

**Desgaste abrasivo da resina composta Filtek Z250 (4 diferentes cores, fotopolimerizadas por 3 diferentes tempos), através do método do disco retificado.**

**Márcia Furtado Antunes de Freitas**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Odontologia, na área de Dentística, opção Materiais Dentários.

**Bauru**

**2007**

**Desgaste abrasivo da resina composta Filtek Z250 (4 diferentes cores, fotopolimerizadas por 3 diferentes tempos), através do método do disco retificado.**

**Márcia Furtado Antunes de Freitas**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Odontologia, na área de Dentística, opção Materiais Dentários.

Orientador: Prof. Dr. César Antunes de Freitas.

**Bauru**

**2007**

**Freitas, Márcia Furtado Antunes de**

F884d Desgaste abrasivo da resina composta Filtek Z250 (4 diferentes cores, fotopolimerizadas por 3 diferentes tempos), através do método do disco retificado. / Márcia Furtado Antunes de Freitas. - Bauru, 2007.

81p.: 33il.; 30cm.

Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Odontologia de Bauru. USP.

Orientador: Prof. Dr. César Antunes de Freitas.

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, por processos fotocopiadores e outros meios eletrônicos.

Bauru, de de 2007.

Assinatura: \_\_\_\_\_

Márcia Furtado Antunes de Freitas







## Márcia Furtado Antunes de Freitas

- 23 de abril de 1976. Nascimento em Bauru - SP, filha de Deolinda Furtado de Freitas e César Antunes de Freitas.
- 1995 - 2000. Curso de Graduação em Odontologia, na Universidade do Sagrado Coração (USC) - Bauru.
- 2001 - Clínica particular, em Bauru.
- 2002 - 2003. Curso de atualização em Odontologia Estética Contemporânea “Metal Free”, na Associação Paulista de Cirurgiões-Dentistas - APCD - Regional de Bauru.
- 2005 - 2007. Programa de Pós-Graduação em Odontologia, na área de Dentística, opção Materiais Dentários, da Faculdade de Odontologia de Bauru, da Universidade de São Paulo (FOB-USP), em nível de Mestrado.

“A grandeza não consiste em receber honras, mas em merecê-las”.  
(Aristóteles)

“Qualquer lei que eleve a personalidade humana é justa. Qualquer lei que degrade a personalidade humana é injusta. Permito-me afirmar: o indivíduo que infringe a lei que a consciência lhe diz ser injusta está, na verdade, expressando o mais alto respeito pela lei”.  
(Martin Luther King Jr., “Carta de uma cadeia de Birmingham”, 1963)



## Dedicatória

Aos meus pais César e Deolinda, sou grata a vocês por ser quem sou hoje. Obrigada pela educação maravilhosa que me deram, pela formação do meu caráter, por ensinarem que sempre a honestidade está acima de tudo e por todos os esforços para proporcionarem tudo que tive até hoje. Muito obrigada. Amo vocês.

Aos meus amigos e irmãos Fernando e Vitor, vocês são pessoas muito especiais para mim. Obrigada por compartilharmos tudo e estarmos sempre juntos, é isso que nos dá força para continuarmos em frente. Obrigada pela amizade de sempre. Amo vocês.

Ao Zé Sergio, meu amor e amigo, obrigada por estar sempre ao meu lado, me dando apoio em tudo que faço. Você é quem compartilha comigo todas as coisas importantes da minha vida e é isso que o torna tão especial. É muito bom ter você comigo. Amo você.

## Agradecimentos

Ao meu orientador Prof. Dr. César Antunes de Freitas, por todos os ensinamentos a mim passados, pela dedicação, entusiasmo, estímulo e paciência, em todos os momentos deste trabalho. A sua cultura, capricho e perfeição foram essenciais para o resultado alcançado. Muito obrigada.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Eduardo Carlos Bianchi, pela prestação de seu valioso tempo, pela ajuda necessária sempre que requisitada, sem medir esforços para tal.

Ao Prof. Dr. José Mondelli, por previamente ter aceito o convite de fazer parte da banca examinadora, também como “Orientador”, e enaltecê-la com sua presença e sabedoria.

À minha cunhada Paola, por ter participado de toda essa importante etapa da minha vida, por ser tão amiga e já fazer parte de nossa família.

À toda minha família, meus tios e primos, de perto e de longe, que torceram muito por mim, ajudaram no que foi preciso e sempre estiveram presentes.

Ao Sr. José Rafael, D. Sylvia e família, por todo carinho de sempre. Vocês também fazem parte da minha.

À Raquel e Aldrey, vocês são aqueles amigos que “achamos” pelo mundo e transformamos em família. Vocês estão guardados do lado esquerdo do peito, dentro do meu coração.

À Lili, Henrique e Miguel, por terem se tornado grandes amigos, sempre preocupados e presentes.

Aos meus amigos do curso de Mestrado. Fabi, pra mim, como se fosse amiga há anos; resumindo, uma fofa. Breno, um grande amigo descoberto, companheiro de clínica, parceiro a toda hora, “de casa”. Cris (Pituca), uma pessoa de ótima convivência, de muitas risadas. Lelê, o sério, porém, quem o conhece, descobre a boa pessoa que é. Ian, esse é “do bem”, tudo “valeu a pena”. Foi um prazer ter convivido com vocês. Foram ótimos momentos que serão sempre lembrados com muita saudade.

Aos novos amigos “agregados” Rickson, Cauê, Ana Laura, Érika, Kenji, Bruno, Gabizinho e Lulu, pessoas que compartilharam de vários bons momentos e torceram muito por nós.

A todas as pessoas da Engenharia, da UNESP – Bauru, que me ensinaram e ajudaram neste trabalho. Obrigada ao Engenheiro Marx Bernardi Cintra, pela manipulação das máquinas, ao técnico Amilton, pelas regulagens, ao Lúcio Santana e Marcelo Spadotto, pela avaliação dos resultados e ao Prof. Dr. Paulo Aguiar por ter sido sempre tão atencioso e disposto a ajudar.

À Disciplina de Materiais Dentários, por ser o “nosso departamento” tão querido e acolhedor.

Aos Profs. Drs. Paulo Amarante de Araújo e Paulo Afonso Silveira Francisconi pela convivência amistosa, agradável e por todos os ensinamentos.

À secretária Sandrinha, tão querida por todos, muito obrigada por toda ajuda. Vimos o bom resultado do trabalho de uma pessoa quando ela o faz com dedicação.

À Lourisvalda e Alcides, pessoas que conviveram conosco por todo o curso, mas que conheço há muitos anos, obrigada por ajudarem sempre que precisei e por tornarem “nosso departamento” tão alegre.

Aos colegas da Dentística, Marcela, Renata, Wagner e Juan Rommel, por terem compartilhado bons momentos.

Aos Professores da Disciplina de Dentística, Prof. Dr. José Mondelli, Prof. Dr. José Carlos Pereira, Prof. Dr. Carlos Eduardo Francischone, Prof. Dr. Eduardo Batista Franco, Profa. Dra. Maria Teresa Atta, Prof. Dr. Rafael Francisco Lia Mondelli, por todos os ensinamentos durante as aulas e clínicas.

Aos funcionários da clínica da Pós-graduação, Eduardo e Cleuza, por terem sido tão prestativos e me tratado de forma tão gentil.

Ao meu irmão Fernando, pela ajuda com as fotografias.

Ao Prof. Dr. José Roberto Lauris, pelo pronto atendimento na ajuda da análise estatística.

Ao Prof. Odirlei de Arruda Malaspina, pela cessão das resinas compostas aqui utilizadas.

Ao Prof. William Vilas Boas Batista, pela cessão de alguns artigos para minha revisão literária.

A todos os pós-graduandos que conviveram conosco durante o curso, nos ensinando com suas experiências.

À Faculdade de Odontologia de Bauru/USP, na pessoa de seu diretor Prof. Dr. Luiz Fernando Pegoraro.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa concedida no período de março de 2005 a fevereiro de 2007.

E para todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a conclusão deste trabalho. Muito obrigada.

## Sumário

Resumo

1 - Introdução

2 - Revisão de literatura

3 - Proposição

4 - Materiais e métodos

5 - Resultados

6 - Discussão

6.1 - de aspectos gerais

6.2 - do método utilizado

6.3 - dos resultados obtidos

7 - Conclusões

Referências bibliográficas

Abstract

## Resumo

O objetivo neste trabalho foi avaliar a influência da variação do tempo de fotopolimerização para diferentes cores (I, B1, B3 e C4) de uma resina composta (Filtek™ Z250, da 3M ESPE), sobre a taxa de desgaste abrasivo através do método do disco retificado. Cada espécime de resina composta fotopolimerizada estava contido numa cavidade semicircular localizada na periferia de um disco constituído por polimetilmetacrilato (PMMA), denominado disco estático, sendo que a superfície curva da resina no disco sofria desgaste por um rebolo de porcelana, denominado tecnicamente de disco dinâmico, sob carga padronizada e velocidade controlada, criando no espécime uma cavidade de aspecto semicircular. O deslocamento vertical do disco estático, ao ser desgastado, era detectado por um palpador, o qual transferia estes dados a um computador e criava os arquivos de desgaste, em função do tempo. Os dados obtidos foram tratados estatisticamente. Pôde-se concluir que 1) a resistência à abrasão do PMMA foi a maior de todas e 2) a resina de cor C4, a mais resistente de todas.

Palavras-chave: Resinas Compostas, Desgaste de Restauração Dentária.

## ***1 - Introdução***

---







## 1 - Introdução

---

As primeiras resinas compostas usadas para restauração dental, devido às suas altas taxas de desgaste, precisavam ser substituídas após curto período de função clínica. Atualmente, elas apresentam um desgaste abrasivo muito menor, precisando ser substituídas, total ou parcialmente, após maiores períodos de tempo.

Teoricamente, numa resina qualquer, o “monômero” básico (a molécula epóxica/acrílica) e seus co-monômeros devem sofrer um alto grau de conversão e de polimerização conjuntamente, para que as máximas resistências sejam alcançadas. Entretanto, estas são dependentes também de uma série enorme de outros fatores, ligados ainda às partículas de carga e aos agentes de união.

Apesar de conversão e polimerização serem fenômenos diferentes, é comum encontrar-se em vários trabalhos a expressão de que o material está bem “polimerizado”, para indicar que sua resistência é alta, em geral.

Foi muito estudada a influência de vários aspectos relacionados à composição de uma resina sobre sua resistência final. Entre esses aspectos, podem ser citados o tamanho médio da partícula inorgânica (assim como seu tipo), a natureza do polímero básico (juntamente com seus diluentes ou outros modificadores) e o tipo de silano, o agente que une as partículas de carga com a matriz. Porém, não existem estudos conclusivos reportando o grau de influência que a cor da resina composta exerce sobre a polimerização. Ora, em qualquer uma dessas resinas, para compor as diferentes cores, o fabricante adiciona pigmentos, em diferentes quantidades, os quais teoricamente podem interferir na propagação da luz, dentro do material, assim influenciando nas suas resistências finais do material e, inclusive, no tocante ao desgaste abrasivo. Esta propriedade é também fortemente influenciada pelo já referido grau de conversão (a qual indica a porcentagem de monômeros que se juntaram, para compor a cadeia polimérica) obtido durante a operação de polimerização da resina. A inadequada fotopolimerização deste material, determinada por alguma dificuldade de difusão da luz, ou por insuficiente fornecimento de

energia luminosa, pode resultar em diferenças na respectiva resistência à abrasão.

Para uma completa análise desse intrincado mecanismo, seria necessário pesquisar cada uma das resinas existentes, com cada aparelho fotopolimerizador, com diferentes tempos de polimerização, pois os fabricantes não esclarecem quais trabalhos de pesquisa lhes serviram de base para fixar o tempo de polimerização por eles preconizados. Adicionalmente, seria interessante pesquisar se resinas de cores diferentes, fornecidas por um mesmo fabricante, quando fotopolimerizadas nas mesmas condições, apresentam taxa de desgaste similar.

No interior de uma resina composta do tipo fotopolimerizável, existe uma substância cuja energia cinética é aumentada, quando ela é submetida à ação de algum tipo de energia luminosa; esta substância fotossensível geralmente é a canforoquinona. Como esse mecanismo é iniciado por luz, na forma já explicada, pode-se usar vários termos para descrevê-lo, tais como fotoativação (direta da substância fotossensível e indireta da resina), fotopolimerização, fotossensibilização ou, ainda, simplesmente polimerização.

Para avaliar o desgaste de um material qualquer, existe um grande número de ensaios adequados, os quais envolvem fenômenos abrasivos, dentre os quais podem ser citados a escovação, o riscamento (que também expressa dureza) e o método do disco retificado. Entretanto, um ensaio de dureza por penetração de uma ponta não é um bom indicador da resistência oferecida por um material ao desgaste.

## ***2 - Revisão de literatura***

---



## 2 - Revisão de literatura

---

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica que trata principalmente dos procedimentos envolvidos no estudo laboratorial (in vitro) do desgaste de resinas compostas.

PHILLIPS *et al.*<sup>30</sup>, em 1971, utilizaram uma máquina de escovação para analisar o desgaste abrasivo de 2 materiais utilizados em restaurações dentárias, que já haviam sido analisados clinicamente; concluíram o trabalho afirmando que o ensaio por eles realizado podia analisar a resistência à abrasão causada pela escovação, mas não fornecia resultados satisfatórios quanto ao desgaste oclusal causado pela mastigação.

DICKSON<sup>16</sup>, em 1979, escreveu que, para analisar a resistência ao desgaste abrasivo de diversos materiais dentários, provavelmente o método mais simples consistia em colocar pequenas esferas (pesando 0,4 g cada) de material restaurador dentro de uma cápsula de plástico, juntamente com 0,4 g de carboneto de silício, fazer com que a cápsula vibrasse por 3 minutos e verificar a perda de peso das esferas.

O'BRIEN; YEE<sup>27</sup>, em 1980, analisaram a microestrutura de resinas compostas usadas na restauração de dentes posteriores, em suas áreas desgastadas, procurando determinar os fenômenos envolvidos. Selecionaram 10 casos de dentes restaurados com esse material (o qual necessitava ser substituído, por razões de fratura, reincidência de lesão cáriosa ou desgaste excessivo), todos com idade entre 3 a 8 anos. Fragmentos do material foram coletados, armazenados sem nenhum cuidado específico e analisados ao microscópio eletrônico de varredura (MEV), com aumentos lineares de 300 a 2.500 vezes; as respectivas fotomicrografias mostraram que no material existiam fendas originárias de poros, partículas protuberantes, bolhas e depressões. Relataram que o acúmulo de placa bacteriana era bastante comum, devido à "aspereza" superficial, e que também observaram deslocamento de partículas, juntamente com crateras, depressões e fendas na matriz. Concluíram afirmando que o processo de desgaste deste material ocorria por 5 diferentes mecanismos: 1- perda de matriz; 2- deslocamento de

partícula, em razão de falha na adesão entre carga e matriz; 3 - deslocamento de partícula aderida à uma porção de matriz; 4 - deslocamento de fragmentos da partícula; e 5- exposição gradativa em locais com bolhas de ar.

A instituição denominada AMERICAN DENTAL ASSOCIATION<sup>01</sup> (ADA), em 1986, relatou que ainda existiam muito poucas informações de longo prazo, a respeito do desempenho clínico da resina composta em dentes posteriores; informou que seu Conselho havia classificado como “provisoriamente aceitáveis” apenas algumas marcas deste material, para restauração de dentes permanentes, e que os limites anteriormente estabelecidos estavam sendo reavaliados. Além de apontar a dificuldade em se estabelecer contatos proximais com o referido material, alertou que ele apresentava grandes desgastes, tanto oclusais como proximais, e que a classe odontológica deveria estar ciente da limitação de informações a respeito dessas taxas de desgaste.

DE GEE; PALLAV; DAVIDSON<sup>14</sup>, em 1986, relataram que era patente a falta de concordância entre os dados laboratoriais e os clínicos, com relação ao desgaste de resinas compostas; desenvolveram uma máquina que afirmavam ser capaz de analisar o desgaste abrasivo de resinas compostas, onde as variáveis consideradas podiam ser controladas, de modo que os resultados pudessem ser comparados àqueles obtidos clinicamente e concluíram que a máquina permitia a obtenção de resultados já bastante realísticos.

PALLAV; DAVIDSON; DE GEE<sup>28</sup>, em 1988, idealizaram um método de desgaste de materiais restauradores, que envolvia o uso de uma máquina com 2 tambores cilíndricos que rodavam um contra o outro, impulsionados por motores individuais, um deles portando as amostras e o outro funcionando como “cúspide antagonista”; eles rodavam com uma frequência de 1,3 Hz, pressionados entre si com uma força de 15 N, durante alguns dias. Os espécimes ficavam imersos em um meio constituído de uma mistura de 36% de sementes moídas, 9% de pérolas de polimetilmetacrilato e 55% de água, sendo todas estas porcentagens expressas em massa. A análise da quantidade de desgaste era efetuada com o auxílio de um perfilômetro computadorizado. Afirmaram que assim podia-se prever o desgaste de compósitos e que seus



dados correlacionavam-se bastante bem com as observações clínicas de outros pesquisadores. Apresentaram os valores de desgaste de 19 resinas compostas e de esmalte dentário humano, usando o amálgama Dispersalloy como o padrão (ao qual atribuíram o valor 1); detectaram que o desgaste relativo foi de 0,5  $\mu\text{m}$  para o esmalte, de 1,2  $\mu\text{m}$  para o Miradapt e o P10, de 5,9  $\mu\text{m}$  para o Adaptic e 2,0  $\mu\text{m}$  para o Herculite.

A ADA<sup>02</sup>, em 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 lesões cariosas 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; entretanto, foi esclarecido que o grupo de trabalho envolvido nesta tarefa continuaria a coletar as informações importantes, até que uma especificação razoável pudesse ser escrita, com base em evidências experimentais de bases sólidas.

TAYLOR *et al.*<sup>36</sup>, em 1990, compararam métodos diretos (através de avaliação clínica) e indiretos (onde mensuravam o desgaste através de modelos tomados de dentes restaurados) para analisar o desgaste de resina composta colocada em dentes posteriores; comentaram que não existiam trabalhos comparando resultados obtidos pelos 2 métodos e que os dados das pesquisas anteriores não podiam ser comparados com dados clínicos mais recentes de então; afirmaram acreditar que tais métodos *in vitro* eram inadequados.

COELHO<sup>11</sup>, em 1991, na área de Engenharia, idealizou o método do disco retificado, no qual um rebolo agressor (disco dinâmico) desgastava uma peça de aço (disco estático); neste método, o desgaste acontecia quando, sob ação de uma força normal constante, o disco estático, que ficava preso na extremidade de uma balança, era pressionado contra o agressor; de baixo para cima; o deslocamento angular da outra extremidade, onde ficava a carga, era detectado por um palpômetro, o qual enviava os dados para um programa computacional, possibilitando assim, o cálculo dos valores de desgaste.

SATOU *et al.*<sup>35</sup>, em 1992, avaliaram o desgaste de 10 resinas compostas, usando uma máquina onde os espécimes giravam, pressionados contra um disco de resina acrílica contendo diferentes abrasivos, num tipo de ensaio conhecido como de 3 corpos; os resultados deste ensaio *in vitro* foram comparados com o de outro, *in vivo*, realizado através de fotomicrografias tomadas ao MEV. Relataram ter existido uma considerável variação no padrão de desgaste *in vitro*.

MATSUMURA; LEINFELDER<sup>24</sup>, em 1994, usando um ensaio de desgaste do tipo de 3 corpos, relataram que as resinas compostas com carga exibiram melhor resistência do que as sem partículas; com base em fotomicrografias, afirmaram que as diferenças de resistência ao desgaste seriam dependentes da força de união entre matriz e carga. Após analisar os resultados, concluíram que a resistência ao desgaste das resinas seria diretamente influenciada pelas condições do ambiente, além de suas próprias características.

WASELL; McCABE; WALLS<sup>41</sup>, em 1994, afirmaram que o desgaste dos materiais restauradores é um fenômeno complexo que envolve componentes abrasivos, adesivos, de fadiga e de corrosão; além disso, apontaram que uma importante dificuldade nos ensaios do tipo de 2 corpos era que as características do esmalte dentário humano (geralmente usado como o agente de abrasão) variavam de um dente para outro; como este fator exercia importante influência no processo, afirmaram que haviam decidido usar um material cerâmico como agente agressor, o qual inclusive teria dureza semelhante à do esmalte.

DIAS<sup>15</sup>, em 1995, num trabalho de monografia, apresentou o modelo matemático inicial que serviu de orientação para a modificação do método do disco retificado, agora especificamente para avaliar o desempenho de resinas odontológicas; também montou o respectivo banco de ensaios, que ainda utilizava a balança, ao qual adicionou um programa computacional (*software*); ambos os discos (dinâmico e estático) eram constituídos da mesma resina composta; seu trabalho teve apenas a função de mostrar que o método era cientificamente adequado.

BIANCHI *et al.*<sup>05</sup>, em 1996, divulgaram, num congresso de Engenharia, as modificações recém-efetuadas no método do disco retificado,

entre as quais enfatizaram que ambos os discos metálicos eram revestidos pelo mesmo material restaurador dentário, que o disco dinâmico agora girava preso ao eixo-árvore do cabeçote de ensaios e que ambos os discos passaram a ter diâmetros iguais.

CONDON; FERRACANE<sup>12</sup>, em 1997, afirmaram que, para avaliar o desempenho das resinas compostas, eram mais aceitas as análises clínicas, entretanto caras e demoradas; também relataram que existia falta de controle sobre importantes fatores influentes no processo de desgaste, como a força empregada na mastigação, entre outros, os quais limitariam tal estudo. Descreveram a máquina de desgaste que idealizaram, cujo mecanismo reproduziria adequadamente, o processo oral, porém com redução de tempo e de custo. Este complexo equipamento basicamente consistia num disco rotativo horizontal, com 4 esferas de aço presas à sua face inferior, as quais iriam desgastar os espécimes, os quais estariam presos numa rampa que se deslocava linearmente, cobertos por um material abrasivo. Nas suas conclusões, apontaram que, para se prever o desgaste geral de uma resina composta na clínica, deveria ser analisado o desgaste abrasivo, isoladamente, pois este seria responsável pela remoção gradual das partículas da resina; o efeito do volume destas, na resistência ao desgaste, deveria seguir uma relação linear, “com grande redução desta propriedade, quando a resina possuísse menos de 48%, em volume, de partículas”.

MOMOI *et al.*<sup>25</sup>, em 1997, avaliaram a taxa de desgaste de ionômeros (convencional e modificado por resina composta), submetidos à escovação, numa máquina onde uma escova exercia carga de 3,4 N sobre o espécime, efetuando movimentos de ida-e-volta, com amplitude de 2 mm, na frequência de 160 ciclos/min, até atingir 20.000 ciclos, utilizando hidróxido de alumínio como abrasivo. Após o ensaio, a aparência da região desgastada era examinada com auxílio de um microscópio eletrônico. Afirmaram que o método não era apropriado para prever o desgaste dos materiais dentários, pois sua correlação com os resultados clínicos “não era significativa”, e que esta característica desses materiais era das menos conhecidas, pois envolvia diferentes processos, tais como abrasão, adesão, fadiga e erosão, os quais interagem entre si.

SALGADO; FREITAS; BIANCHI<sup>33</sup>, em 1997, aperfeiçoaram o método do disco retificado, o qual já tinha sido adaptado para a Odontologia, e o empregaram para avaliar a resistência ao desgaste 3 resinas compostas (Glacier, Tetric e Z100). Na superfície curva de cada disco estático (ainda de aço, anodizado), continuava sendo confeccionada uma cinta com uma das resinas a serem analisadas. Durante o giro, o disco dinâmico (agora confeccionado em liga de NiCr e revestido por porcelana) desgastava a resina do estático, promovendo o deslocamento da balança; o palpômetro à ela acoplado, enviava os dados para um programa computacional, possibilitando assim, o cálculo dos valores de desgaste. Afirmaram ter conseguido um aperfeiçoamento do método, cujos resultados indicavam que este era adequado e confiável, podendo vir a se tornar um padrão para avaliação desse tipo de desgaste; informaram que, na ordem de diminuição da resistência ao desgaste, ficaram assim posicionadas as resinas: Z100, Tetric e Glacier.

YAP *et al.*<sup>39</sup>, em 1997, desenvolveram um mecanismo de análise de desgaste que consistia em uma mesa (que girava com velocidade de 160 rpm), na qual existia um furo onde era alojado o material sob análise, com um pino de ponta esférica (de 2 mm de diâmetro), recoberto com abrasivo (cobalto de cromo), o qual exercia uma carga constante de 15 N sobre o material. O ensaio durava 2 horas (o que correspondia a 19.200 ciclos), sob refrigeração com água. Uma análise rugosimétrica das superfícies com e sem desgaste permitia o cálculo do desgaste. Também desenvolveram um aparelho simulador de mastigação, para analisar o desgaste dos materiais, provocado pelos dentes, cujo valor era igualmente calculado através de rugosímetro. Afirmaram que o desgaste das resinas compostas estava diretamente relacionado com a quantidade e tipo de suas partículas.

WANG; DIBENEDETTO; GOLDBERG<sup>40</sup>, em 1998, tomaram um tribômetro (aparelho utilizado para medir a intensidade do atrito entre 2 superfícies) e o transformaram num aparelho de desgaste do tipo pino-no-disco. Um material dentário restaurador (resina composta Z100, Renamel ou Clearfil AP-X) foi utilizado como pino e um rebolo de diamante como o abrasivo, sendo as forças envolvidas (normal e de atrito) registradas no decorrer do ensaio. A proporção de desgaste foi calculada (em volume) através da alteração do comprimento do pino, em função de sua área de secção

transversal e o modo de falha, na superfície desgastada, foi avaliado através de fotomicrografias tomadas com MEV. Compararam os 3 materiais, através da proporção de desgaste, dos coeficientes de atrito e das fotomicrografias, procurando determinar os mecanismos primários de desgaste, com base no espaçamento entre partículas, seu arrancamento, envolvidos numa fratura do tipo frágil. Afirmaram que seus resultados “não apresentaram correlação” com os de estudos clínicos, apesar do método utilizado ter possibilitado bom controle das condições experimentais e ter ajudado a identificar os fatores que teriam contribuído para o início do fenômeno de desgaste.

BIANCHI *et al.*<sup>09</sup>, em 2000, num congresso nacional de Engenharia Mecânica, apresentaram uma proposta para que o sistema do disco retificado fosse utilizado como um padrão para a avaliar o desgaste abrasivo de resinas compostas.

KURACHI<sup>23</sup>, em 2000, em sua tese de Doutorado, comparou a eficiência de aparelhos fotopolimerizadores à base de LASER, de LED azul e de lâmpada convencional (halógena), sobre o processo de polimerização de uma resina composta; entre outros aspectos, apontou a importância de se conhecer o espectro da luz emitida pelo aparelho, o qual deveria englobar o espectro de absorção da substância fotoiniciadora; no caso da canforoquinona, esse espectro varia de 450 a 490 nm, com seu pico em 468-470 nm; além deste aspecto de frequência, a intensidade de luz também deveria ser adequada.

PEUTZFELDT; ASMUSSEN<sup>29</sup>, em 2000, determinaram o efeito de diferentes métodos de polimerização nas propriedades mecânicas, no grau de conversão e no desgaste *in vitro* de 2 resinas compostas (Z100 e Charisma). Efetuaram polimerização dos espécimes com unidade portátil Translux EC (10 min), caixa de luz Translux EC (10 min) ou unidade Triad II (10 min), ou ainda, em água aquecida (processo que denominaram como de pós-polimerização), nas temperaturas de 40°C (10 min), 70 e 110°C (estas por 10 min, 1 h, 6 h ou 24 h), armazenando-os por uma semana em água a 37°C. Além de avaliar outras propriedades (resistência à tração diametral, resistência à flexão e módulo de flexão), verificaram o desgaste *in vitro* usando um simulador de desgaste, do tipo de 3 corpos. Afirmaram que a maioria dos processos de pós-

polimerização fez aumentar o grau de conversão de ambos os materiais e a resistência ao desgaste apenas da resina Charisma.

BIANCHI *et al.*<sup>08</sup>, em 2002, apresentaram detalhadamente o modelo matemático que dava suporte ao método do disco retificado, incluindo, como exemplo, alguns resultados de desgaste abrasivo de resinas compostas, constantes de trabalhos anteriores.

BIANCHI *et al.*<sup>06</sup>, em 2003, avaliaram o desgaste abrasivo de 19 resinas compostas disponíveis no mercado brasileiro, utilizando o já referido método do disco retificado, agora com um sistema de caixilhos substituindo a balança anteriormente usada, o qual foi denominado sistema cursor de deslocamento. Após a análise estatística de seus resultados, classificou as resinas ensaiadas, em ordem decrescente do valor de desgaste, nos seguintes grupos: 1º) TPH; 2º) Charisma e Fill Magic; 3º) Herculite, Filtek Z100 e Tetric Ceram; 4º) Prodigy, Revolution, Tetric Flow e Filtek Z250; 5º) Filtek P60; 6º) Suprafill; 7º) Natural Flow; 8º) Flow It, 9º) Point 4 e Helio Fill e 10º) Durafill, Filtek A110 e Heliomolar Ro.

FRANÇA *et al.*<sup>18</sup>, em 2004, utilizaram o sistema do disco retificado, para avaliar o desgaste abrasivo causado em espécimes das resinas compostas Z-100 e Charisma por rebolos constituídos por cerâmicas odontológicas das marcas Duceram e Vita; constataram que esta última foi a que promoveu o menor desgaste.

ALVIM<sup>03</sup>, em 2005, entre outros aspectos estudados, detectou que a canforoquinona presente em várias resinas compostas existia em quantias diferentes (expressa em ppm), nas diferentes cores de uma mesma marca comercial; na resina Filtek Z250, por exemplo, encontrou a quantia de 1,10 para a “cor” Incisal e 2,18 para a cor A3.

FERRACANE<sup>17</sup>, em 2006, discutiu os fenômenos básicos influentes em processos de desgaste e ressaltou algumas questões críticas: 1) Qual tipo de desgaste (abrasivo, atritivo, erosivo ou adesivo) deveria estar envolvido num aparelho e qual deveria ser o parâmetro de medida (profundidade, área ou volume) utilizada no processo?; 2) Qual deveria ser o nível conveniente de capacidade discriminatória do aparelho? e 3) Quais características necessárias (acuidade, precisão, desempenho dos padrões etc.) deveriam ser levadas em

consideração, para prover um adequado nível de certeza dos resultados alcançados?

LAMBRECHTS *et al.*<sup>22</sup>, em 2006, efetuaram uma análise crítica dos fatores que contribuíam para o processo de desgaste biológico, avaliando os simuladores de desgaste existentes em Odontologia quanto à sua capacidade em reproduzir as condições de desgaste. Apontaram que o conhecimento dos tipos deste fenômeno, agrupados sob o nome de biotribocorrosão, combinado com a análise dos diferentes aparelhos que o simulavam, permitiriam entender melhor a natureza global do problema. Esclareceram que os especialistas neste assunto, os tribologistas, descrevem a existência de 5 termos importantes: a abrasão de 2 corpos, a abrasão de 3 corpos, o desgaste por fadiga, o desgaste triboquímico (erosão dental) e o desgaste adesivo. Informaram ainda, que vários centros de pesquisa desenvolveram aparelhos de ensaio de desgaste, de diferentes graus de complexidade, envolvendo 3 aproximações mecânicas, as quais podem ser consideradas como diferentes técnicas de simulação de desgaste: máquinas de escovação, máquinas de desgaste de 2 corpos e máquinas de desgaste de 3 corpos. Citaram 19 fatores que julgavam como complicadores na simulação de desgaste *in vitro*, dos quais podem ser ressaltados a padronização do agente agressor, a carga envolvida, o número de ciclos, a frequência do contato dos agentes envolvidos (e sua duração), a homogeneidade do material testado e a existência de fragmentos do desgaste, entre outros aspectos.

ULHÔA<sup>37</sup>, em 2006, utilizou o método do disco retificado, para avaliar a resistência ao desgaste abrasivo de 6 resinas compostas (XRV Herculite, Charisma, Suprafil, Fill Magic, Z100 e Tetric Ceram), polimerizadas por tempos de 10, 20 ou 40 s, usando aparelhos com lâmpada halógena ou diodo emissor de luz (LED). Estatisticamente tratados, a maioria dos valores de desgaste mostrou diferenças significantes, ao se comparar resinas, tempos e aparelhos. Os respectivos valores da microdureza Vickers mostraram-se semelhantes entre si, do ponto de vista estatístico, apontando um baixo nível de correlação destes com aqueles, o que implica no fato da microdureza não ser um indicador adequado da taxa de desgaste de uma resina composta.





**3 - Proposição**

---



### **3 - Proposição**

---

A proposta neste trabalho foi avaliar, através do método do disco retificado, a taxa de desgaste abrasivo sofrida por espécimes de uma única resina composta (Filtek Z250), de 4 diferentes cores (Incisal, B1, B3 e C4), fotopolimerizados por 3 diferentes tempos (10, 20 e 30 segundos), através de um aparelho munido de lâmpada de filamento incandescente, usando como padrão de referência o polimetilmetacrilato (PMMA).



#### ***4 - Materiais e métodos***

---



#### **4 - Materiais e métodos**

---

As fotografias ilustrativas do presente capítulo estão locadas ao seu final.

No presente trabalho, foi utilizado o banco de ensaios apresentado na figura 1. Dada a sua alta complexidade, ele inicialmente será descrito de forma geral e, após isto, detalhadamente explicado. Ele era fixado eletromagneticamente, por sua base, na mesa de uma máquina denominada retificadora tangencial plana, que se encontrava no Laboratório de Usinagem por Abrasão (LUA), pertencente ao Departamento de Engenharia Mecânica (DEM), da Faculdade de Engenharia de Bauru, da Universidade Estadual Paulista (FEB/UNESP).

O motor e o cabeçote<sup>1</sup> encontravam-se fixados, através de parafusos, numa base, a qual consistia de uma placa de aço que ficava presa na mesa da retificadora, durante os procedimentos. O movimento do motor era transmitido para o eixo do cabeçote, através de uma correia dentada, de borracha, adaptada nas polias existentes na parte frontal do conjunto. Na extremidade posterior do eixo do cabeçote foi fixado um rebolo de porcelana, denominado de disco dinâmico, que atuou como o agente agressor da resina composta, como posteriormente será explicado. Na base deste conjunto, por trás do cabeçote, foi fixado um dispositivo removível denominado sistema cursor, cuja função básica era suportar um disco de polimetilmetacrilato (PMMA), transparente, no qual existiam 4 cavidades semicirculares, cada uma delas espaçada 90° de suas similares próximas; já fotopolimerizada, a resina composta existente em cada uma dessas cavidades, compunha um espécime, cuja confecção será descrita posteriormente. Cada disco completo, ou seja, com resina composta em todas suas cavidades, era denominado, após ser retificado, de disco estático. A resina composta contida numa cavidade era individualmente desgastada (ou seja, sofria agressão) pelo rebolo de porcelana, como posteriormente também será explicado de forma detalhada. Como poderá ser entendido ao final deste capítulo, o banco de ensaios

---

<sup>1</sup> Nome dado ao componente principal de um dispositivo, na área de Engenharia Mecânica.

engloba também, além inclusive da retificadora, outros dispositivos que ainda serão descritos.

Na figura 2, pode ser visto isoladamente o conjunto denominado sistema cursor, composto por um arco (com a forma da letra U invertida) soldado por suas extremidades inferiores a uma placa plana, ambas estas partes confeccionadas em aço comum e que serviam de suporte para o restante do conjunto. Um subconjunto aí existente, denominado de dispositivo-guia, era formado por uma peça central, a qual se encontrava fixada na parte superior do arco já referido, e ainda de duas hastes cilíndricas, dispostas simetricamente naquele, as quais deslizavam verticalmente (de uma forma considerada como de alta precisão) dentro dos seus respectivos orifícios-guia, estes existentes nas extremidades da citada peça central. Unindo ambas as hastes cilíndricas, por suas extremidades superiores, existia uma placa que recebeu a denominação de trave para registro de deslocamento, a qual possuía, na sua face superior, uma haste cilíndrica central, na qual podiam ser adicionados anéis metálicos (como pode ser observado na própria figura), que serviam para compor a quantia de carga necessária ao ensaio, como futuramente será explicado em detalhes. Também unindo ambas as hastes cilíndricas, agora por suas extremidades inferiores, existia uma outra placa, a qual possuía, na sua face inferior, uma haste fendada denominada de local de fixação do disco estático. Como ainda pode ser observado na referida figura, neste conjunto também existia uma cânula plástica, a qual consistia na parte terminal do sistema de refrigeração, promovida por fluxo contínuo de água.

Para o rebole de porcelana já referido, conservou-se o nome de disco, pois ele já teve tal forma, em pesquisas anteriores. A porcelana que constituiu este disco dinâmico é do tipo (cientificamente) tradicional e ele foi fabricado no Laboratório de Cerâmica, do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), por um Técnico Especializado<sup>2</sup> que também tem Mestrado nesta área. Os componentes da sua fórmula, cujas proporções exatas são guardadas em segredo, foram os seguintes, em termos porcentuais de peso: 35 a 40 de argila São Simão, 15 a 25 de sílica e 30 a 40 de feldspato. Uma quantidade

---

<sup>2</sup> Sr. Walter Aparecido Mariano.



conhecida desta massa foi colocada numa matriz cilíndrica de aço inoxidável e prensada, sob uma carga de 5 toneladas. Após ser extruída da matriz, a peça sofreu sinterização desde a temperatura ambiente até 1220°C, elevando-se 100°C por hora e mantendo-se a temperatura final por mais 2 horas. O resfriamento ocorreu dentro do forno, após este ser desligado. A peça cozida apresentou-se com a forma de um cilindro, aproximadamente com altura de 19-20 mm e diâmetro externo de 26-27 mm, dimensões estas que sofreram mudanças, como será posteriormente explicado, para ficar com a exatidão necessária. Nela foi feito um furo central, com diâmetro de 7,5 mm, no Laboratório de Ótica, do Instituto de Física, da USP, em São Carlos, usando uma serra-copo de parte ativa diamantada. A peça, já perfurada, pode ser vista na figura 3.

Em seguida, agora no LUA, este rebolo foi fixado na extremidade traseira do eixo do cabeçote, para que fosse efetuada a operação denominada retificação (que é considerada, na área de Engenharia, como uma usinagem de acabamento), em sua superfície curva. Para tanto, foi utilizado um rebolo diamantado, acoplado a uma peça metálica denominada flange, que permitiu seu encaixe centralizado no eixo-árvore da retificadora tangencial plana. Este rebolo (mostrado na figura 4a), com aglutinante resinóide, tinha diâmetro de 350 mm, furo central com diâmetro de 127 mm, espessura de 15 mm, com camada diamantada de 5 mm, granulação 126 ( $\mu\text{m}$ ) e concentração 50, tendo sido fabricado pela firma Dinser Ferramentas Diamantadas Ltda., de São Paulo - SP, com código SD 126MV50B2, na cor verde. Na figura 4b, pode ser visto o rebolo de porcelana no momento de sua retificação pelo diamantado. A referida retificação, executada sob refrigeração por fluxo contínuo de água, foi efetuada estando o cabeçote já fixado na mesa da retificadora. Durante tal operação, o rebolo diamantado girava na velocidade tangencial de 60 m/s (velocidade obtida com a utilização de uma frequência de 60 Hz na caixa do inversor de frequência que comanda a máquina) e o rebolo de porcelana na de 9 m/s, porém ambos em sentidos discordantes. Assim, o rebolo de porcelana ficou com diâmetro externo de 25 mm; foi constatada que sua rugosidade média ( $R_a$ ), na superfície curva, era de aproximadamente 1,5  $\mu\text{m}$ , a qual foi verificada através de um aparelho HOMMEL TESTER modelo T1000, fabricado pela

empresa alemã HOMMELWERKE. Assim, o disco dinâmico ficou preparado para ser usado como o agressor das resinas compostas a serem ensaiadas.

Para o ensaio de desgaste, através do método do disco retificado, foram confeccionados 13 discos de PMMA, cada um originalmente com espessura de 2 mm, diâmetro de 26 mm e furo central com diâmetro de 7,5 mm. Cada disco (um dos quais é mostrado na figura 5a) era então retificado até ficar com diâmetro de 25 mm. Tal retificação ocorria em condições semelhantes àquela da porcelana, com os discos de PMMA girando numa velocidade tangencial de 9 m/s e o rebolo, agora de óxido de alumínio branco, a 60 m/s. Este rebolo, mostrado na figura 5b, tinha diâmetro de 355 mm, furo central com diâmetro de 76,2 mm, espessura de 50 mm e granulação 120 ( $\mu\text{m}$ ), tendo sido fabricado pela firma brasileira NORTON, com código I 00537867.

Um dos discos de PMMA, já retificado, foi conservado íntegro, com o objetivo de servir como padrão de referência para os ensaios. Em cada um dos 12 demais, na sua parte periférica, foram confeccionadas 4 cavidades semicirculares, circunferencialmente equidistantes entre si, cujas porções centrais tinham 2,5 mm de profundidade, contada a partir da superfície curva original; obviamente, cada cavidade, por ter sido confeccionada com o rebolo de porcelana, geometricamente tinha o raio igual ao do próprio rebolo; esta tarefa era efetuada com 6 discos, simultaneamente, como mostra a figura 6a; na figura 6b, pode ser visto um disco de PMMA, já com suas cavidades.

A resina composta selecionada para este trabalho foi a Filtek<sup>TM</sup> Z250, da 3M/ESPE, de St. Paul - MN, USA, cujas cores seguem a escala da firma alemã VITA. Esta resina é fotopolimerizável, vem embalada em cápsulas de doses individuais ou em seringas e, segundo o fabricante, o tamanho médio de suas partículas inorgânicas é de 0,6  $\mu\text{m}$ , variando de 0,01 a 3,50  $\mu\text{m}$ , sua matriz é formada por Bis-GMA, UDMA e Bis-EMA e sua carga, por zircônia/sílica em 60% em volume. Ela está disponível em 15 cores correspondentes às da escala já citada: A1, A2, A3, A3.5, A4, B0.5, B1, B2, B3, C2, C3, C4, D3, UD (dentina universal baseada na cor A3) e Incisal (mais translúcida). Ainda segundo o fabricante, a sua “polimerização máxima” é alcançada numa camada de 2,5 mm de espessura, para a maioria das cores, com o tempo de fotopolimerização de 20 segundos; entretanto, para as cores

B0.5, C4 e UD, os “incrementos” devem ser menores que 2,0 mm e polimerizados durante 30 segundos.

As cores de resina escolhidas para análise no presente trabalho, dentre aquelas da citada escala, foram a B1 (a mais clara), a B3 (uma de cor média) e a C4 (a mais escura); também foi analisada a “cor” I (Incisal), a qual não consta ainda da citada escala. Nas figuras 7a, 7b e 7c, são mostrados, respectivamente, a referida escala, as bisnagas de resina e os 3 padrões de cor.

A confecção dos espécimes de resina composta foi efetuada no laboratório da Disciplina de Materiais Dentários, da Faculdade de Odontologia de Bauru, da Universidade de São Paulo (FOB/USP), onde a temperatura ambiente foi mantida a  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  e a umidade relativa do ar a  $50 \pm 10\%$ .

Cada uma das cavidades de um disco de PMMA era desengordurada, durante 3 segundos, com uma solução composta de partes iguais (em volume) de álcool etílico e de éter sulfúrico, aplicada com pequenos chumaços de algodão. Após a rápida evaporação desta solução, na cavidade, também com algodão, era aplicado o líquido monomérico da resina acrílica auto-polimerizante JET (Artigos Odontológicos Clássico Ltda., São Paulo - SP, Brasil), com o intuito de melhorar a adesão da resina composta ao disco. Este era então, colocado entre as 2 guardas laterais de uma matriz própria, constituídas de politetrafluoretileno (PTFE<sup>3</sup>); cada guarda tinha diâmetro de 25 mm, furo central com diâmetro de 7,5 mm e espessura de 5 mm; para este conjunto ser unido, existia um parafuso e sua respectiva porca; adicionalmente, 2 arruelas de aço comum tinham a função de comprimir firmemente as guardas contra as superfícies planas do disco de PMMA. Na figura 8a, pode ser visto um destes discos, na posição central, juntamente com os componentes da matriz, separados entre si; a figura 8b ilustra a aparência do conjunto, com seus elementos já unidos.

Então, para compor um espécime, em cada cavidade de cada disco, eram inseridas (com uma espátula metálica nº1) pequenas porções de resina composta, de uma mesma cor (como está ilustrado pela figura 9a), as quais

---

<sup>3</sup> A substância química é denominada politetrafluoretileno; O nome Teflon, por exemplo, é um nome-fantasia que é marca registrada da firma E. I. Du Pont de Nemours.

iam sendo condensadas, com a mesma espátula já citada, até seu preenchimento, de modo a se obter o menor excesso possível, conforme mostrado na figura 9b. Imediatamente, uma tira de poliéster era comprimida sobre a resina (como pode ser visto na figura 9c), para que esta viesse a se adaptar adequadamente à cavidade e, inclusive, não viesse a aderir na ponta ativa do aparelho fotopolimerizador.

Para efetuar a fotopolimerização, foi utilizado um aparelho Ultralux EL, fabricado pela firma Dabi Atlante Indústrias Médico Odontológicas Ltda., de Ribeirão Preto - SP, Brasil. A lâmpada deste fotopolimerizador, apresentado na figura 10a, emite luz azul, a qual emerge por uma ponta ativa de 12 mm de diâmetro. Nas rotineiras aferições deste aparelho, efetuadas através de um radiômetro modelo 100 (fabricado por Demetron Research Corporation, de Danbury - CT, USA, e apresentado na figura 10b), foi constantemente verificada a taxa de  $520 \text{ mW/cm}^2$ . Este radiômetro, segundo o fabricante, tem capacidade de medir a densidade ótica até  $1000 \text{ mW/cm}^2$ , para a luz azul de 400 a 500 nm.

Em função do tempo de polimerização, foram constituídos 3 grupos de espécimes, respectivamente com 10, 20 e 30 segundos. Para cada condição específica (ou seja, um grupo), foram confeccionados 4 espécimes, todos num mesmo disco de PMMA. Como foram usadas 4 cores diferentes de resina composta, cada uma delas polimerizadas por 3 diferentes tempos (4 cores *versus* 3 tempos), foram confeccionados 12 destes discos, compondo os 48 espécimes de resina composta que viriam a ser ensaiados. Adicionalmente, um disco de PMMA, íntegro, foi utilizado para funcionar como padrão de comparação; neste disco também viriam a ser realizados 4 ensaios, em 4 locais espaçados entre si, da mesma forma descrita para os outros discos, e considerados também como espécimes. Assim, no presente trabalho, existiu um total de 13 discos, compondo um total de 52 espécimes.

A fotopolimerização da resina composta contida numa cavidade qualquer, imediatamente após ser comprimida firmemente pela tira de poliéster, foi efetuada com a ponta ativa do aparelho ficando em contato com esta (como é mostrado na figura 11a), durante o tempo estipulado para cada disco; a aparência de um espécime assim polimerizado pode ser verificada na figura

11b. Na figura 12a, pode ser visto um disco com seus 4 espécimes, ainda com os excessos de resina composta.

Cada disco, imerso em água deionizada, foi individualmente guardado num frasco plástico por 7 dias, dentro de uma estufa regulada a 37°C. Após este período, e imediatamente antes do ensaio, cada disco era novamente retificado (sob as mesmas condições já citadas) com o rebole de óxido de alumínio, para que os referidos excessos fossem eliminados. Esta operação de retificação era efetuada com 6 discos, simultaneamente colocados no eixo-árvore do cabeçote, conforme está ilustrado pela figura 12b. Após tal retificação, cada conjunto disco/espécime passou a ser designado como disco estático, um dos quais é apresentado na figura 13a.

Para o ensaio propriamente dito, um disco estático era adequadamente fixado no seu respectivo local de suporte, existente na extremidade móvel inferior do sistema cursor, estando o disco dinâmico já fixado na extremidade posterior do eixo-árvore do cabeçote de testes. A fixação de ambos os discos nos seus respectivos locais foi realizada através do uso de porcas, que pressionavam arruelas; para permitir a localização adequada do disco estático sobre o dinâmico, existiam peças metálicas denominadas espaçadores, os quais serviam para posicionar um espécime sobre um dos 6 locais possíveis do disco dinâmico, denominados trilhas. O espécime era então colocado em contato com o disco dinâmico, ficando pressionado pela carga de todo o conjunto no qual ele estava preso; nesta ocasião, o centro de ambos os discos ficavam verticalmente alinhados.

O valor nominal (14 N) da carga efetivamente exercida pelo disco estático (de resina) sobre o dinâmico (de porcelana) era composto pela soma das massas do próprio disco estático, do sistema cursor e de anéis metálicos auxiliares, colocados na haste cilíndrica central do cursor de deslocamento.

Nesta situação, o disco dinâmico era acionado, vindo a atingir, em cerca de 2 segundos, a velocidade tangencial de 4,5 m/s; este processo era controlado através de um dispositivo denominado inversor de frequência, ajustado para 30 Hz. O disco dinâmico, ao girar nas condições descritas (ilustradas pela figura 13b), provocava o desgaste progressivo do espécime de resina composta, conseqüentemente fazendo com que as hastes cilíndricas

(êmbolos) do sistema cursor se deslocassem para baixo; obviamente, a trave para registro de deslocamento (identificada com o número 4 na figura 2) também se deslocava. Tal deslocamento era detectado através de um dispositivo eletrônico denominado palpador (ou apalpador, ou ainda palpômetro), modelo 32.10904, da fábrica suíça TESA S. A., ligado à sua unidade de controle TESATRONIC, modelo TT60. A parte ativa terminal do citado palpador (montada numa haste vertical, com ajuste de altura em escala micrométrica) consistia numa esfera, a qual era ajustada para contatar a face inferior da trave para registro de deslocamento. Na citada ocasião, antes do motor ser acionado, o palpador tinha seu registro ajustado para o número zero, através de um botão próprio existente na sua unidade de controle, a qual pode ser vista na figura 14.

Para iniciar um ensaio, após terem sido feitos todos os ajustes já descritos, eram acionados o sistema de refrigeração e, em seguida, o motor do banco de ensaios. Imediatamente, o palpador começava a enviar os valores de tensão elétrica detectados (correspondentes a valores de deslocamento), para uma placa de aquisição de dados, do tipo analógico-digital (A/D), fabricada pela empresa National Instruments, USA, a qual já se encontrava adequadamente instalada no interior de um microcomputador pessoal. A referida placa recebia cada pulso elétrico (de caráter analógico), transformava-o em sinal digital (linguagem esta usada por computadores) e o repassava para o programa computacional (“software”) denominado Labview (versão 6.0.1), de mesma procedência da placa. Neste, havia sido criado um sub-programa que armazenava os valores de um ensaio, num arquivo individual, ao mesmo tempo em que os processava para criar um gráfico. Cada um desses valores definia um ponto da curva cujo gráfico ia surgindo no monitor do computador, como está ilustrado pela figura 15. Para cada ensaio, todos esses fatos aconteciam em tempo real, iniciando-se pela referida aquisição dos sinais, até a criação do respectivo gráfico. Assim, foram obtidos 52 arquivos, referentes aos 52 ensaios dos espécimes.

Posteriormente, para outros processamentos destes arquivos, usava-se um outro programa computacional, o MatLab (versão 6.5), fabricado pela firma The MathWorks, sediada em Natick - MS, USA. Assim, cada arquivo

de ensaio era processado, gerando um gráfico mais refinado, como aquele apresentado na figura 16, no qual o deslocamento (expresso em micrometros) está registrado na ordenada e o tempo gasto para a aquisição dos dados (expresso em segundos) na abscissa. Inicialmente, o trecho ascendente da curva (delimitado pelas setas 1 e 2) era recortado e usado para criar um novo arquivo, com o qual se construía um outro gráfico (exemplificado na figura 17), em cujo eixo vertical continuavam registrados os mesmos valores do deslocamento e, no eixo horizontal, aquele mesmo tempo, porém agora elevado a potência 2/3. Neste gráfico, o trecho recortado aparece, na forma de pontos negros, porém constituindo uma linha curva. Usando-se o processo de regressão linear, construiu-se um novo gráfico (apresentado na figura 18), no qual a linha reta azul representa aquela outra, de forma extremamente aproximada. Assim ficava definido o ângulo  $\alpha$  (formado entre a linha reta obtida e o eixo da abscissa), usado para calcular o coeficiente angular ( $a_1$ ) da reta de aproximação, que corresponde ao valor trigonométrico da tangente do ângulo referido. Esse coeficiente era utilizado para o cálculo da taxa de desgaste ( $d$ ), através da equação matemática [1], na qual  $b$  era a largura do disco estático,  $r$  o raio do disco estático,  $F_n$  a força normal aplicada e  $a_1$  o coeficiente angular da reta de regressão linear, para cada ensaio.

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

No gráfico da figura 16, durante o período inicial (primeira região) praticamente não é detectável o deslocamento do sistema, apesar dele existir; neste período, está incluído o tempo que transcorre desde o acionamento do programa de aquisição de dados, juntamente com o subsequente (e imediato) momento de acionamento do motor do cabeçote. Algum pequeno deslocamento observado no final dessa região, bem provavelmente não expressa um deslocamento real do dispositivo, mas sim pequena variação de tensão da rede elétrica, a qual acaba sendo registrada pelo programa. Portanto, é um período que pode ser desprezado, pois não faz parte do ensaio propriamente dito. À partir de então, inicia-se o desgaste da resina, ou seja, o ensaio propriamente dito, o qual é expresso pela porção ascendente da linha,

porção esta que constitui a denominada segunda região, que é o trecho útil. Na terceira região, na realidade continua a existir desgaste. Entretanto, devido ao aumento progressivo da área de contato entre os materiais dos dois discos (estático e dinâmico), a pressão entre ambos diminui, a ponto do deslocamento (representativo do desgaste) praticamente cessar, surgindo o patamar final observável no referido gráfico, trecho este também desprezado.

Como esta equação também estava incluída no programa computacional, bastava que nela fossem colocados os respectivos valores numéricos, para que a taxa de desgaste fosse obtida. Este resultado expressava o volume de resina removido (desgastado) do espécime, por unidade da carga utilizada e por unidade de tempo. Assim é que a unidade usada, no presente trabalho, para exprimir o desgaste (d) em cada ensaio foi milímetros cúbicos por newton segundo, usualmente abreviado como  $\text{mm}^3/\text{N.s}$ .

A exigência matemática deste modelo era que, em cada ensaio, os diâmetros de ambos os discos (dinâmico e estático) fossem iguais, tanto quanto possível. Num mesmo disco estático foram efetuados 4 ensaios, mudando-se a sua posição, ao final de cada um destes. Assim, eram efetuados 4 ensaios em cada disco estático, para cada uma das condições específicas.

Cada ensaio somente era considerado válido, se o respectivo coeficiente de correlação fosse maior que 90%. Este coeficiente expressava a veracidade da linha retificada realmente ser representativa da curva. A exigência de se alcançar este alto nível de correlação trouxe confiabilidade aos resultados.

Ao término de 6 ensaios realizados, o disco dinâmico era então novamente retificado, da mesma forma anteriormente explicada, removendo-se dele então uma camada de  $5 \mu\text{m}$ . O diâmetro do disco estático que seria subseqüentemente analisado continuava obedecendo à exigência do modelo matemático, de manter iguais os valores dos diâmetros de ambos os discos, mesmo com um erro de até  $50 \mu\text{m}$ .

Nos 2 discos estáticos já ensaiados, apresentados na figura 19, podem ser vistas as regiões semicirculares desgastadas, nos espécimes de resina composta (em a), e no padrão de PMMA (em b).



Na figura 20 pode ser visto o rebolo de porcelana, com 2 sulcos de desgaste (faixas brilhantes) causados pelo seu contato com os espécimes. Toda vez que este rebolo era retificado, ele apresentava o já referido valor de rugosidade média ( $R_a$ ) de  $1,5 \mu\text{m}$ ; procurando-se caracterizar melhor este grau de rugosidade, é apresentado o gráfico que compõe a figura 21, no qual o valor do maior pico ( $R_p$ ) foi  $6,6 \mu\text{m}$  e o valor do maior vale ( $R_z$ )  $11,5 \mu\text{m}$ .

Todos os espécimes referidos foram ensaiados, nas condições descritas, e os respectivos valores de desgaste (apresentados em tabelas localizadas no próximo capítulo) tratados estatisticamente, através de análise de variância.

### Figuras ilustrativas.

As legendas estão escritas de maneira sintética, pois complementam o texto, o qual está detalhadamente escrito.

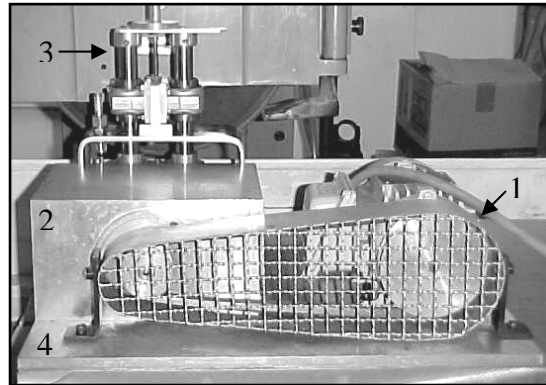


Figura 1 - Vista geral (frontal) do banco de ensaios, onde estão identificados o motor elétrico (1), o cabeçote (2), o sistema cursor (3) e a placa de aço (4) que servia de base para o conjunto.

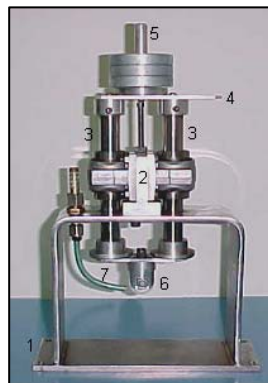


Figura 2 - Fotografia do sistema cursor, com as partes descritas no texto: 1) suporte do conjunto; 2) peça central do dispositivo-guia; 3) hastes cilíndricas; 4) travessa para registro de deslocamento; 5) haste cilíndrica central; 6) local de fixação do disco estático e 7) câmara plástica.



Figura 3 - Rebolo de porcelana já perfurado.

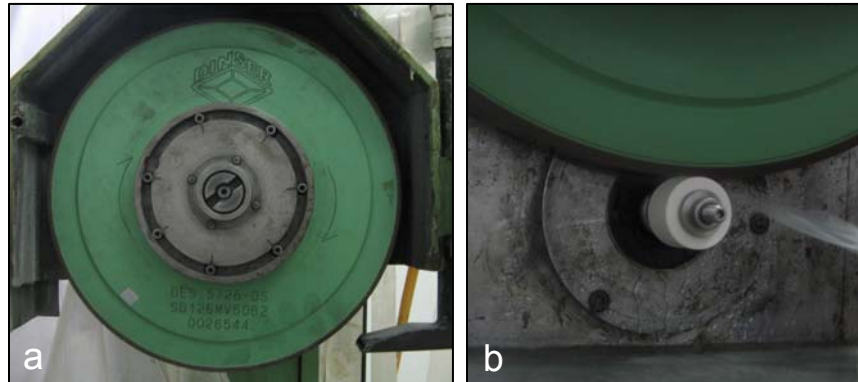


Figura 4 - a) Rebolo diamantado; b) rebolo de porcelana no momento de sua retificação, sob refrigeração.

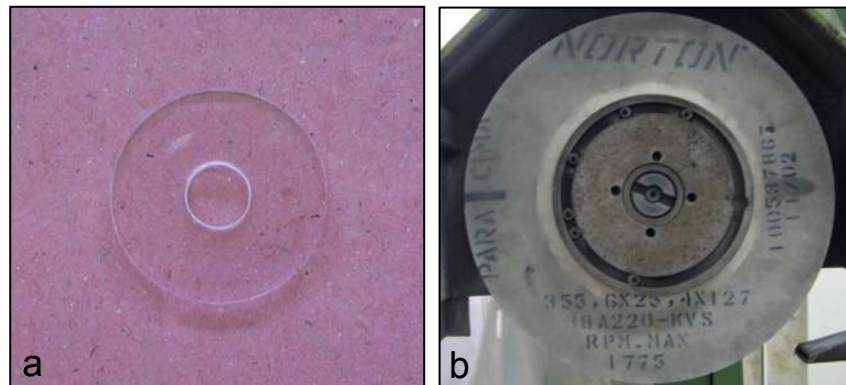


Figura 5 - a) Um disco de PMMA, com suas dimensões originais; b) o rebolo de óxido de alumínio.

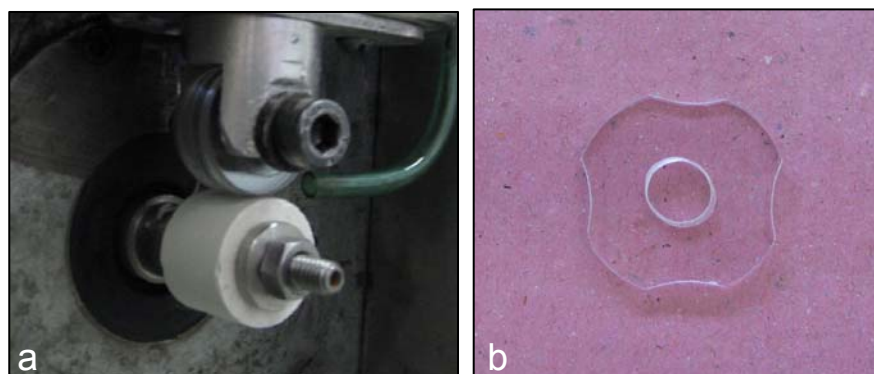


Figura 6 - a) Um momento da confecção das cavidades em 6 discos de PMMA pelo rebolo de porcelana; b) um deles, já com as 4 cavidades referidas no texto.

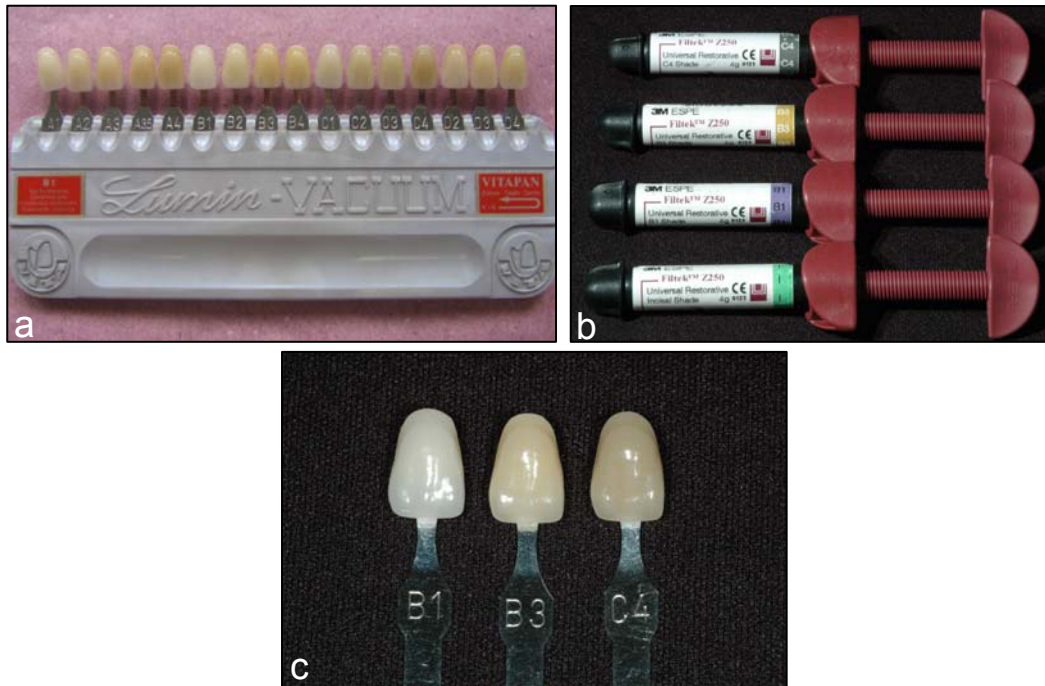


Figura 7 - a) Escala de cores da VITA; b) bisnagas de resina das cores selecionadas; c) respectivos padrões de cor, selecionados da escala.

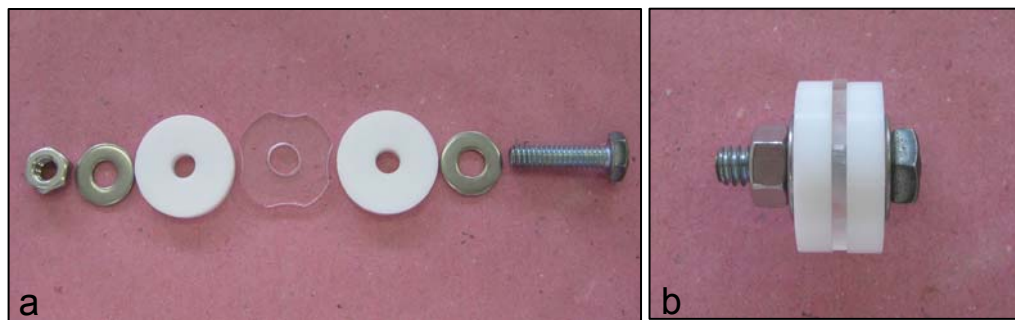


Figura 8 - a) Conjunto formado por um disco de PMMA e os componentes da matriz, separados entre si; b) conjunto com os elementos já unidos.



Figura 9 - Fases iniciais da confecção de um espécime: a) inserção da resina; b) cavidade preenchida; c) tira de poliéster comprimindo a resina.

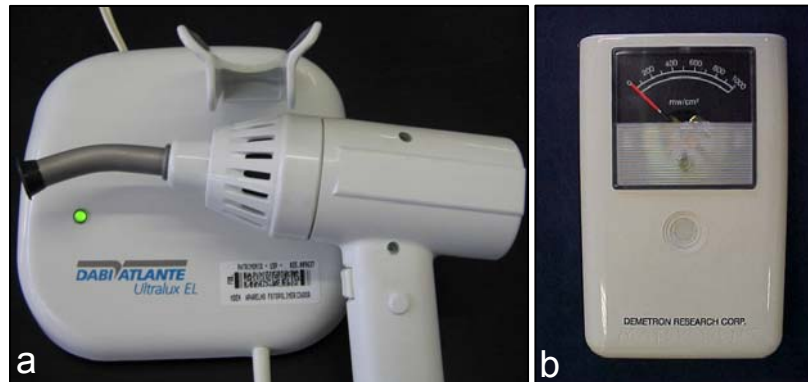


Figura 10 - Fotopolimerizador (a) e radiômetro (b), referidos no texto.

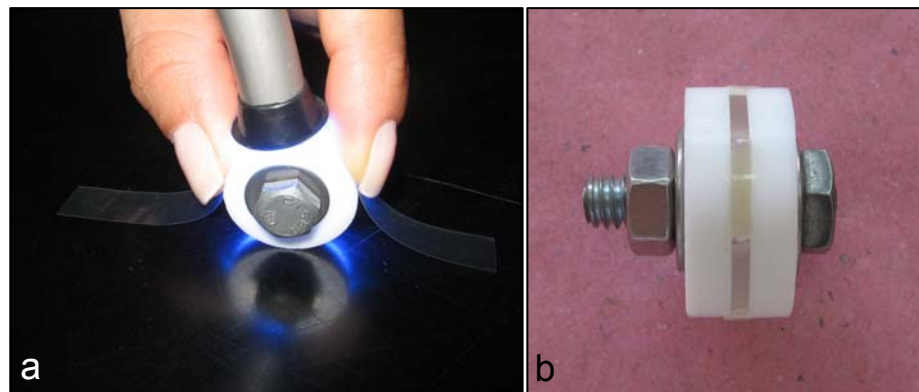


Figura 11 - a) Fotopolimerização da resina; b) um espécime polimerizado.

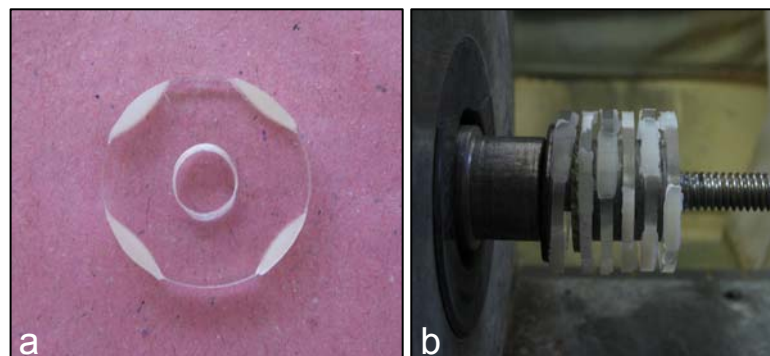


Figura 12 - a) Um disco, ainda com excesso de material; b) conjunto de 6 discos, a serem simultaneamente retificados.

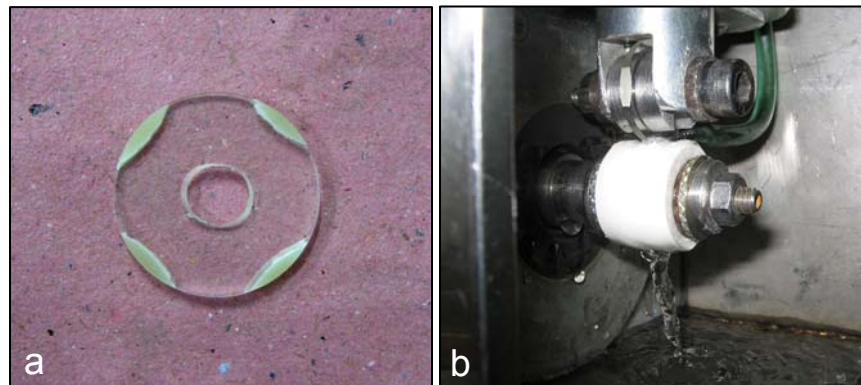


Figura 13 - a) Um disco estático, pronto para ser ensaiado; b) um espécime qualquer, no momento do seu ensaio.

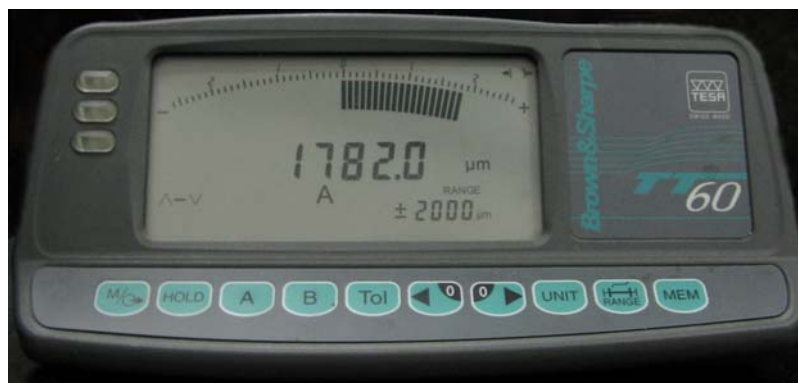


Figura 14 - Unidade de controle do palpador.

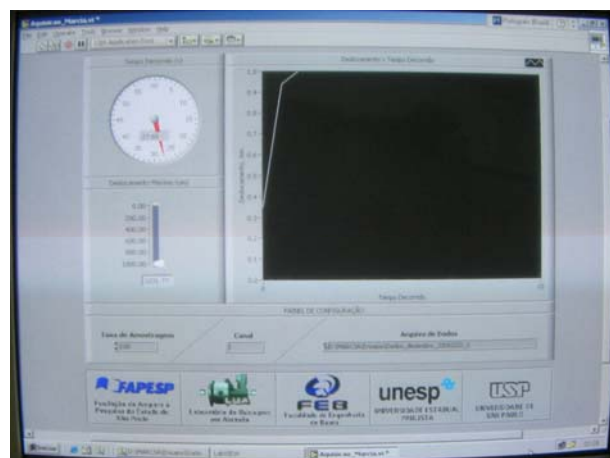


Figura 15 - Aspecto do gráfico mostrado no monitor, criado durante um ensaio.

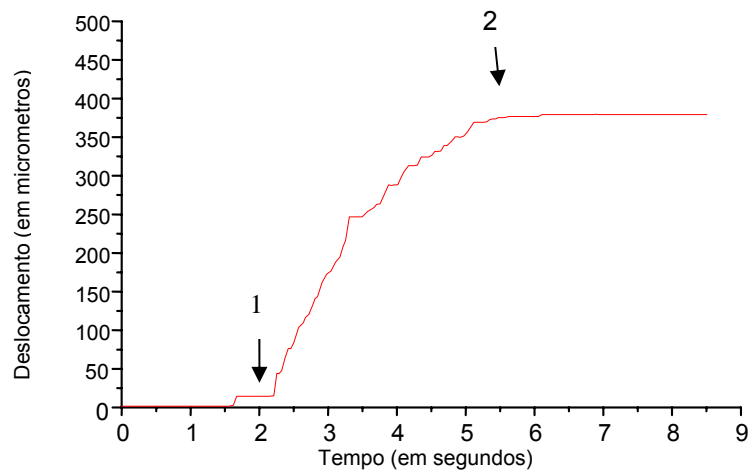


Figura 16 - Aspecto do gráfico inicial criado com o MatLab.

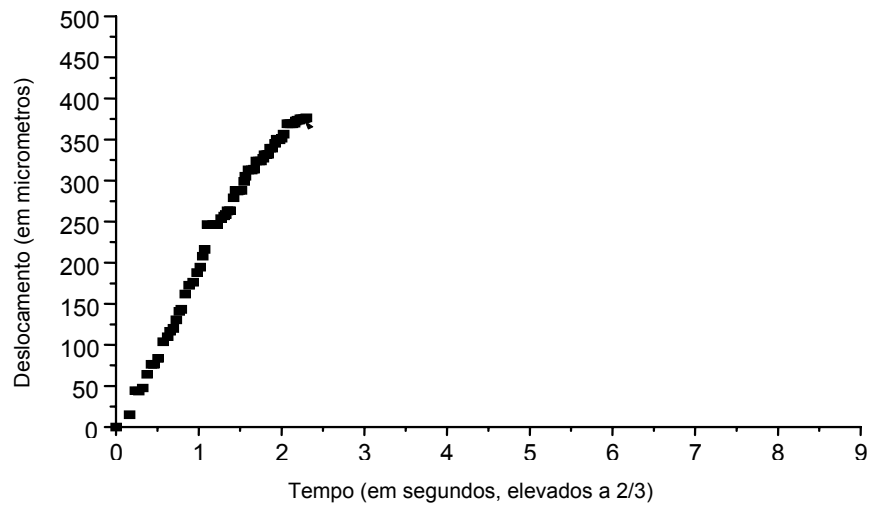


Figura 17 - Aspecto do gráfico criado após o recorte.

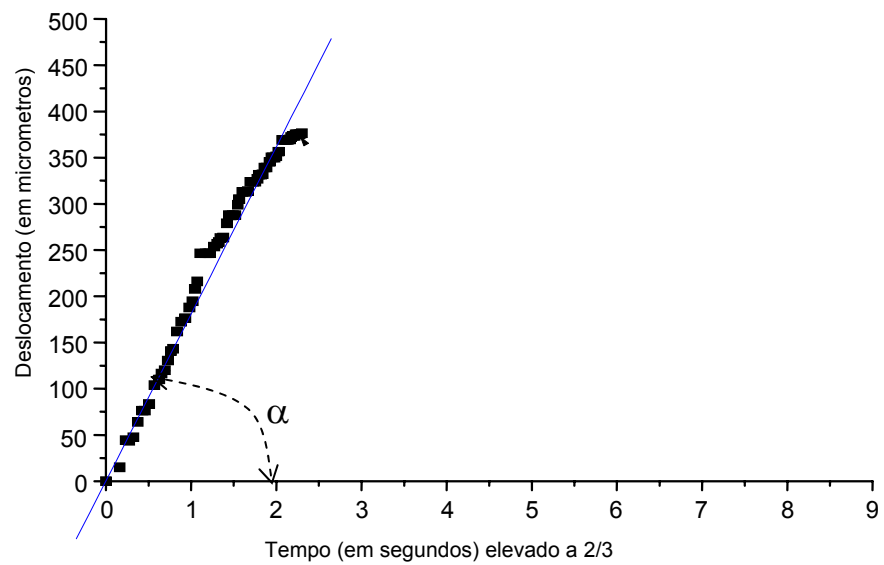


Figura 18 - Aspecto do gráfico, já com a linha reta em azul e com o ângulo  $\alpha$  definido.

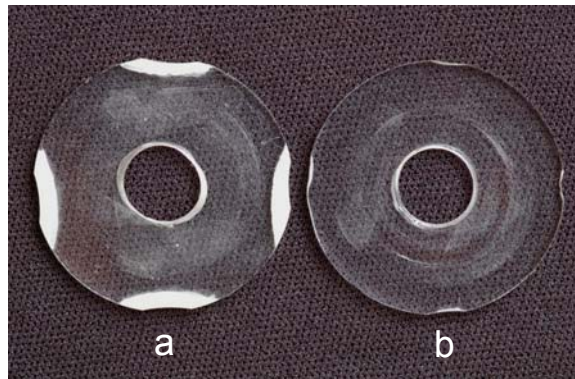


Figura 19 - Discos estáticos já ensaiados: a) com espécimes de resina composta; b) padrão de PMMA.



Figura 20 - Rebolo de porcelana com 2 sulcos de desgaste.



Figura 21 – Gráfico da rugosidade do rebolo de porcelana, após sua retificação.



## **5 - Resultados**

---



## **5 - Resultados**

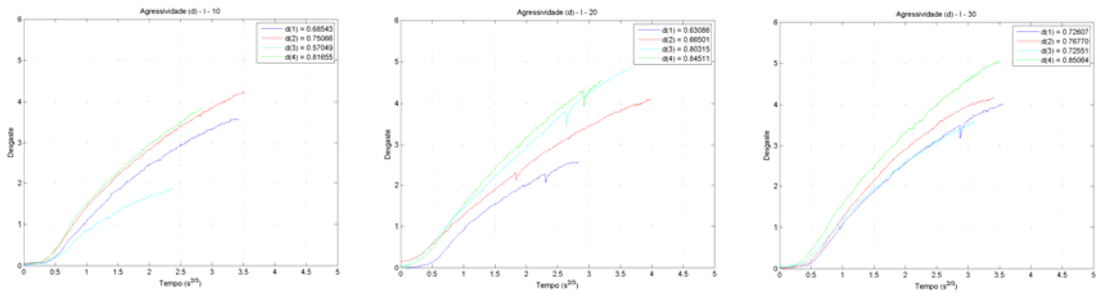
---

Os gráficos originais relativos a cada grupo de ensaios encontram-se a seguir, na figura 21, na qual as cores das resinas (Incisal, B1, B3 e C4) estão ordenadas de cima para baixo, seguidas pelo PMMA. Ainda em relação às cores, os gráficos estão ordenados pelos tempos de polimerização (10, 20 e 30 s), da esquerda para a direita do leitor.

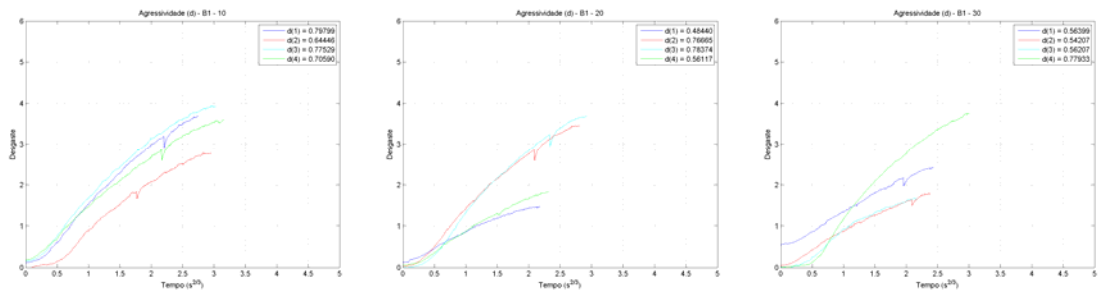
Esta apresentação de gráficos facilita o entendimento global dos resultados, o qual é complementado através da análise dos dados numéricos.

A seguir, na tabela 1, em relação às cores das resinas (polimerizadas pelos 3 diferentes tempos) e ao PMMA, estão apresentados os resultados do desgaste, expresso em milímetros cúbicos por newton segundo ( $\text{mm}^3/\text{N.s}$ ), dos 4 espécimes de cada um dos 13 grupos estudados, acrescidos da média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação, este último expresso em percentagem.

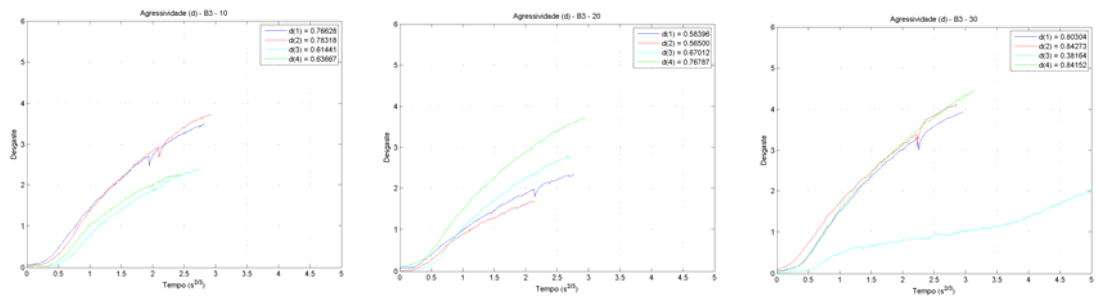
I (Incisal)



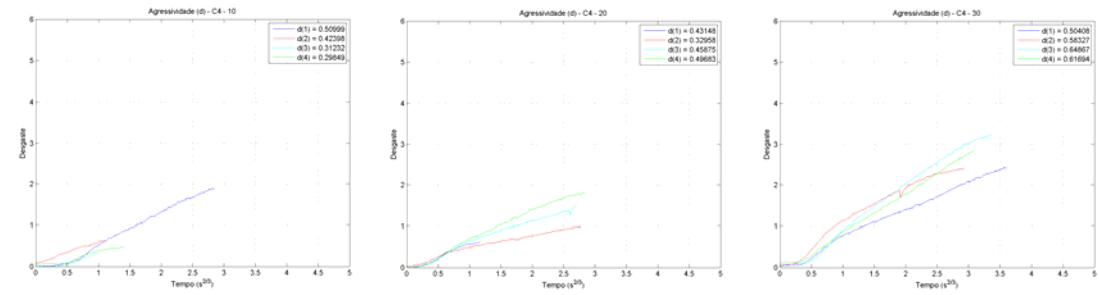
B1



B3



C4



PMMA

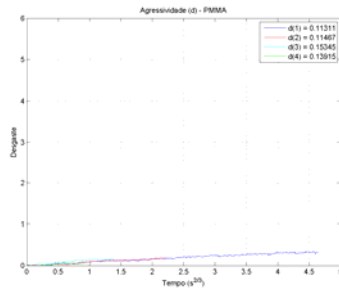


Gráfico 1 - Originais dos ensaios dos 13 grupos.

**Tabela 1 - Resultados do desgaste, expresso em milímetros cúbicos por newton segundo ( $\text{mm}^3/\text{N.s}$ ), dos 4 espécimes (cp) de cada um dos 13 grupos estudados, acrescidos da média (m), do desvio-padrão (dp) e do coeficiente de variação (cv), este expresso em porcentagem.**

<b>I</b> <b>(Incisal)</b>	<b>cp</b>	<b>Grupo 1 (I-10)</b>	<b>Grupo 2 (I-20)</b>	<b>Grupo 3 (I-30)</b>
	1	0,6854	0,6309	0,7261
	2	0,7507	0,6650	0,7677
	3	0,5705	0,8032	0,7255
	4	0,8166	0,8451	0,8506
	<b>m</b>	<b>0,7058</b>	<b>0,7360</b>	<b>0,7675</b>
	<b>dp</b>	<b>0,1049</b>	<b>0,1041</b>	<b>0,0589</b>
<b>cv</b>	<b>14,86</b>	<b>14,14</b>	<b>7,67</b>	
<b>B1</b>	<b>cp</b>	<b>Grupo 4 (BI-10)</b>	<b>Grupo 5 (BI-20)</b>	<b>Grupo 6 (BI-30)</b>
	1	0,7980	0,4844	0,5640
	2	0,6445	0,7667	0,5421
	3	0,7753	0,7837	0,5621
	4	0,7059	0,5612	0,7793
	<b>m</b>	<b>0,7309</b>	<b>0,6490</b>	<b>0,6119</b>
	<b>dp</b>	<b>0,0697</b>	<b>0,1492</b>	<b>0,1121</b>
<b>cv</b>	<b>9,53</b>	<b>22,99</b>	<b>18,32</b>	
<b>B3</b>	<b>cp</b>	<b>Grupo 7 (B3-10)</b>	<b>Grupo 8 (B3-20)</b>	<b>Grupo 9 (B3-30)</b>
	1	0,7663	0,5840	0,8030
	2	0,7832	0,5650	0,8427
	3	0,6144	0,6701	0,3816
	4	0,6367	0,7679	0,8415
	<b>m</b>	<b>0,7001</b>	<b>0,6467</b>	<b>0,7172</b>
	<b>dp</b>	<b>0,0869</b>	<b>0,0928</b>	<b>0,2245</b>
<b>cv</b>	<b>12,41</b>	<b>14,35</b>	<b>31,30</b>	
<b>C4</b>	<b>cp</b>	<b>Grupo 10 (C4-10)</b>	<b>Grupo 11 (C4-20)</b>	<b>Grupo 12 (C4-30)</b>
	1	0,5100	0,4315	0,5041
	2	0,4240	0,3296	0,5832
	3	0,3123	0,4588	0,6487
	4	0,2985	0,4968	0,6169
	<b>m</b>	<b>0,3862</b>	<b>0,4292</b>	<b>0,5882</b>
	<b>dp</b>	<b>0,0998</b>	<b>0,0716</b>	<b>0,0621</b>
<b>cv</b>	<b>25,85</b>	<b>16,68</b>	<b>10,56</b>	
<b>PMMA</b>	<b>cp</b>	<b>Grupo 13</b>		
	1	0,1131		
	2	0,1147		
	3	0,1535		
	4	0,1392		
	<b>m</b>	<b>0,1301</b>		
	<b>dp</b>	<b>0,0196</b>		
<b>cv</b>	<b>15,07</b>			

Havendo sido constatada a homogeneidade de variâncias dos grupos, pelo teste Bartlett ( $p = 0,164$ ), foi executada a Análise de Variância a um critério entre os 13 grupos ( $F = 11,47$ ;  $p < 0,001$ ) e aplicado o teste de Dunnet entre o controle (PMMA) e os demais grupos, o qual mostrou que aquele era significativamente diferente de todos os demais grupos, para  $p < 0,05$ . Isto significa que sua resistência à abrasão é a maior de todas.

Excluído o grupo do PMMA, foi efetuada a Análise de Variância a 2 critérios (cor e tempo), para comparação dos 12 demais grupos entre si, a qual apontou existir diferença estatisticamente significativa para o fator cor ( $F = 13,33$ ;  $p < 0,001$ ), mas não significativa para o tempo ( $F = 1,07$ ;  $p = 0,355$ ) e nem para a interação dos fatores ( $F = 1,49$ ;  $p = 0,210$ ).

Para comparação entre as cores, o teste de Tukey apresentou, para  $p < 0,05$ , os resultados mostrados na tabela 2, na qual, na última coluna, letras iguais mostram não haver diferença estatisticamente entre si. Assim, constatou-se que a resina de cor C4 foi a mais resistente de todas, enquanto as demais tiveram comportamento semelhante entre si.

**Tabela 2 - Resultado do teste de Tukey.**

<b>Cores</b>	<b>Média</b>	<b>Comparações</b>
<b>C4</b>	0,4679	<b>a</b>
<b>B1</b>	0,6639	<b>b</b>
<b>B3</b>	0,6880	<b>b</b>
<b>Incisal</b>	0,7364	<b>b</b>

## **6 - Discussão**

---





## 6 - Discussão

---

Neste tópico, após algumas considerações de aspectos gerais, será efetuada inicialmente uma discussão do método utilizado no presente trabalho, seguida por observações acerca dos resultados obtidos.

Entretanto, deve ser ressaltado que todo este método envolve o conhecimento dos conceitos básicos de desgaste e de rugosimetria, os quais são encontrados na literatura da área de Engenharia Mecânica, inclusive no livro de NOVASKI<sup>26</sup>, 1994, da apostila de CARPINETTI *et al.*<sup>10</sup>, 1996 e, por exemplo, do manual de instrução que acompanha o rugosímetro e programa computacional fabricados pela HOMMELWERKE GMBH<sup>20</sup>, 2000.

### 6.1 - de aspectos gerais

Já foi comentado que as resinas compostas atuais têm maior tempo clínico de vida, devido às várias melhorias apontadas. Para que atingisse seu desempenho máximo, o material deveria sofrer uma completa “polimerização”, ou seja, sua taxa de conversão deveria ser completa. Não é objetivo aqui discorrer minuciosamente sobre todos os fatores influentes nesse mecanismo e, inclusive, não serão tecidos comentários acerca das diferenças existentes entre monômero, pré-polímero e polímero. Entretanto, estes aspectos estão muito bem expostos, por exemplo, na dissertação de Mestrado de ALVIM<sup>03</sup>, 2005, na qual são desenvolvidos raciocínios que envolvem o mecanismo da polimerização, desde a ativação da canforoquinona.

A resistência ao desgaste abrasivo de uma resina composta é uma propriedade que depende de vários fatores, alguns relacionados ao processo de polimerização e outros à composição, como as características da partícula inorgânica, do polímero básico juntamente com seus modificadores, do agente que une as partículas com a matriz e inclusive dos pigmentos. Estes últimos, também denominados corantes, podem influir na opacidade do material, em graus variados, apesar de existirem outros componentes específicos para tanto, os opacificadores. Não foram encontrados estudos relacionando a cor da

resina à esse desgaste, em função do tempo de fotopolimerização. Ora, para a confecção das diferentes cores desse material, cada fabricante adiciona pigmentos variados, em diferentes quantidades, o que pode interferir nas propriedades finais do polímero, incluindo a resistência abrasiva. Esta é dependente do grau de conversão, o qual pode ser influenciado pelos pigmentos, caso eles venham a interferir na difusão da luz, através do material. Um insuficiente fornecimento de energia luminosa provavelmente promova polimerização inadequada, aumentando inclusive a taxa de desgaste abrasivo.

Quantias diferentes do material fotoiniciador provavelmente também exerçam influência não apenas na velocidade de polimerização, mas também no grau de conversão; convém lembrar que a existência de diferentes quantidades de canforoquinona, nas bisnagas das diferentes cores de uma mesma resina composta, foi constatada também, por ALVIM<sup>03</sup>, 2005.

A fonte luminosa dos atuais aparelhos fotopolimerizadores pode ser uma lâmpada de filamento incandescente (geralmente referida como halógena), um diodo emissor de luz (LED) ou um dispositivo a LASER<sup>4</sup>. Em cada um desses tipos de fontes, é diferente o espectro de luz. A luz emitida deve ter a capacidade de estimular adequadamente a substância fotoiniciadora, a qual nem sempre é a canforoquinona. Na maior parte dos casos, como é de conhecimento comum, o fabricante da resina composta não informa qual o fotoiniciador existente em seu produto, nem o fabricante do fotopolimerizador divulga informações sobre o espectro de luz emitido por seu aparelho. Ora, é necessário que o fotoiniciador seja adequadamente ativado pelo feixe de luz nele incidente. Como a maioria dessas informações é desconhecida pelos usuários, fica extremamente difícil avaliar se uma resina composta foi adequadamente polimerizada; por isto, existe um grande número de trabalhos científicos (dentre os quais pode ser citado o de RUEGGEBERG; CRAIG<sup>31</sup>, 1988, nos quais buscou-se, sem sucesso, descobrir se a taxa de conversão atingia níveis adequados. Devido à complexidade dos fatores influentes envolvidos, este aspecto confuso começa a ficar mais claro, por exemplo, com o trabalho de KURACHI<sup>23</sup>, 2000.

---

<sup>4</sup> A sigla LASER foi composta a partir da expressão "Light Amplified and Stimulated of Radio-Emission".

Entretanto, como é possível verificar o grau de “polimerização” (conversão) alcançado por uma resina composta, após uma operação de fotopolimerização? Este grau pode ser estabelecido de forma direta, através de exames laboratoriais (químicos e/ou físico-químicos) que são extremamente caros, por envolverem equipamentos e técnicas de alto custo. Dentre esses exames, pode ser citada a análise dinamo-mecânica (DMA), também denominada análise termo-dinamo-mecânica (DMTA), e espectroscopias de vários tipos, como por infravermelho ou de chama.

Os métodos indiretos mais utilizados envolvem mecanismos de desgaste abrasivo. Teoricamente, os mais adequados seriam aqueles onde existe a formação de cavacos (fragmentos removidos de um substrato), o que indica que realmente está ocorrendo abrasão, como acontece com o de dureza por riscamento e com o de escovação em máquina. Já a dureza por penetração de uma ponta não é indicador de desgaste abrasivo (para materiais heterogêneos, como a resina composta), pois leva em conta apenas a deformação plástica e não a formação de cavacos. Isto inclusive é apontado por ULHÔA *et al.*<sup>37</sup>, 2006, que afirma que utilizar os resultados de microdureza para justificar o desgaste abrasivo de resinas poliméricas dentárias não é um método eficaz, devido ao fato destes materiais serem bastante heterogêneos; observou que as medidas de microdureza não apresentaram diferenças estatisticamente significantes entre si, ao contrário do que ocorreu com o desgaste. Sob esse aspecto, HARRISON; DRAUGHN<sup>19</sup>, 1976, já haviam detectado não existir alto nível de correlação entre o desgaste abrasivo e a dureza por penetração de uma ponta, ao contrário do que é afirmado pela maioria dos pesquisadores. Adicionalmente, PEUTZFELDT; ASMUSSEN<sup>29</sup>, 2000, afirmaram que processos de complementação da polimerização já efetuada com luz, os quais fizeram aumentar o grau de conversão de duas resinas compostas, conduziram a um aumento de resistência ao desgaste de apenas uma delas.

Por todas as razões apontadas em relação ao grau de polimerização, deve ser questionada a informação fornecida pelo fabricante de que o tempo de fotopolimerização da resina composta Filtek Z250 é de 20 segundos para a maioria das cores, sendo, porém, de 30 segundos para as

outras, dentre as quais a C4. Isto é questionável, pois não existem estudos que cientificamente sirvam de suporte para esta afirmação.

O método do disco retificado, idealizado por COELHO<sup>11</sup>, 1991, para avaliar o desgaste abrasivo de aços, veio sendo aperfeiçoado por uma equipe de Professores da Faculdade de Engenharia de Bauru, da UNESP, e da Faculdade de Odontologia de Bauru, da USP, para analisar materiais odontológicos, inclusive resina composta. Com isto foram desenvolvidos vários trabalhos<sup>(05,08,09,15,32,33,34,38)</sup>, os quais consistiram em artigos publicados em diversas revistas periódicas de circulação nacional e internacional, apresentações em Congressos, todos eles envolvendo Iniciação Científica, Mestrado ou Doutorado. Este método está em fase final do processo de registro de patente<sup>07</sup>, financiado pela UNESP. Os bons resultados alcançados, desde que ele começou a ser assim utilizado, em 1995, é que conduziram à escolha de sua utilização no presente trabalho.

Outro problema, em qualquer estudo de resina composta, é a espessura da camada de material a ser fotopolimerizado. Na maioria dos trabalhos, ela é de cerca de 2 mm e o método utilizado para avaliar o grau de polimerização é o de dureza por penetração de uma ponta, cuja inadequacidade já foi comentada. Entretanto, inclusive no trabalho de RUEGGERBERG; CRAIG<sup>31</sup>, 1988, existem indícios de que esta espessura possa ser de até 4 mm.

## **6.2 - do método utilizado**

O emprego da retificadora tangencial plana aqui utilizada foi obrigatório para este método de ensaio de desgaste, por vários motivos. Esta máquina era constituída por uma base (a qual encontrava-se fixada no chão), por uma mesa e por sua porção superior, também denominada cabeçote. A mesa tinha características importantes: era suficientemente ampla para comportar o banco de ensaios, era eletro-magnetizável (assim possibilitando a necessária imobilização inicial do banco) e podia ser movimentada no sentido latero-lateral, o que possibilitava uma parte dos necessários ajustes da localização. O cabeçote, onde ficavam os rebolos de diamante ou de óxido de alumínio, também tinha importantes características: podia ser movimentado

nos sentidos vertical e antero-posterior, o que permitia o restante dos ajustes necessários. O fato da máquina ser robusta impedia que a vibração causada pelo funcionamento do motor interferisse negativamente no ensaio.

A prioridade do uso deste aparelho é dos Professores e alunos da Faculdade de Engenharia local, da UNESP, os quais desenvolvem muitas pesquisas, o que é um fator limitante para outras pessoas. O fato do Co-orientador deste trabalho fazer parte do corpo docente desta Instituição tornou possível sua utilização, porém existiram ainda muitas outras limitações. Era necessário que o operador da máquina fosse alguém de capacidade adequada e com permissão regulamentar, o que implicava, no mínimo, na ajuda de um estudante de Engenharia que estivesse no quarto ano do Curso de Graduação, o qual geralmente está sobrecarregado com suas atividades de aluno.

Antes do uso de um rebolo (diamantado ou de óxido de alumínio), é sempre necessário realizar seu balanceamento, seguido de uma retificação que recebe o nome especial de dressagem, operações que dispendem cerca de 4 horas cada. Isto não foi relatado no capítulo de Materiais e métodos, para não aumentar sua complexidade, mas são tarefas rotineiramente executadas nesta área da Engenharia.

Para cada ensaio, o alinhamento vertical do centro dos discos estático e dinâmico era feito manualmente, sob controle visual. Após terem sido utilizadas as 6 trilhas do disco dinâmico, era necessária sua nova retificação; esta somente era possível devido ao fato de sua relação espacial com o rebolo diamantado manter-se inalterada; a necessária movimentação do cabeçote da máquina implicava na remoção do sistema cursor e de sua remontagem no banco, para nova série de 6 ensaios.

No presente trabalho, tudo indica que o método está adequado para verificar as taxas de desgaste abrasivo nas diferentes condições estudadas, mesmo supondo que os espécimes não tenham atingido sua taxa de polimerização máxima.

### 6.3 - dos resultados obtidos

O PMMA apresentou maior resistência que a resina composta. Nela, este polímero está presente (na forma de resina epoxi-acrílica), porém junto a vários outros materiais poliméricos que atuam como diluentes, assim compondo a matriz (parte orgânica). Por esta razão, a resina é menos resistente, apesar da incorporação da carga (parte inorgânica). Na presente pesquisa, utilizou-se pela primeira vez, o padrão de referência constituído de PMMA, o qual é indicado pela ISO<sup>21</sup>, 1999, porém para ensaios de escovação.

Ficou patente que a taxa de desgaste sofreu influência da cor da resina, mas não do tempo de polimerização, não tendo existido interação destes dois fatores. Assim, ficou claro que, enquanto as demais cores de resina apresentaram resistência semelhante entre si, a C4 apresentou-se como a mais forte. Foi curioso constatar que, contrariamente ao que é indicado pelo fabricante, esta sofreu, já com o tempo de 10 segundos, polimerização semelhante aos demais tempos.

Ao analisar os coeficientes de variação dos 12 grupos de resina composta, encontrados na tabela 1, pode ser observado que o menor e o maior desses valores, respectivamente, foram 7,67 e 14,86 para a “cor” Incisal, 9,53 e 22,99 para a cor B1, 12,41 e 31,30 para a cor B3 e 10,56 e 25,85 para a cor C4. Pode-se notar que o menor valor aconteceu para a Incisal e o maior para a B3. Isto permite concluir que este material apresenta um comportamento bastante variável, em função de sua heterogeneidade, mesmo dentro de uma única bisnaga.

Os resultados do presente trabalho poderiam sofrer comparações apenas com outros onde tivessem existido as mesmas condições de método e isso não aconteceu com os vários efetuados com esse sistema<sup>05,08,09,13,15,32,33,34,37,38</sup>.

## ***7 - Conclusões***

---





## **7 - Conclusões**

---

Os resultados detectados, nas condições do presente trabalho, após o tratamento estatístico, permitiram concluir que:

1- a resistência ao desgaste abrasivo do PMMA foi maior que qualquer espécime de resina composta.

2 - dentre as 4 cores analisadas, a C4 sempre obteve o maior índice de resistência, independentemente do tempo de fotopolimerização.

3 - todas as demais cores apresentaram comportamento semelhante entre si.



***Referências bibliográficas***

---



## **Referências bibliográficas**

---

01. American Dental Association. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. Posterior composite resins. J Amer Dent Assoc. 1986 May;112(5):707-9.
02. American Dental Association. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. Obstacles to the development of a standard for posterior composite resins. J Amer Dent Assoc. 1989 May;118(5):649-51.
03. Alvim HH. Análise dos fotoiniciadores presentes em resinas compostas em função da cor [dissertação]. Araraquara (SP): Faculdade de Odontologia de Araraquara, Universidade Estadual Paulista; 2005.
04. Bianchi ARR. Desgaste abrasivo (pelo ensaio do disco retificado) de 19 resinas compostas disponíveis no mercado odontológico brasileiro [tese]. Bauru (SP): Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 2002.
05. Bianchi ARR, Freitas CA, Bianchi EC, Dias ACP. Uma contribuição à avaliação do desgaste abrasivo de resinas compostas. In: Anais do III Fórum Nacional de Ciência e Tecnologia em Saúde, XV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, VI Congresso Brasileiro de Físicos em Medicina, V Congresso Brasileiro de Informática em Saúde e Encontro Brasileiro de Proteção Radiológica; 1996 outubro 13-17; Campos do Jordão, SP. 1996. p 79-80.
06. Bianchi EC, Aguiar PR, Poggi MR, Salgado MH, Freitas CA, Bianchi ARR. Estudo do desgaste abrasivo das resinas compostas disponíveis no mercado brasileiro. Mat Res. 2003 Apr/Jun;6(2):255-64.
07. Bianchi EC, Freitas CA, Bianchi ARR, Silva EJ, Xavier AP, inventores; Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, depositante. Processo e equipamento de determinação de desgaste de resinas compostas. Brasil patente PI0004397-4. 2000 maio 10.
08. Bianchi EC, Silva EJ, Monici RD, Freitas CA, Bianchi ARR. Development of new standard procedures for the evaluation of dental composite abrasive wear. Wear. 2002 Sep;253(5):533-40.
09. Bianchi EC, Silva EJ, Xavier AP, Freitas CA, Bianchi ARR. Proposta para o desenvolvimento de um padrão para a avaliação do desgaste abrasivo de resinas compostas. In: Anais da Associação Brasileira de Ciências Mecânicas; 2000 ago 07 a 11; Natal, RN. 2000. 08 páginas em CD [apresentado no Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM) 2000].
10. Carpinetti LCR, Gonçalves Filho EV, Porto AJV, Jasinevicius RG. Rugosidade superficial - conceitos e princípios de medição. São Carlos: Seção de Publicações da Escola de Engenharia de São Carlos - USP; 1996 (Apostila do Departamento de Engenharia Mecânica).

11. Coelho RT. Estudo experimental da propriedade de dressagem de rebolos na retificação de precisão usando o método do disco retificado [dissertação]. São Carlos (SP): Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; 1991.
12. Condon JR, Ferracane JL. *In vitro* wear of composite with varied cure, filler level, and filler treatment. J Dent Res. 1997 Jan;76(7):1405-11.
13. Cruz CED, Santana LRS, Bianchi EC, Uihôa MPM, Catai RE, Freitas CA, *et al.* Comparação da resistência abrasiva de resinas compostas quando fotopolimerizadas a diferentes tempos com aparelhos de lâmpada incandescente e de LED. In: Anais do 3º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF); 2005; Joinville, SC. em CD [apresentado no 3º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF) 2005].
14. De Gee AJ, Pallav P, Davidson CL. Effect of abrasion medium on wear of stress-bearing composites and amalgam *in vitro*. J Dent Res. 1986 May;65(5):654-8.
15. Dias ACP. Estudo e desenvolvimento de um método e um banco de ensaios para a avaliação do desempenho de resinas para restaurações odontológicas, assistido por computador [monografia]. Bauru (SP): Faculdade de Engenharia e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista; 1995.
16. Dickson G. Physical and Chemical Properties and Wear. J Dent Res. 1979;58(5):1535-43.
17. Ferracane JL. Is the wear of dental composites still a clinical concern? Is there still a need for *in vitro* wear simulating devices? Dent Mater. 2006;22:689-92.
18. França TV, Bianchi EC, Aguiar PR, Füsse RY, Catai RE, Freitas CA. Avaliação do desgaste abrasivo causado pelas cerâmicas Duceram e Vita em resinas compostas pelo método do disco retificado. Rev Ceramica 2004;50:166-71.
19. Harrison A, Draughn RA. Abrasive wear, tensile strength, and hardness of dental composite resins - Is there a relationship?. J Prosthet Dent. 1976 Oct;36(4):395-8.
20. Hommelwerke GmbH Instruction Manual Hommel Tester T1000. Schwenninger, 2000.
21. International Organization for Standardization. Dental materials - Guidance on testing of wear resistance. Part 1: Wear by tooth brushing. Technical Specification ISO/TS 14569-1. Switzerland; 1999.
22. Lambrechts P, Debels E, Landuyt K, Peumans M, Meerbeek B. How to simulate wear? Overview of existing methods. Dent Mater. 2006;22:693-701.

23. Kurachi C. Estudo comparativo do LASER, do LED azul e da lâmpada convencional no processo de polimerização da resina composta dental [dissertação]. São Carlos (SP): Instituto de Física, Universidade de São Paulo; 2000.
24. Matsumura H, Leinfelder KF. Three-body wear of four types of light-activated composite resin veneering materials. *Quintessence Int.* 1994 Jun;25(6):425-30.
25. Momoi Y, Hirosaki K, Kohno A, McCabe JF. *In vitro* toothbrush-dentifrice abrasion of resin-modified glass ionomers. *Dent Mater.* 1997 Mar;13(2):82-8.
26. Novaski O. Introdução à Engenharia de Fabricação Mecânica. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda.; 1994.
27. O'Brien WJ, Yee J. Microstructure of posterior restorations of composite resin after clinical wear. *Oper Dent.* 1980 May/Jun;5(3):90-4.
28. Pallav P, Davidson CL, De Gee AJ. Wear rates of composites, an amalgam, and enamel under stress-bearing conditions. *J Prosthet Dent.* 1988 Apr;59(4):426-9.
29. Peutzfeldt A, Asmussen E. The effect of postcuring on quantity of remaining double bonds, mechanical properties, and *in vitro* wear of two resin composites. *J Dent.* 2000;28:447-52.
30. Phillips RW, Avery DR, Mehra R, Swartz ML, McCune RJ. One-year observations on a composite resin for class II restorations. *J Prosthet Dent.* 1971;26(68):77.
31. Rueggeberg FA, Craig RG. Correlation of parameters used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res.* 1988 Jun;67(6):932-7.
32. Salgado IO. Aperfeiçoamento do método do disco retificado, já adaptado para a Odontologia, e seu emprego na avaliação do desgaste abrasivo de 3 resinas compostas [tese]. Bauru (SP): Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 1996.
33. Salgado IO, Freitas CA, Bianchi EC. Aperfeiçoamento do método do disco retificado, já adaptado para a Odontologia, e seu emprego na avaliação do desgaste abrasivo de 3 resinas compostas. *Rev Odontol Univ Sao Paulo.* 1997 jul/dez;5(3/4):21-9.
34. Santana LRS, Cruz CED, Catai RE, Bianchi EC, Uihôa MPM, Freitas CA, *et al.* Estudo da influência da exposição de resinas compostas sob diferentes tempos de fotopolimerização por LED (Diodo Emissor de Luz). *Rev Materia.* 2005 jun;10(2):290-7.

35. Satou N, Khan AM, Satou K, Satou J, Shintani H, Wakasa K *et al.* *In-vitro* and *in-vivo* wear profile of composite resins. *J Oral Rehabil.* 1992 Jan;19(1):31-7.
36. Taylor DF, Bayne SC, Sturdevant JR, Wilder AD. Correlation of M-L, Leinfelder and USPHS clinical evaluation techniques for wear. *Dent Mater.* 1990 Jul;6(3):151-3.
37. Ulhôa MPM. Desgaste abrasivo e dureza de seis resinas compostas expostas a diferentes tempos de fotopolimerização com aparelhos de LED e Lâmpada Incandescente [dissertação]. Bauru (SP): Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual Paulista; 2006.
38. Ulhôa MPM, Santana LRS, Bianchi EC, Cruz CED, Freitas CA, Freitas MFA, *et al.* Comparação da influência entre tempos de polimerização em resinas compostas polimerizadas com LED e luz incandescente. In: *Anais da Associação Brasileira de Ciências Mecânicas*; 2006 ago 22 a 25; Recife, PE. 2006. em CD p. 1-9 [apresentado no IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM) 2006].
39. Yap AUJ, Theo SH, Hastings GW, Lo CS. Comparative wear ranking of dental restorative materials utilizing different wear simulation modes. *J Oral Rehabil.* 1997;24:574-80.
40. Wang W, DiBenedetto AT, Goldberg AJ. Abrasive wear testing of dental restorative materials. *Wear* 1998 Sep;219(2):213-9.
41. Wassell RW, McCabe JF, Walls AWG. A two-body frictional wear test. *J Dent Res.* 1994 Sep;73(9):1546-53.



***Abstract***

---



## ***Abstract***

---

Abrasive wear of Filtek Z250 composite resin (4 different colors, light-cured by 3 different times) through the retified disc method.

The aim at this study was estimate the influence of light-curing time variation of different colors (I, B1, B3 and C4) of composite resin (Filtek™ Z250, 3M ESPE), upon abrasive wear through the retified disc method. The porcelain existent in the named dynamic disc promoted a wear of each resin specimen located in the polimethylmetacrylate (PMMA) static disc, under a standardized charge and with controlled velocity. Vertical displacement of static disc was detected by a sensor that send data to a computer where wear arquives were plotted in function of time. After data statistical analysis, it could be concluded that: 1) PMMA resistance was greater than anyone of resins and 2) C4 was more resistant than all the other colors.

Keywords: Composite Resins, Dental Restoration Wear.