



## AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE PORCELANAS NO DESGASTE ABRASIVO DAS RESINAS COMPOSTAS

**Eduardo Carlos Bianchi**

**Thiago Valle França**

**Rodrigo Daun Monici**

**Paulo Roberto de Aguiar**

Universidade Estadual Paulista - UNESP, Dep. de Engenharia Mecânica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, S/N<sup>o</sup>, Vargem Limpa, Bauru-SP. E-mail: bianchi@feb.unesp.br, daun@feb.unesp.br

**César Antunes de Freitas**

**Ana Rita Rodrigues Bianchi**

Departamento de Dentística, Endodontia e Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Bauru - FOB - USP - CEP: 17043-101, Bauru - SP (BRASIL); e-mail: cfreitas@fob.usp.br.

**Resumo.** *Este trabalho apresenta uma proposta para a melhoria de um banco de ensaios, no qual um disco dinâmico revestido com porcelana desgasta um disco estático revestido com a resina que se pretende testar. Estes materiais são amplamente utilizados em consultórios e clínicas dentárias para restaurações funcionais e estéticas dos dentes. Para avaliar o desgaste abrasivo do material restaurador, foi elaborado um método confiável e de execução rápida, como padrão na avaliação do desgaste abrasivo de resinas compostas. Analisou-se a influência de dois tipos de porcelana (Vita e Duceram) as quais foram utilizadas para revestir o disco dinâmico, o qual testou a capacidade de resistência ao desgaste das resinas quando submetidas ao processo de atrito gerado pelo disco dinâmico, representado por sua agressividade superficial. Tal procedimento teve o objetivo de se detectar qual o tipo mais recomendado para se efetuar os testes comparativos. Verificou-se então que a porcelana Duceram é a mais recomendada para a realização dos ensaios com as resinas compostas, pois apresentou uma maior capacidade de desgaste que a porcelana Vita.*

**Palavras chave:** *desgaste abrasivo, agressividade, resina composta, materiais frágeis, porcelana.*

### 1. INTRODUÇÃO

Um comportamento padrão atingido pelos materiais restauradores odontológicos pode ser idealmente considerado como semelhante ao desgaste ocorrido no esmalte dentário, fato não encontrado na prática. Entre as várias razões que conduzem à substituição de restaurações confeccionadas com resinas compostas, encontra-se o desgaste abrasivo. A propaganda veiculada pelos fabricantes geralmente indica enfaticamente que seus produtos possuem baixos níveis deste tipo de desgaste. Sem considerar a não adequação para uso em dentes posteriores, portanto relacionando-se apenas com sua aplicação nos dentes anteriores, é perceptível o fato que todas as demais qualidades são praticamente semelhantes para um determinado grupo de resinas compostas. Assim o produto ideal é aquele que mais lentamente se desgasta e, quando possível, tão lentamente quanto o esmalte dentário.

Entre 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. Do complexo conjunto de fatores individuais nessa questão envolvidos (alguns com caráter estritamente mecânico, químico, biológico, ou combinações destes), pode-se citar: as dimensões, a qualidade e a homogeneidade das partículas de carga de uma determinada resina, os respectivos tipo de matriz orgânica, proporção carga/matriz e qualidade de união entre estas, as dimensões da própria restauração, sua qualidade de união (e/ou adesão) com os tecidos dentários, juntamente com suas características de superfície e de resistência em geral. Este trabalho tem como objetivo estudar experimentalmente a influência do material com que o disco dinâmico (porcelana) é revestido, através de sua agressividade com relação às resinas, a fim de se detectar o tipo mais recomendado para ser utilizado no método desenvolvido nessa pesquisa. Pretendeu-se obter maior confiabilidade na precisão da medição do desgaste abrasivo de resinas compostas, para que o método utilizado seja difundido no meio industrial e acadêmico, como um padrão de avaliação do desgaste abrasivo de resinas compostas.

### **3. CONCEITOS BÁSICOS CERÂMICOS**

Os cerâmicos ou materiais cerâmicos são empregados para designar determinados materiais utilizados na engenharia, os quais incluem óxidos e não-óxidos cerâmicos como:  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $BeO$ ,  $SiC$ ,  $SiSiC$ ,  $B_4C$ ,  $Si_3N_4$ ,  $BN$  entre outros. A principal barreira para uma aplicação em larga escala desses compostos em componentes onde há acentuado desgaste é a grande disparidade de seus valores de resistência mecânica, se comparados aos metais, tornando-se necessário atribuir valores estatísticos aos mesmos, seguindo a distribuição “Weibull”. Há também a inevitável ocorrência de defeitos, como trincas ou poros, os quais dependem dos métodos de produção utilizados, fazendo com que a resistência mecânica diminua com o aumento de volume do componente cerâmico. Além disso, qualidade de superfície, meio ambiente, razão e modo de carregamento, são fatores adicionais que também influenciam sua resistência.

Os valores de resistência para as cerâmicas são muito maiores para esforços de compressão quando comparado à tração, contudo esses valores decrescem com o aumento do tempo de carregamento, devido à propagação das trincas pelos defeitos existentes. As propriedades mecânicas das cerâmicas, bem como o comportamento ao desgaste, podem ser melhorados com o aumento da resistência à propagação de trincas. Como regra geral, pontos ou linhas de contato devem ser evitados nesses materiais, preferindo-se os planos de contato. Sendo assim, considerável dureza e alta resistência às reações químicas, são propriedades atrativas dos materiais cerâmicos em aplicações de usinabilidade, contudo a principal desvantagem desses materiais está na sua fragilidade à temperatura ambiente.

#### **3.1. Usinagem de Materiais Cerâmicos**

Quanto ao processo de usinagem relacionado aos materiais cerâmicos, diversos estudos têm sido realizados na busca de se obter a melhor relação máquina/ferramenta/peça (material) para que o processo e os resultados finais tenham excelentes qualidades com preços competitivos.

No desgaste de materiais frágeis cada grão promove inicialmente uma pequena deformação elástica no substrato, zona próxima ao escoamento plástico, onde a profundidade de corte do grão vai aumentando até tornar-se suficientemente grande para provocar o aparecimento de trincas na estrutura do material que está sofrendo o desgaste. Os mecanismos de fratura envolvidos foram estudados por Malkin et al (1989).

### **4. MÉTODO**

O método utilizado para a avaliação do desgaste de resinas compostas é baseado no estudo do comportamento da agressividade (capacidade de um material desgastar o outro) da superfície de

restaurações dentárias confeccionadas com resinas compostas. Para a determinação da agressividade, foi reproduzido e adaptado o método do disco retificado, desenvolvido por Coelho (1991), conforme é apresentado esquematicamente na Fig. (1).

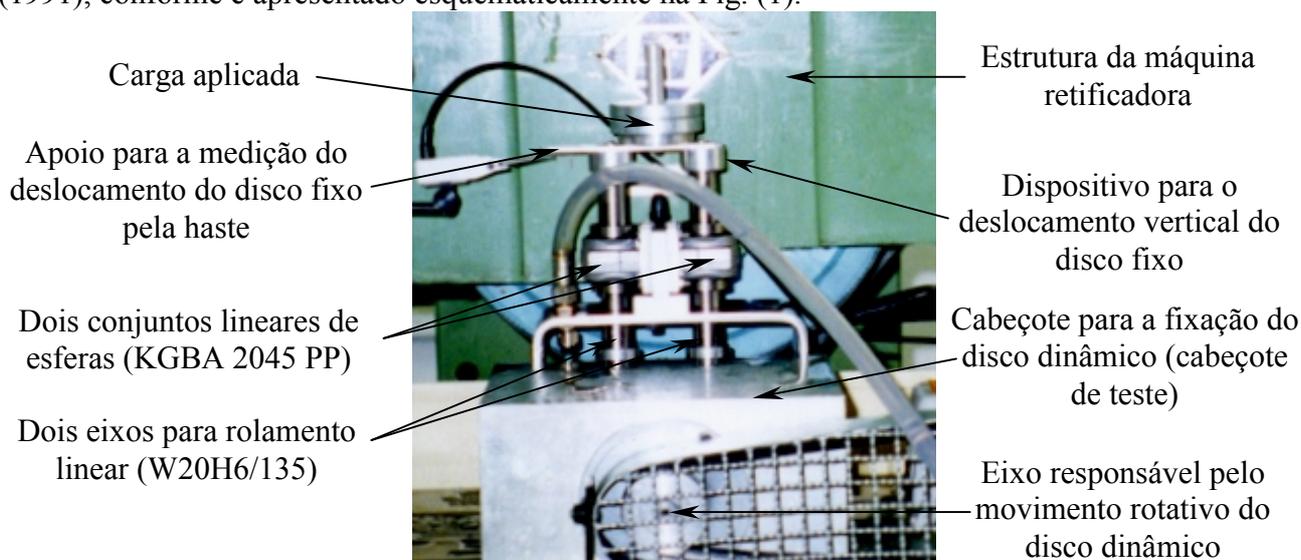


Figura 1. Fotografia da vista frontal da máquina retificadora, com o banco de ensaios posicionado

O método utilizado consiste em manter um disco fixo confeccionado com aço dúctil (ABNT 1020), cujo perímetro é revestido com resina composta, a qual se deseja analisar, contra um disco dinâmico. Tal revestimento é feito, colocando-se pequenos incrementos de resina e polimerizando-os em seguida. Após a regularização da superfície da resina (que é feita com um rebolo convencional de óxido de alumínio), o disco fixo é pressionado contra a superfície do disco dinâmico (confeccionado com porcelana e retificado com um rebolo diamantado), sob uma força normal constante, através de uma carga preestabelecida.

O valor do deslocamento do disco fixo contra o disco dinâmico ( $\delta$ ), pôde ser registrado ponto a ponto, em função do tempo através de “software” de aquisição de dados que será detalhado posteriormente. Tais dados permitiram a construção de uma curva de deslocamento em função do tempo, a qual possibilitou a geração de outra curva, cujo eixo vertical compreendia os valores de deslocamento do dispositivo desenvolvido e no eixo horizontal, o tempo gasto para a aquisição dos dados elevados a  $2/3$ . Isso foi feito para a obtenção de uma reta, que através da tangente, representava o coeficiente angular da reta de regressão linear.

Como os discos possuíam o mesmo diâmetro externo, não foi possível utilizar a aproximação proposta por Coelho (1991), e por isso foi feita uma adaptação usando outra aproximação. 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, sendo tal procedimento melhor que os métodos anteriores, pois evita os erros de aproximações por cálculos discretos. Se a regressão dos pontos resultarem boa aproximação da curva, então a curva de desempenho será uma reta.

Logo, com os dados da regressão, a equação que rege o comportamento da agressividade “k” é:

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

onde “k” [ $\text{mm}^3/\text{N.s}$ ] representa a agressividade de uma resina contra outra (ou outro material), “ $F_n$ ” [N] a força normal necessária para efetuar-se a remoção de material num determinado tempo, “b” [mm] a largura dos discos fixos, “r” [mm] o raio do disco e “ $a_1$ ” o coeficiente angular da reta de regressão linear. Desta forma, pôde-se calcular a agressividade utilizando todos os pontos adquiridos no experimento, tornando o resultado mais significativo. O ensaio teve o seu início com

a liberação das guias verticais. A partir da liberação do deslocamento destas guias, o disco dinâmico começou a desgastar o disco fixo e à medida que o desgaste de ambos os discos ocorria, havia o deslocamento vertical do disco fixo, que correspondia ao desgaste em tempo real. Estes ensaios foram de curta duração (30 segundos no máximo) e os resultados representaram a capacidade do desgaste entre os materiais. Os testes foram divididos em quatro grupos, com um conjunto de disco dinâmico versus disco estático diferente para cada, porém cada disco com o mesmo diâmetro externo. Esse procedimento é mostrado na Tab. (1).

Tabela 1. Organização dos ensaios realizados

Grupos	Diâmetro (mm)	Disco dinâmico	Disco estático
1 <sup>o</sup>	23	Duceram	Z-100
2 <sup>o</sup>	22,98	Duceram	Charisma
3 <sup>o</sup>	23	Vita	Z-100
4 <sup>o</sup>	22,98	Vita	Charisma

Foram utilizados dois discos fixos em cada grupo, sendo que cinco ensaios foram feitos em cada disco, somando assim dez ensaios. Cada conjunto de dez ensaios realizados, em seu relativo grupo e utilizando-se cinco regiões ao longo dos discos dinâmicos (faixa de ensaios), cada região foi utilizada duas vezes. Portanto, considerando a região de troca dos discos estáticos em cada grupo, esta se dava na 3<sup>a</sup> faixa de ensaios, ao final do quinto ensaio, exatamente na região central do disco dinâmico. Essa disposição é apresentada na Tab. (2).

Tabela 2. Disposição das regiões de ensaios de cada grupo

Número do ensaio	Região na cerâmica	Disco fixo	Região do disco fixo
1	1 <sup>a</sup> faixa	primeiro	1 <sup>a</sup>
2	1 <sup>a</sup> faixa	primeiro	2 <sup>a</sup>
3	2 <sup>a</sup> faixa	primeiro	3 <sup>a</sup>
4	2 <sup>a</sup> faixa	primeiro	4 <sup>a</sup>
5	3 <sup>a</sup> faixa	primeiro	5 <sup>a</sup>
6	3 <sup>a</sup> faixa	segundo	1 <sup>a</sup>
7	4 <sup>a</sup> faixa	segundo	2 <sup>a</sup>
8	4 <sup>a</sup> faixa	segundo	3 <sup>a</sup>
9	5 <sup>a</sup> faixa	segundo	4 <sup>a</sup>
10	5 <sup>a</sup> faixa	segundo	5 <sup>a</sup>

Com as posições do disco fixo e dinâmico já definidas, os seguintes procedimentos foram feitos em cada grupo: O disco dinâmico revestido com a porcelana Duceram foi colocado no eixo do cabeçote do motor e retificado de modo a ficar com 23 mm de diâmetro, dimensão igual ao do disco estático revestido com a resina Z-100. O rebolo foi afastado de modo que permitisse a montagem do dispositivo desenvolvido para a avaliação das resinas e porcelanas, onde foi preso o disco fixo e correto posicionamento do aparelho usado para medir o deslocamento da parte móvel de acordo com o desgaste. Esse aparelho foi ligado a uma placa de aquisição de dados, contida no computador onde foram salvos os dados do tempo e deslocamento em tempo real. O início dos ensaios ocorria encostando-se os dois discos e acionando o motor do cabeçote em seguida, girando o disco fixo ao final de cada ensaio. Ao final do ensaio de número cinco, o disco estático foi mudado por outro revestido com a mesma resina e mesmo diâmetro, para a realização dos ensaios restantes.

O dispositivo projetado, no qual eram presos o disco fixo e também o aparelho usado para medir o deslocamento da parte móvel foram retirados para que fosse feita a renovação da superfície da cerâmica Duceram, deixando a mesma com 22,98 mm de diâmetro. O disco estático foi substituído

pelo da Charisma, com diâmetro de 22,98 mm. Com o dispositivo e o aparelho de medida de deslocamento recolocados nos devidos lugares, deu-se início a este grupo com os mesmos procedimentos restantes da grupo anterior. Através de procedimento semelhante ao do primeiro grupo, porém com materiais diferentes, o disco dinâmico também foi retificado apresentado dimensão final igual a 23 mm de diâmetro, o mesmo do disco fixo revestido com a resina Z-100. Todo o procedimento restante foi cuidadosamente semelhante ao adotado no primeiro grupo.

No segundo grupo de ensaios (disco de porcelana do tipo Vita), também houve a renovação da superfície, deixando a mesma com 22,98 mm de diâmetro. Ocorreu a troca do disco estático de resina Z-100 para o de Charisma, com os mesmos 22,98 mm. Na Figura (2) pode-se observar parte do dispositivo desenvolvido, onde se encontra o disco estático acoplado ao cabeçote do motor com os discos em contato (posição inicial de cada ensaio).

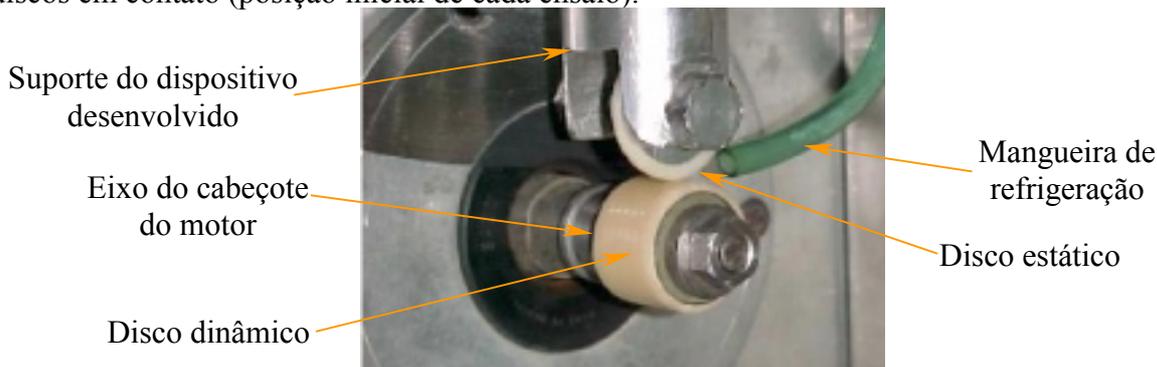


Figura 2. Vista dos dois discos em contato (posição inicial do ensaio)

Após o final dos ensaios e com todos os dados gravados no computador, fez-se a manipulação dos resultados a fim de se obter um meio de comparação adequada entre o comportamento das duas cerâmicas. A confecção do “software” utilizado para a aquisição dos dados, foi realizada através da linguagem “Labview 5.0.1” de programação, o qual foi responsável pelo monitoramento do deslocamento do disco estático em função do tempo, para cada ensaio realizado. Os dados relativos as variáveis aqui citadas foram salvos em seus respectivos arquivos através de sub-rotina própria de programação. Os valores de deslocamento foram gerados pelo aparelho “Tesa TT10”, o qual gerou uma tensão elétrica proporcional ao valor de deslocamento ocorrido no sensor do apalpador eletrônico. Os valores de tempo foram salvos através de sub-rotina responsável pelo monitoramento dessa variável durante os ensaios. A figura (3) ilustra de forma geral a aquisição dos dados citados, desde o sensor apalpador eletrônico até o “software” de aquisição propriamente dito.

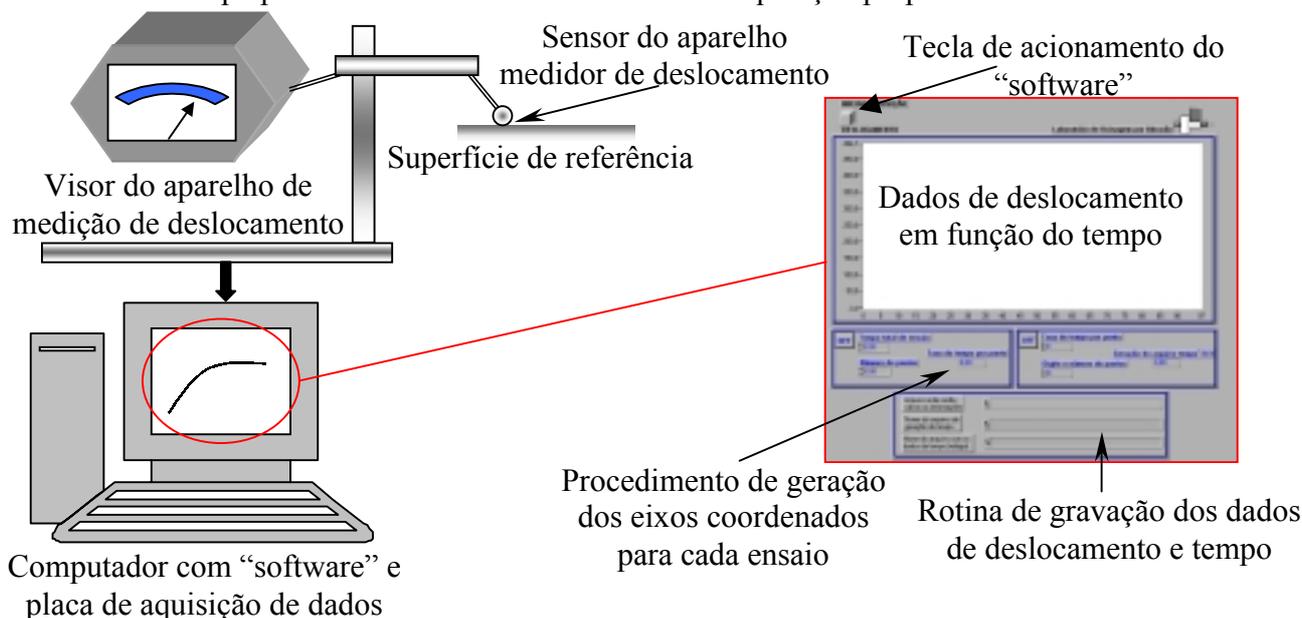


Figura 3. Esquema geral de aquisição de dados utilizados nos ensaios laboratoriais

## 5. RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS E DISCUSSÃO

O intervalo do deslocamento referente ao comportamento próprio de cada ensaio aceito para a montagem dos gráficos foi determinado quando os valores de deslocamento começaram a se estabilizar, ou seja, a faixa usada para análise comparativa dos resultados foi de zero até a região de deslocamento com comportamento repetido. Os valores referentes ao tempo foram manipulados de forma a terem o seu início junto com o deslocamento. Para as situações em que o desgaste ocorreu de forma rápida, foi determinado que o programa gravaria valores de deslocamento da ordem de 450  $\mu\text{m}$ .

Com os resultados foram geradas tabelas, uma para cada grupo, e os dados referentes ao tempo e deslocamento colocados lado a lado. Foi realizada então uma padronização do número de pontos para cada grupo, assim o ensaio que gerou o menor número de pontos serviu de padrão para todos os outros, sendo então desprezados os valores fora da faixa. Deste modo, foram obtidos gráficos de deslocamento em função do tempo para cada grupo de ensaios. Em seguida outra curva foi construída, cujo eixo vertical foi constituído dos valores de deslocamento, gerado pelo desgaste do disco de resina e no eixo horizontal o tempo gasto para a aquisição dos dados elevado a  $2/3$ . Isto foi feito para a obtenção de uma reta, que por meio de sua tangente, representa o coeficiente angular da reta de regressão linear.

Deste modo, foram obtidos gráficos de deslocamento em função do tempo<sup>2/3</sup> para cada grupo de ensaios. Os gráficos são mostrados a seguir, com os valores de agressividade  $k$  [ $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{s}$ ] para cada ensaio, os quais estão contidos nas referidas figuras.

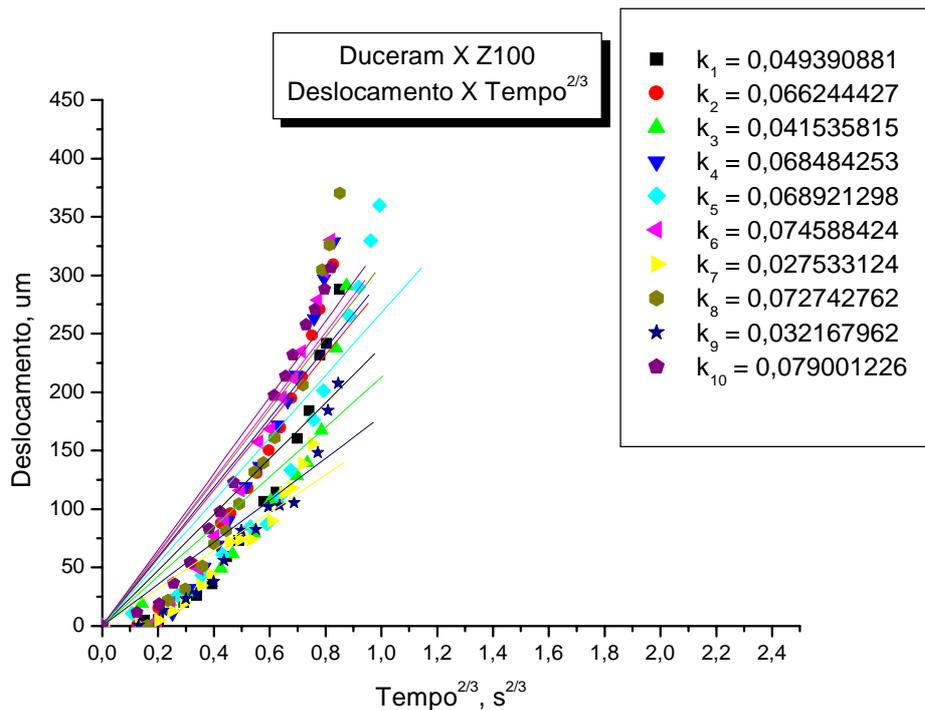


Figura 4. Resultados de deslocamento em função do tempo<sup>2/3</sup> do disco de porcelana Duceram X e resina Z-100

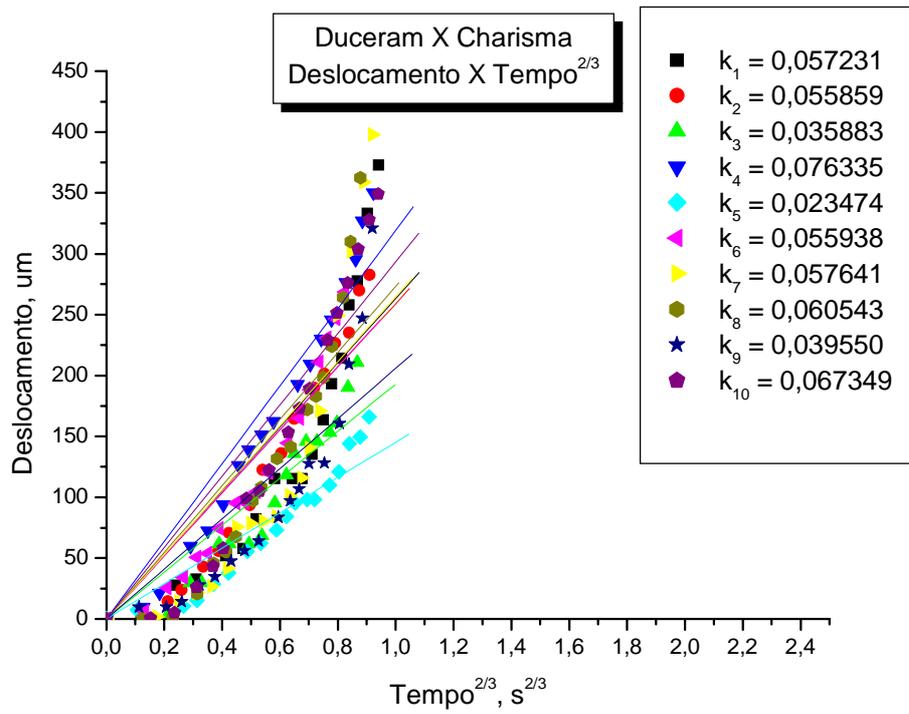


Figura 5. Resultados de deslocamento em função do tempo<sup>2/3</sup> do disco de porcelana Duceram X e resina Charisma

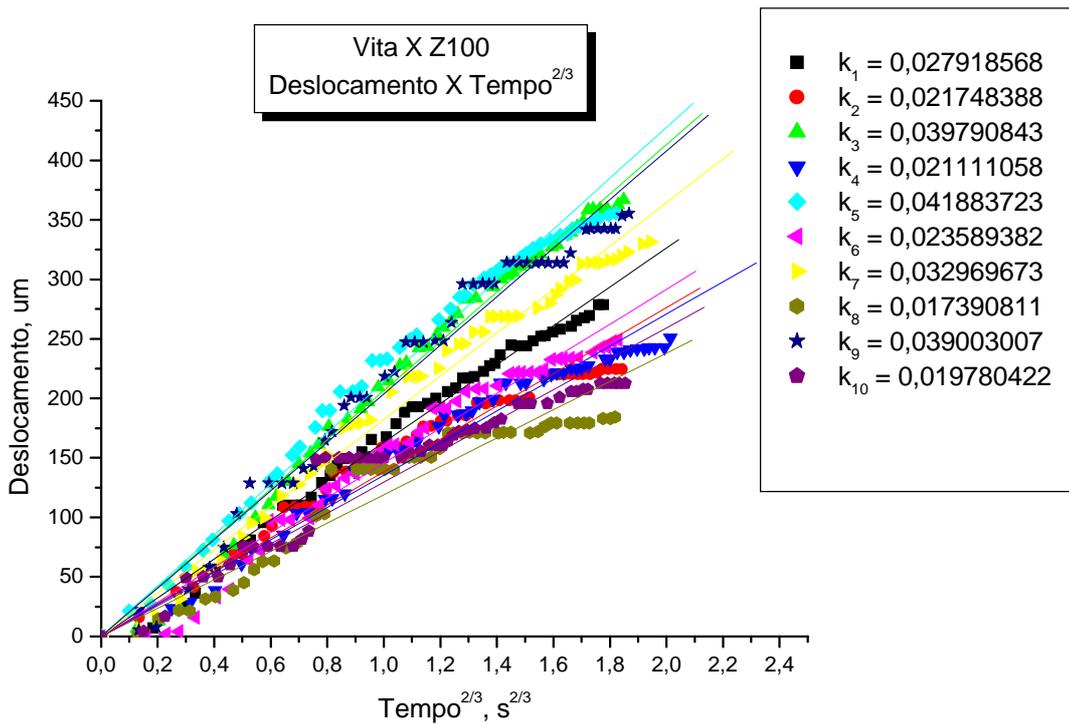


Figura 6. Resultados de deslocamento em função do tempo<sup>2/3</sup> do disco de porcelana Vita X e resina Z-100

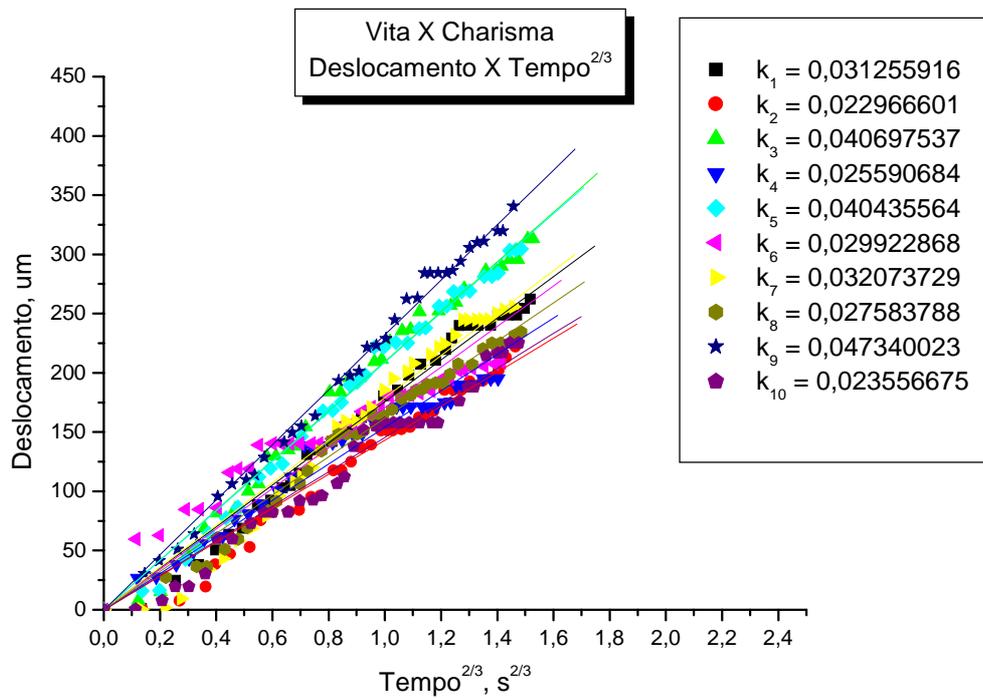


Figura 7. Resultados de deslocamento em função do tempo<sup>2/3</sup> do disco de porcelana Vita X e resina Charisma

A utilização de uma mesma região do disco revestido com cerâmica para cada dois ensaios gerou valores de agressividades muito diferentes. Nos ensaios ímpares as cerâmicas possuíam um poder de desgaste maior que nos pares, pois nos ensaios pares a região da porcelana havia sido usada pelo procedimento anterior e portanto tinha perdido parte do seu poder abrasivo. Considerando tal comportamento, foi necessário uma análise separada dos valores de agressividade média e desvio-padrão para cada caso, como visto nas Fig. (8) e (9).

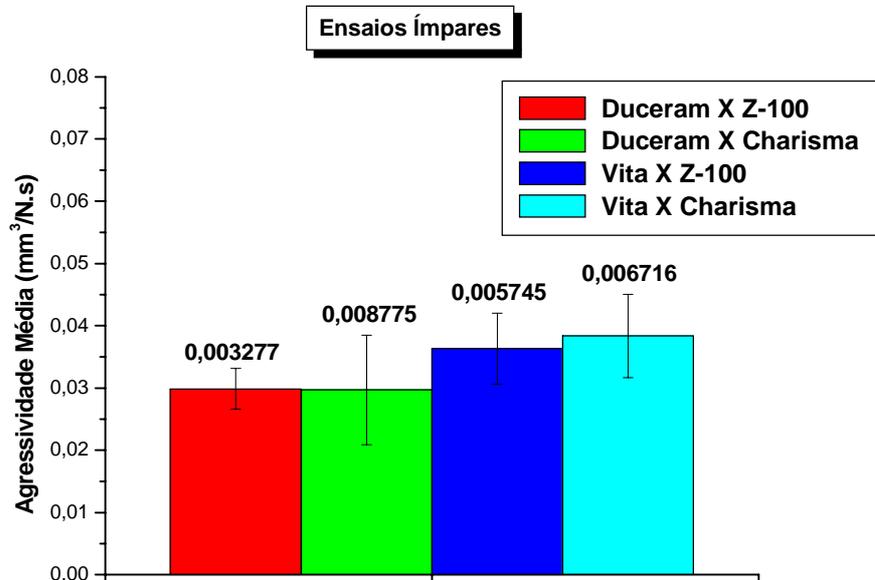


Figura 8. Agressividade média e desvio-padrão para ensaios ímpares

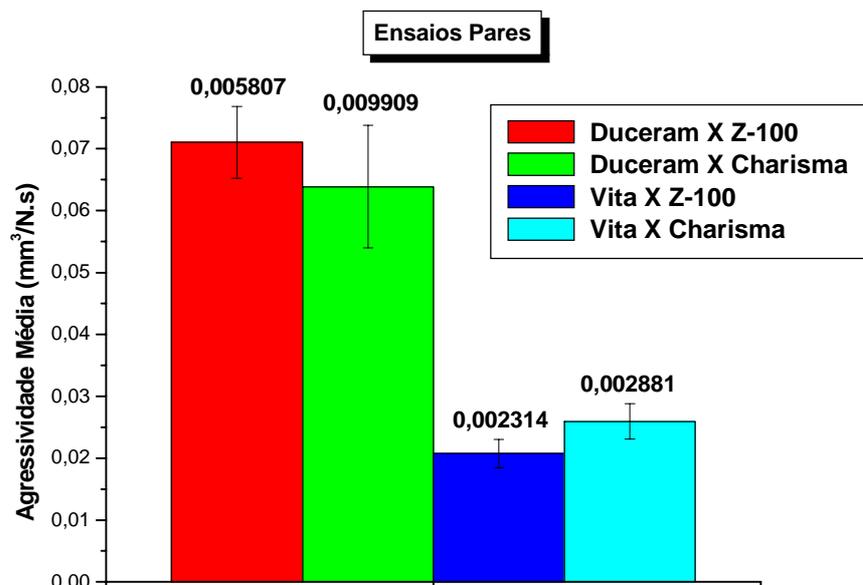


Figura 9. Agressividade média e desvio-padrão para ensaios pares

Para o cálculo da agressividade média e desvio padrão dos grupos pares e ímpares, foram utilizados somente valores de agressividade com coeficientes de correlação acima de 95%.

A princípio esperou-se que os dois tipos de resina possuíssem agressividades diferentes, contudo, nos resultados já apresentados e em especial pelas Fig. (8) e (9), fica claro que as suas agressividades são semelhantes e que também possuem um desgaste muito rápido. Em análise feita aos ensaios ímpares, onde a superfície da cerâmica está renovada, foi verificado que as resinas Z-100 e Charisma ensaiadas com a porcelana Vita (3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> grupos), tiveram um desgaste maior que a utilização da cerâmica Duceram (1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> grupos). Contudo, se compararmos os gráficos de deslocamento pelo tempo ou até mesmo os das Fig. (4), (5), (6) e (7) veremos que o tempo médio de ensaio para o 1<sup>o</sup> e 2<sup>o</sup> grupos, onde foi usada a cerâmica Duceram, é bem menor que os 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> grupos com a porcelana Vita. Fica claro também que só ocorreu o comportamento previsto nas resinas testadas com a cerâmica Vita, o que nos leva a afirmar que a manipulação feita para chegar na Eq. (1), só deve ser usada quando o deslocamento possui uma tendência de estabilização com o tempo. Portanto nos ensaios ímpares, Fig. (8), onde o poder abrasivo das cerâmicas são máximos, fica muito difícil a comparação dos resultados obtidos para as duas porcelanas. Neste caso, tomaremos como fator de comparação, o gráfico da Fig. (9).

De acordo com a Fig. (9), para ensaios pares, a região da cerâmica foi usada pelo grupo de ensaio anterior e está mais “emplastada” pela resina. Torna-se nítido observar que as agressividades para os grupos em que foram utilizados a porcelana Duceram, são maiores que para os grupos em que foram utilizadas a porcelana Vita. Isso se explica porque essas regiões não estão com tanto poder abrasivo quanto nos ensaios ímpares, melhorando a comparação pela aproximação do comportamento requerido pela Eq. (1). O fato das resinas compostas não terem apresentado o comportamento esperado para a realização dos ensaios foi decisivo para a mudança de avaliação dos resultados obtidos, portanto, conseguiu-se dar seqüência a uma linha de raciocínio obtendo-se informações importantes que serviram de discussão e foram cruciais para a conclusão do trabalho.

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados e discussões permitem concluir que é preferível a utilização da porcelana Duceram para a avaliação comparativa proposta. Para resinas compostas mais moles, a cerâmica Vita causa um desgaste menos acentuado, portanto, possui o comportamento mais adequado para a utilização do método de avaliação dos resultados proposto, pois como foi visto, a porcelana Duceram desgastou muito rapidamente cerâmicas desse tipo. Contudo, a importância de se conhecer

o comportamento do desgaste de resinas mais duras é muito maior, pois sua utilização se dá em regiões da cavidade bucal onde ocorre muito atrito, e conseqüentemente o desgaste é mais acentuado. Fica claro que a cerâmica mais indicada para a determinação da agressividade das resinas compostas, duras em sua maioria, é a do tipo Duceram.

## 7. AGRADECIMENTOS

Manifestamos nossos agradecimentos à **FAPESP** (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro e pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica concedidos.

## 8. REFERÊNCIAS

- Malkin, S., Ritter, J.E., 1989, "Grinding mechanisms and strength degradation for ceramics", *Journal of Engineering for Industry*, v.111, pp. 167-174.
- Coelho, R.T., 1991, "Estudo experimental da propriedade de dressagem de rebolos na retificação de precisão usando o método do disco retificado", São Carlos, 122 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

### EXPERIMENTAL EVALUATION OF CERAMICS' BEHAVIOR IN THE ABRASIVE WEAR OF RESINS

**Eduardo Carlos Bianchi**

**Thiago Valle França**

**Rodrigo Daun Monici**

**Paulo Roberto de Aguiar**

Universidade Estadual Paulista - UNESP, Dep. de Engenharia Mecânica, Av. Luiz Edmundo Carrijo Coube, S/Nº, Vargem Limpa, Bauru-SP. E-mail: bianchi@feb.unesp.br, daun@feb.unesp.br

**César Antunes de Freitas**

**Ana Rita Rodrigues Bianchi**

Departamento de Dentística, Endodontia e Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Bauru - FOB - USP - CEP: 17043-101, Bauru - SP (BRASIL); e-mail: cfreitas@fob.usp.br.

**Abstract.** This work was undertaken to improve a test bed already developed, where a dynamic disk covered with ceramic, wear a static disk covered with the resin that want to be tested. These materials are widely used in dental clinics to restoration of function and aesthetics of the teeth. To evaluate the abrasive wear in resins by ceramics, a fast and trustworthy method have been proposing to be followed like a standard in the evaluation of the abrasive wear of resins. This study examines the influence of two ceramics (Vita and Duceram), covering a dynamic disk, in the wearing of resin to determine what is the better type of ceramic to be used. The results showed that Duceram was more advisable to wear the resin because it had more capacity of wearing than the ceramic Vita.

**Keywords.** *Abrasive wear, composite resin, brittle materials, ceramic.*