água destilada, a 37° C, por 24 horas. O teste de dureza Brinell foi realizado com penetrador de aço inoxidável de 1,5 mm de diâmetro com 2,45 MPa de carga por 30 segundos. Foram avaliados os desgastes localizado e generalizado em molares permanentes humanos, fixados em resina acrílica e com suas superfícies oclusais planificadas, onde confeccionaram cavidades cilíndricas com 4 mm de diâmetro por 3 mm de profundidade. As margens da cavidade foram condicionadas com ácido fosfórico a 37% por

20 segundos, lavadas, secas com jatos de ar, e em seguida aplicou-se o agente de união e restaurou-se as cavidades com resina composta. O acabamento foi executado com lixa de papel com granulometrias progressivas de 180 a 600, mantendo a superfície plana e armazenou-se os corpos-de-prova em água destilada a 37° C por 24 horas. Os resultados do teste de dureza mostraram, em ordem decrescente de valores, as seguintes resinas: S3, S4, S2, I1, I2, S1. A resistência ao desgaste dos espécimes variou de 8,7 µm a 54,2 µm, com a seguinte relação entre eles  $S4 > S3 > I2 = I1 > S2 = S1$ .

Ruddel *et al.* (1999) afirmam que a pressão ambientalista contra o uso de amálgamas aumentou o interesse pelo emprego de resinas condensáveis como possíveis substitutas para o amálgama. Para isso, as resinas condensáveis devem ter propriedades mecânicas semelhantes às das resinas compostas híbridas comercialmente disponíveis. Buscando verificar essa semelhança de propriedades, avaliaram 5 compostos, sendo 4 condensáveis e 1 híbrido. Confeccionaram 10 corpos-de-prova de cada material, para cada teste, em 3 formatos: discos de 9 mm de diâmetro por 1 mm de espessura, barras de 24 x 1 x 1 mm e cilindros com 4 mm de diâmetro e 8 mm de espessura, todos armazenados em água a 37°C durante 1 semana antes dos testes. A seguir foram determinados a resistência à compressão, a resistência diametral à tração, a resistência à flexão em 3 pontos, o módulo de elasticidade, a dureza Vickers e o desgaste por abrasão de 400 ciclos. Os resultados mostraram que as propriedades mecânicas das resinas condensáveis testadas foram similares às das resinas híbridas e que havia uma relativa correlação entre dureza e desgaste de cada material.

Carvalho Junior (2002) avaliou *in vitro* a dureza, a contração de polimerização e a rugosidade de 29 resinas compostas. Confeccionou 3 corpos-de-prova para cada material, com fotopolimerização por 80 segundos; após 5 minutos determinou a dureza Rockwell 30T (com carga de 30 kgf e aplicando-se uma pré-carga de 3 kgf para padronizar as condições de ensaio), armazenando-se posteriormente os espécimes em água desionizada a 37°C por 168 horas e realizando nova medida de dureza. Para a avaliação da contração de polimerização, confeccionou 5 corpos-de-prova para cada material; cada resina foi inserida em uma matriz metálica com uma cavidade em forma de “meia cana”, com paredes das extremidades planas e paralelas entre si, e fotopolimerizadas por 40 segundos; após 10 minutos, removia-se a amostra da matriz, cujo comprimento era medido para se estabelecer a contração inicial ocorrida; os espécimes eram então armazenados em estufa a 37°C, durante 168 horas, quando nova medida era tomada para se determinar a contração final das resinas. Mediu-se também a rugosidade dos mesmos corpos-de-prova usados nos testes de dureza. O autor concluiu que

todas as resinas mostraram aumento da dureza e da contração de polimerização, comparando os valores obtidos para a medição imediata com os obtidos após 168 horas. Analisando as três características simultaneamente, em termos gerais, os melhores resultados foram obtidos com a Z-100 e a P-60, enquanto as de pior desempenho foram a Solitaire e a Helioprogess.

*CAPÍTULO 4*

***MATERIAIS E MÉTODOS***

---

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo, utilizou-se o método de Bianchi *et al.* (2002) que fez alterações no método do disco retificado de Coelho (1991), adaptando-o para ser usado na análise da resistência ao desgaste de materiais odontológicos. Assim, a avaliação do desgaste de resinas compostas baseia-se no estudo do comportamento da agressividade, que é a capacidade de um material desgastar o outro, da superfície de restaurações dentárias confeccionadas com essas resinas.

### 4.1. Confeção dos Discos empregados nos ensaios

Os corpos-de-prova têm formato circular. O disco de porcelana ou disco agressor é feito em sua parte mais interna de uma liga de níquel-cromo e em sua periferia revestido por porcelana. O disco agredido de resina é confeccionado com aço dúctil (ABNT 1020) e revestido em todo seu perímetro circular com resina composta, a qual se deseja analisar. A descrição detalhada das etapas de fabricação dos discos será mostrada no item a seguir

Anterior à realização dos ensaios existe a etapa de confecção dos corpos-de-prova, que será descrita a seguir.

#### 4.1.1. Disco Dinâmico

O disco dinâmico, ou disco agressor, é constituído por dois materiais. A parte externa é feita de porcelana, material escolhido para simular o material dos dentes, sendo que o mesmo é usado na confecção de próteses de substituição dentária. Para aderência da porcelana, a parte mais interna é feita com uma liga metálica específica para a fixação da porcelana usada neste trabalho.

O disco dinâmico foi fabricado em prensa, após a confecção de um molde específico para esta aplicação, feito de aço inoxidável. A Fig. 13 mostra fotografias tiradas do molde de fabricação deste disco.



**Figura 13** - Molde de fabricação dos discos dinâmicos em prensa

Este foi confeccionado no Laboratório de Materiais, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). O disco dinâmico pronto está mostrado na Fig. 14.



**Figura 14** - Disco de porcelana prensada confeccionado no Setor de Manipulação de Cerâmica da UFSCar

O disco possuía um diâmetro de aproximadamente 26 mm, necessário para a posterior usinagem (retificação).

Após a introdução da porcelana o disco foi retificado no Laboratório de Usinagem por Abrasão da Faculdade de Engenharia da UNESP. Para realizar tal operação, utilizou-se uma retificadora tangencial plana, com um cabeçote posicionado sobre uma mesa, que permitiu a retificação da superfície cilíndrica. O rebolo utilizado foi de CBN (Nitreto Cúbico de Boro), da marca Nikkon (fig 15).



**Figura 15** - Rebolo de CBN, da marca Nikkon, usado na retificação da porcelana do disco dinâmico

Também se fez necessário o balanceamento do rebolo.

Esse rebolo foi submetido a um processo de dressagem para seu perfilamento. Na dressagem foi utilizado um dressador tipo *fliese*, multigranular, o qual possui grãos homogêneos de diamante distribuídos uniformemente em linhas. A velocidade do deslocamento transversal do rebolo em relação ao dressador foi controlada mediante um inversor de frequência ligado à máquina retificadora.

O disco foi retificado na sua parte externa obtendo o diâmetro externo de 24,00 mm.

Na retificação do disco de porcelana, a velocidade de corte usada no rebolo foi de 16 m/s, que foi obtida com a utilização de um inversor de frequência a 30 Hz na caixa do inversor de frequência que comanda a máquina (Fig. 16). As rotações foram medidas com o auxílio de um tacômetro mostrado na Fig. 17.



**Figura 16** - Fotografia mostrando os dois inversores de frequência utilizados para controlar velocidades da máquina retificadora e do motor elétrico do banco de ensaios.



**Figura 17** - Tacômetro usado na medição da rotação do cabeçote do banco de ensaios.

No processo de retificação realizado o sentido de giro dos discos foi discordante. Para a refrigeração foi utilizada água. A rotação do disco de porcelana também foi controlada por um inversor de frequência, cujo valor utilizado também foi de 30 Hz, o que proporcionou uma velocidade tangencial constante de 9 m/s para este disco. Estas velocidades foram utilizadas para a obtenção de um melhor acabamento superficial na porcelana, tendo em vista a expectativa de que com o aumento da velocidade consiga-se obter uma melhor qualidade superficial.

Tomou-se um cuidado especial em relação à profundidade de corte. Segundo Bianchi *et al.* (1997) a velocidade de corte é um parâmetro que influencia na qualidade do acabamento. Isso ocorre porque a geração de trincas durante o processo depende desse dado. Uma profundidade de corte exagerada poderia levar a trincas que inutilizariam o disco

#### 4.1.2. Disco Estático

Os discos estáticos, ou discos agredidos são os recobertos com a resina. Um anel de aço ABNT 1020 foi usinado até se chegar nas seguintes dimensões: 1,53mm de espessura, diâmetro interno e externo de aproximadamente 8mm e 20mm, respectivamente. Este anel foi recartilhado em sua superfície externa para garantir uma melhor fixação das resinas e as faces laterais foram retificadas para assegurar que todos tivessem a mesma espessura e que as faces ficassem paralelas entre si.

Utilizou-se um processo de eletro-deposição de zinco para evitar a oxidação dos discos e a identificação dos mesmos foi feita por meio do puncionamento de um código de letras utilizando punções.

Os discos, após passarem pelo processo de eletro-deposição de zinco, como feito anteriormente, foram levados ao Laboratório da Disciplina Materiais Dentários, da Faculdade de Odontologia da USP, para então serem preparados para os ensaios.

A dentista e mestrande, da Faculdade de Odontologia da USP, Márcia Furtado Antunes de Freitas, foi a responsável pela confecção dos corpos-de-prova. Desta maneira, buscou-se eliminar um possível problema de falta de experiência no manuseio destes materiais.

Para facilitar e melhorar o recobrimento do disco com resina foi feita uma matriz constituída por um parafuso central, duas arruelas metálicas, e duas arruelas lisas de politetrafluoretileno confeccionado com o diâmetro interno igual ao do parafuso e diâmetro externo de 26 mm (Fig. 18), regularizados posteriormente para 24 mm. Após o encaixe do disco na matriz foi feita a aplicação da resina sobre o mesmo com o auxílio de espátulas odontológicas, seguida de imediata polimerização de uma fina camada na superfície recartilhada, em uma extensão de 8 mm (correspondente à largura das pontas dos aparelhos fotopolimerizadores), a qual representa cerca de 1/9 do perímetro circular da matriz.

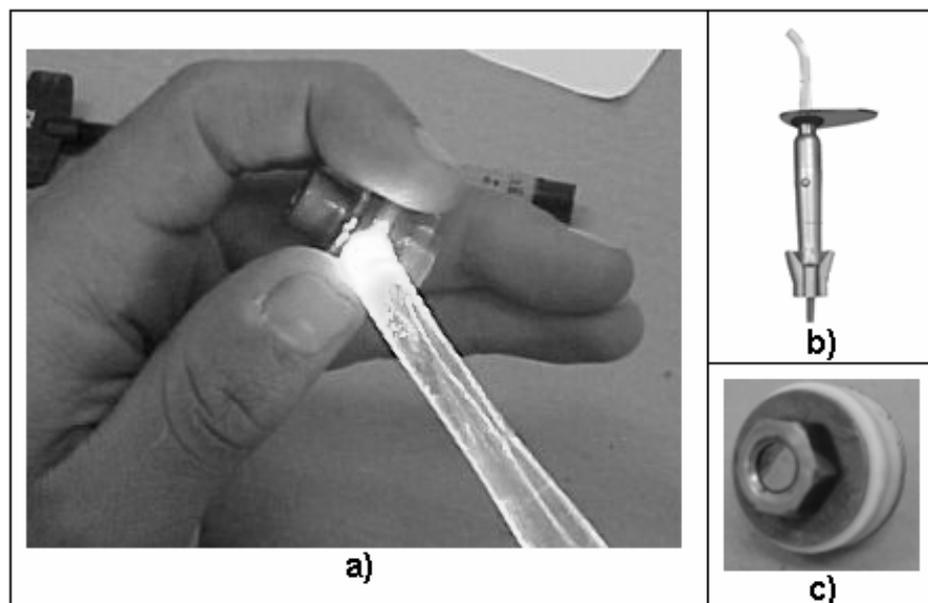
Na preparação dos discos estáticos, diversos cuidados foram tomados. A ponta do aparelho fotopolimerizador foi encostada na resina para a execução da polimerização, separada apenas por uma fita de poliéster, de uso odontológico, afim de que a superfície ficasse o mais uniforme possível e também evitar que a mesma aderisse à ponta do aparelho fotopolimerizador. Este procedimento foi realizado para que fosse mantida uma distância constante de polimerização, a fim de evitar variações na qualidade da mesma. Segundo as normas de odontologia, a umidade e a temperatura do laboratório tiveram que ser controladas,

pois a quantidade de umidade ambiente afeta o produto final da resina em sua fotopolimerização.



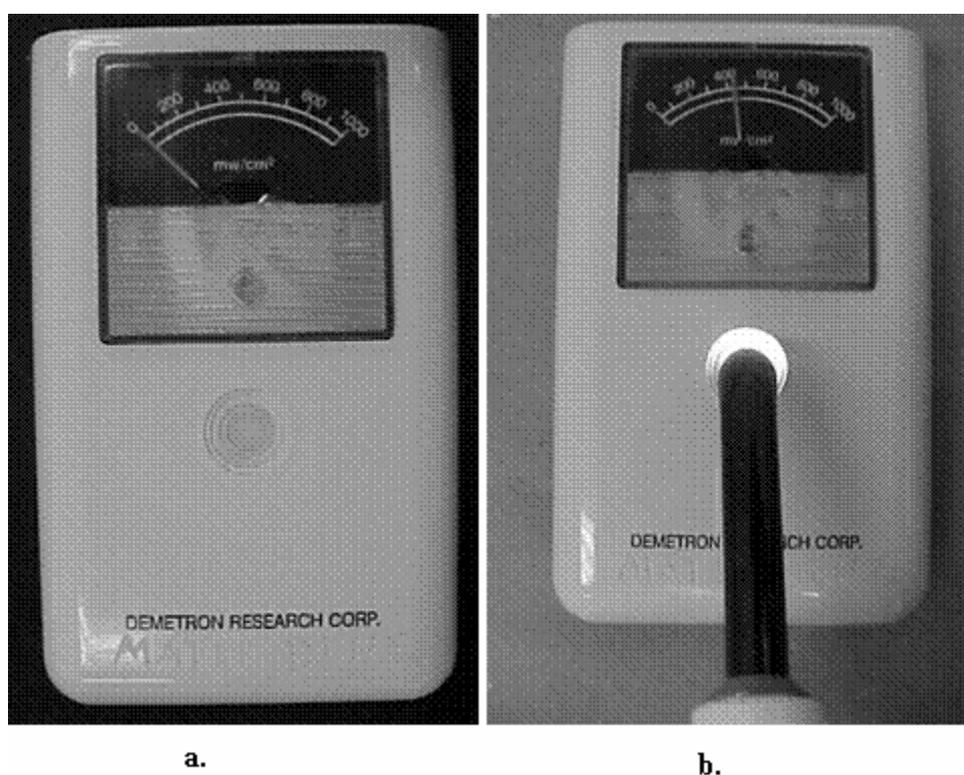
**Figura 18** - Matriz de politetrafluoretileno usada na confecção dos discos de resina.

A Fig. 19 mostra um disco estático sendo fotopolimerizado utilizando-se o fotopolimerizador e a matriz empregados no trabalho. Depois de preparados, os corpos-de-prova permaneceram em água deionizada por uma semana e então foram submetidos aos ensaios de desgaste abrasivo.



**Figura 19** - Disco estático sendo fotopolimerizado utilizando-se o fotopolimerizador e a matriz empregados no trabalho

A intensidade da luz dos aparelhos de lâmpada incandescente também é importante, segundo Vieira *et al.* (1998), Santos, L.A. *et al.* (2000), Abate, P. F. *et al.* (2001) e Halvorson, R.H. *et al.* (2002). A intensidade de luz, neste radiômetro, é medida em microwatts por centímetro quadrado ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ). Segundo Abate (2001), para a obtenção de uma polimerização satisfatória, a intensidade luminosa emitida pelo aparelho de Lâmpada incandescente deve estar acima de  $300 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Para garantir que o aparelho estava acima deste índice, um radiômetro (aparelho que mede a intensidade luminosa), da marca Demetron, foi usado, e aparece na Fig. 20.



**Figura 20** - Em a. foto do radiômetro usado para medir a intensidade da luz do aparelho fotopolimerizador; em b. o aparelho fotopolimerizador de Lâmpada Incandescente sendo aferido.

Na fotografia citada, é possível ver que o ponteiro no visor aponta um valor de cerca de 430 ou 440.

Não existe, até onde se sabe, nenhuma exigência de um mínimo desta intensidade para os fotopolimerizadores de LED. Assim mesmo uma fotografia, representada na Fig. 21, foi tomada. Na fotografia respectiva, pode ser visto que o ponteiro aponta para um valor de cerca de 100 ou 110  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

Outro cuidado tomado foi com relação à escolha da cor das resinas. Tendo em vista os resultados do estudo de Tsai (2004), que mostrou haver diferenças na resistência das resinas variando suas cores, padronizou-se as cores das resinas escolhidas para este trabalho, sendo que as resinas compradas foram da cor A2, tida como cor base na construção da escala de cores a qual ela pertence.



**Figura 21** - O fotopolimerizador de LED sendo aferido.

O processo de recobrimento descrito acima foi repetido até que todo o disco fosse recoberto. Um dos aparelhos fotopolimerizadores utilizado foi o CL – K50, da empresa Kondortech. Neste aparelho a irradiação da fonte luminosa é feita através de uma lâmpada halógena com ponta de espessura de 8mm. O outro aparelho fotopolimerizador com polimerização através de LED foi Biolux Standard II com intensidade de luz de aproximadamente  $100 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ .

### 4.1.3. Regularização da superfície

Para realizar a retificação da superfície circunferencial mais externa da resina composta, fixou-se os anéis de aço/resina, no eixo horizontal do cabeçote de testes. Para essa operação, foi utilizado um rebolo de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) branco, mostrado na Fig. 22, com diâmetro externo de 350 mm, diâmetro interno de 76,2 mm, espessura de 50 mm com granulometria 120 mesh, e velocidade de corte de 33 m/s.



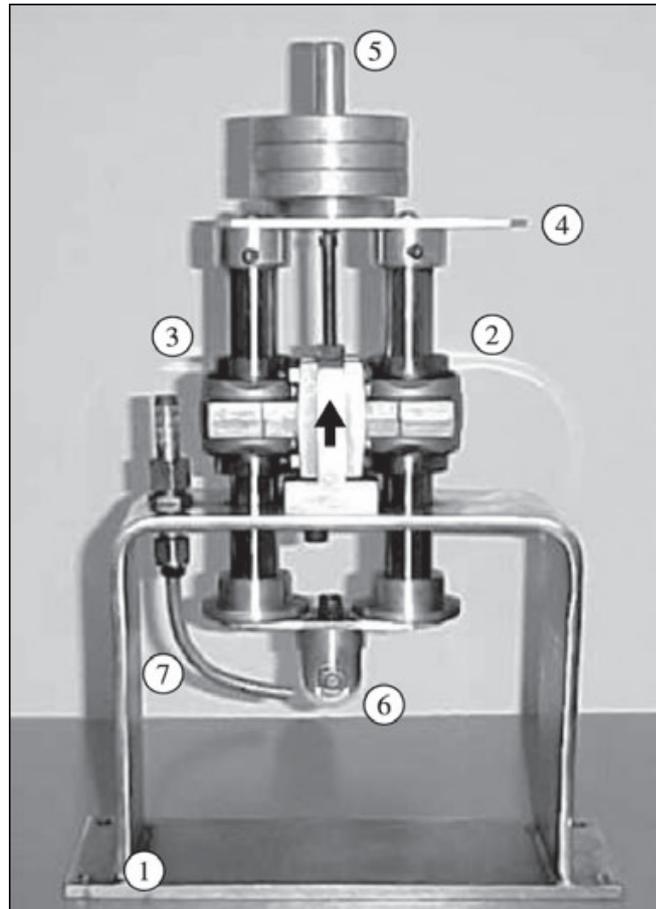
**Figura 22** - Rebolo de óxido de alumínio branco usado na retificação dos discos de resina

Cada passe foi de cerca de 5 a 10  $\mu m$ , até que o diâmetro externo desta ficasse com o diâmetro desejado. Deve-se destacar que os diâmetros dos discos dinâmico e estáticos devem ser os mesmos, devido à imposição do desenvolvimento do modelo matemático.

### 4.2. Descrição do método usado para avaliação do desgaste das resinas compostas

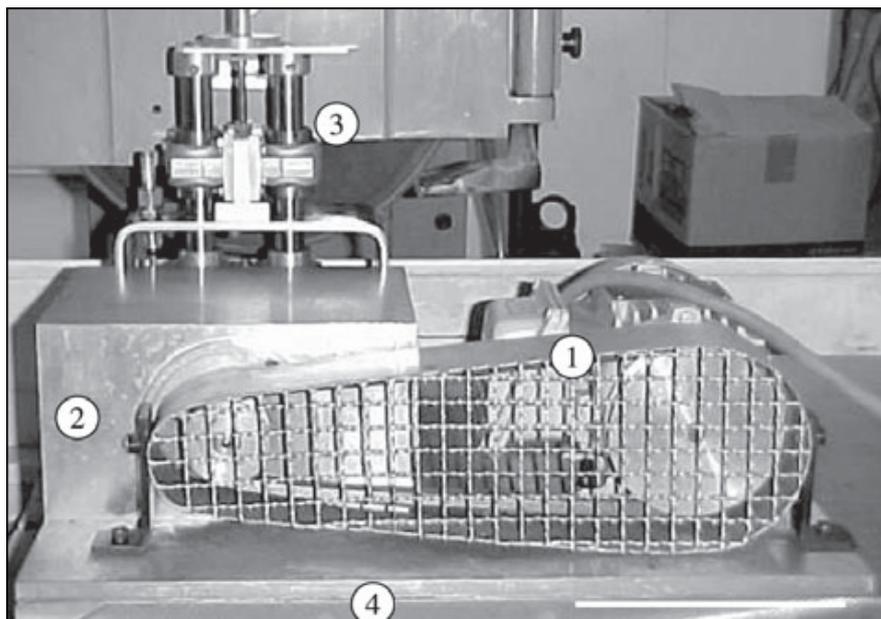
Este método utiliza um banco de ensaios (Fig. 23) acoplado a um cabeçote de testes que possui um eixo para fixação de um disco agressor, o qual gira com uma rotação pré-estabelecida proporcionada por um motor elétrico. O conjunto banco de ensaios/cabeçote de testes (apresentado na Fig. 24), encontra-se posicionado sobre a mesa de uma retificadora tangencial plana, necessária à uniformização do disco agressor dinâmico. Seu funcionamento

consiste em manter posicionado um disco fixo (ou seja, sem rotação), revestido em toda a sua circunferência (superfície) externa com resina composta que se deseja analisar, contra um disco dinâmico. Tal revestimento constitui-se pela polimerização de pequenos incrementos de resina depositados nessa região, até que se recubra toda a área.



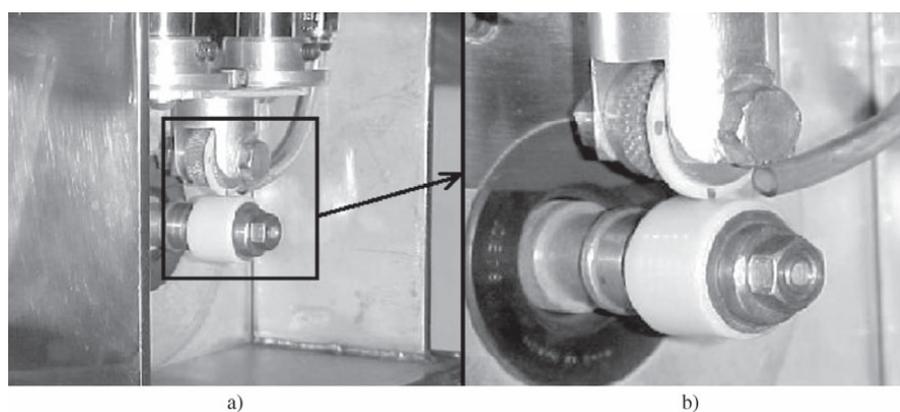
**Figura 23** - Banco de ensaios mostrado em detalhes. Elementos: base (1), dispositivo- guia (2), hastes cilíndricas (3), trava para registro de deslocamento (4), haste cilíndrica central (5), suporte do disco estático (6) e mangueira (7).

Após a regularização da superfície da resina (com um rebolo convencional de óxido de alumínio), o disco fixo é pressionado contra a superfície do dinâmico (confeccionado com porcelana e retificado com um rebolo diamantado), sob uma força normal constante, através de uma carga preestabelecida de 16 N. O posicionamento dos discos é mostrado na Fig. 25.



**Figura 24** - Fotografia do conjunto banco de ensaios/cabeçote de testes, juntamente com o motor de acionamento, posicionados sobre a mesa da máquina retificadora. Elementos: motor elétrico (1), o cabeçote (2), o sistema cursor de deslocamento (3) e a placa de aço (4) que serve de base para o conjunto descrito.

O deslocamento do disco fixo contra o disco dinâmico, à medida que ocorre o desgaste da resina, foi registrado em função do tempo, através de um medidor eletrônico de deslocamento (TESATRONIC – modelo TT60, mostrado na Fig. 26), o qual possui um apalpador eletrônico modelo 32.10904 (Tesa S.A., Suíça), que foi posicionado na sua respectiva haste). Este aparelho medidor de deslocamento é conectado a uma placa de aquisição em um computador.

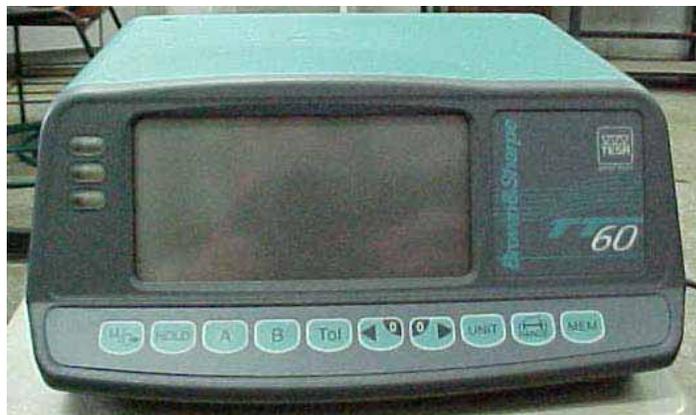


**Figura 25** - Fotografia com o posicionamento dos discos estático e dinâmico no conjunto banco de ensaios/cabeçote de testes (a); detalhe (b) mostra o contato da resina presente no disco estático (superior) com a cerâmica do disco dinâmico (inferior).

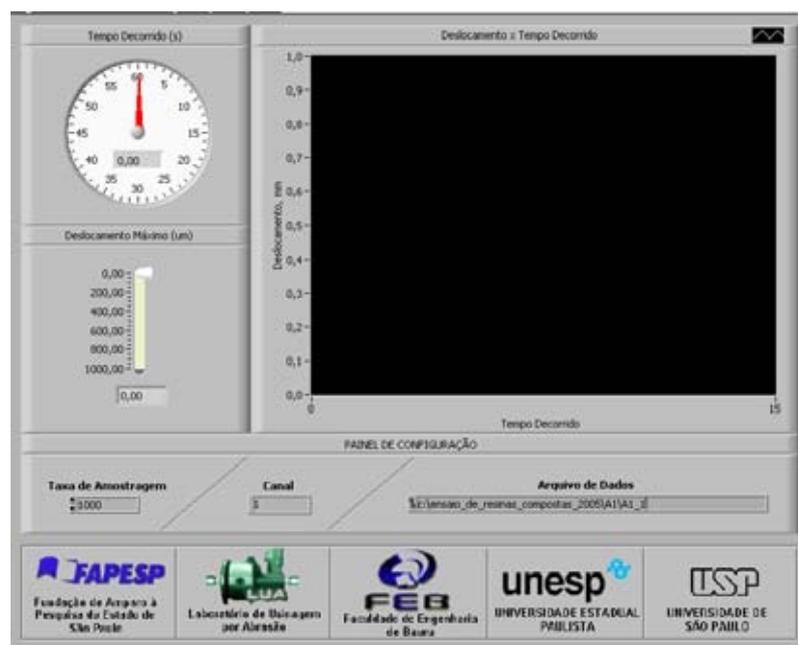
Utilizou-se de uma pequena régua para fazer a regulagem do deslocamento máximo e mínimo durante o ensaio. Similarmente ao que é feito em regulagem de válvulas de admissão

e escape em carros, esta régua com espessura de aproximadamente  $700\mu\text{m}$  foi usada na regulagem da distância do sistema de movimentação linear do banco de ensaios. A régua era passada de tal forma garantir que todos os ensaios tivessem seu deslocamento entre  $650\mu\text{m}$  a  $850\mu\text{m}$ .

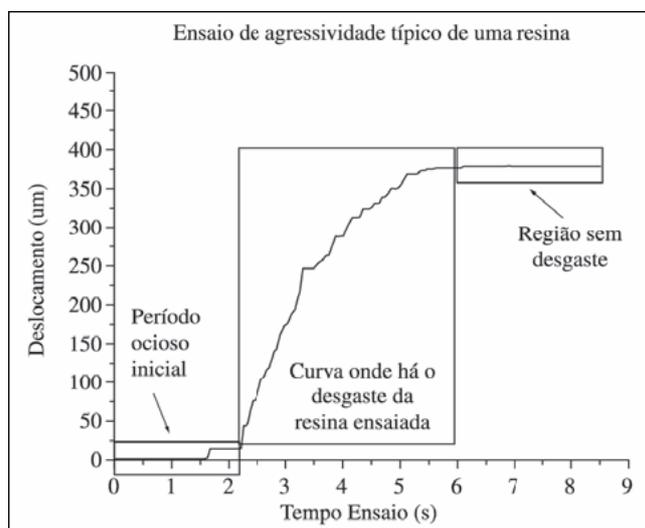
Através do desgaste da resina, o deslocamento do dispositivo foi registrado em forma de sinais de tensão elétrica, sendo estes enviados à placa que, com uma equação de calibração previamente efetuada e implementada no programa de aquisição de dados, desenvolvido através do software Labview (mostrado na Fig. 27), o qual calcula o respectivo deslocamento real do dispositivo, gerando um gráfico como o apresentado na Fig. 28.



**Figura 26** - Fotografia do medidor de deslocamento utilizado (TESATRONIC – modelo TT60)



**Figura 27** - Imagem do programa de aquisição, feito em linguagem de programação LabView

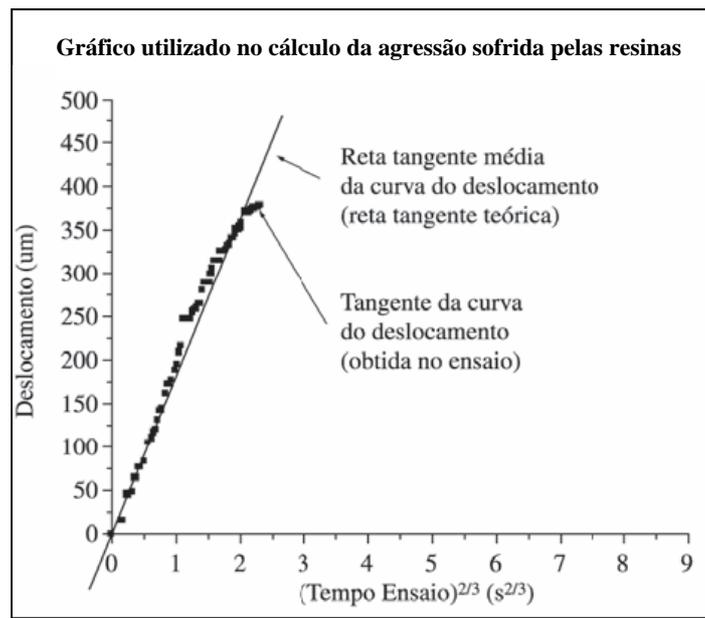


**Figura 28** - Gráfico típico de deslocamento do dispositivo em função do tempo, obtido nos ensaios de agressividade das resinas compostas.

Nota-se, pelo gráfico, que inicialmente há um período em que não há deslocamento do dispositivo. E isso deve-se ao tempo transcorrido entre o acionamento do programa de aquisição de dados e o instante de acionamento do motor do cabeçote de ensaios. (Obs.: O pequeno deslocamento observado nessa região, deve-se a uma pequena variação de tensão da rede ocorrida apenas inicialmente – devido à sensibilidade do equipamento – quando ainda não deu-se o contato do banco de ensaios com o dispositivo de aquisição de dados. Após iniciar-se tal contato, há uma uniformização da tensão enviada à placa de aquisição, devido à carga imposta ao dispositivo eletrônico pelo banco de ensaios). Dessa forma, este é um período que pode ser desconsiderado, sendo que não faz parte do ensaio propriamente, mas constitui o tempo ocioso antes do início do mesmo. A partir daí, inicia-se o desgaste da resina, ou seja, o ensaio propriamente dito, e isso é percebido pela curva crescente mostrada no mesmo gráfico. Esse desgaste ocorre até um determinado ponto, cessando, o que é notado pelo comportamento constante final da curva, devido ao aumento da área de contato entre os dois discos (estático e dinâmico). Essa parte final do gráfico (onde praticamente não existe desgaste) também não é de interesse, pois deseja-se avaliar a agressividade das resinas, a qual ocorre apenas quando está havendo o desgaste. Dessa forma, desconsidera-se também esse comportamento final para efeito dos cálculos. Sendo assim, a única parte do gráfico que interessa para esse tipo de ensaio é a parte curva, onde há o real desgaste. O tempo de ensaio,

então, deve ser considerado à partir de onde começou a ocorrer tal desgaste, até o momento em que o mesmo cessou-se.

Seguindo de acordo com o método proposto, deve-se elevar o tempo de ensaio a 2/3 para se obter a tangente da curva de deslocamento do dispositivo, a qual o coeficiente angular é utilizado na equação para o cálculo da agressividade. A Fig. 29 mostra o gráfico obtido depois de realizada tal consideração.



**Figura 29** - Gráfico mostrando a tangente da curva de desgaste das resinas, cujo coeficiente angular é utilizado no cálculo da respectiva agressão.

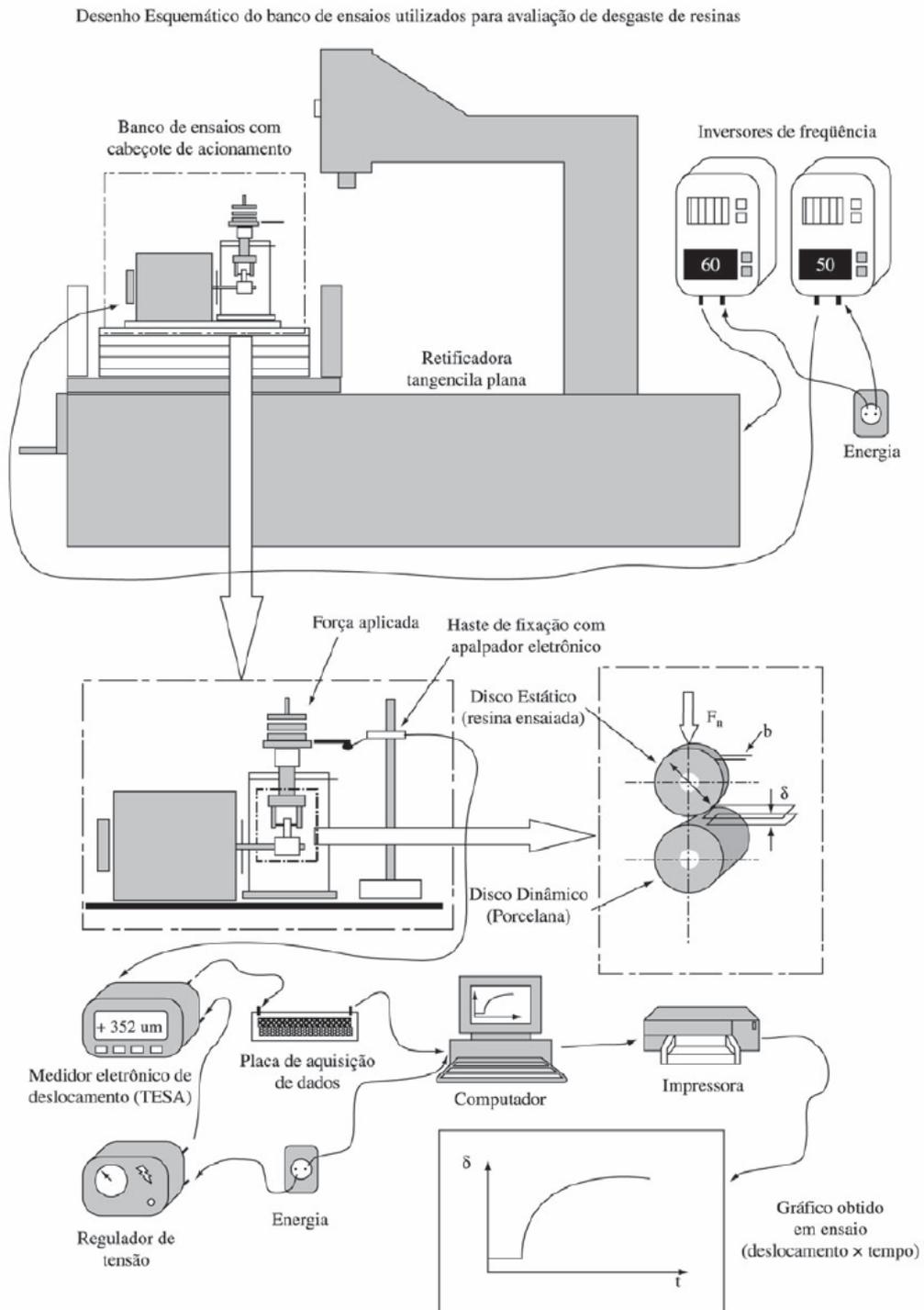
Ainda a partir deste último gráfico, com o cálculo do coeficiente angular da reta tangente, obtém-se, através da Eq. 1 (obtida por um desenvolvimento matemático adequado à estrutura do banco de ensaios, seguindo o procedimento utilizado por Coelho (1991), o valor da agressividade da resina:

$$k = \frac{2b\sqrt{4r}}{3F_n} (a_1)^{2/3} \quad (1)$$

onde:  $k$  ( $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{s}$ ) é a agressividade da resina;  $F_n = 16\text{N}$ , a força normal necessária à remoção de material;  $b=1,5$  mm a largura dos discos fixos;  $r$  (mm) o raio dos discos para o respectivo ensaio; e  $a_1$  o coeficiente angular da reta de regressão linear.

O desenvolvimento matemático pertinente à este método está apresentado no anexo 1.

A Fig. 31 mostra um esquema geral do método utilizado.



**Figura 30** - Resumo Esquemático da Metodologia utilizada nos ensaios.

Para a comparação dos tipos de resina quanto à agressividade, utilizou-se a técnica estatística da Análise de variância, seguida do teste de Tukey, de acordo com Costa Neta (1977).

### 4.3. Ensaios Realizados

Depois de definidos os parâmetros de ensaio, relatados anteriormente, foram realizados ensaios com seis marcas de resinas compostas sendo estas: CHARISMA, FILLMAGIC, SUPRAFILL, TETRIC CERAM, XRV HERCULITE e FILTEK Z100.

Foram utilizados os dois aparelhos de polimerização citados nesta dissertação, e cada amostra de resina foi polimerizada com tempos de 10, 20 e 40 s. Portanto foram realizados ensaios em 36 amostras de resinas compostas.

Para melhor esclarecimento dos parâmetros usados, a tabela 4 mostra os valores.

**Tabela 3.** Parâmetros usados na realização dos ensaios

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Frequência do inversor para acionamento do disco dinâmico	30	hertz
Carga (massas + peso próprio do sistema de movimentação linear)	16	newton
Rugosidade média do disco de porcelana (Ra)	1,20	micrometro
Diâmetro dos discos no início dos ensaios	24	milímetro
Taxa de aquisição	1000	pontos/segundo

Os dados colhidos passaram pelo processo matemático do método e os resultados encontram-se no capítulo 5 desta dissertação.

### 4.4. Análises Complementares aos ensaios de agressividade

Na busca de melhores resultados, foram tomadas fotografias, através de microscopia óptica, efetuada sob supervisão do Prof. Dr. Luiz Carlos Casteletti, dentro da Faculdade de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (USP). Também foram tomadas fotografias através de microscópio eletrônico de varredura, tarefa esta efetuada no Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais (CCDM), dentro da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Tais fotografias visavam registrar informações tais como as formas e as dimensões das partículas de carga, juntamente com sua distribuição, dentro da resina composta.

Além disso, também foram efetuados ensaios para verificar a microdureza da resina composta já polimerizada; tais ensaios também foram supervisionados pelo já citado Professor Casteletti.

A seguir, poderá ser encontrada uma descrição dos ensaios realizados, assim como as conclusões permitidas pelos respectivos resultados. Também poderão ser encontradas algumas decisões tomadas pelo nosso grupo de trabalho, com as justificativas que serviram de base para tais escolhas.

#### **4.4.1. Ensaios de Microdureza**

Algumas experiências foram realizadas através da experimentação de corpos-de-prova que passaram por ensaios de desgaste abrasivo e posteriormente foram levados ao Laboratório de Materiais da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (USP), Campus de São Carlos. Os ensaios foram realizados pelo técnico do laboratório, com experiência no processo, e acompanhados pelo Prof. Dr. Luiz Carlos Casteletti, responsável pelo laboratório.

Os resultados obtidos apresentaram grande variação nas medidas realizadas ao longo do espécime. Este fato deve-se a característica do material e do ensaio que permite que a ponta do penetrador, ora esteja localizada sobre uma partícula de carga, de dureza bastante elevada, ora sobre a matriz, região de menor dureza, ou ainda em uma região de contato entre as duas, o que justifica os altos valores de desvio padrão encontrados.

No entanto, apesar do elevado desvio-padrão do valor médio da microdureza, foram constatadas diferenças estatisticamente significantes para os ensaios dos diferentes tempos de polimerização. O tempo de polimerização que conduziu ao melhor resultado no ensaio de desgaste abrasivo também foi o que apresentou maior valor médio de microdureza, o inverso tendo ocorrido para os piores valores.

Esta paridade de resultados encontrada levou à tentativa da realização dos ensaios para as seis resinas estudadas.

Foram realizados ensaios de microdureza em apenas 31 corpos-de-prova. Não houve possibilidade de realizar ensaios de microdureza em todos os 36 corpos-de-prova, pois ocorreram falhas ao serem realizados ensaios de desgaste, quebrando algumas amostras ou mesmo esfarelado-as. Os resultados foram submetidos à análises estatísticas. O equipamento usado foi o micro durômetro da marca BUEHLER, modelo 1600- 6300.

#### **4.4.2. Fotografias de microscopia óptica**

A distribuição das partículas da carga numa resina composta foi verificada através da observação direta, efetuada através de um microscópio óptico, com aumento linear de 50 vezes, no Laboratório de Materiais, da Universidade de São Paulo, localizado no Campus de São Carlos. As respectivas imagens são mostradas no Anexo 2.

Foram tomadas fotografias de corpos-de-prova já submetidos aos ensaios de desgaste abrasivo. Como a profundidade de campo (profundidade focal) é pequena, ao serem usados aumentos de grandes magnitudes, foi necessário usar microscopia eletrônica de varredura (MEV).

#### **4.4.3. Fotografias por microscopia eletrônica de varredura**

As fotografias ao MEV também foram tomadas no já referido CCDM, utilizando-se diversos aumentos lineares de (5000, 10000, 15000 e 25000 vezes), de modo que fosse obtido o maior número possível de informações úteis. Estas fotografias são apresentadas no Anexo 3.

A microestrutura das resinas foi mais bem visualizada com tais fotografias, do que com aquelas do microscópio óptico. Além disso, ao MEV, ainda é possível a identificação dos elementos químicos componentes do material em análise, através do mecanismo de micro-sonda, uma análise efetuada em uma linha, na imagem gerada pelo equipamento.

No entanto, como foi esclarecido, a resina composta é um material bastante complexo, e por isso pode ser percebido que a caracterização de sua composição em nada ajudaria na predição de sua resistência ao desgaste. No que se refere ao aspecto físico, as partículas de carga nas resinas variam de forma e tamanho. Quando se faz a caracterização destes aspectos, de forma bi-dimensional (que é o que ocorre ao se analisar uma fotografia), não se consegue determinar, por exemplo, o tamanho de uma partícula qualquer, visto que uma parte dela esta imersa na matriz.

A identificação dos componentes químicos da resina também em nada ajudaria, na predição de qualquer uma de suas resistências, pois estas também são resultantes da interação de uma série de outros aspectos, tão complexos quanto aqueles relatados para a carga.

Ainda vale ressaltar que, a todo instante, novas resinas compostas são lançadas no mercado, com pequenas variações na sua composição físico-química, que podem ou não

influir de forma significativa em sua resistência, a qual somente poderá ser conhecido através da efetuação de testes reais de desgaste, como os realizados no presente trabalho, para oferecer à classe odontológica base científica, quando da escolha destes materiais.

*CAPÍTULO 5*

***RESULTADOS E DISCUSSÕES***

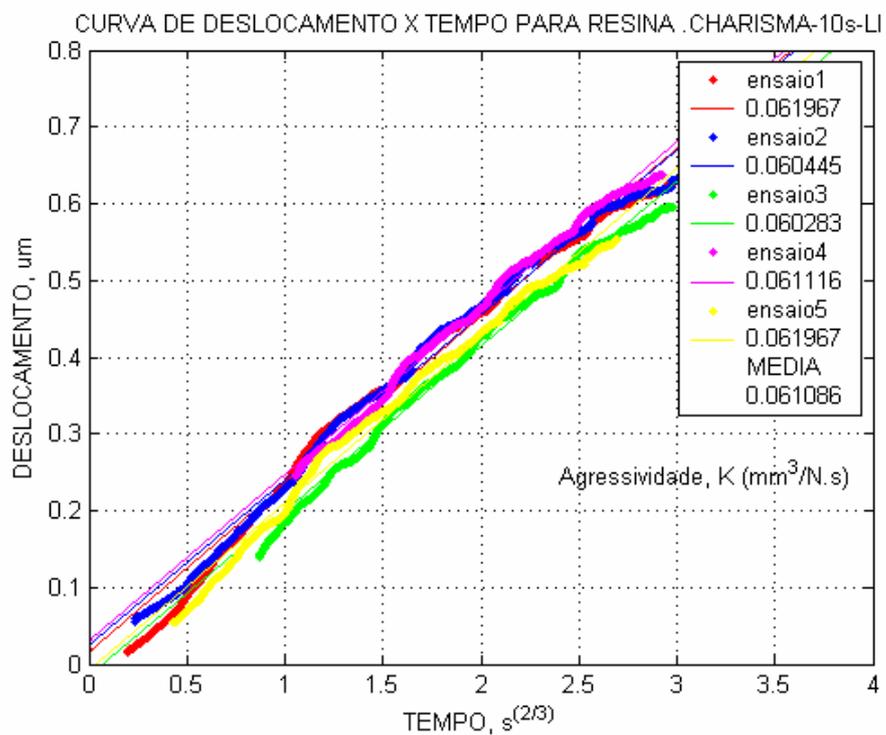
---

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

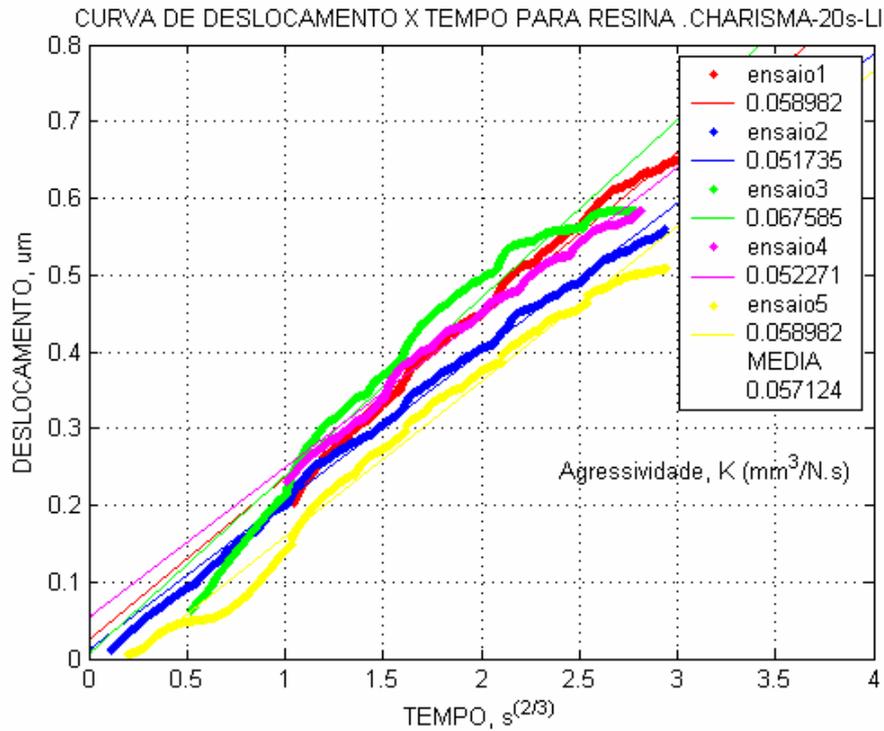
### 5.1. Agressividade das resinas ensaiadas

Os gráficos obtidos, referentes ao respectivo desgaste sofrido por cada resina são apresentados na seqüência, bem como, gráficos de barras que mostram a comparação visual do comportamento das resinas nos diferentes tempo de polimerização.

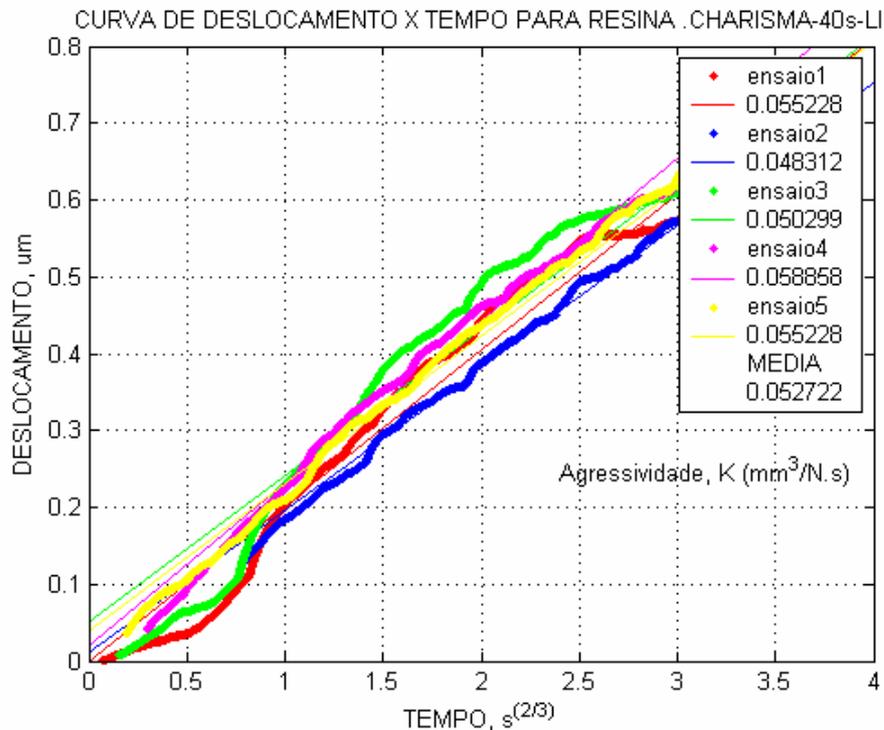
Vale ressaltar, apenas como recordação, que quanto menores os valores de agressividade maior a resistência do material ao desgaste abrasivo.



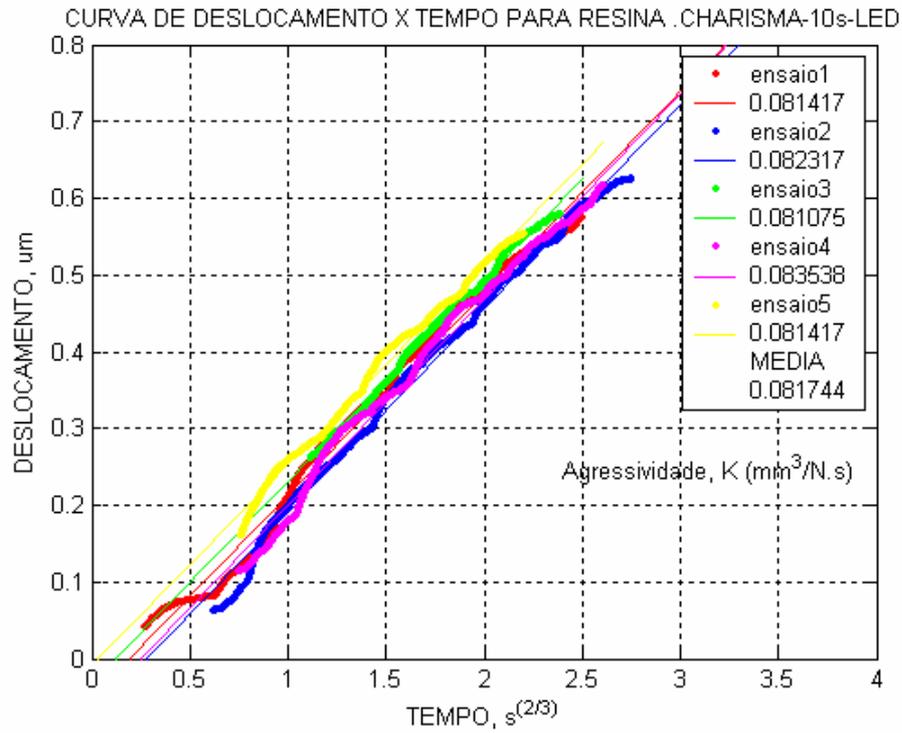
**Figura 31** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina CHARISMA para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



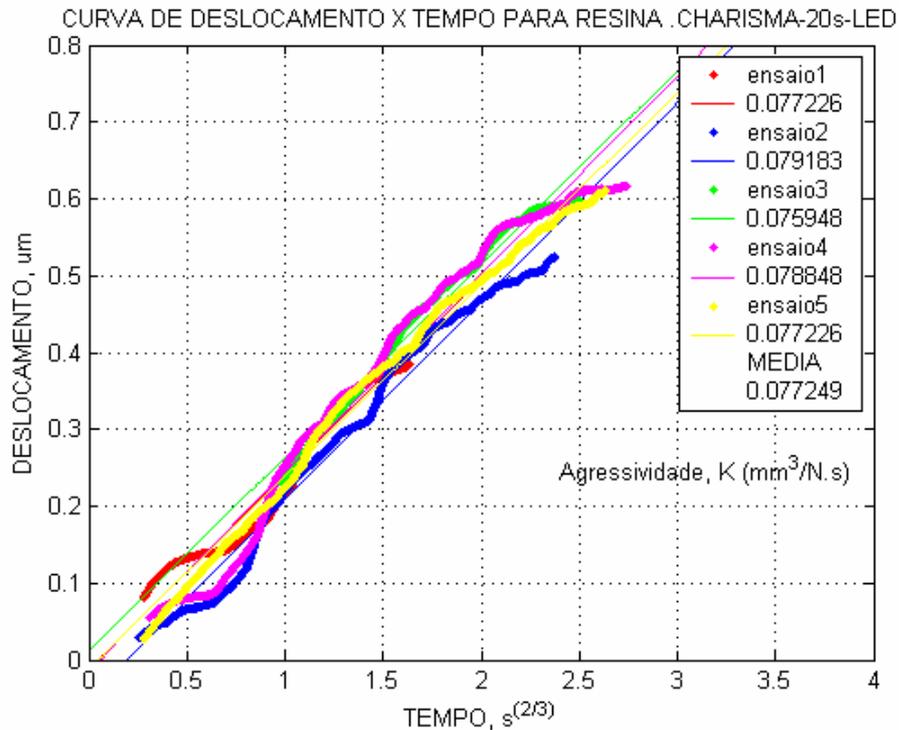
**Figura 32** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina CHARISMA para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



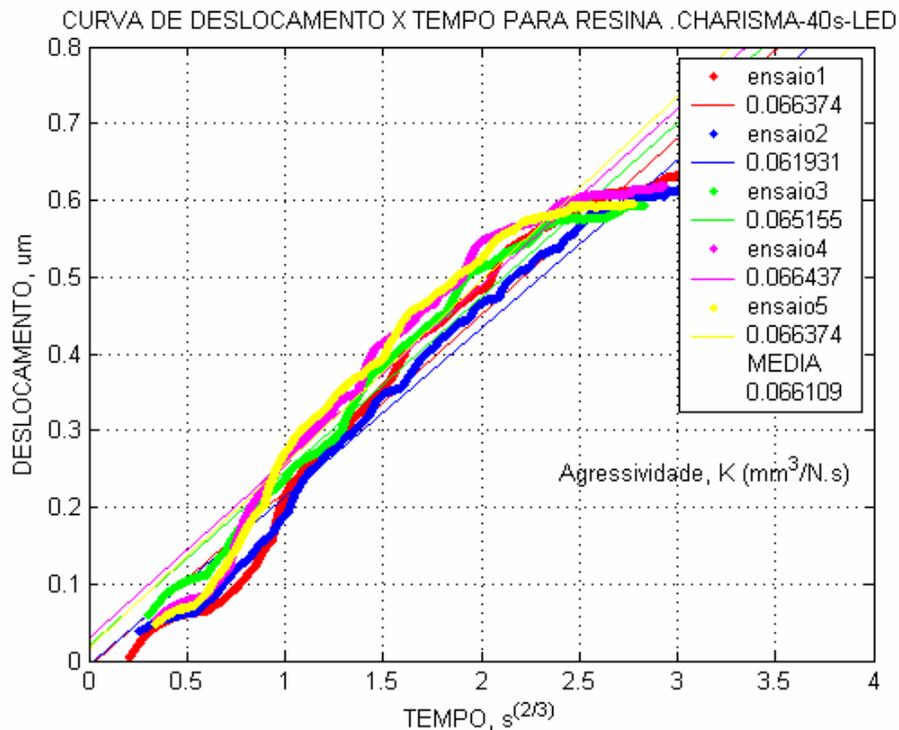
**Figura 33** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina CHARISMA para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



**Figura 34** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio para da CHARISMA para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de LED

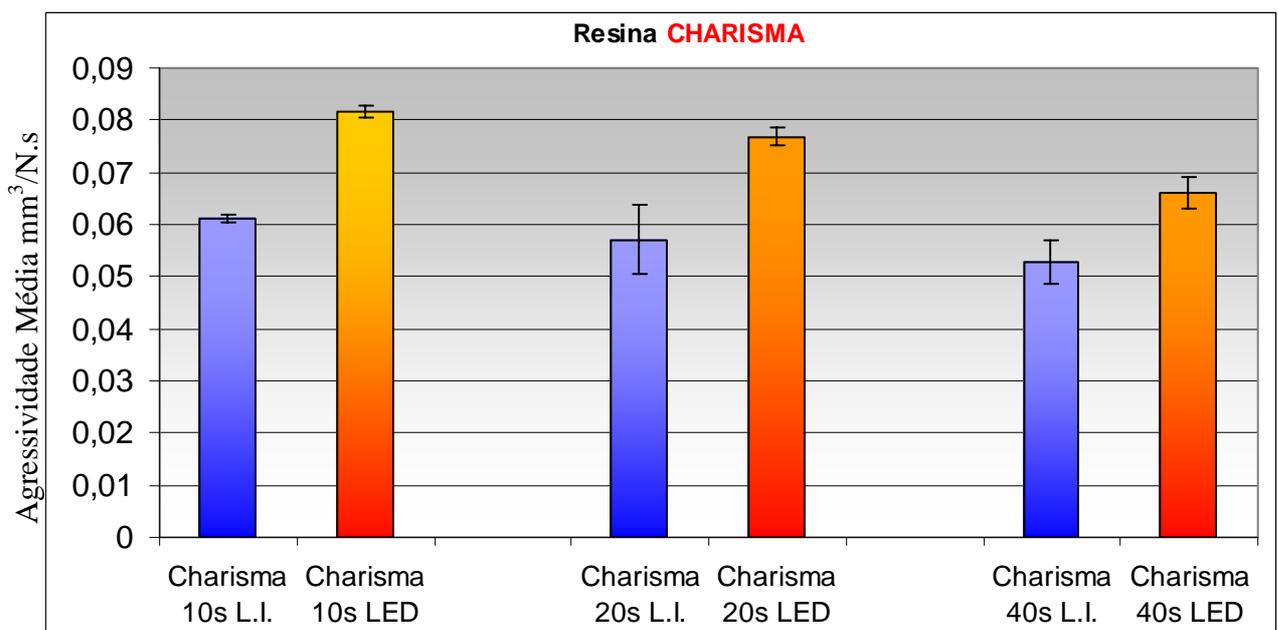


**Figura 35** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio para da CHARISMA para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de LED

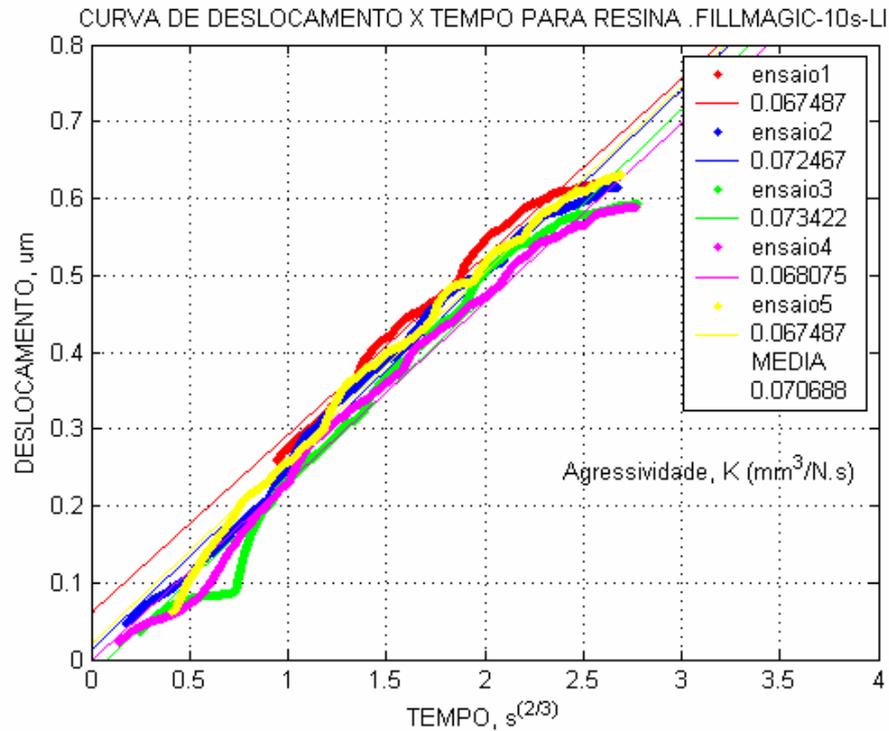


**Figura 36** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina CHARISMA para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de LED

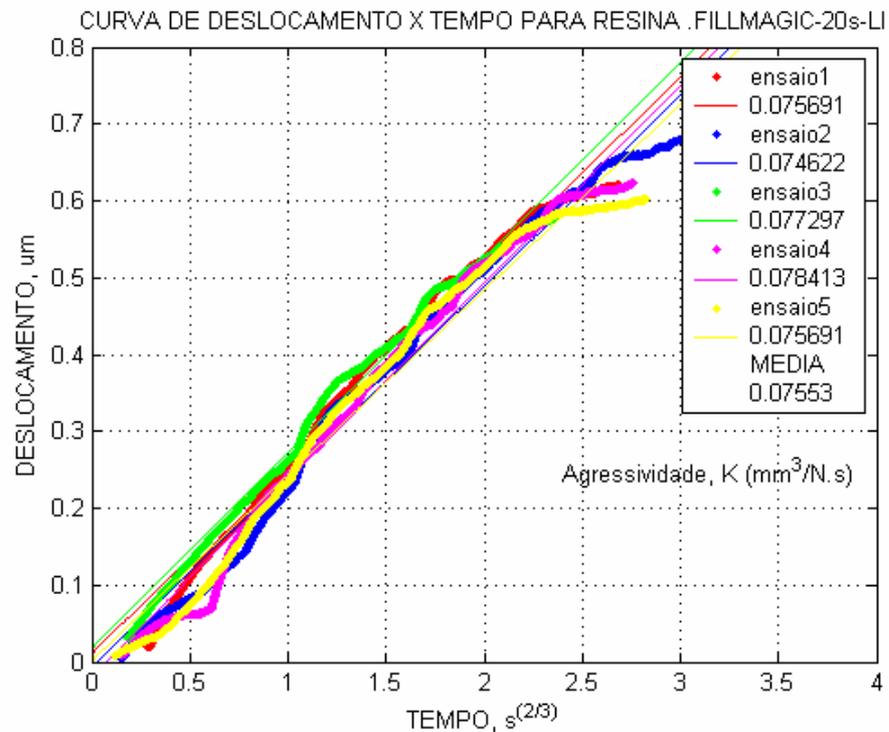
A Fig. 37 mostra o comportamento da resina CHARISMA, quando expostas aos três diferentes tempos de fotopolimerização, para os dois tipos de aparelho fotoiniciadores. O mesmo procedimento de exposição, através de gráficos de barras, foi usado para todos os outros materiais.



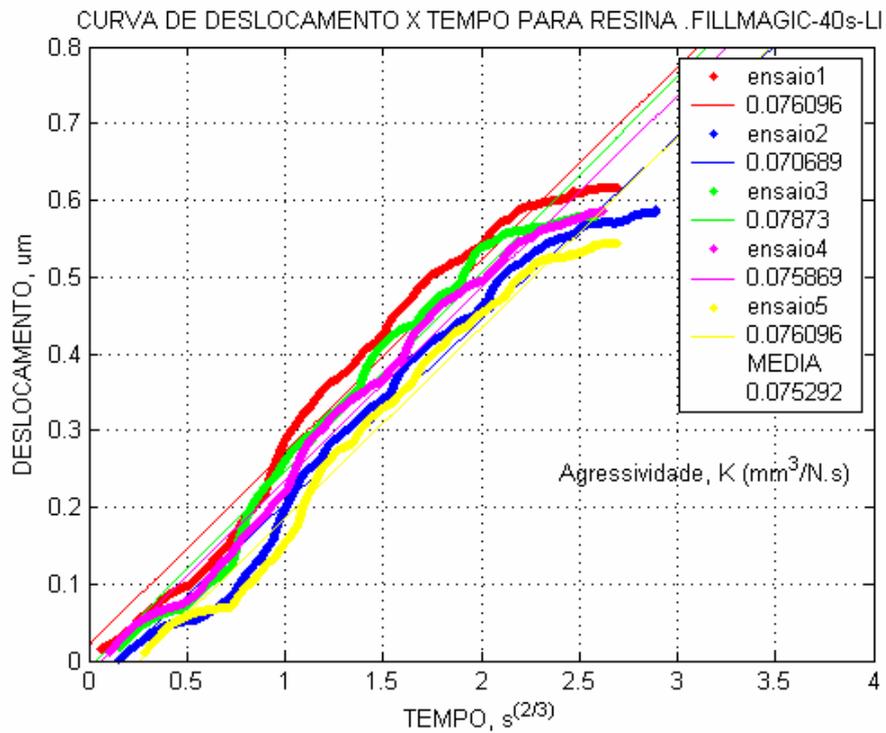
**Figura 37** - Gráfico de barras com os valores de agressividade média obtidos nos ensaios da resina CHARISMA comparando os aparelhos e os tempos de fotopolimerização



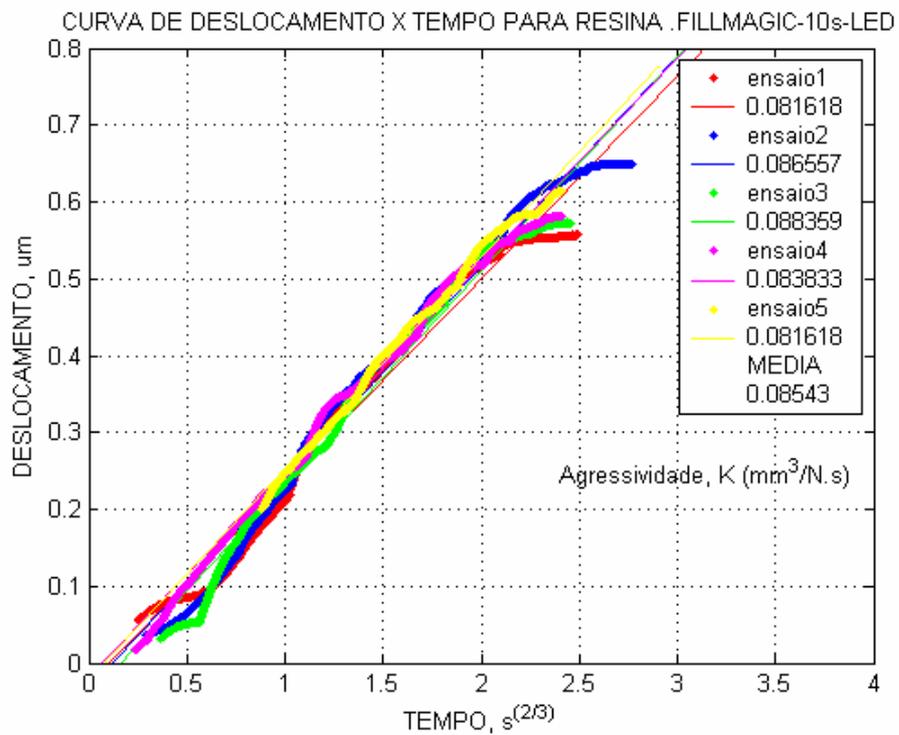
**Figura 38** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina FILLMAGIC para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



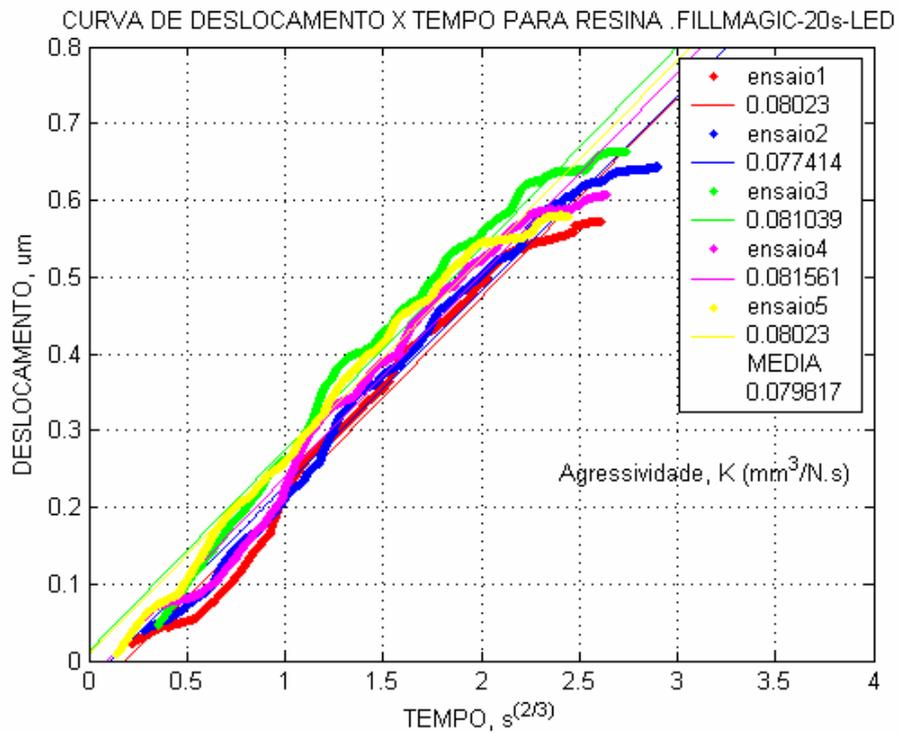
**Figura 39** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina FILLMAGIC para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



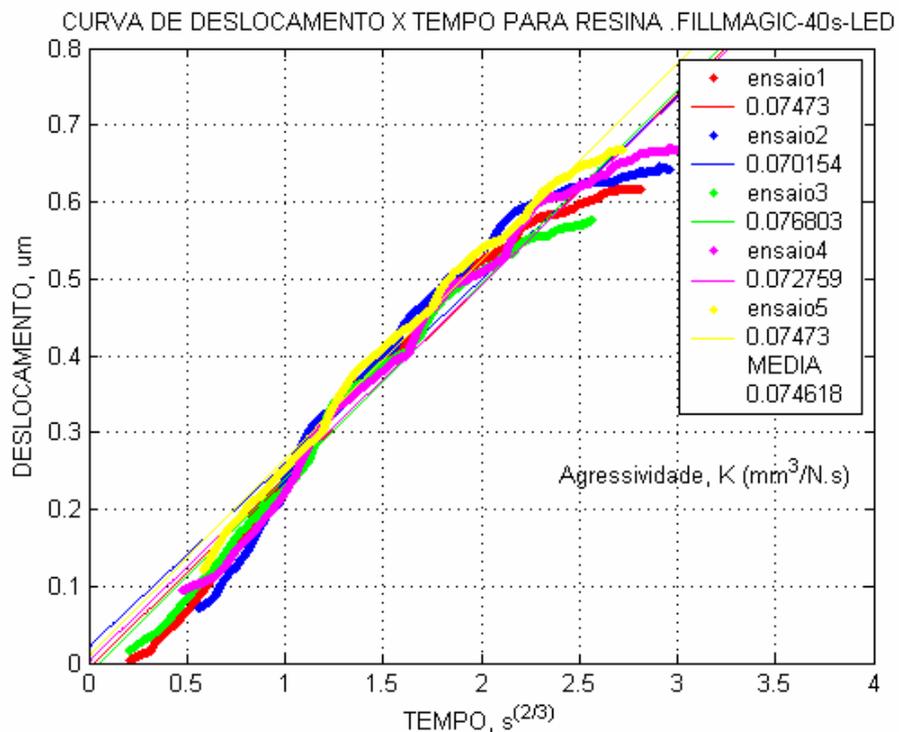
**Figura 40** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina FILLMAGIC para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



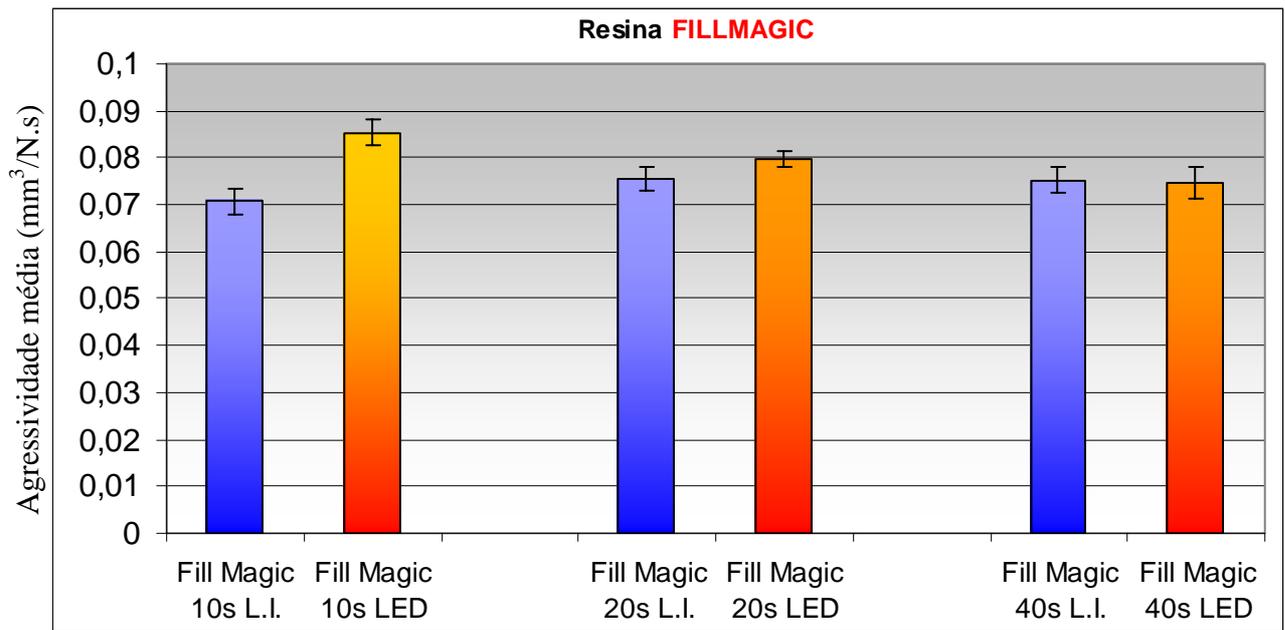
**Figura 41** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina FILLMAGIC para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de LED



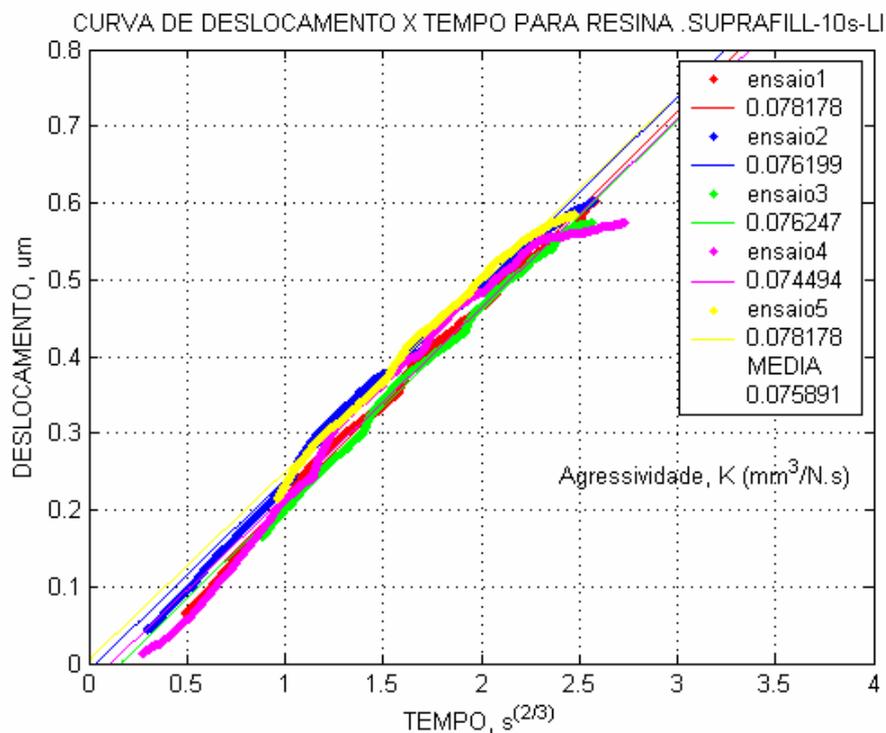
**Figura 42** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina FILLMAGIC para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de LED



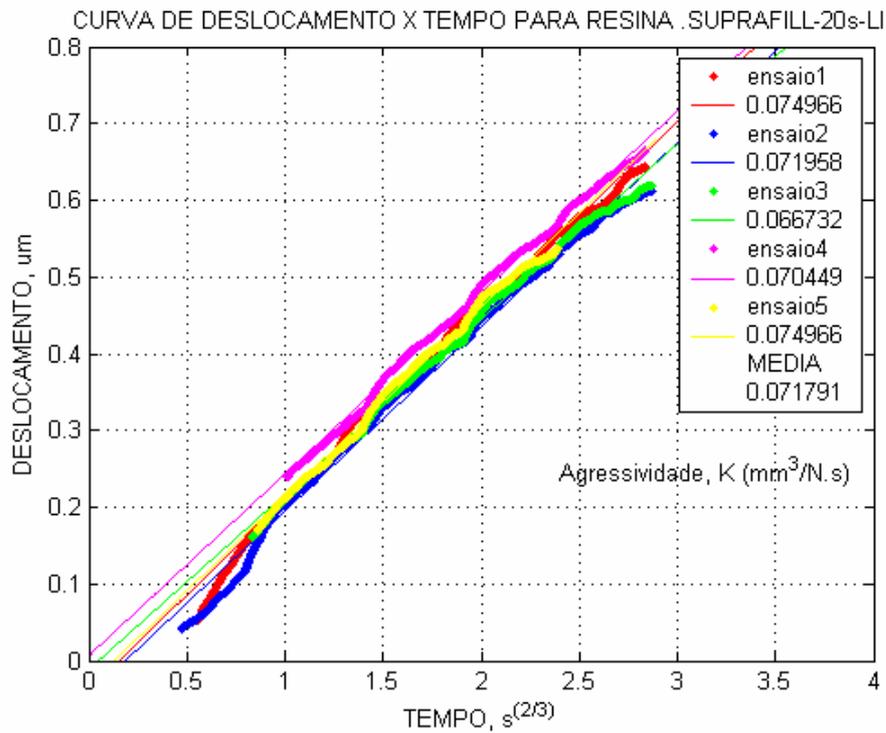
**Figura 43** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina FILLMAGIC para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de LED



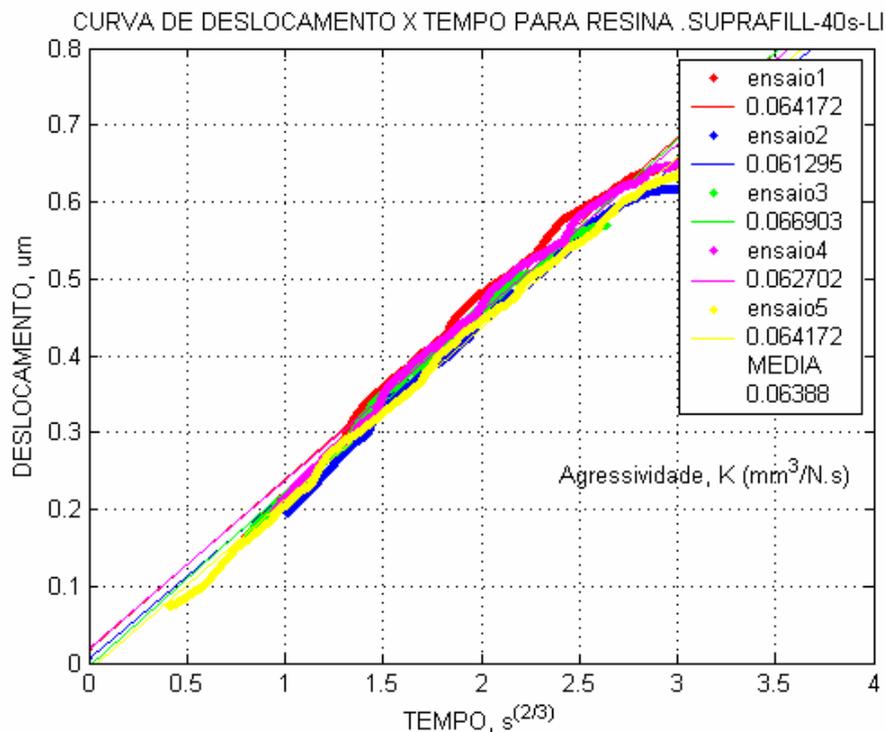
**Figura 44** - Gráfico de barras com os valores de agressividade média obtidos nos ensaios da resina FILLMAGIC comparando os aparelhos e os tempos de fotopolimerização.



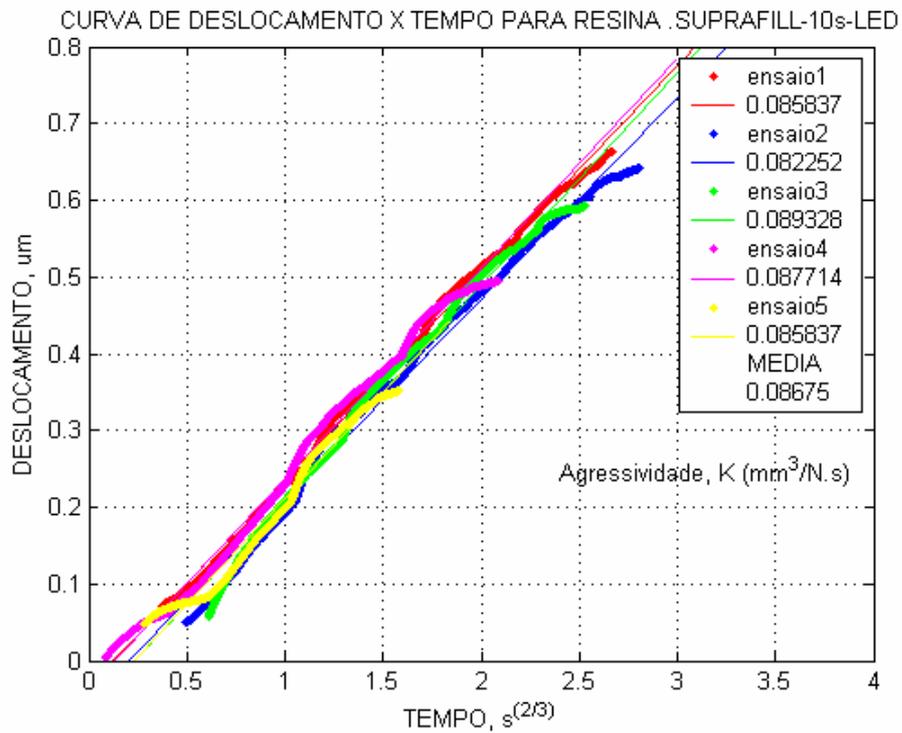
**Figura 45** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina SUPRAFILL para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



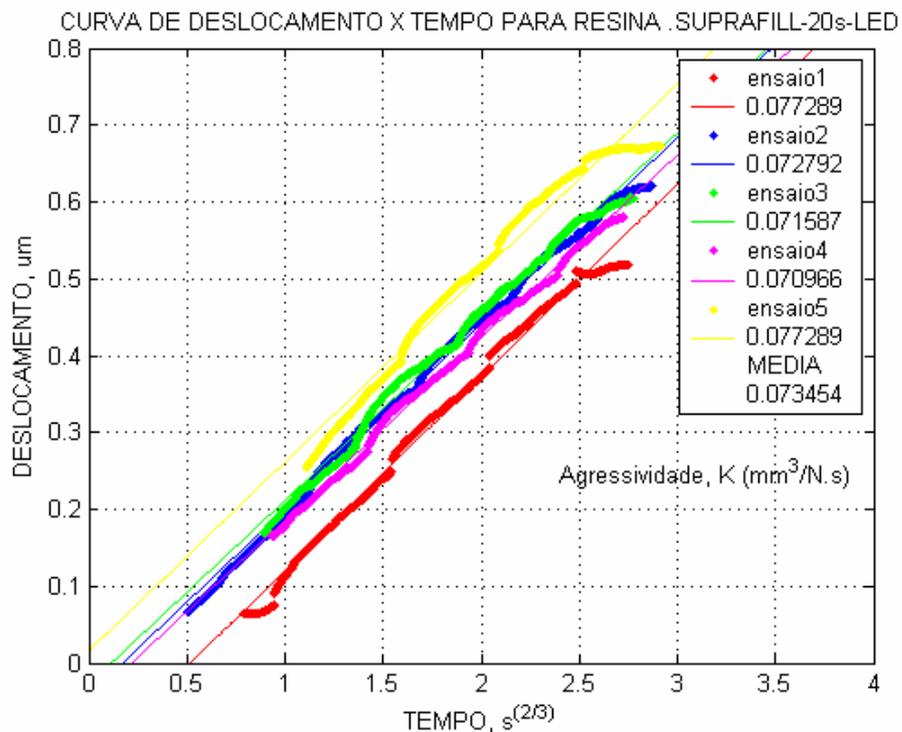
**Figura 46** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina SUPRAFILL para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



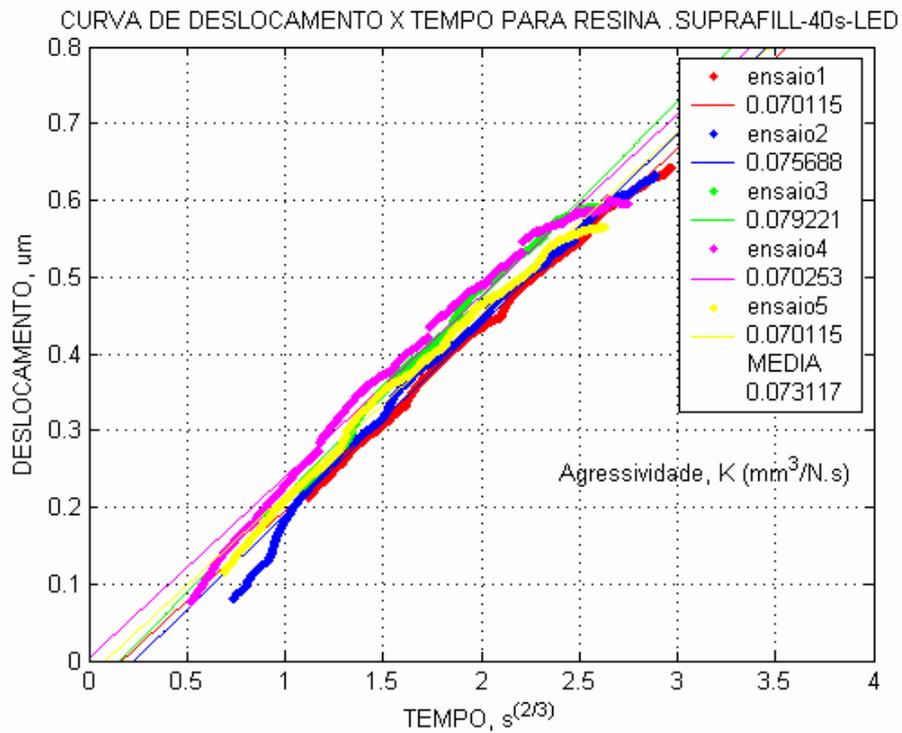
**Figura 47** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina SUPRAFILL para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



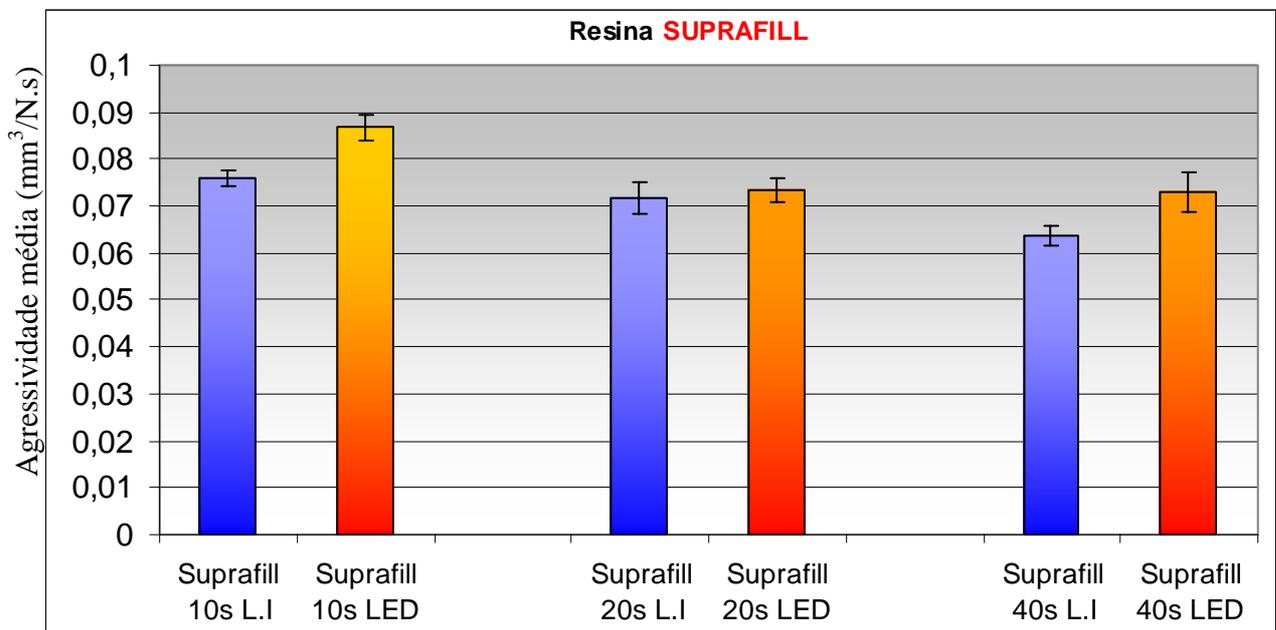
**Figura 48** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina SUPRAFILL para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de LED



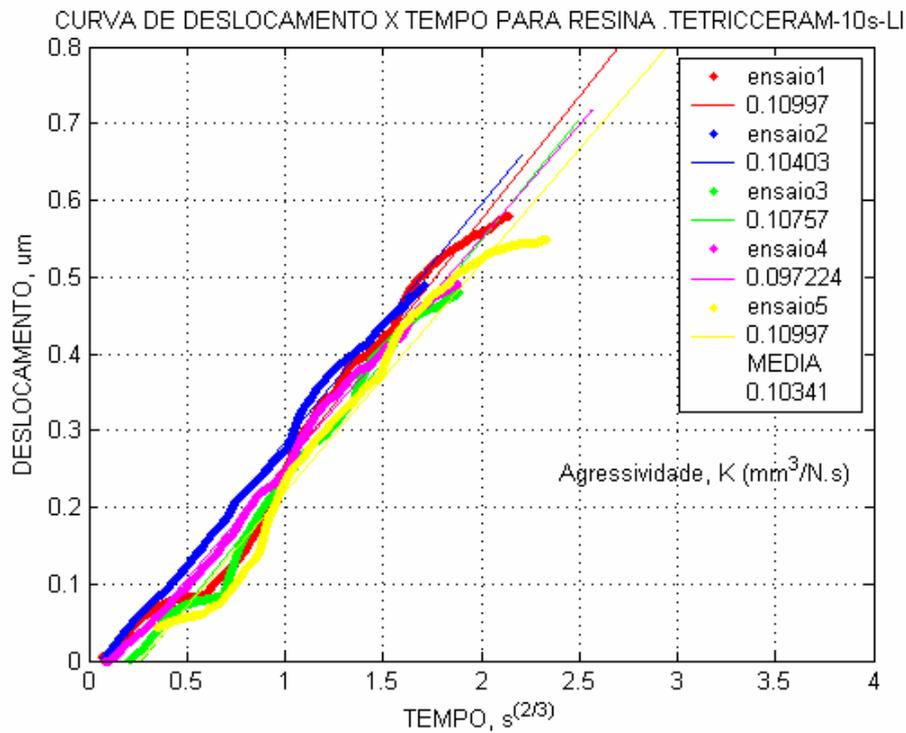
**Figura 49** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina SUPRAFILL para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de LED



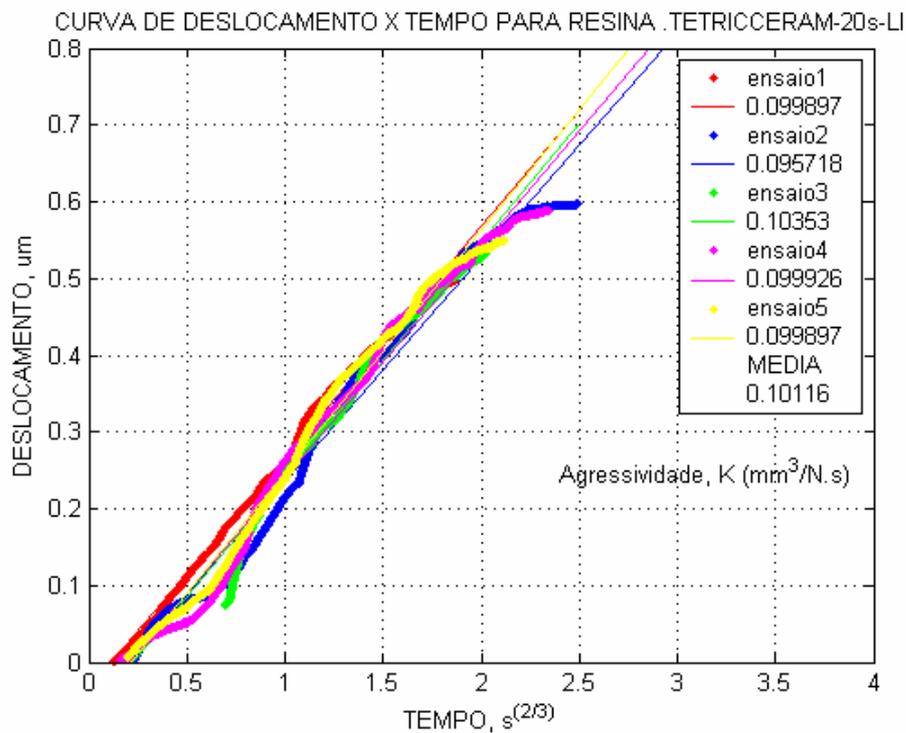
**Figura 50** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina SUPRAFILL para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de LED



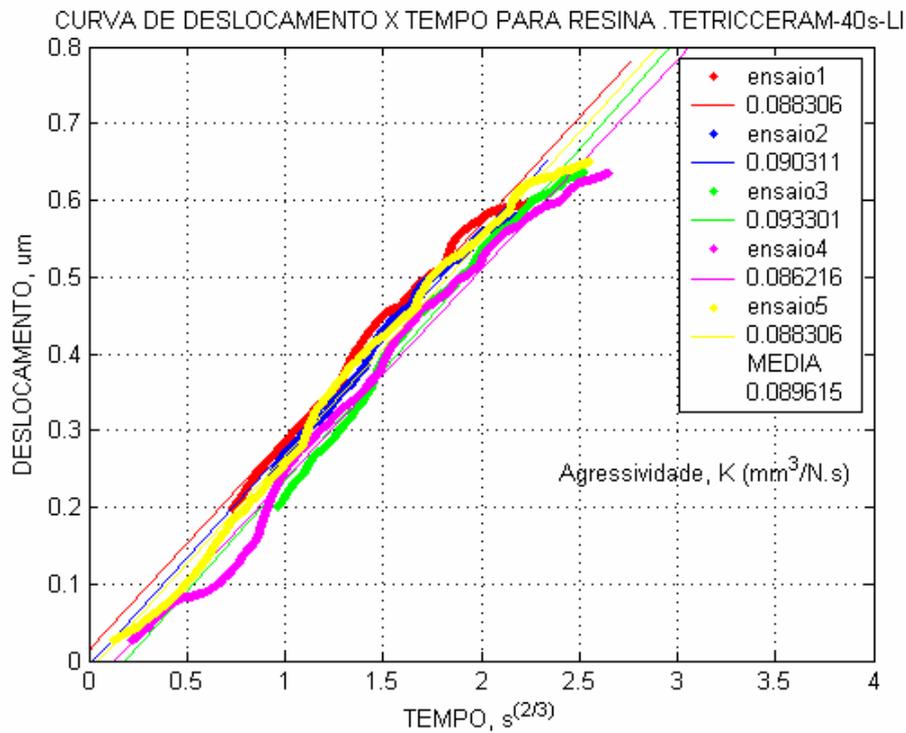
**Figura 51** - Gráfico de barras com os valores de agressividade média obtidos nos ensaios da resina SUPRAFILL comparando os aparelhos e os tempos de fotopolimerização.



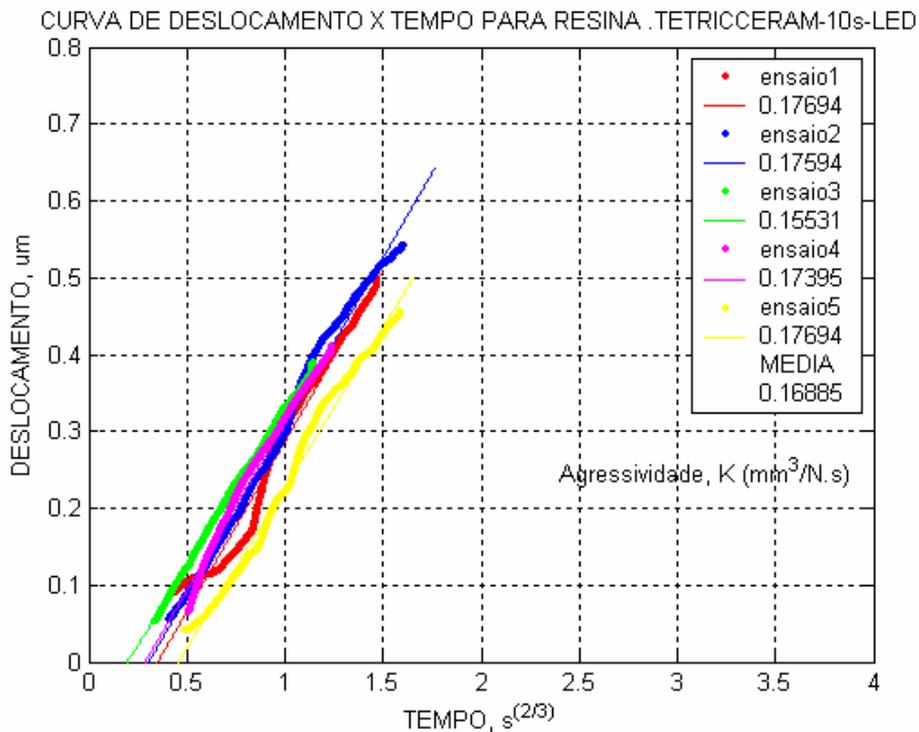
**Figura 52** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina TETRIC CERAM para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



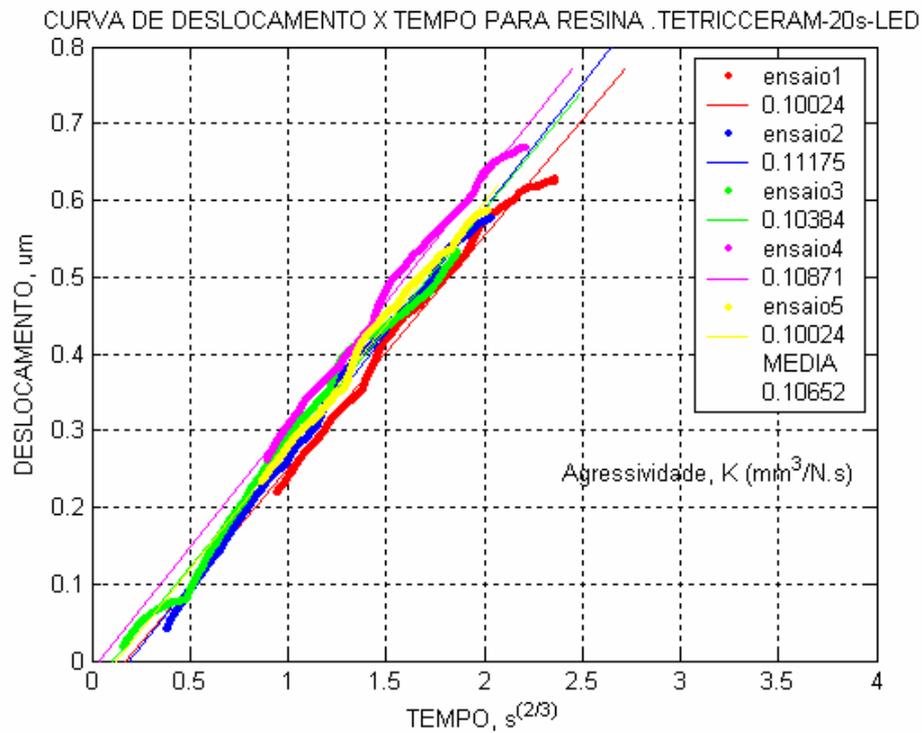
**Figura 53** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina TETRIC CERAM para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



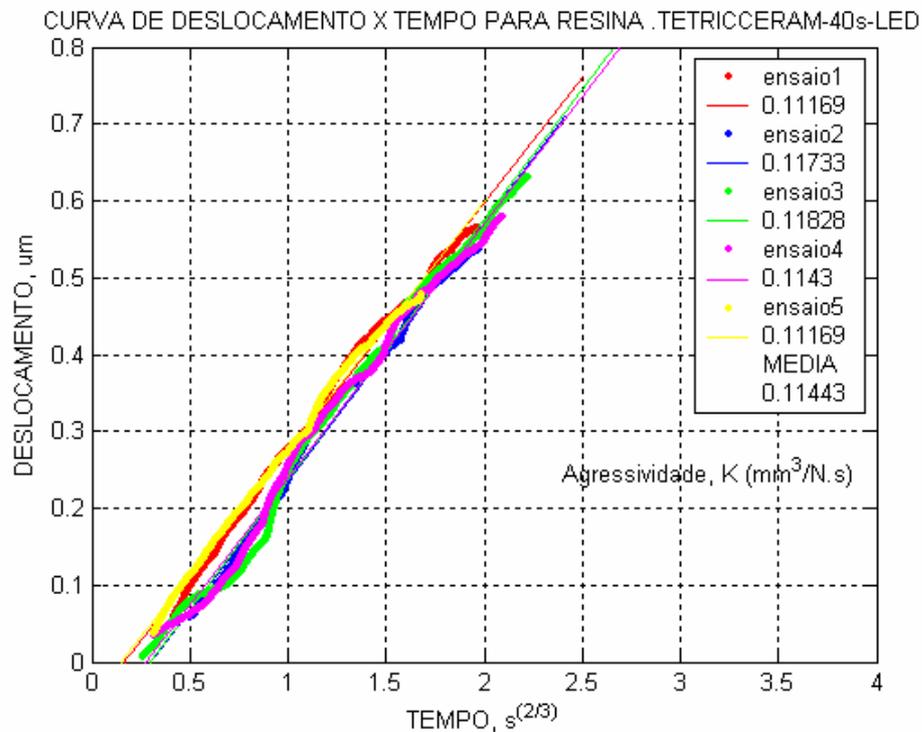
**Figura 54** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina TETRIC CERAM para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



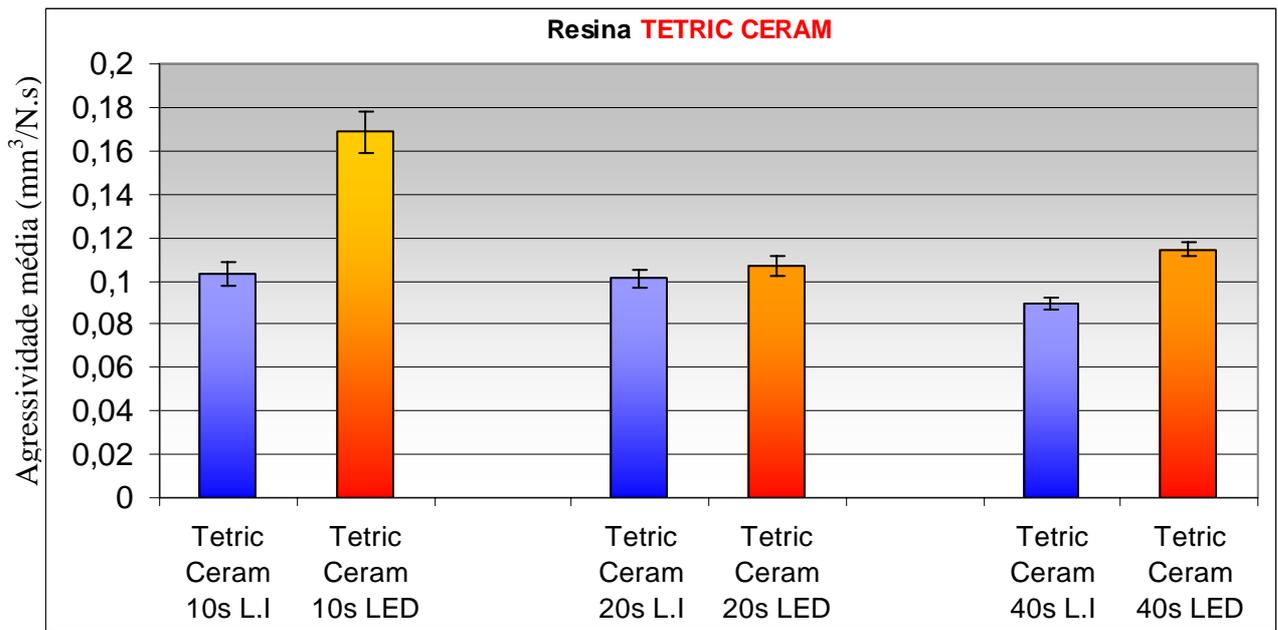
**Figura 55** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina TETRIC CERAM para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de LED



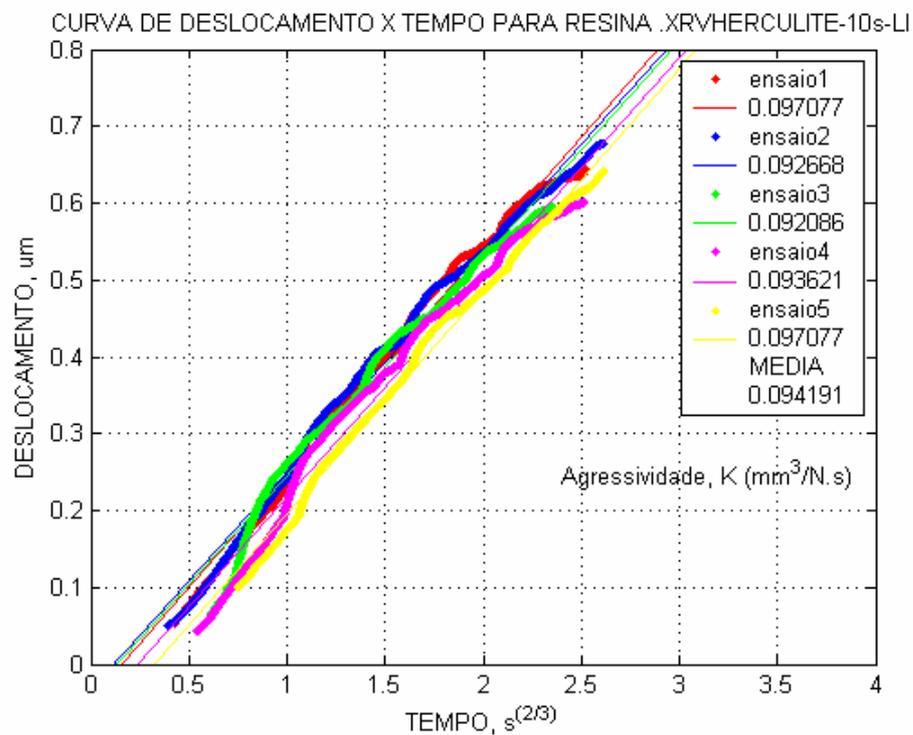
**Figura 56** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina TETRIC CERAM para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de LED



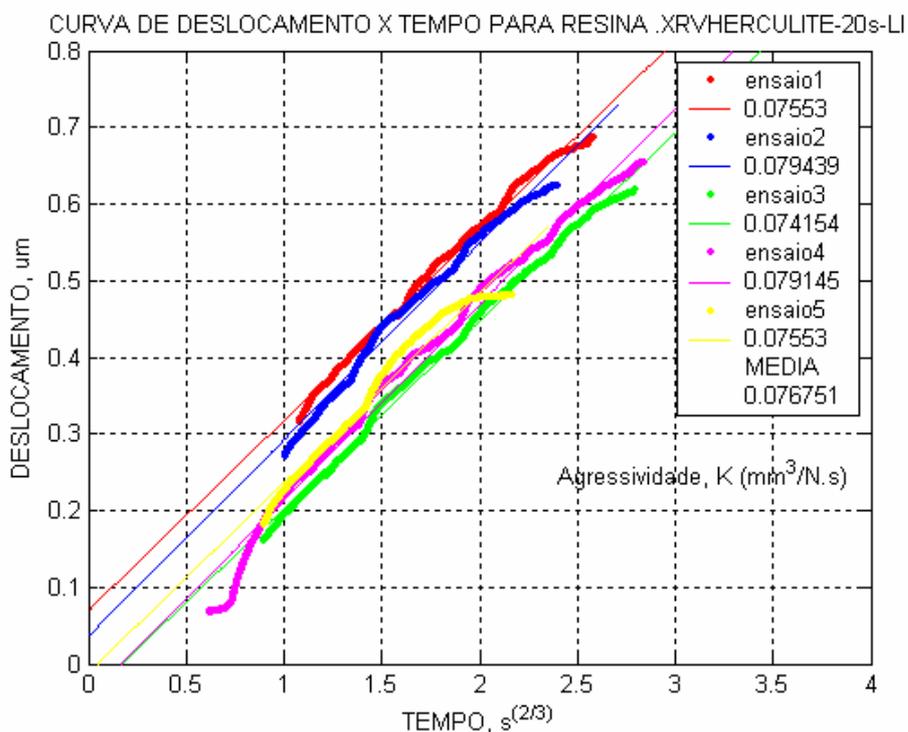
**Figura 57** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina TETRIC CERAM para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de LED



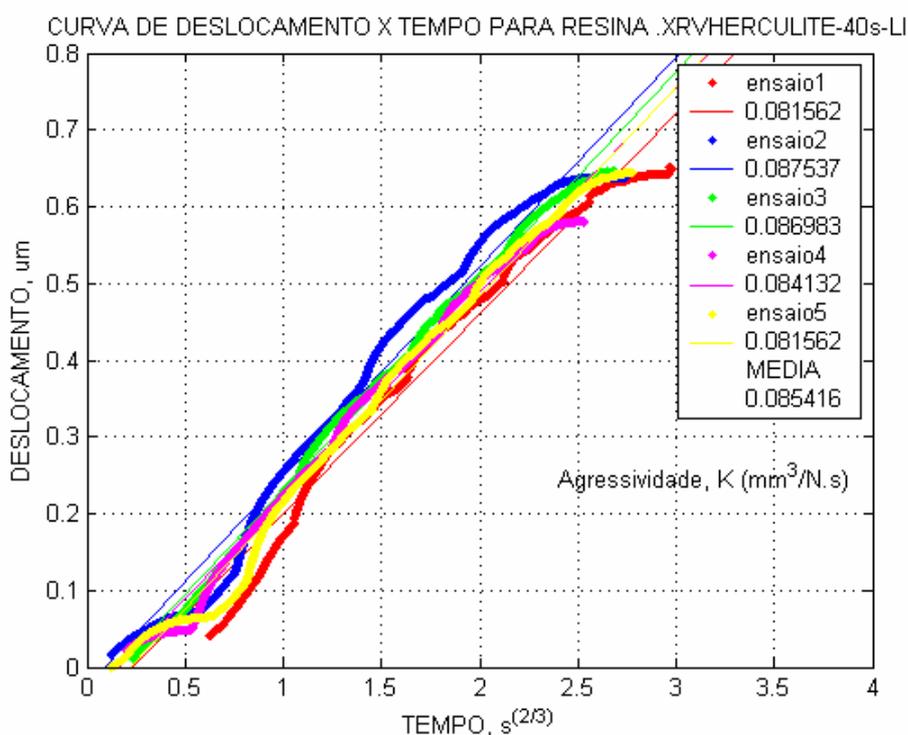
**Figura 58** - Gráfico de barras com os valores de agressividade média obtidos nos ensaios da resina TETRIC CERAM comparando os aparelhos e os tempos de fotopolimerização.



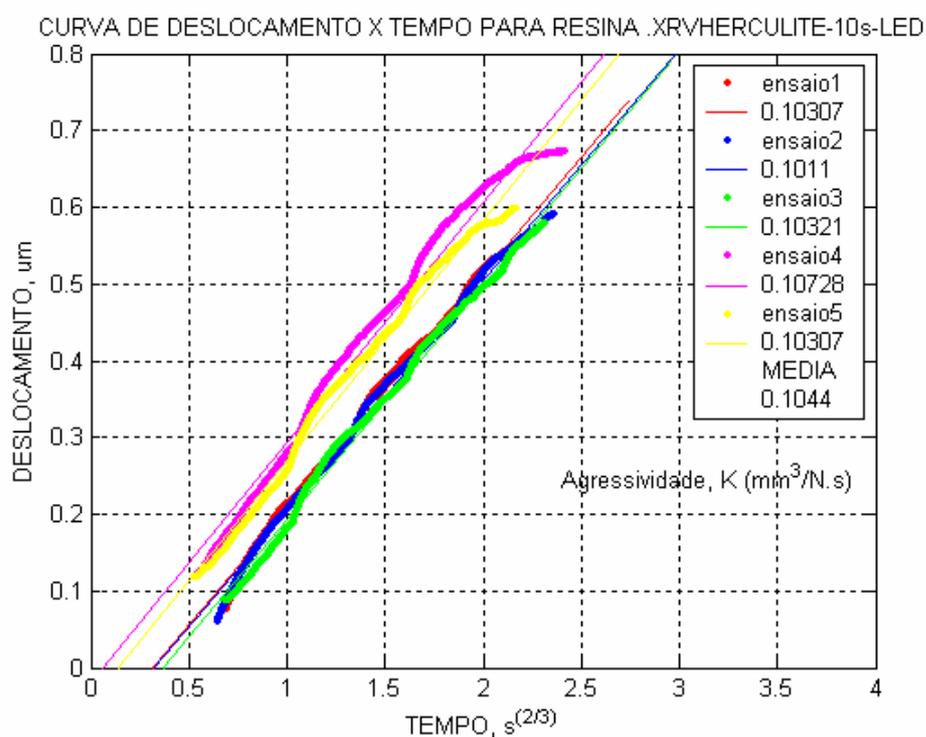
**Figura 59** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina XRV HERCULITE para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente.



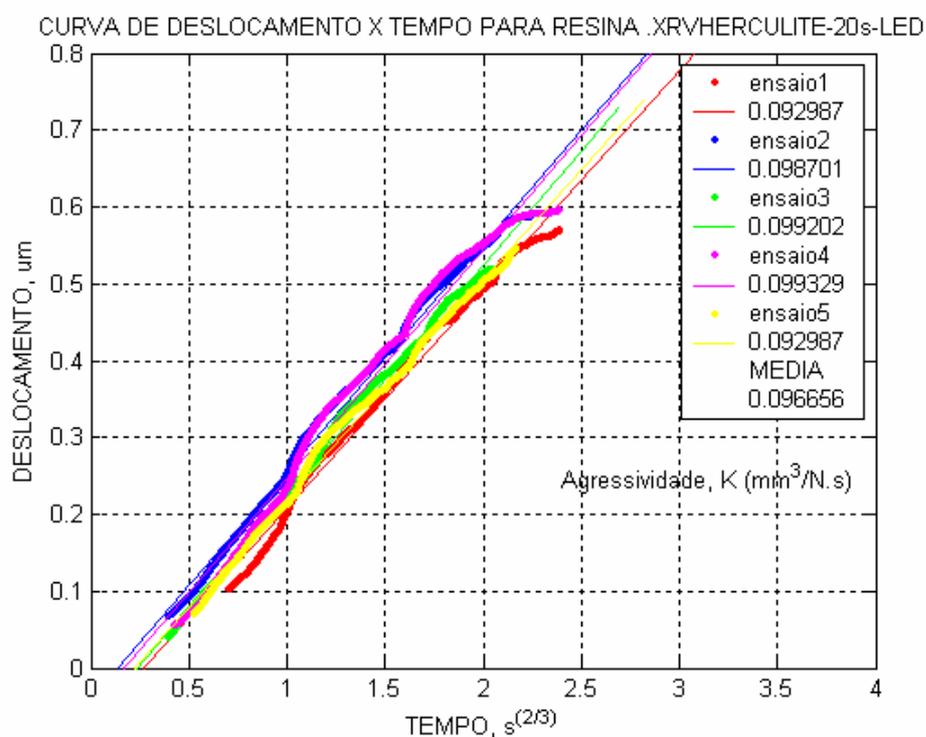
**Figura 60** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina XRV HERCULITE para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente.



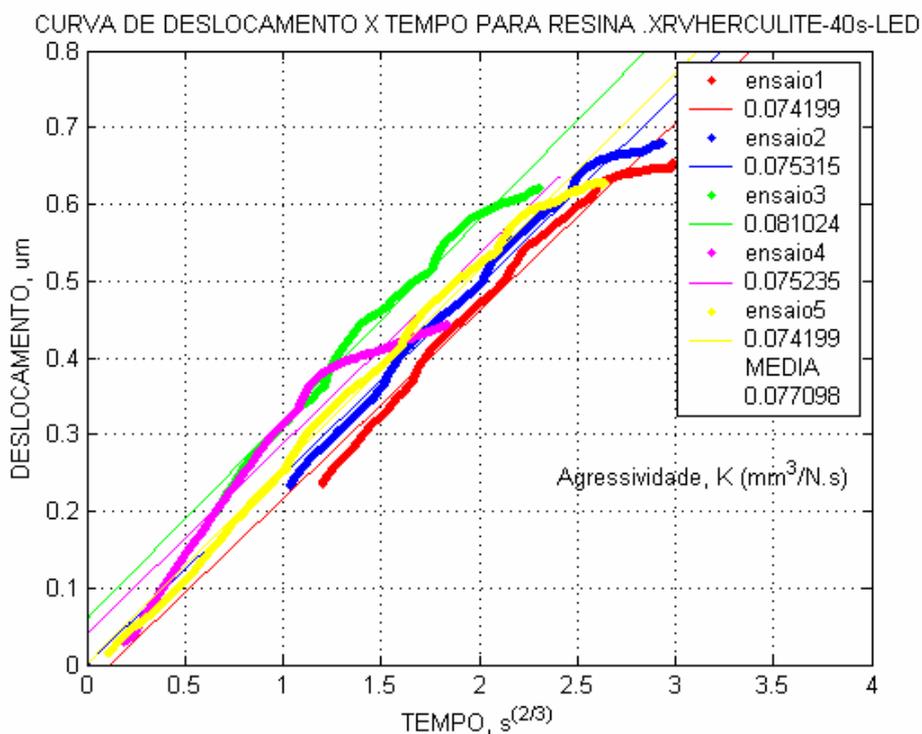
**Figura 61** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina XRV HERCULITE para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente.



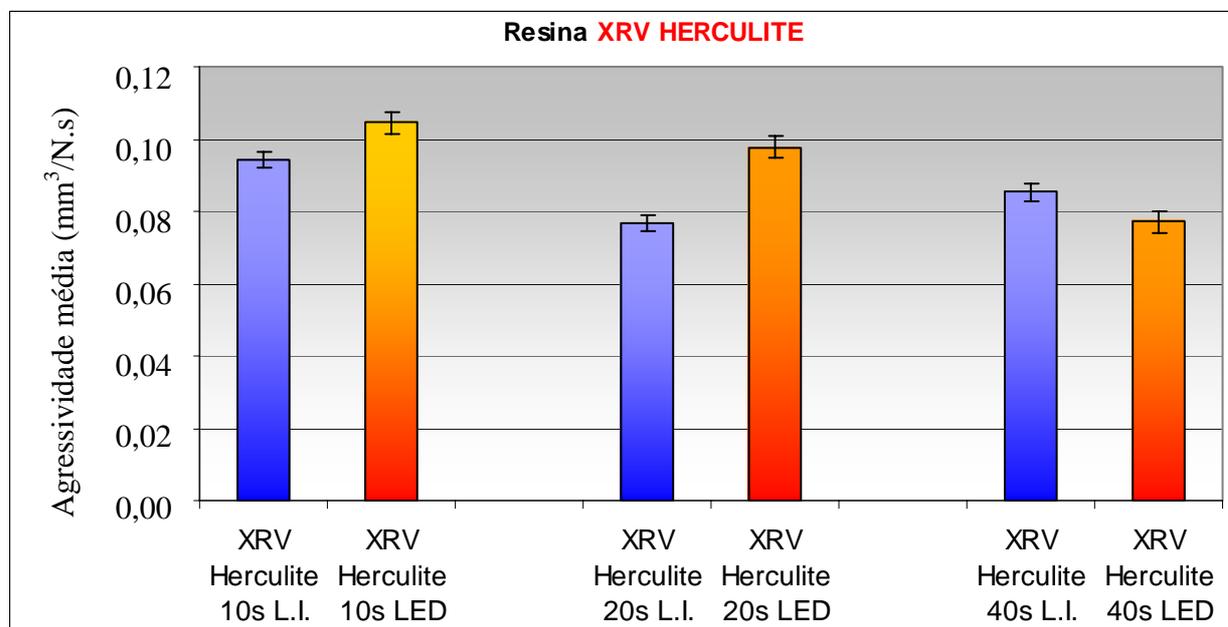
**Figura 62** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina XRV HERCULITE para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de LED.



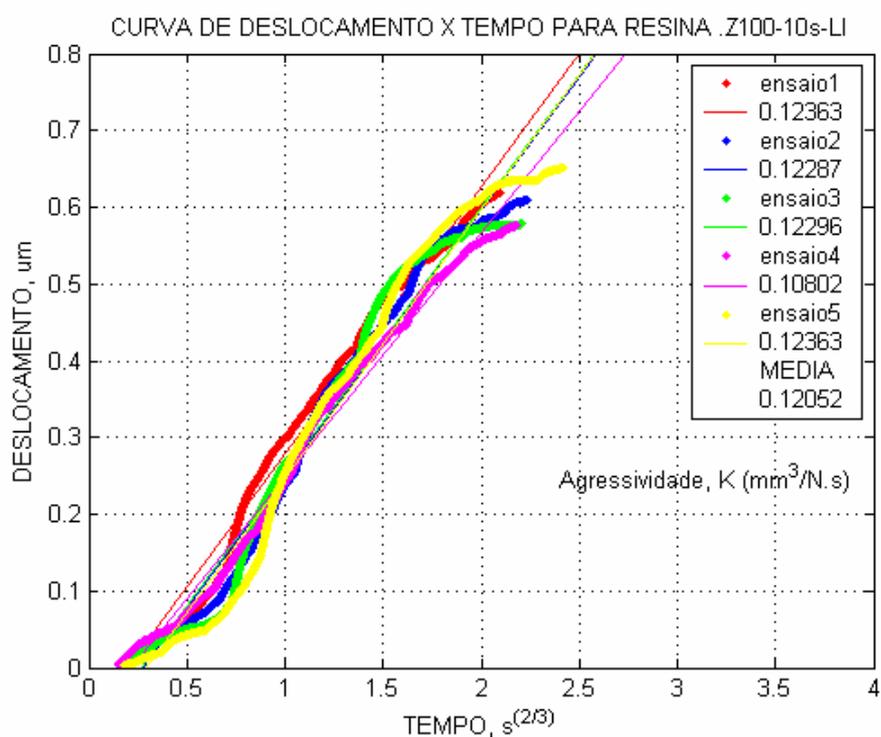
**Figura 63** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina XRV HERCULITE para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de LED.



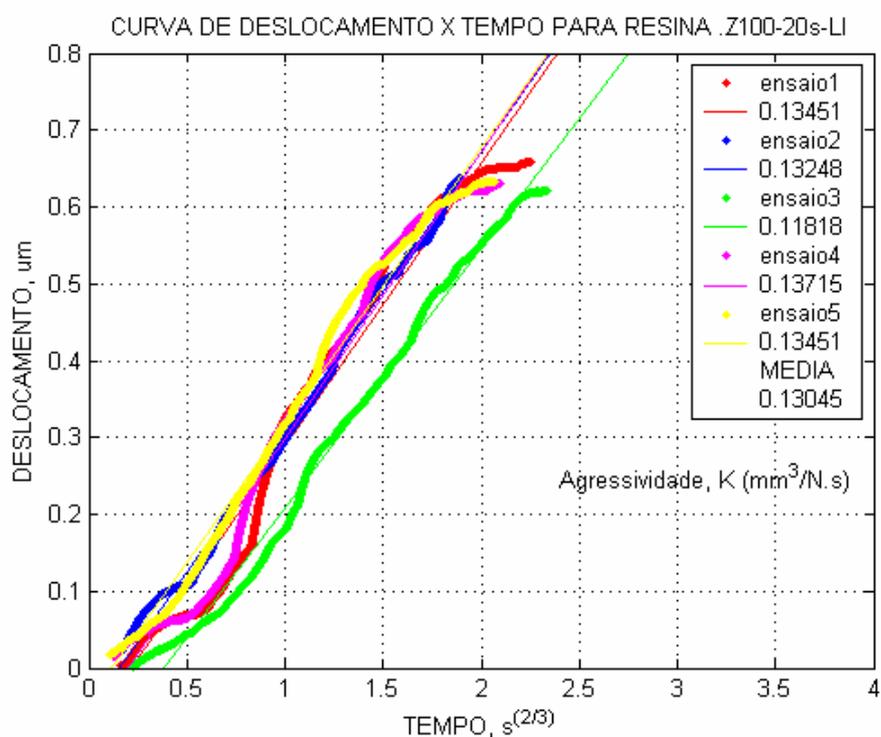
**Figura 64** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina XRV HERCULITE para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de LED.



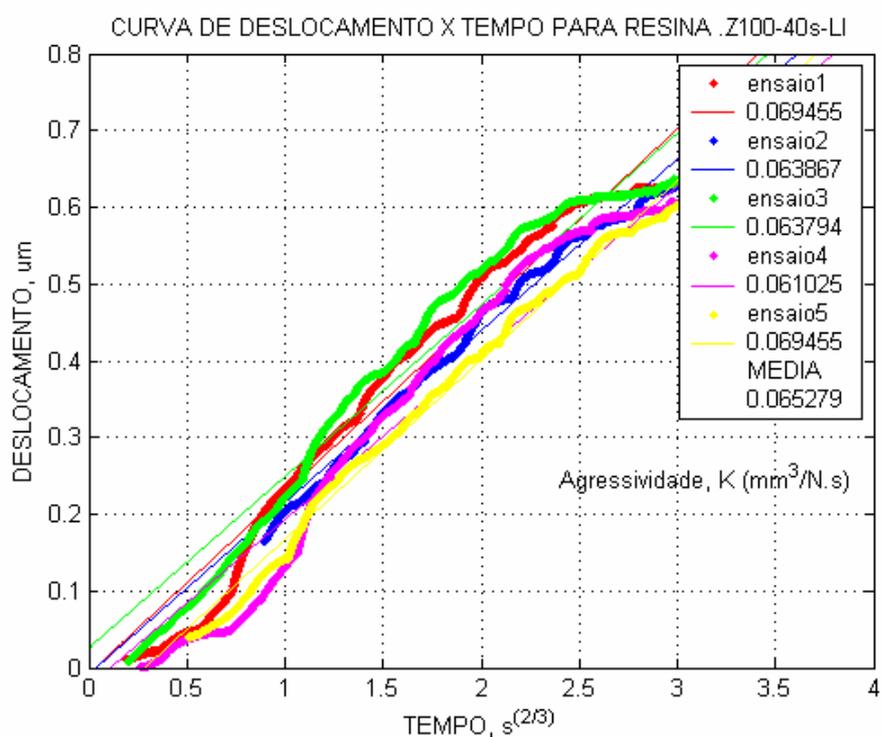
**Figura 65** - Gráfico de barras com os valores de agressividade média obtidos nos ensaios da resina XRV HERCULITE comparando os aparelhos e os tempos de fotopolimerização.



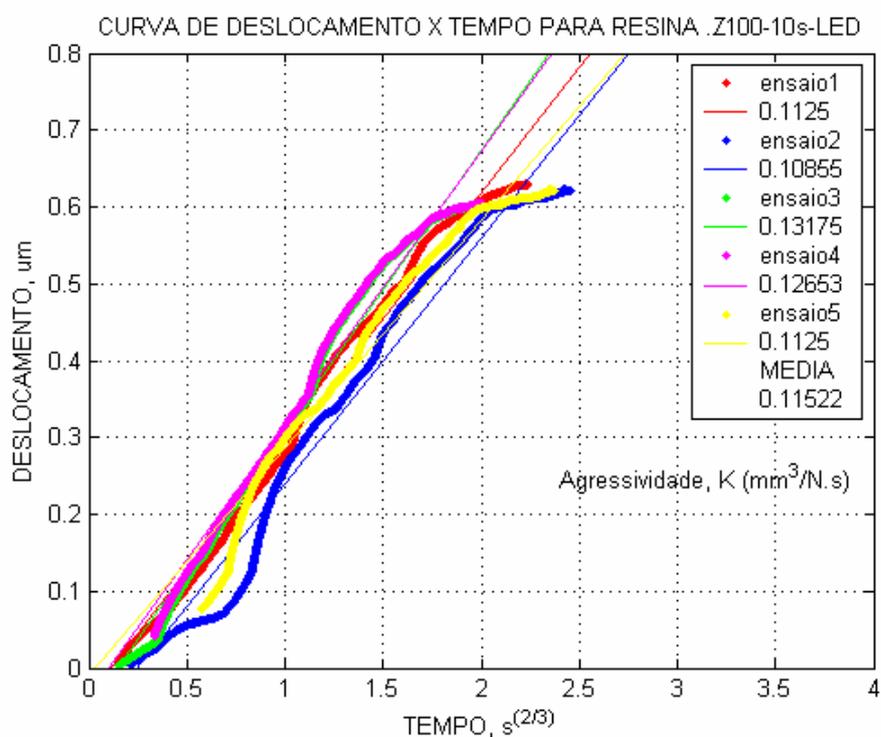
**Figura 66** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina Z100 para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



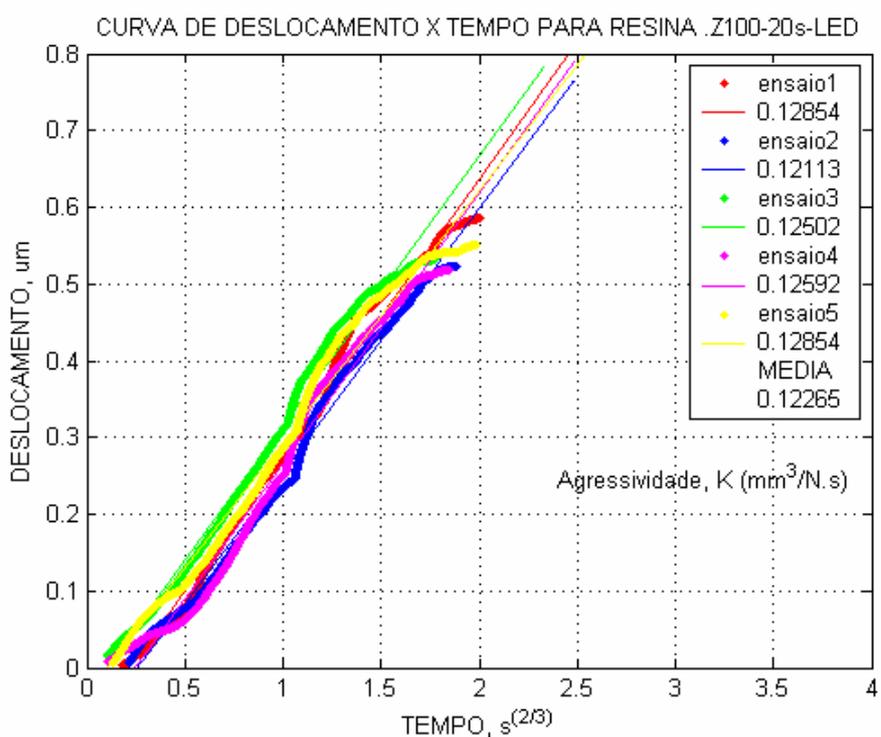
**Figura 67** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina Z100 para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



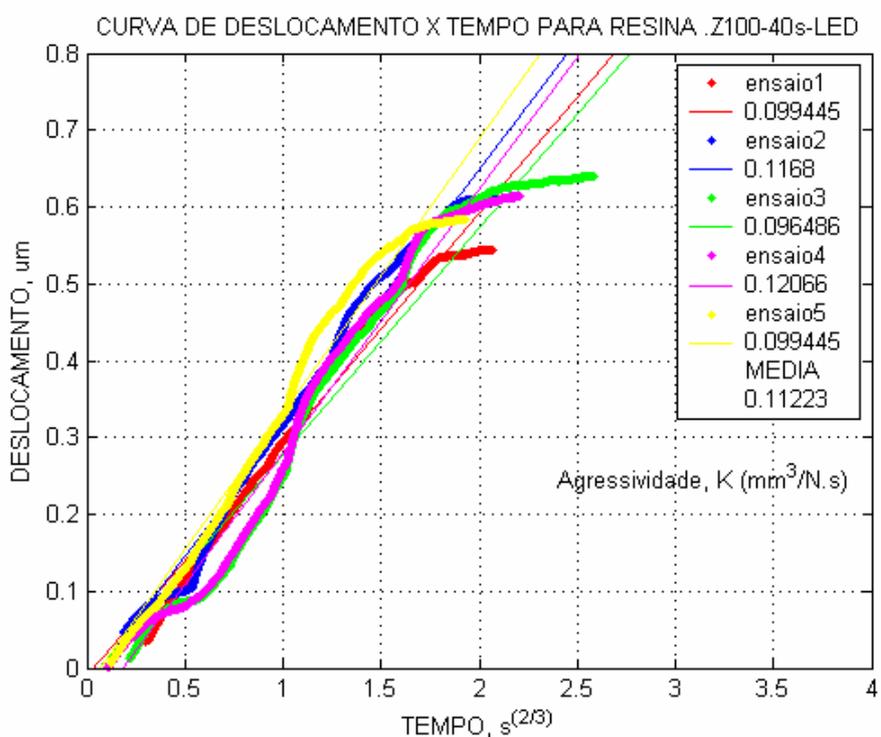
**Figura 68** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina Z100 para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de lâmpada incandescente



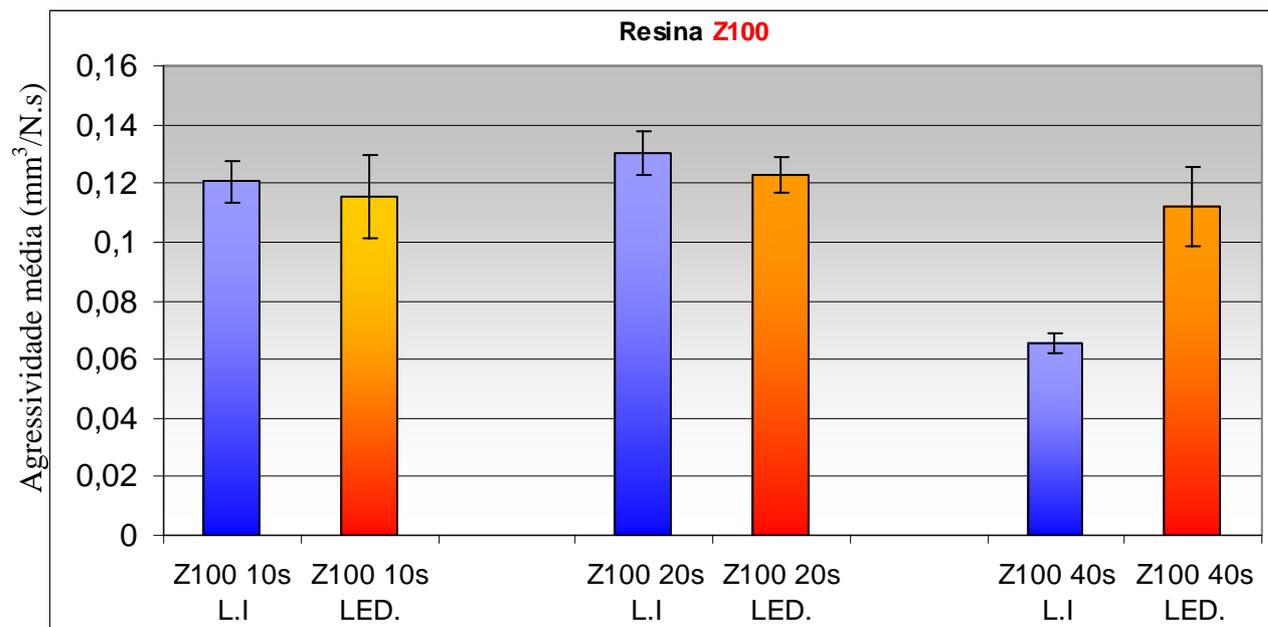
**Figura 69** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina Z100 para o tempo de 10s de fotopolimerização e aparelho de LED



**Figura 70** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina Z100 para o tempo de 20s de fotopolimerização e aparelho de LED



**Figura 71** - Gráfico (deslocamento x tempo<sup>2/3</sup>) obtido em ensaio da resina Z100 para o tempo de 40s de fotopolimerização e aparelho de LED



**Figura 72** - Gráfico de barras com os valores de agressividade média obtidos nos ensaios da resina Z100 comparando os aparelhos e os tempos de fotopolimerização

Para o cálculo da agressividade média de cada resina, um coeficiente de correlação de 96% foi tomado como referência, para o processo de linearização, sendo que, resultados obtidos com esse índice inferior a essa referência não seriam considerados como significativos e, portanto, não são utilizados nesse cálculo, no entanto, não houve nenhuma ocorrência deste fato. As tabelas 5 e 6 apresentam os valores médios de agressividade obtidos nos ensaios de cada resina e seu respectivo desvio-padrão, para o aparelho de lâmpada halógena e para o LED, respectivamente.

**Tabela 4.** Valores de agressividade média e respectivos desvios padrão obtidos com a polimerização por aparelho de lâmpada halógena.

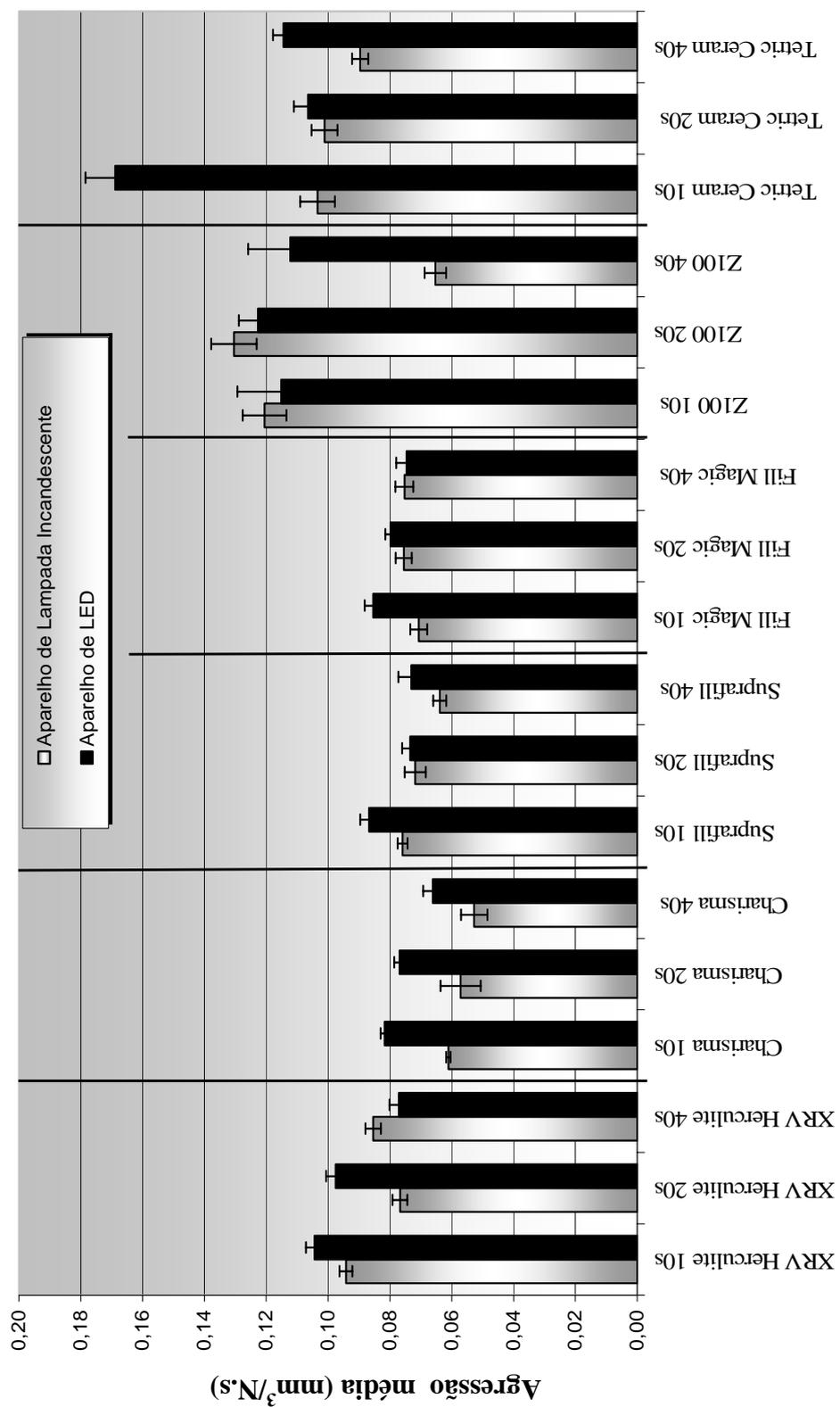
Resinas Compostas		Tempos de fotopolimerização		
		10s	20s	40s
<b>XRV Herculite</b>	média	0,094191	0,076751	0,085416
	desvio padrão	0,002069	0,002387	0,002528
<b>Charisma</b>	média	0,061086	0,057124	0,052722
	desvio padrão	0,000727	0,006515	0,004258
<b>Suprafill</b>	média	0,075891	0,071791	0,063880
	desvio padrão	0,001567	0,003423	0,002091
<b>Fill Magic</b>	média	0,070688	0,075530	0,075292
	desvio padrão	0,002711	0,002622	0,002917
<b>Z100</b>	média	0,120524	0,130452	0,065279
	desvio padrão	0,007052	0,007354	0,003484
<b>Tetric Ceram</b>	média	0,103408	0,101163	0,089615
	desvio padrão	0,005605	0,004169	0,002620

**Tabela 5.** Valores de agressividade média e respectivos desvios-padrão obtidos com a polimerização por aparelho de LED.

Resinas Compostas		Tempos de fotopolimerização		
		10s	20s	40s
<b>XRV Herculite</b>	média	0,104399	0,097574	0,077098
	desvio padrão	0,002788	0,00302	0,003055
<b>Charisma</b>	média	0,081744	0,076849	0,066109
	desvio padrão	0,001223	0,001796	0,003128
<b>Suprafill</b>	média	0,08675	0,073454	0,073117
	desvio padrão	0,002834	0,00256	0,004152
<b>Fill Magic</b>	média	0,08543	0,079817	0,074618
	desvio padrão	0,002681	0,001691	0,003331
<b>Z100</b>	média	0,115218	0,122651	0,112228
	desvio padrão	0,014094	0,006194	0,013638
<b>Tetric Ceram</b>	média	0,16885	0,106518	0,114429
	desvio padrão	0,009626	0,004506	0,003384

A Fig. 74 mostra todos os resultados de agressividade média e desvios-padrão colhidos em laboratório, em um único gráfico, para que possa ser feitas uma melhor visualização e comparação entre a resistência dos materiais.

Para a realização da análise estatística dos resultados obtidos foi utilizado o método estatístico Teste de Tukey (empregado para comparar médias) e o One Way ANOVA (que consiste da análise de variâncias), para as comparações entre os grupos de resinas testadas. Estabeleceu-se o nível de significância de 5 % ( $p < 0,05$ ). Dessa forma, a probabilidade de a análise estar correta é de 95%.



**Figura 73** - Gráfico de barras obtido mostrando todos os materiais estudados para os dois diferentes aparelhos e tempo de 10, 20 e 40s de polimerização.

Através dos valores de agressividade é possível comparar as resinas, tempos de polimerização e qualidade de cura proporcionada pelos aparelhos, segundo o que foi proposto, de acordo com sua resistência ao desgaste. A agressividade é inversamente proporcional à resistência ao desgaste abrasivo. Então, a resina com maior agressividade é a que sofreu maior desgaste, sendo, portanto a menos resistente; e a que obteve a menor agressividade, é a que sofreu menor desgaste, sendo, então, a mais resistente.

A Fig. 74 mostra a comparação entre os valores de agressividade dos corpos-de-prova polimerizados com aparelho de luz incandescente.

aparelho		aparelho		L.I.																		
		resinas		XRV Herculite			CHARISMA			SUPRAFILL			FILL MAGIC			Z 100			Tetric Ceram			
		resinas	tempo	tempo	10s	20s	40s	10s	20s	40s	10s	20s	40s	10s	20s	40s	10s	20s	40s	10s	20s	40s
			agressividade $10^{-2} \text{ mm}^3/\text{N.s}$	9,4191	7,6751	8,5416	6,1086	5,7124	5,2722	7,5891	7,1791	6,3880	7,0688	7,5530	7,5292	12,0524	13,0452	6,5279	10,3408	10,1163	8,9615	
L.I.	XRV Herculite	10s	9,4191		N														N	N	N	
		20s	7,6751		N					N	N		N	N	N				N			
		40s	8,5416	N	N					N			N	N	N							N
	CHARISMA	10s	6,1086				N	N			N	N	N						N			
		20s	5,7124				N	N					N									
		40s	5,2722				N	N					N						N			
	SUPRAFILL	10s	7,5891		N	N					N	N	N	N					N			N
		20s	7,1791		N						N			N	N	N				N		
		40s	6,3880								N			N	N	N				N		
	FILL MAGIC	10s	7,0688		N	N					N	N	N		N	N				N		
		20s	7,5530		N	N					N	N	N	N		N				N		
		40s	7,5292		N	N					N	N	N	N		N				N		
	Z 100	10s	12,0524														N					
		20s	13,0452														N					
		40s	6,5279		N	N			N	N	N	N	N	N	N							
	Tetric Ceram	10s	10,3408	N																	N	
		20s	10,1163	N																	N	N
		40s	8,9615	N	N						N											N

N= comparação sem diferença estatisticamente significativa.

Figura 74 - Comparação entre os valores de agressividade para os corpos-de-prova fotopolimerizados com aparelho de Lâmpada Incandescente.

A comparação entre os valores de agressividade para os corpos-de-prova fotopolimerizados com aparelho de Lâmpada Incandescente está mostrada na Fig. 74. Pode-se observar que a resina XRV Herculite, polimerizada com os tempos de 10s, 20s e 40s mostra

diferenças estatísticas quando comparada à resina CHARISMA, polimerizada com 10s, 20s e 40s. Assim como a resina Tetric Ceram quando comparada com as resinas Charisma, a Fill Magic e com a Z100. Na comparação da resina Fill Magic com Charisma só não houve diferença estatística entre Fill Magic, polimerizada por 10s com Charisma, polimerizada por 10s. Deve-se ressaltar que a resina Charisma obteve as menores médias dos valores de agressividade em todos os tempos. A resina XRV Herculite, polimerizada por 10s também apresentou diferenças estatísticas para a maioria de suas comparações, com exceção de quatro ensaios (comparada com XRV Herculite 40s, Tetric Ceram 10s, 20s e 40s). Apresentando os mais elevados valores de agressividade, as amostras de resina Z100 fotopolimerizadas a 10s e a 20s apresentaram diferenças estatísticas para as demais resinas, com exceção de quando comparadas entre elas.

A análise dos dados estatísticos na comparação entre as resinas Fill Magic (10s, 20s e 40s) e a resina Suprafill (10s, 20s e 40s) não foi satisfatória, pois não apresentou diferenças estatísticas, com exceção da Fill Magic 40s com Suprafill 10s.

A Fig. 75 mostra a comparação entre os valores de agressividade dos corpos-de-prova polimerizados com aparelho de LED.

aparelho		aparelho		LED																																	
		resinas		resinas		XRV Herculite								CHARISMA				SUPRAFILL				FILL MAGIC				Z 100				Tetric Ceram							
		resinas	tempo	tempo	agressividade $10^2 \text{ mm}^3/\text{N.s}$	10s		20s		40s		10s		20s		40s		10s		20s		40s		10s		20s		40s		10s		20s		40s			
LED	XRV Herculite					10s	10,4399	N	N																												
		20s	9,7574	N	N																																
		40s	7,7098			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
	CHARISMA	10s	8,1744			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
		20s	7,6849			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
		40s	6,6109			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	
	SUPRAFILL	10s	8,6750			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
		20s	7,3454			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
		40s	7,3117			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	FILL MAGIC	10s	8,5430			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
		20s	7,9817			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
		40s	7,4618			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
	Z 100	10s	11,5218	N	N																																
		20s	12,2651			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
		40s	11,2228	N	N																																
	Tetric Ceram	10s	16,8850																																		
		20s	10,6518	N	N																																
		40s	11,4429	N	N																																

N= comparação sem diferença estatisticamente significativa.

Figura 75 - Comparação entre os valores de agressividade para os corpos-de-prova fotopolimerizados com aparelho de LED.

Na comparação entre os valores de agressividade para os corpos-de-prova fotopolimerizados com aparelho de LED na Fig. 75, observa-se que algumas resinas não obtiveram valores satisfatórios de diferenças estatísticas, para a maioria dos tempos de ensaio. Como exemplo pode-se citar a comparação estatística da resina Fill Magic com a Resina Suprafill. Para todos os tempos de polimerização, não houve diferenças estatísticas. Os valores de agressividade também estão bem próximos. Também, a comparação das resinas Suprafill com Charisma, só se obteve diferenças estatísticas para a resina Suprafill 10s quando comparada com Charisma 10s e 40s. A comparação entre as resinas Z100 para os tempos de 10s, 20s e 40s mostra diferenças estatísticas em todos os tempos, em comparação com a resina Charisma, Suprafill e Fill Magic. O mesmo ocorre com a resina Tetric Ceram, compara com Charisma, Suprafill e Fill Magic. Assim como para o aparelho de L.I., estas resinas apresentaram os maiores valores de agressividade dentre as resinas ensaiadas. Para esta análise, a resina XRV Herculite, apresentou diferenças estatísticas para a maioria dos ensaios,

quando comparada com a Z100, com exceção de dois ensaios (XRV Herculite 10s com Z100 10s e 40s).

A Fig. 76 mostra a comparação entre os valores de agressividade dos corpos-de-prova polimerizados com aparelho de LED e Lâmpada Incandescente.

aparelho		aparelho		LED																			
		resinas		XRV Herculite			CHARISMA			SUPRAFILL			FILL MAGIC			Z 100			Tetric Ceram				
		resinas	tempo	tempo	10s	20s	40s	10s	20s	40s	10s	20s	40s	10s	20s	40s	10s	20s	40s	10s	20s	40s	
			agressividade $10^{-2} \text{ mm}^3/\text{W.s}$	10,4399	9,7574	7,7098	8,1744	7,6849	6,6109	8,6750	7,3454	7,3117	8,5430	7,9817	7,4618	11,5218	12,2651	11,2228	16,8860	10,6518	11,4429		
L.I.	XRV Herculite	10s	9,4191	N	N		N			N			N						N				
		20s	7,6751			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N								
		40s	8,5416		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N								
	CHARISMA	10s	6,1086						N		N	N											
		20s	5,7124						N														
		40s	5,2722																				
	SUPRAFILL	10s	7,5891			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N								
		20s	7,1791			N	N	N	N		N	N	N	N	N								
		40s	6,3880						N		N	N		N									
	FILL MAGIC	10s	7,0688			N	N	N	N		N	N	N	N	N								
		20s	7,5530			N	N	N	N		N	N	N	N	N								
		40s	7,5292			N	N	N	N		N	N	N	N	N								
	Z 100	10s	12,0524													N	N	N				N	
		20s	13,0452														N						
		40s	6,5279			N	N	N			N	N			N								
	Tetric Ceram	10s	10,3408	N	N											N		N	N	N	N		
		20s	10,1163	N	N												N		N				
		40s	8,9615	N	N	N	N			N				N	N								

N= comparação sem diferença estatisticamente significativa.

Figura 76 - Comparação entre os valores de agressividade para os corpos-de-prova fotopolimerizados com aparelho de LED e Lâmpada Incandescente.

A comparação entre os aparelhos de LED e Lâmpada Incandescente para os corpos-de-prova e seus valores de agressividade, apresentada na Fig. 76, mostra que, entre os aparelhos também ocorreu um número razoável de diferenças estatísticas. Com resultados menores de valor médio de agressividade, a resina Charisma, polimerizada com os tempos de 10s, 20s e 40s por lâmpada incandescente tem em quase todos os resultados diferenças estatísticas, para qualquer tempo comparada com as amostras polimerizadas por LED, com apenas quatro exceções (resina Charisma 10s, L.I. e Charisma 40s, LED; Charisma 10s L.I. e Suprafill 20s e 40s LED; Charisma 20s L.I. e Charisma 40s LED).

Mas também, pode-se ver que a resina Fill Magic, polimerizada com L.I. não apresentou diferenças estatísticas em nenhum dos resultados (comparações, etc) quando comparada com a resina Charisma, polimerizada com LED. Seus valores de agressividade estão próximos e seus desvios padrões relativamente baixos.

A análise destas figuras se dá apenas para fazer a comparação entre cada resina, cada tempo de polimerização e cada aparelho. Ele indica se houve ou não diferenças estatísticas entre cada uma delas, além de seus valores de agressividade, obtidas nos ensaios.

As resinas Z100 e Tetric Ceram fotopolimerizadas com LED demonstraram estatisticamente maiores resultados de valor médio de agressividade, em comparação com a XRV Herculite, Charisma, Suprafill e Fill Magic, com exceção na comparação entre XRV Herculite 10s L.I. e Tetric Ceram 20s LED.

Analisando os resultados, a resina Charisma polimerizada por 40s com L.I., apresentou a melhor resistência ao desgaste para os dois aparelhos, com diferenças estatísticas exceto quando comparadas com Charisma 10s e 20s, Suprafill 40s e Z100 40s com aparelho de L.I.

Para a maioria dos ensaios o aparelho de L.I. conferiu uma maior resistência ao desgaste abrasivo.

## **5.2. Ensaio de microdureza**

Observou-se que os resultados obtidos nos ensaios de Microdureza apresentaram grande variação nas medidas realizadas ao longo do espécime. Este fato deve-se a característica do material e do ensaio que permite que a ponta do penetrador pode incidir em diferentes pontos da estrutura do material com diferentes propriedades, o que justifica os altos valores de desvio padrão encontrados.

Deve-se salientar que alguns corpos-de-prova não foram submetidos a estes ensaios de Microdureza. O resultados dos ensaios de microdureza nos 31 corpos-de-prova são apresentados no Gráfico da Fig. 77. Foram realizadas análises estatísticas ANOVA seguido, quando necessário, do Teste de Tukey, com nível de significância de 5%.

Os valores médios de microdureza Vickers, em HV, obtidos em laboratório estão apresentados na Tab. 7 e, a partir destes dados, construiu-se o gráfico, apresentado na Fig. 77, onde são mostrados os valores médios das microdurezas obtidas em laboratório, e comparados os aparelhos fotopolimerizadores L.I. e LED, em cada amostra de resina, a cada tempo.

**Tabela 6.** Quadro com os valores médios das microdurezas, em HV, e seus respectivos desvios-padrão

RESINA	APARELHO			
	LI		LED	
	Média (HV)	Desvio	Média (HV)	Desvio
<b>Charisma 10s</b>	58,84	8,63	62,73	9,98
<b>Charisma 20s</b>	54,63	11,35	51,57	12,19
<b>Suprafill 20s</b>	47,38	4,64	53,73	11,63
<b>Suprafill 40s</b>	83,56	28,57	41,10	16,29
<b>Fill Magic 10s</b>	61,25	11,87	44,79	5,11
<b>Fill Magic 20s</b>	59,18	9,18	48,49	5,02
<b>Fill Magic 40s</b>	54,09	9,51	54,26	6,00
<b>Z100 10s</b>	74,84	12,84	56,42	9,60
<b>Z100 20s</b>	61,25	12,79	74,70	9,14
<b>Z100 40s</b>	50,40	9,38	70,41	7,99
<b>Tetric Ceram 10s</b>	47,17	4,40	46,33	8,68
<b>Tetric Ceram 20s</b>	53,44	7,09	49,43	12,82
<b>Tetric Ceram 40s</b>	62,20	7,26	50,90	8,04

Além da Fig. 77 construiu-se uma outra tabela apenas para fazer a comparação entre as médias dos valores de microdureza para cada resina, para cada tempo e para cada aparelho. Estes valores estão apresentados na Tab. 8.

Valores de Microdureza Para Aparelhos de LI e LED

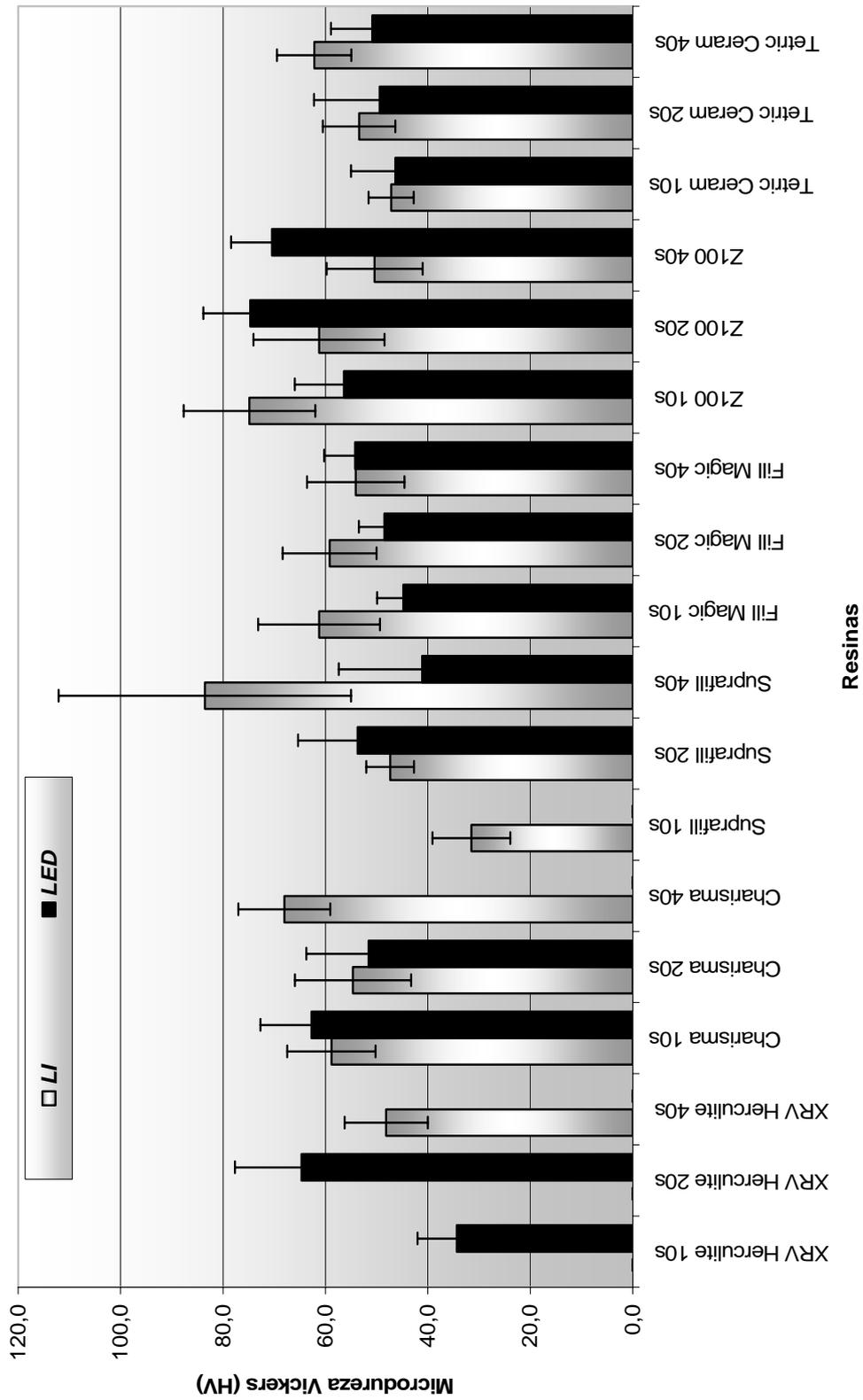


Figura 77 - Microdureza das Resinas Compostas Avaliadas

Tabela 7. Valores médios de microdureza (HV)

APARELHO	TEMPOS	RESINAS						Média para cada tempo	Média Aparelho
		<i>XRV Herculite</i>	<i>Charisma</i>	<i>Suprafill</i>	<i>Fill Magic</i>	<i>Z100</i>	<i>Tetric Ceram</i>		
LI	10s	N	58,84	31,53	61,25	74,84	47,17	54,73	57,25
	20s	N	54,63	47,38	59,18	61,25	53,44	55,17	
	40s	48,15	68,04	83,56	54,09	50,40	62,20	61,07	
	Média parcial das resinas	48,15	60,50	54,15	58,17	62,16	54,27		
LED	10s	34,37	62,73	N	44,79	56,42	46,33	48,93	53,59
	20s	64,70	51,57	53,73	48,49	74,70	49,43	57,10	
	40s	N	N	41,10	54,26	70,41	50,90	54,17	
	Média parcial das resinas	49,53	57,15	47,42	49,18	67,17	48,89		
	Média total das resinas	49,07	59,16	51,46	53,68	64,67	51,58		

A resina que apresentou maior resultado de microdureza foi a Suprafill, polimerizada pelo aparelho de Lâmpada incandescente por 40s, porém, seu desvio padrão foi relativamente elevado, obtendo um valor médio em seus resultados de microdureza de 83,56 HV. E o resultado que menor obteve valor de microdureza foi para a resina Suprafill 40s, polimerizada por LED, com seu valor médio sendo 41,10 HV.

Independente das Resinas e Tempos, o aparelho de Luz Incandescente fornece, em média, valores de microdureza significativamente (média de 57,25 HV, valor-p = 0,05) superiores ao aparelho baseado em LED (média de 53,59 HV)

Entre as Resinas, também independente do Aparelho e Tempos, ocorre diferença significativa ( $p < 0,001$ ). Verifica-se que a Resina onde ocorre o maior valor é a Z100 (média de 64,67 HV), valor esse significativamente superior aos demais ( $P < 0,05$ ). Seguindo este vem a Resina Charisma (média de 59,16HV), significativamente superior as Resinas XRV Herculite, Suprafill, Fill Magic e Tetric Ceram (essas não apresentam diferenças estatisticamente significativas).

Quando, também analisadas por Aparelho, verifica-se que os resultados permanecem, isto é, as maiores médias ocorrem com a resina Z100 (media de 62,16 HV para LI e de 67,17HV para o LED), seguida da Charisma (media de 60,50 HV para LI e de 57,15HV para o LED).

Quanto aos tempos, independente dos aparelhos, os tempos de 20s e 40s não apresentam diferença estatística significativa, porém são significativamente superiores ao tempo de 10s ( $p < 0,05$ ). Quando analisado por aparelhos, verifica-se que somente o tempo de 10s no aparelho de LED, apresenta valor (média de 50,37HV) significativamente inferior aos demais (que possuem médias entre 56,4 e 58,4HV).

A combinação que apresentou maior média (83,56HV) foi no aparelho de Lâmpada Incandescente, resina Suprafill e tempo de 40s, porém destaque-se que esse conjunto possui apenas nove repetições com resultados “extremos” (4 valores de 90 a 126HV; 4 valores de 50 a 67HV), aliás, o único conjunto com valores dessa dimensão.

Se não considerarmos essa situação, verificamos que as situações com maiores médias ocorrem na Resina Z100 (tempo 10s no Aparelho LI - média de 74,84HV; e Tempos de 20s e 40s no Aparelho LED - médias de 74,70 e 70,41HV, respectivamente); seguem Resina Charisma e Tempo de 40s no aparelho LI (média de 68,04HV) e resina Charisma e Tempo 10s no Aparelho de LED (média de 62,73HV).

Ao se tentar realizar uma comparação dos resultados de microdureza com agressividade, para cada aparelho, cada tempo de polimerização e cada amostra, pôde-se observar que este feito não é possível, devido ao fato de os resultados estatísticos não apresentarem diferenças significantes. As análises estatísticas mostraram que, numericamente, todos os resultados de microdureza são iguais. Não houve diferença estatística entre os resultados analisados, não sendo, portanto, um método seguro para se analisar o desgaste da resina através dele.

A comparação entre os dados obtidos nos ensaios de agressividade nos ensaios de microdureza, respectivamente, mostra que as resinas com maior desgaste (maiores valores de agressividade) não apresentaram necessariamente menores valores de microdureza. Isto pode ser comprovado observando os gráficos das Fig. 73 e Fig. 77. Isto se dá ao fato de as resinas compostas serem materiais que apresentam grande heterogeneidade e os valores de microdureza podem ter grande variação dependendo da posição em que se efetua a medida. Logo, os valores de Microdureza mostram que os ensaios não aparentam ser tão sensíveis para a realização das análises de desgaste das resinas quanto se era esperado.

Segundo o método aplicado e dentro das condições experimentais do estudo julga-se lícito concluir que utilizar os resultados de microdureza para justificar o desgaste abrasivo de resinas poliméricas dentárias não é um método eficaz, pois, devido aos resultados desta pesquisa, observou-se que as medidas de microdureza não apresentaram diferenças estatísticas

em seus resultados, como nos resultados de agressividade, devido ao fato das resinas serem materiais bastante heterogêneos, que é de sua própria natureza.

Portanto, permanece a divergência entre conclusões a respeito da existência ou não de correlação entre microdureza e resistência ao desgaste abrasivo de resinas compostas, sendo que este trabalho vai a favor de alguns autores, mas contrapõe o que outros dizem. Mostra-se assim a necessidade de maiores estudos em torno do assunto, a fim de tentar criar um método de análise diferenciado dos utilizados até o presente momento, para se obter um definitivo parecer a respeito dessas propriedades dos materiais.

*CAPÍTULO 6*

***CONCLUSÕES***

---

## 6. CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados apresentados pela metodologia de análise de desgaste apresentada e pela técnica de Dureza Vickers, pode-se concluir que:

- ◆ Os dados apresentados para os resultados de desgaste abrasivo mostram que o banco de ensaios é bastante sensível quanto à detecção de valores e diferenciação das amostras estudadas;
- ◆ A variação da média dos resultados de desgaste diminuiu, devido às diversas alterações realizadas no banco, à custa de inúmeros testes preliminares feitos anteriores à realização dos ensaios definitivos;
- ◆ Foram encontradas diferenças significativas entre as médias de desgaste sofrido pelas resinas nas condições analisadas, através de análises estatísticas, pelo método ANOVA e teste de Tukey;
- ◆ Por serem materiais bastante heterogêneos, a análise dos resultados dos ensaios de microdureza mostraram pouca ou nenhuma diferença estatística, o que significa que prever o desgaste abrasivo, ou resistência ao mesmo, através da microdureza, não é uma tarefa possível, sendo que não há uma forte correlação nos resultados.

***SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS***

---

## ***SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS***

Como sugestões para estudos futuros, pode-se melhorar o estudo das resinas compostas fazendo, além dos ensaios de desgaste, análises quanto às suas estruturas moleculares e composição química de cada resina.

Fazer análise dinâmico-mecânica (DMA), ou análise termodinâmico-mecânica (DMTA) tem como um dos principais objetivos relacionar as propriedades macroscópicas, tais como as propriedades mecânicas, às relaxações moleculares associadas a mudanças conformacionais e a deformações microscópicas geradas a partir de rearranjos moleculares.

Analisar o grau de conversão das resinas compostas fotopolimerizadas por LED e Lâmpada incandescente, em diferentes tempos de polimerização.

## ***REFERÊNCIAS***

---

## REFERÊNCIAS

ABATE, P.F.; ZAHRA, V.N.; MACCHI, R.L. Effect of photopolymerization variables on composite hardness. **Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 86, n.6, p. 632-635, December 2001.

AMERICAN DENTAL ASSOCIATION. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. Posterior composite resins. **J. Amer. dent. Ass.**, v. 112, n. 5, p. 707-9, May 1986.

AMERICAN DENTAL ASSOCIATION. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. Obstacles to the development of a standard for posterior composite resins. **J. Amer. dent. Ass.**, v. 118, n. 5, p. 649-51, May. 1989.

BARKMEIER, W. W.; WILWERDING, T. M.; LATTA, M. A.; BLAKE, S. M.. *In vitro* Wear Assessment of High Density Composite Resins. **Journal of Dental Research**, 77<sup>th</sup> General Session of the IADR, v. 78, p. 78, March 1999.

BAYNE, S. C.; TAYLOR, D. F.; HEYMANN, H. O. Protection Hypotesis for Composite Wear. **Dent Master**. v. 8. p. 305 - 309, 1992.

BIANCHI, E. C.; DIAS, A. C. P.; BIANCHI, A. R. R.; FREITAS, C. A.. Avaliação do desgaste abrasivo de resinas compostas. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA MECÂNICA NORTE/NORDESTE, n.4, 1996, Recife. **Anais**: Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, 1996a. v.1, p.169-74.

BIANCHI, A. R. R; FREITAS, C. A.; BIANCHI, E. C.; DIAS, A. C. P.; Uma contribuição à avaliação do desgaste abrasivo de resinas compostas. In: FÓRUM NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM SAÚDE, n.3, 1996, Campos de Jordão. **Anais**. São Carlos, SCHIABEL, H. et al., 1996b. p. 79-80.

BIANCHI, A. R. R; FREITAS, C. A.; BIANCHI, E. C.; DIAS, A. C. P.; Uma contribuição à avaliação do desgaste abrasivo de resinas compostas. In: FÓRUM NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM SAÚDE, n.3, 1996, Campos de Jordão. **Anais**. São Carlos.

BIANCHI, E. C., SILVA, E. J., MONICI, R. D., FREITAS, C. A., BIANCHI, A. R. R. Development of new standard procedures to the evaluation of composite abrasive wear. **Wear**, Vol. 253, p.533 - 540. Sep. 2002

BIANCHI, E. C.; SILVA E. J.; XAVIER, A. P.; FREITAS, C. A.; FREITAS, C. A.; BIANCHI A. R. R.; Proposta para o desenvolvimento de um padrão para a avaliação do desgaste abrasivo de resinas compostas. Publicado e apresentado no Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM2000), no período de 07 a 11 de agosto de 2000, Natal – RN.

BRAEM, M.; *et al.* Mechanical properties and filler fraction of dental composites. **Dental Materials**, v. 5, n. 5, p. 346-9, Sept. 1989.

CARVALHO JUNIOR, O. B. **Avaliação *in vitro* da Dureza Superficial, da Contração de Polimerização e da Rugosidade de 29 Resinas Compostas**, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia de Bauru, Brasil (2002).

COELHO, R. T. **Estudo experimental da propriedade de dressagem de rebolos na retificação de precisão usando o método do disco retificado**. 1991. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

CONDON, J. R.; FERRACANI, J. L. *In vitro* Wear of Composite with Varied Cure, Filler level, and Filler Treatment. **Journal of Dental Research** , v. 76, n. 7, p. 1405-1411, January 1997.

CONDON, J. R.; FERRACANI, J. L. *In vitro* Wear of Composite with Varied Cure, Filler level, and Filler Treatment. **Journal of Dental Research**, v. 76, n. 7, p. 1405-1411, January 1997.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda, 1977, p. 264.

DE GEE, A. J.; PALLAV, P.; DAVIDSON, C. L. Effect of Abrasion Medium on Wear of Stress-bearing Composites and Amalgam *in vitro*. **Journal of Dental Research**, v.65, n.5, p. 654 - 658. 1986.

DIAS, A. C. P. **Estudo e desenvolvimento de um método e um banco de ensaios para a avaliação do desempenho de resinas para restaurações odontológicas, assistido por computador**. 1995. 143 f. Monografia (Graduação) - Faculdade de Engenharia e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

DICKSON, G. Physical and Chemical Properties and Wear. **J Dent Res**. v. 58, n.5, p. 1535 – 1543, 1979.

DICKSON, G. Physical and Chemical Properties and Wear. **Journal of Dental Research**, v.58, n.5, p. 1535 – 1543, 1979.

FERRACANE, J. L. *et al* Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resins. **Dental Materials**, v.2, n.2, p.80-4, Apr. 1986.

FRAUNHOFER, J. A. V. - **Brit. Dent. J.**, v.130, n.16, p.243 (1971).

HALVORSON, R.H.; ERICKSON, R.L.; DAVIDSON, C.L. Energy dependent polymerization of resin-based composite, **Dental Materials**, v.18, n.6, p. 463-469, Sep 2002.

HIRANO, S.; MAY, K. B.; WAGNER W. C.; HACKER, C. H. *In vitro* wear of resin denture teeth. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, v. 79, n. 2, p. 152-155, Feb. 1998.

JANDT KD, MILLS RW, BLACKWELL GB, ASHWORTH SH. Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs). **Dent Mater** v. 16, n. 1, p, 41-47, Jan. 2000.

KREJCI, I.; LUTZ, F.; ZEDLER, C. Effect of contact area size on enamel and composite wear. **Journal of Dental Research**, v. 71, n. 7, p. 1413-16, July 1992.

KURACHI, C.; TUBOY, A.M.; MAGALHAES, D.V.; BAGNATO, V.S. Hardness evaluation of a dental composite polymerized with experimental LED-based devices, **Dental Materials**, v. 17, n. 4, p. 309-315, July 2001.

LEE, H.L.; ORLOWSKI, J.A.; KIDD, P.D.; GLACE, R.W.; ENABE. E. Evaluation of Wear Resistance of Dental Restorative Materials. **American Chemical Society International Symposium on Advances in Polymer Friction and Wear**, 1974.

LEINFELDER, K. F.; BEAUDREAU, R. W.; MAZER, R. B. An *in vitro* Device for Predicting Clinical Wear. **Dental Research**, v. 20, n. 10, 1989.

LOHBAUER, U. *et al.* The effect of different light-curing units on fatigue behavior and degree of conversion of a resin composite. **Dental Materials**, v. 21, p. 608-615, 2005.

LUGASSY, M.; MOFFA, J. P. Laboratory model for the quantification of clinical occlusal wear. Abstract n. 63. **Journal of Dental Research**, v. 64, p. 181, Jan./June 1985. Special issue.

MAIR, L.H.; STOLARSKI, T.A.; VOWLES, R.W.; LLOYD, C.H.; Wear: mechanisms, manifestations and measurement. Report of a workshop. **J. Dent.**, v. 24, p. 141-148, 1996.

MATSUMURA, H.; LEINFELDER, K. F. Localized three-body wear of six types of composite resin veneering materials. **J. prosth. Dent.**, v. 70, n. 3, p. 207-13, Sept. 1993.

MATSUMURA, H.; LEINFELDER, K. F. Three-body wear of four types of light-activated composite resin veneering materials. **Quintessence Int.**, v. 25, n. 6, p. 425-30, June 1994.

MENEZES, M. A.; MUENCH, A.; Dureza knoop de resinas compostas em função do número relativo de radicais livres. **Rev Odontol Univ São Paulo**, v.12, n.3, p.281-285. 1998.

MILLS RW, JANDT KD, ASWORTH SH. Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. **Brit. Dent J.**, v. 186, n.8, p. 388-391, Apr. 1999

MILLS RW. Blue light emitting diodes-another – an alternativemethod of light curing? **Br Dent J** 1995;178:169.

NOMOTO, R. Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. **Dent. Mat.**, v. 16, n.1, p. 60-73, 1997.

PAGNIANO, R. P. & JOHNSTON, W. M. - **J. Prosth. Dent.**, v.70, n.3, p.214 (1993).

PALLAV, P.; DAVIDSON, C. L.; DE GEE, A. J.; Wear rates of composites, an amalgam, and enamel under stress-bearing conditions. **J. Prosth. Dent.**, v. 59, n. 4, p. 426-9, Apr. 1988.

PALLAV, P.; DE GEE, A. J.; WERNER, A. ; DAVIDSON, C. L.; *Influence of shearing action of food on contact stress and subsequent wear of stress-bearing composites.* **J. Dent. Res.**, v. 72, n.1, p. 56-61, Jan. 1993.

PEUTZFELDT, A.; ASMUSSEN, E.; The effect of postcuring on quantity of remaining double bonds, mechanical properties, and *in vitro* wear of two resin composites. **Journal of Dentistry** 28. Department of Dental Materials, School of Dentistry, Faculty of Health Sciences, University of Copenhagen. 2000.

PHILLIPS, R.W.; AVERY, D.R.; MEHRA, R.; SWARTZ, M.L. McCUNE, R.J.; One-year Observations on a Composite Resin for Class II Restorations; **J Prosth Dent**. Vol. 26. p. 68 - 77. 1971.

PINTADO, M. R.; Characterization of two small-particle composite resins. **Quintessence Int.**, v. 21, n. 10, p. 843-7, Oct. 1990.

RATLEDGE, D. K.; SMITH, B. G. N.; WILSON, R. F.; The effect of restorative materials on the wear of human enamel. **J. Prosth. Dent.**, v. 72, n. 2, p. 194-203, Aug. 1994.

REIS, A. F.; GIANNINI, M.; LOVADINO, J. R.; DIAS, C. T. R. Surface roughness of condensable resin after finishing and polishing. Abstract n. 1071. **J. dent. Res.**, v. 79, p. 277, 2000. Special issue.

RUDEL, D. E.; THOMPSON, J. Y.; STAMATIADIS, P. J.; WARD, J. C.; BAYNE, S. C. & SHELLARD, E. R. - **J. Dent. Res.**, v.78, Special issue, p.156 (1999).

SANTOS, L. A.; TURBINO, M. L.; YOUSSEF, M. N. *et al.*; Microdureza de resina composta: efeito de aparelhos e tempos de polimerização em diferentes profundidades. **Pesqui. Odontol. Bras.**, vol.14, no.1, p.65-70. 2000.

SANTOS, L. A.; TURBINO, M. L.; YOUSSEF, M. N. *et al.*; Microdureza de resina composta: efeito de aparelhos e tempos de polimerização em diferentes profundidades. **Pesqui. Odontol. Bras.**, vol.14, no.1, p.65-70. 2000.

SATOU, N.; KHAN, A. M.; SATOU, K.; SATOU, J.; SHINTANI, H.; WAKASA, K.; YAMAKI, M.; In-vitro and in-vivo Wear Profile of Composite Resins. **Journal of Oral Rehabilitation**. Vol. 19. p. 31 - 37. 1992.

SUZUKI, S.; LEINFELDER, K. F.; KAWAI, K. & TSUCHITANI, Y. - **Amer. J. Dent.**, v.8, n.4, p.173 (1995).

TSAI, P.C.L.; MEYERS, I.A.; WALSH, L.J. Depth of cure and surface microhardness of composite resin cured with blue LED curing lights, **Dental Materials**, v. 20, Issue 4, pp. 364–369, Maio 2004.

VIEIRA, G.F.; FREIRE, I.A.; AGRA, C.M.; Análise da irradiação de diversos aparelhos fotopolimerizadores . **Rev Odontol Univ São Paulo**, vol.12, no.4, p.395-399. 1998.

WASSELL, R. W.; McCABE, J. F.; WALLS A. W. G.. A Two-body Frictional Wear Test. **J Dent Res**. v. 73, n. 9, p. 1546 – 1553, 1994.

WENDT, S. L.; LEINFELDER, K. F.; Clinical Evaluation of Posterior Resin Composite: 3-year Results. **American Journal of Dentistry**. Vol. 7. Number 4. p. 207 - 211. 1994.

WILLEMS, G.; LAMBRECHTS, P.; BRAEM, M. & VANHERLE, G. - **Quintessence Int.**, v.24, n.9, p.641 (1993).

YAP, A. U. J., THEO, S. H., HASTINGS, G. W., LO, C. S. Comparative Wear Ranking of Dental Restorative Materials Utilizing Different Wear Simulation Modes. **J. oral Rehab.**, v. 24, p. 574-580, 1997.



## GLOSSÁRIO

**Amálgama:** Uma liga de mercúrio/prata que é usada em restaurações dentárias.

**Antagonista:** Diz-se dos dentes do arco dentário superior em relação aos do arco mandibular e vice-versa. (dicionário)

**Oclusal:** Superfície de mastigação ou trituração dos dentes bicúspides (pré-molares – dentes situados entre os caninos e os molares) e dentes molares.

**Protraído:** Puxado ou lançado para diante; projetado. (dicionário Aurélio). *Protraído* é participípio de *protrair*, resultante do verbo latino *protrahere*, que significa espaçar, prolongar, adiar, demorar. *Forma protraída* de uma enfermidade é o mesmo que forma prolongada. (<http://usuarios.cultura.com.br/jmrezende/protruso.htm>)



## ANEXO 1

### Desenvolvimento da equação para análise do desgaste abrasivo

A equação modificada por Coelho (1991), utilizada no método deste trabalho, foi descrita da seguinte forma:

$$Z_w' = K (F_n' - F_{no}') \quad [\text{mm}^3/\text{mm.s}] \quad (1)$$

onde: **K** = agressividade, **Z<sub>w</sub>'** = taxa de material removido, **F<sub>n</sub>'** = força normal específica e **F<sub>no</sub>'** = força crítica de corte.

Adequando este modelo às condições específicas deste trabalho, adota-se a resina composta como um material ETG (de fácil usinagem), a força **F<sub>no</sub>'** pode ser considerada nula, pois é muito pequena. Portanto, para as condições de ensaio tem-se, desta forma, a força crítica de corte (**F<sub>no</sub>'**), e a parcela de atrito e riscamento podem ser desconsideradas, pois são muito pequenas.

$$Z_w' = \frac{V_p A}{b} = \frac{d\delta A}{dtb} \quad [\text{mm}^3/\text{mm.s}] \quad (2)$$

e

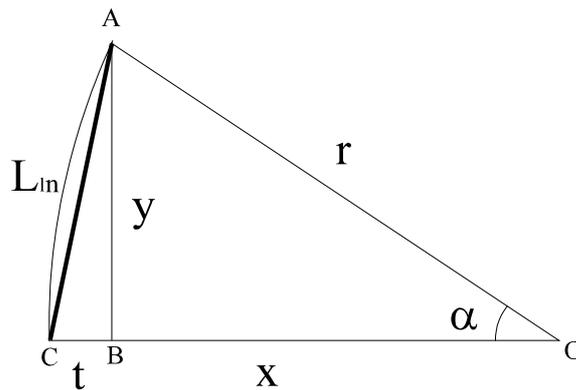
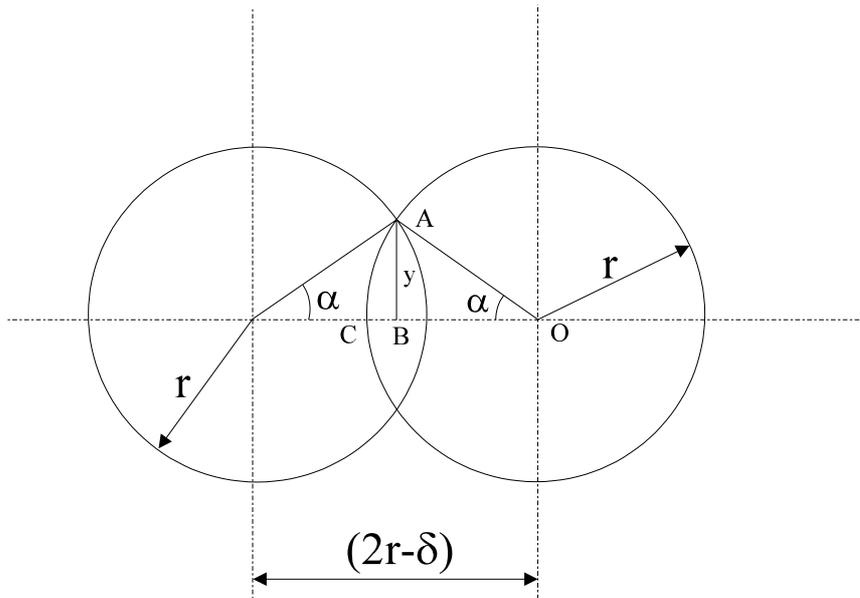
$$F_n' = \frac{F_n}{b} \quad [\text{N/mm}] \quad (3)$$

Substituindo (2) e (3) em (1), obtém-se:

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{KF_n}{A} \quad [\text{mm/s}] \quad (4)$$

onde: **A** = a área de contato entre o disco de fixo e o disco dinâmico, **dδ/dt** = velocidade de penetração do disco fixo contra o disco móvel e **b** a largura do disco de prova.

Como os discos têm o mesmo diâmetro externo, não foi possível utilizar a aproximação proposta por Coelho (1991). Portanto, foi desenvolvida um nova aproximação conforme é apresentado na Figura 2.



3.1 Figura 2. Esquema do cálculo aproximado da área

Sabendo-se que:  $x = \frac{2r - \delta}{2}$ , aplica-se o teorema de Pitágoras e tem-se que:

$$y = \frac{\sqrt{4r\delta - \delta^2}}{2} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

Aplicando o teorema de Pitágoras, novamente, no triângulo retângulo onde se encontra a reta destacada, tendo que  $t = \frac{\delta}{2}$ :

$$L_{\text{in}} = \frac{\sqrt{4r\delta}}{2} = \sqrt{r\delta} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

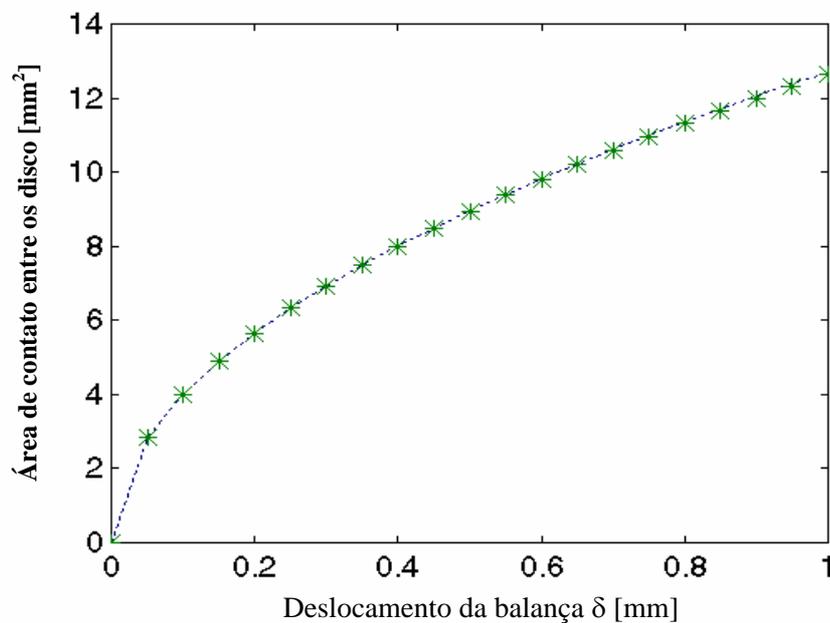
Portanto, pode-se considerar o comprimento de contato, como sendo o dobro do comprimento da reta em destaque, ou seja:

$$l_c = 2L_{in} = \sqrt{4r\delta} \quad [\text{mm}] \quad (7)$$

A área de contato é a multiplicação do comprimento de contato pela largura do menor disco. Tem-se então:

$$A = b\sqrt{4r\delta} \quad [\text{mm}^2] \quad (8)$$

Os erros que podem ocorrer em consequência desta aproximação são menores que 0,2%. A comparação entre as duas áreas podem ser verificadas na Figura 3. A área real é designada pela linha pontilhada e a aproximada, pelos asteriscos.



3.2 Figura 3. Análise comparativa da área real e da área aproximada

Substituindo a equação (8) em (4):

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{KF_n \delta^{-1/2}}{b\sqrt{4r}} \quad [\text{mm/s}] \quad (9)$$

adotando:

$$\frac{KF_n}{b\sqrt{4r}} = k_1 \quad (10)$$

Tem-se com a substituição de (10) em (9) a equação diferencial que regerá o movimento:

$$\frac{d\delta}{dt} = k_1 \delta^{-1/2} \quad [\text{mm/s}] \quad (11)$$

A solução da equação diferencial (11) é dada pela resolução do problema de Cauchy, descrita por Peters (1984) onde primeiramente define-se:

$$F_{(\delta)} = \int_{\delta_{(t_0)}}^{\delta} \frac{d\delta}{f_{(\delta)}} \quad (12)$$

tal que:

$$F'(\delta, t) = \frac{1}{f(\delta, t)} \quad (13)$$

estas funções têm como condição de existência que:

$$f(\delta, t) = 0 \quad \text{e} \quad \delta(t_0) = \delta_0 \quad (14)$$

portanto, a equação (11) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{d\delta}{dt} = k_1 \delta_{(t)}^{-1/2} \Rightarrow \delta_{(t)}' = f(\delta, t) \Rightarrow \frac{\delta'_{(t)}}{f(\delta, t)} = 1 \quad (15)$$

a partir da equação (15), tem-se a derivada da função  $F(\delta, t)$  definida em (13) na forma da regra da cadeia:

$$F'(\delta_{(t)}) \cdot \delta'_{(t)} = 1 \quad \text{ou seja} \quad (F \circ \delta)'(t) = 1 \quad (16)$$

integrando-se ambos os lados:

$$\int_{t_0}^t (F \circ \delta)'(t) dt = \int_{t_0}^t 1 dt = F(\delta(t)) - F(\delta(t_0)) = (t - t_0) \quad (17)$$

sendo  $F(\delta(t_0)) = 0$ , pelo teorema fundamental do cálculo, tem-se  $F(\delta(t)) = t - t_0$ , ou seja:

$$\delta(t) = F^{-1}(t - t_0) \quad [\text{mm}] \quad (18)$$

Portanto a solução da equação (11) é a inversa da integral definida pela função  $F$ . Com o auxílio da variável  $x$  e retomando a função (13), tem-se:

$$F(\delta) = \int_{\delta(t_0)}^{\delta(t)} \frac{dx}{k_1 x^{-1/2}} = \int_{\delta(t_0)}^{\delta(t)} \frac{x^{1/2} dx}{k_1} = \frac{2x^{3/2}}{3k_1} \Big|_{\delta(t_0)}^{\delta(t)} = \frac{2(\delta(t)^{3/2} - \delta_0^{3/2})}{3k_1} = t - t_0 \quad (19)$$

Adotando-se  $t_0 = 0$ , obtém-se  $\left(\frac{2\delta(t)}{3k_1}\right)^{3/2} = \delta_0$  onde  $\delta_0 = \frac{2\delta_0^{3/2}}{3k_1}$ , ou seja:

$$\delta(t) = \left(\frac{3k_1}{2} t\right)^{2/3} + \delta_0 \quad [\text{mm}] \quad (20)$$

Portanto, esta é a equação que rege a curva de penetração para que a curva de desempenho seja uma reta com uma inclinação  $K$  (agressividade). Nos trabalhos anteriores ao de Coelho (1991), a agressividade era calculada pela derivação discreta da curva  $\delta(t)$ . Com esta formulação, faz-se uma regressão segundo a equação (20). Isto é melhor que os métodos anteriores, pois evita os erros de aproximações por cálculos discretos. Se a regressão dos pontos resultarem uma boa aproximação da curva, então a curva de desempenho será uma reta. A regressão é feita do seguinte modo:

$$T = t^{2/3} \quad [\text{s}] \quad (21)$$

Isto transforma a equação (20) em:

$$\delta(t) = \left(\frac{3k_1}{2}\right)^{2/3} T + \delta_0 \quad [\text{mm}] \quad (22)$$

sendo assim a equação pode ser comparada a:

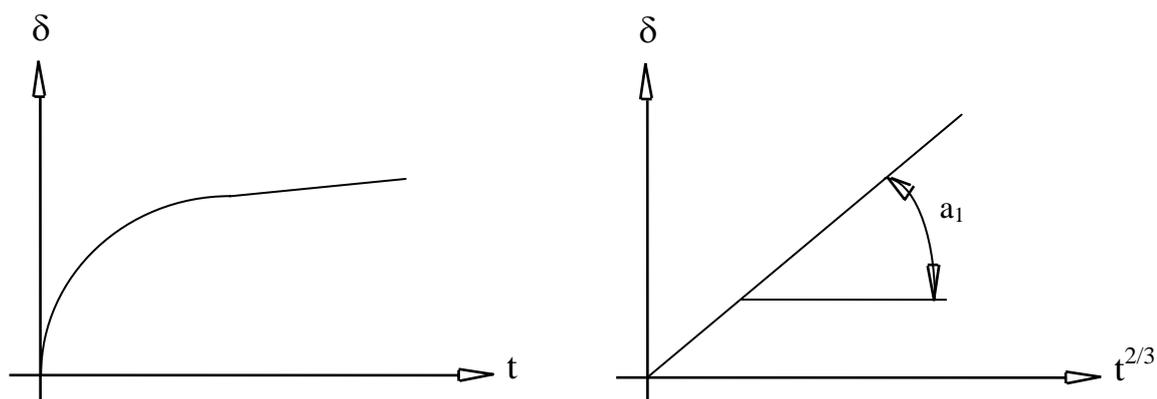
$$Y_1 = a_1 T_1 + a_0 \quad (23)$$

onde  $a_0 = \delta_0$  e  $a_1 = \left(\frac{3k_1}{2}\right)^{2/3}$

Com os dados da regressão e a equação (24), pode-se concluir que  $K$  é:

$$K = \frac{2b\sqrt{4r}}{3F_n} (a_1)^{2/3} \quad [\text{mm}^3/\text{N.s}] \quad (24)$$

Desta forma, pode-se calcular a agressividade utilizando todos os pontos adquiridos no experimento, tornando o resultado mais significativo. Na Figura 4 é apresentado um resultado típico obtido em ensaio.

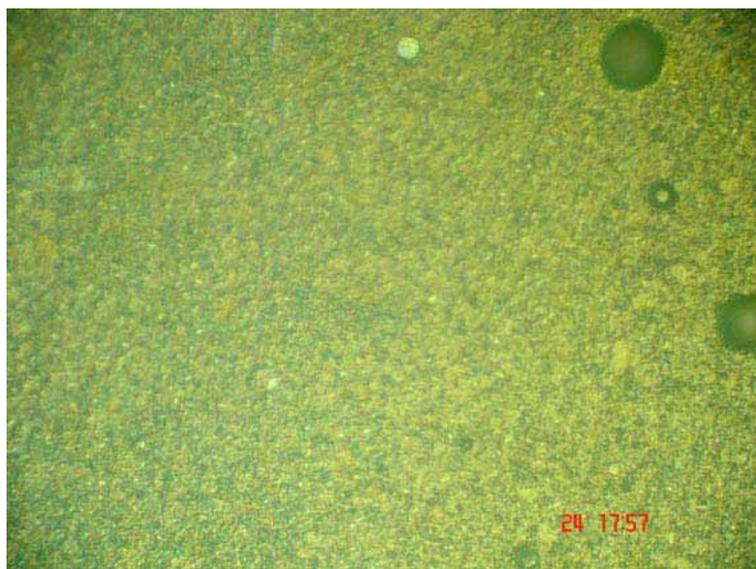


3.3 Figura 4. Apresentação esquemática um resultado típico obtido em ensaios

Na equação 24,  $\mathbf{K}$  [ $\text{mm}^3/\text{N.s}$ ] representa a agressividade de uma resina contra outra (ou outro material),  $\mathbf{F}_n$  [N] a força normal necessária para efetuar-se a remoção de material num determinado tempo,  $\mathbf{b}$  [mm] a largura dos discos fixos,  $\mathbf{r}$  [mm] o raio dos discos e  $\mathbf{a}_1$  o coeficiente angular da reta de regressão linear.

## ANEXO 2

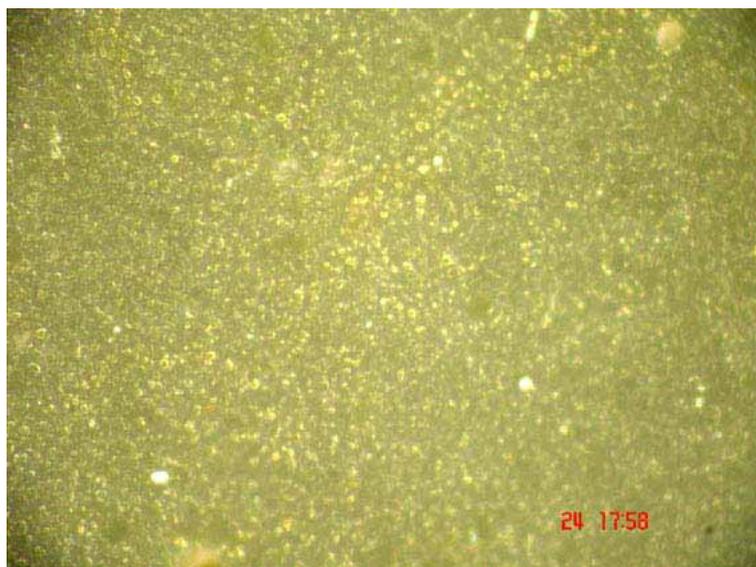
Abaixo seguem as fotomicrografias realizadas no Departamento de Materiais da USP de São Carlos com a utilização de um microscópio óptico, com aumento linear de 50 vezes.



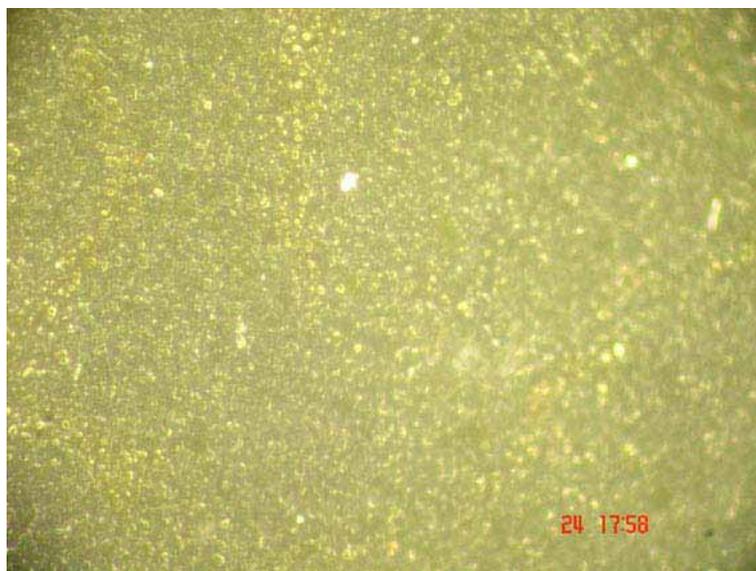
**Figura 1- fotomicrografia 1- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 10s – aparelho de Lâmpada Incandescente**



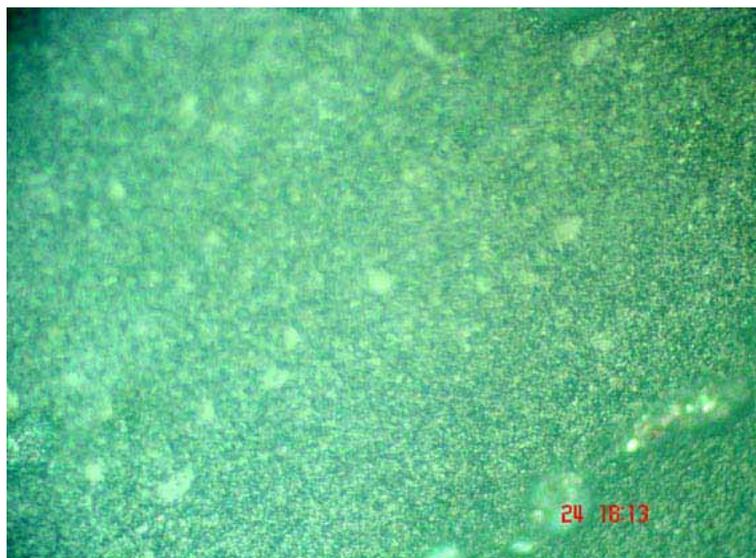
**Figura 2- fotomicrografia 2 - resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 10s – aparelho de Lâmpada Incandescente**



**Figura 3- fotomicrografia 3- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 10s – aparelho de Lâmpada Incandescente**



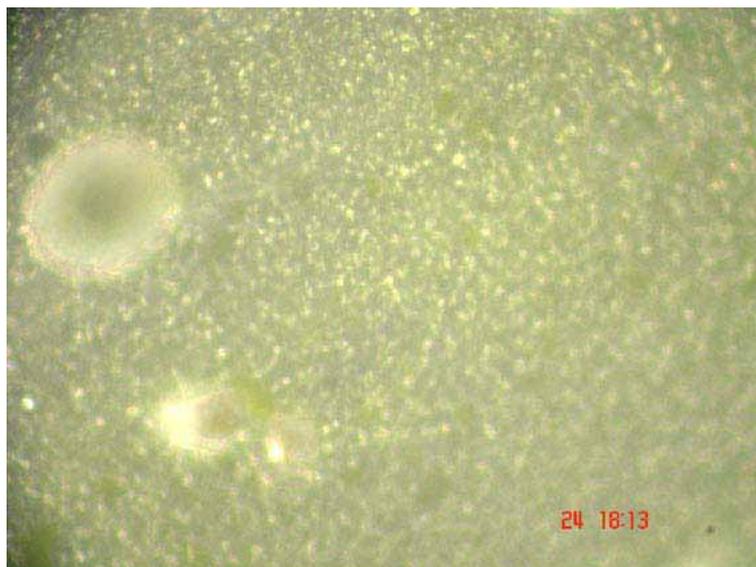
**Figura 4- fotomicrografia 4- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 10s – aparelho de Lâmpada Incandescente**



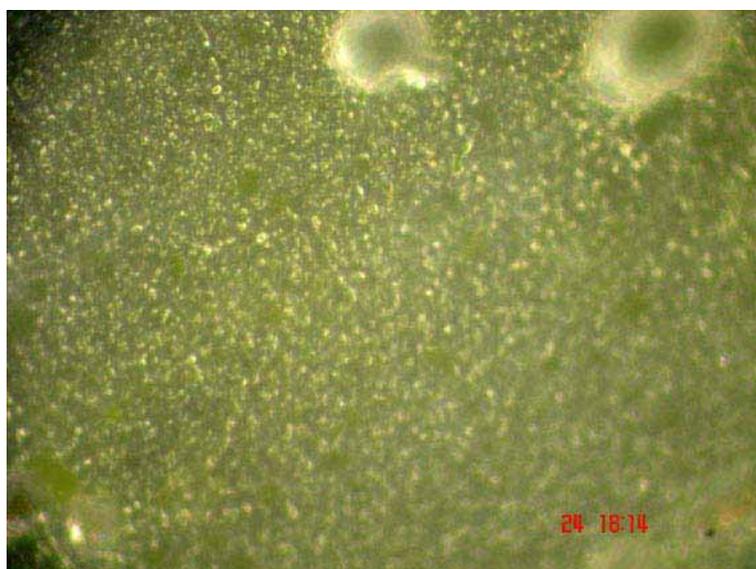
**Figura 5- fotomicrografia 1- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 20s – aparelho de Lâmpada Incandescente**



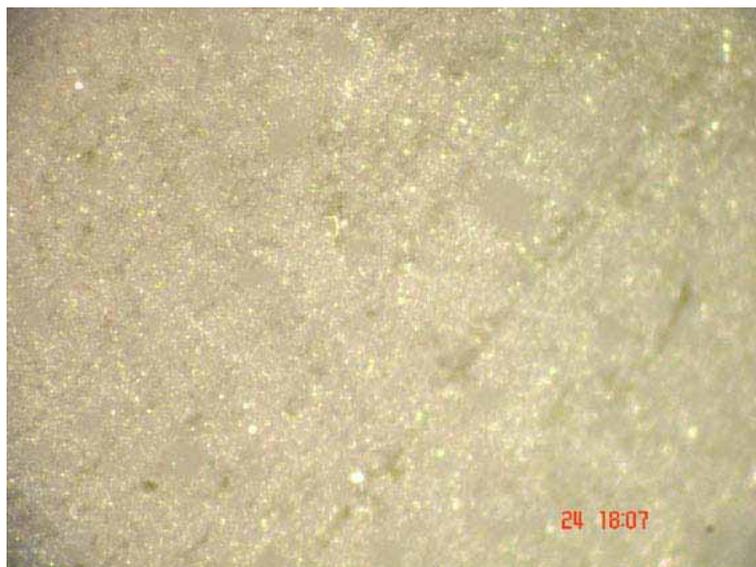
**Figura 6- fotomicrografia 2- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 20s – aparelho de Lâmpada Incandescente**



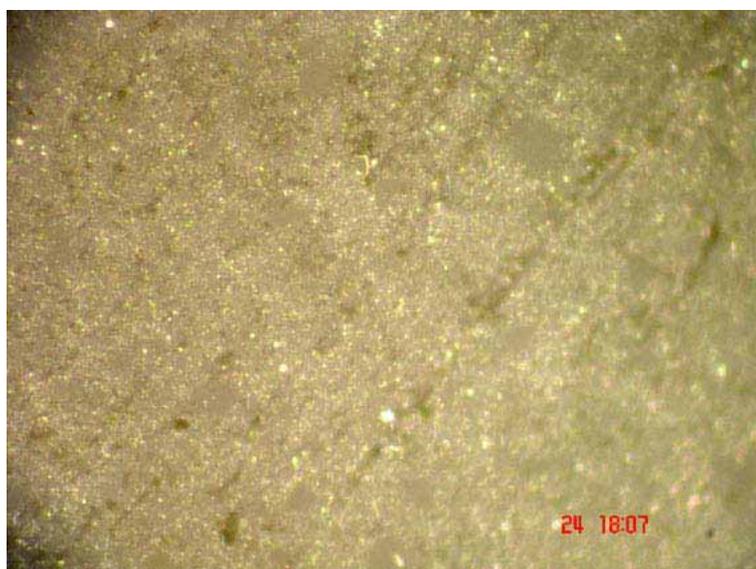
**Figura 7- fotomicrografia 3- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 20s – aparelho de Lâmpada Incandescente**



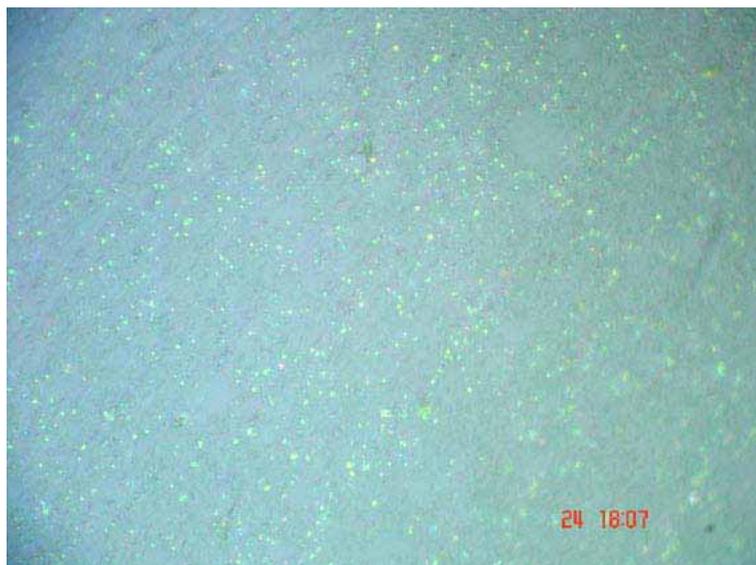
**Figura 8- fotomicrografia 4- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 20s – aparelho de Lâmpada Incandescente**



**Figura 9- fotomicrografia 1- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 40s – aparelho de Lâmpada Incandescente**



**Figura 10- fotomicrografia 2 - resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 40s – aparelho de Lâmpada Incandescente**



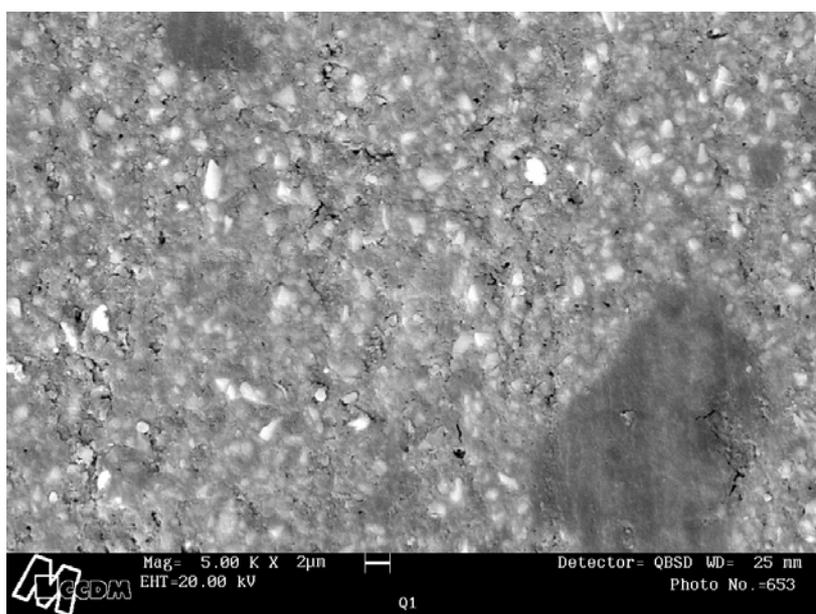
**Figura 11- fotomicrografia 3- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 40s – aparelho de Lâmpada Incandescente**



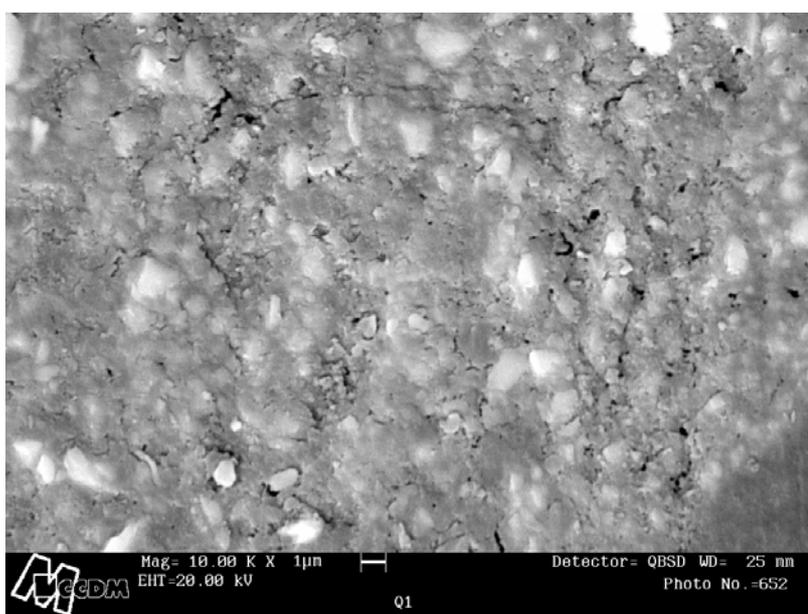
**Figura 12- fotomicrografia 4- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 40s – aparelho de Lâmpada Incandescente**

### ANEXO 3

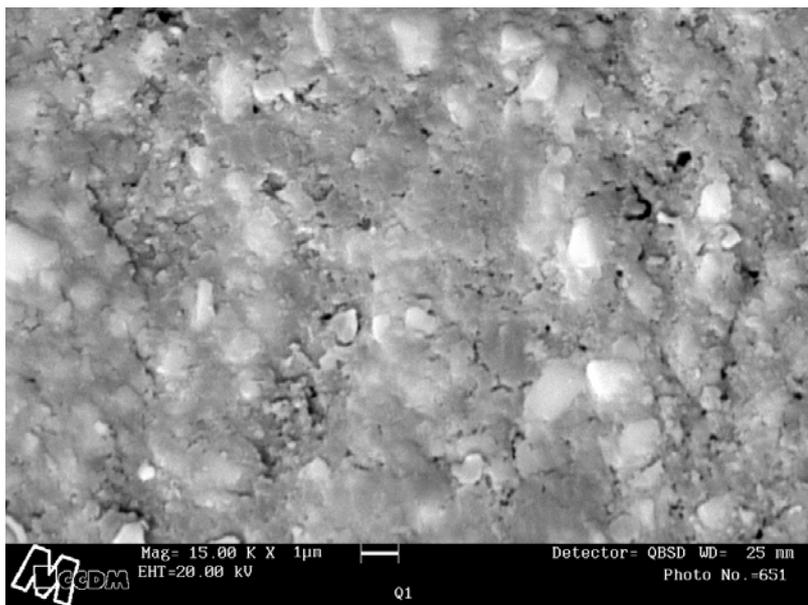
Abaixo seguem as fotomicrografias realizadas no Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais (CCDM), dentro da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), com a utilização de microscópio eletrônico de varredura.



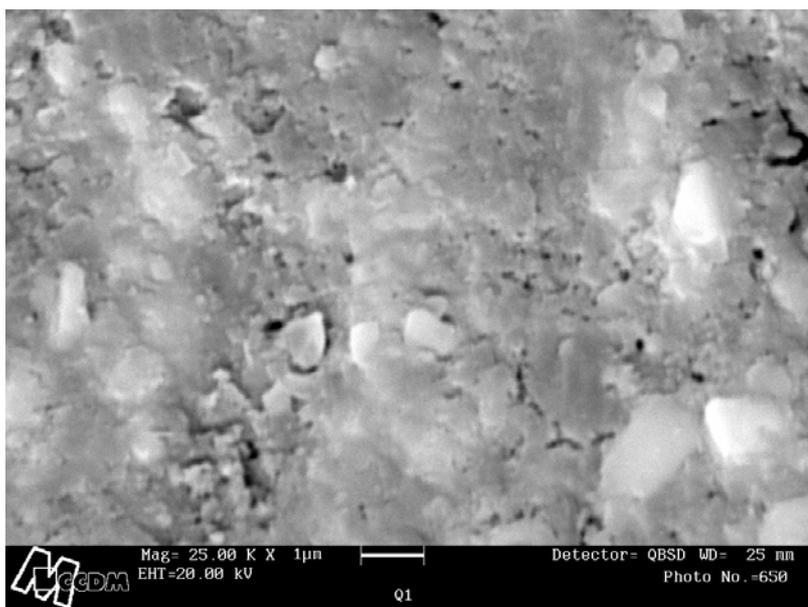
**Figura 1- fotomicrografia 1- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 10s – aparelho de Lâmpada Incandescente – aumento de 5000 vezes**



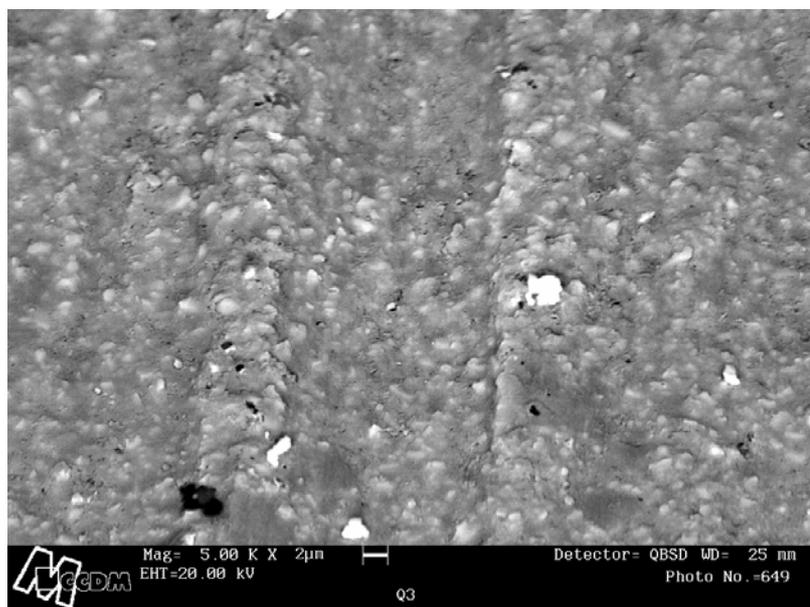
**Figura 2- fotomicrografia 2 - resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 10s – aparelho de Lâmpada Incandescente - aumento de 10000 vezes**



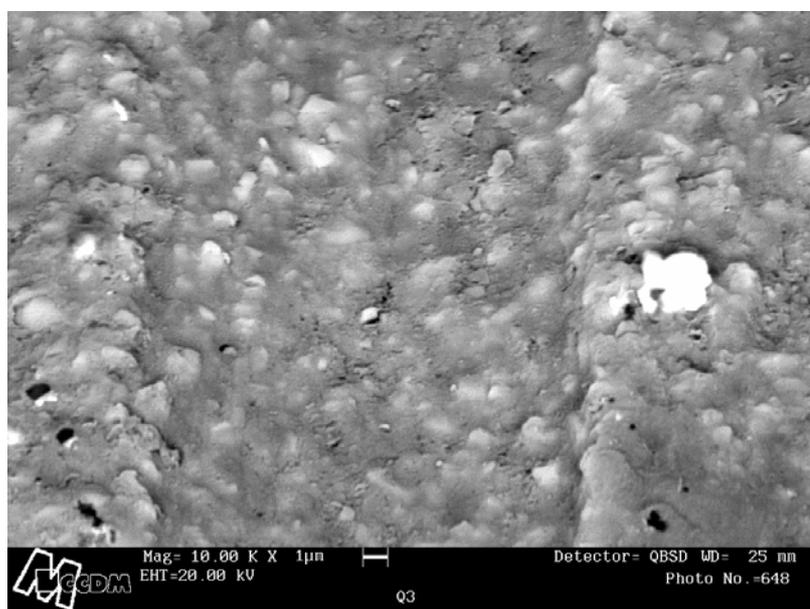
**Figura 3- fotomicrografia 3- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 10s – aparelho de Lâmpada Incandescente - aumento de 15000 vezes**



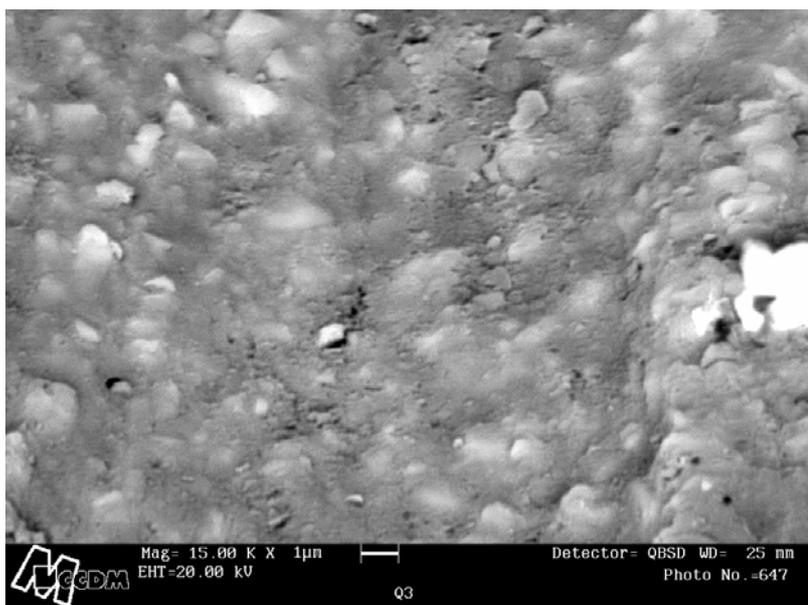
**Figura 4- fotomicrografia 4- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 10s – aparelho de Lâmpada Incandescente - aumento de 25000 vezes**



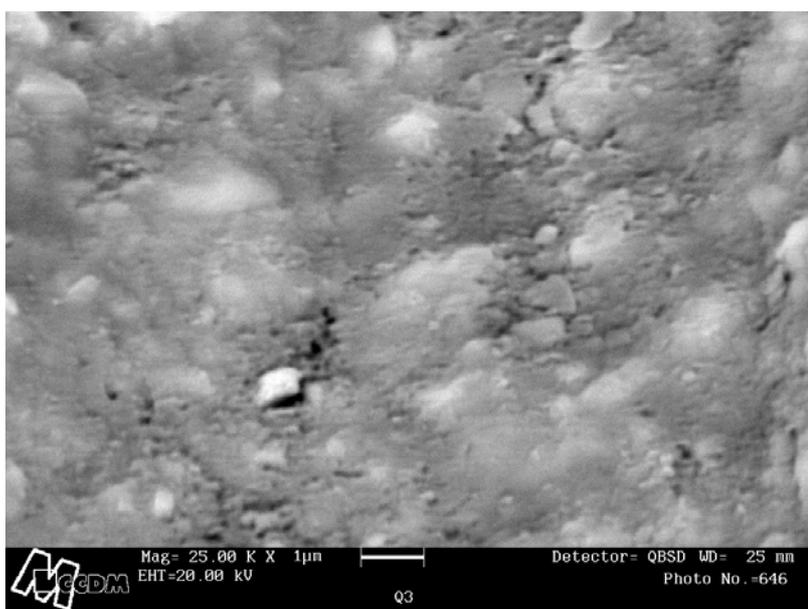
**Figura 5- fotomicrografia 5- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 40s – aparelho de Lâmpada Incandescente – aumento de 5000 vezes.**



**Figura 6- fotomicrografia 6- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 40s – aparelho de Lâmpada Incandescente – aumento de 10000 vezes**



**Figura 7- fotomicrografia 7- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 40s – aparelho de Lâmpada Incandescente – aumento de 15000 vezes**



**Figura 8- fotomicrografia 8- resina SUPRAFIL. Tempo de polimerização 40s – aparelho de Lâmpada Incandescente – aumento de 25000 vezes**