UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE BAURU

MÁRCIA FURTADO ANTUNES DE FREITAS

**Desgaste abrasivo de uma resina composta, através de três
diferentes métodos (disco retificado, escovação e nanodurômetro)**

BAURU
2011

MÁRCIA FURTADO ANTUNES DE FREITAS

Desgaste abrasivo de uma resina composta, através de três diferentes métodos (disco retificado, escovação e nanodurômetro)

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru, da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências no Programa de Ciências Odontológicas Aplicadas, na área de concentração Dentística, opção Materiais Dentários.

Orientador: Prof. Dr. José Mondelli

BAURU

2011

Freitas, Márcia Furtado Antunes de

F884d Desgaste abrasivo de uma resina composta, através
de três diferentes métodos (disco retificado, escovação
e nanodurômetro) / Márcia Furtado Antunes de Freitas. -
Bauru, 2011.
97p.: 37il.; 31cm.

Tese (Doutorado) - Faculdade de Odontologia de Bauru.
Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. José Mondelli.

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

Assinatura: _____

Bauru, ____ de _____ de 2011.

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.
- 2007 - 2011. 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 Doutorado.
2009. Programa de Mobilidade Internacional (USP/SANTANDER), na *Facultad de Odontología*, da *Universidad de Granada* (Espanha).

“A nossa maior glória não reside no fato de nunca cairmos, mas sim em levantarmos sempre depois de cada queda”.

Confúcio

Dedicatória

Aos meus pais César e Deolinda, por todo amor, educação, apoio e confiança de sempre. Palavras aqui são desnecessárias. Levo comigo seus exemplos de honestidade e sabedoria. Muito obrigada por tudo que tenho em minha vida. Amo vocês.

Aos meus queridos irmãos e amigos, Fernando e Vitor. Não importa onde estivermos, tenho vocês sempre no meu coração. Agradeço e sou muito feliz por tudo que dividimos até hoje. Amo vocês.

Agradecimentos

Ao meu **orientador** Prof. Dr. José Mondelli, por toda confiança em mim depositada desde o princípio deste trabalho. Obrigada pelo apoio e ajuda sempre que necessários. É uma honra ter a amizade do senhor em nossa família.

Ao meu co-**orientador** Prof. Dr. César Antunes de Freitas, por querer fazer o melhor possível por mim e por este trabalho. Foram muitos obstáculos, porém sempre contornados com tua sabedoria e paciência para me ensinar uma vez mais. Levo comigo teu exemplo de docente e grande pesquisador. Muito obrigada por tudo.

Aos Profs. Drs. da Disciplina de Materiais Dentários, Paulo Amarante de Araújo, Paulo Afonso Silveira Francisconi e Ana Flávia Sanches Borges, pela amizade e pelos ensinamentos.

À minha amiga de colégio, Mestrado, Doutorado e de vida, Fabiane Lopes Toledo. Obrigada por tua amizade, força, companheirismo, compreensão em todos os momentos e por compartilhar comigo essa família linda. Meu carinho ao Ri, Ana Laura e Cauê.

À Cris e Marcela, pela amizade construída durante esses anos de feliz convivência, pelas aulas, clínicas, seminários, pelos sufocos e risadas.

À querida secretária Sandrinha, pela amizade, conversas, profissionalismo e toda ajuda de sempre.

Ao Alcides e Lourisvalda, meu carinho e agradecimento por todo apoio que sempre tive quando necessitei e pela amizade de vocês.

Aos Profs. Drs. da Disciplina de Dentística, José Carlos Pereira, Carlos Eduardo Francischone, Eduardo Batista Franco, Maria Teresa Atta, Rafael Francisco Lia Mondelli, Linda Wang e Sérgio Kiyoshi Ishikiriama, pelos ensinamentos durante o curso.

À Rita Capossi, Angela, Beth Cariani e Elízio, por todo esforço que fizeram para me ajudar e pelo carinho com que sempre me trataram. Muito obrigada.

Ao Nelson e Zuleica, obrigada pela agradável convivência e por toda ajuda.

Ao Renato Pereira Murback, do Centro Integrado de Pesquisas I (CIP I), da FOB/USP, pelo grande auxílio prestado, inclusive com a regulação da máquina de escovação. Parabéns pelo teu profissionalismo e competência.

Ao Edmauro, da Disciplina de Endodontia, por toda gentileza e grande ajuda prestada.

Aos funcionários da clínica da Pós-graduação, Eduardo Covolan, Cleusinha e Hebe, pela agradável convivência, por terem sido sempre tão prestativos e gentis comigo.

À Margareth Mokarzel, Letícia Momesso, Fátima Cassador, Teca e Leila, da Secretaria de Pós-Graduação, por toda a ajuda necessária para eu cumprir uma parte muito importante da minha vida.

À Carol Trentino, pela simpatia, atenção e ajuda com o rugosímetro.

Ao Prof. Dr. José Roberto Lauris, por sempre realizar e colaborar na análise estatística, não só nesse, mas em todos os nossos trabalhos.

À Faculdade de Odontologia de Bauru/USP, na pessoa de seu Diretor Prof. Dr. José Carlos Pereira e a todos os seus funcionários.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa de estudos a mim concedida, no período de agosto de 2007 a agosto de 2011.

Ao Banco Santander S/A, pela bolsa de estudos a mim concedida, através do Programa de Bolsas de Mobilidade Internacional do Santander - USP, durante meu estágio na *Facultad de Odontología, Universidad de Granada (UGR)* - Espanha.

À *Facultad de Odontología, Universidad de Granada (UGR)*, Espanha, na pessoa de sua Diretora, Prof^a. Dr^a. Pilar Baca García, *Catedrática de Odontología Preventiva y Comunitaria*, do *Departamento de Estomatología* da UGR e a todos os seus funcionários. Dr^a Pilar, muito obrigada pela disposição em me acolher, ajudar, ensinar e orientar.

Às Prof^{as}. Dr^{as}. do *Departamento de Estomatología*, da UGR, Carmen María Ferrer-Luque e María Paloma González-Rodríguez. Obrigada por me receberem tão bem e por sempre me ajudarem.

Aos Profs. Drs. do *Departamento de Estomatología*, da UGR, Manuel Toledano Pérez, Raquel Osorio Ruiz e Fátima Sánchez Aguilera, pelo cordial recebimento, ajuda, ensinamentos e confiança no empréstimo dos aparelhos.

Ao Prof. Dr. Ismael Ángel Rodríguez, do *Departamento de Histología*, da UGR (Espanha) e da *Facultad de Odontología*, da *Universidad Nacional de Córdoba* (Argentina), pela amizade e por ter aceitado tão prontamente o convite para fazer parte da banca examinadora deste trabalho, o que para mim é uma grande honra.

À María Francisca Castillo Pérez (minha querida Paqui), do *Laboratorio de Microbiología*, da UGR, por ter me adotado, me ensinado o máximo que podia sobre laboratório e espanhol, pelas conversas de vida, por conduzir tão impecavelmente teu trabalho, pela dedicação e teu carinho comigo. Te levo para sempre como minha amiga e “grande madre”.

À Yudi Gómez Villaescusa, do *Laboratorio de Investigación*, da UGR, pelas “portas abertas” do laboratório, por teus ensinamentos, ajuda, convivência, amizade e caronas. Sou muito grata a você.

Ao Sr. Antonio Álvarez Quesada (*Conserjería*), da *Facultad de Odontología*, da *UGR*, responsável pelos materiais. Muito obrigada pelo pronto atendimento de sempre, educação e cordialidade ímpar.

Aos amigos da Biblioteca, do *Campus de Cartuja*, da *UGR*, Encarni Garrido Maldonado, José Lopes Porras e a todos os outros, pela alegre convivência e por todos os nossos cafezinhos nesse “nosso” lugar tão especial, lindo e acolhedor. Obrigada por fazer parte desse grupo que tanto me ensinou.

À María Teresa Arias-Moliz, pós-graduanda e integrante da equipe de pesquisas da Dr^a. Pilar Baca García, do *Departamento de Estomatología* da *UGR*, por toda ajuda e convivência durante as pesquisas.

Às amigas Melaine Lawall e Ticiane Fagundes, que além de precursoras do intercâmbio através do Programa de Mobilidade Internacional do Santander - USP, foram essenciais, me dando todo o apoio e incentivos iniciais necessários para a realização dessa etapa tão importante na minha vida. Muito obrigada.

Ao Prof. Dr. Rogério Fulgêncio. Sou muito grata a você, pela ajuda num momento crucial. Pessoa de bom coração. Alguns gestos são levados para toda uma vida. Um dia ainda te agradeço pessoalmente, mas deixo aqui meu muito obrigada.

Aos meus amigos de “Granada”. Não tenho palavras pra agradecer a cada um de vocês por me receberem em tuas casas, pela amizade eterna, carinho, irmandade, dias e momentos maravilhosos compartilhados, estudos, viagens, experiências, desabafos, apoio mútuo e a alegria de só quem fez parte dessa época para saber. Muito obrigada de coração e os levo para sempre dentro do meu: Érika Navarro, Gonzalo Adame, Carolina Jimenez, Oscar Pecho, Caro Torres Rodríguez, Ana Celeste Ximenes, Andrea de Huertos, Iana Katz, Athina Kalogridis, Mônica Yamauti, Juancho, Ana Maria, Razvan, Dr^a. María del Mar e família, Alejandra, Luisa...

A todas as pessoas da Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, pelos ensinamentos e apoio neste trabalho. Aos Profs. Drs. Eduardo Carlos Bianchi e Paulo Aguiar, por toda a atenção. Aos Engenheiros Rubens Chinali Canarim, por toda a ajuda durante esses meses de ensaios, nas interpretações dos resultados, confecção dos gráficos e pela agradável convivência, e ao Bruno Milhoci de Souza, pela ajuda com os gráficos e no dia-a-dia de nosso trabalho. Ao técnico e Mestre Amilton, tua colaboração foi grandiosa. Muito obrigada.

Ao Profs. Drs. Nilson Cristino da Cruz e Elidiane Cipriano Rangel, do Laboratório de Plasmas Tecnológicos, do Curso de Engenharia de Controle e Automação, da UNESP - *Campus* de Sorocaba, pela ajuda com os ensaios e análises com o nanodurômetro. Obrigada pela oportunidade e disponibilidade.

Ao Sr. Walter Aparecido Mariano, técnico especializado do Laboratório de Cerâmica, do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), pela confecção dos rebolos de porcelana utilizados neste trabalho.

Ao Luis Fernando Aiello, técnico do Setor de Ótica, do Instituto de Física, da USP de São Carlos, pela confecção precisa dos furos nos rebolos de porcelana.

“Depois de algum tempo você aprende que verdadeiras amizades continuam a crescer mesmo a longas distâncias...” e “o que importa não é o que você tem na vida, mas quem você tem na vida...”. Aos meus amigos irmãos Raquel (+ 1), Aldrey, Lili, Henrique e Miguel. Obrigada por todo apoio, carinho e amizade que tive e tenho sempre de vocês. Moram no meu coração.

À Ritinha, minha amiga de todas as horas, obrigada por compartilhar comigo momentos tão importantes. Faltou você aqui, mas é por uma feliz e grande razão. Você está presente em mais essa conquista. Obrigada pela torcida de sempre e por tudo que faz por mim.

Às minhas amigas de sempre, Valeska, Andressa e Dedeca, que mesmo quando estamos muito longe, estão sempre presentes na minha vida.

À Tati, Silvio, Fe e Guigui, por termos preservado essa grande amizade e por todo o carinho que temos entre nós.

À Claudinha, André, Mari, Ademir, D. Ana, Sr. Izídio, tio Alberto e D. Silvia, pela amizade e ótimos momentos.

Aos meus tios Marisa e José Alberto, que além de estarem sempre presentes, me auxiliaram muito num importante momento da minha vida. Muito obrigada por me acolherem como uma filha, por toda ajuda, correria, torcida, carinho e atenção. Vocês são muito especiais.

Aos meus queridos tios Ção, Céu, Lúdia, Antonio, Carlos, Zé, Adilson, Silvio, Lena, Chris, Meire, Sergio, Cleide e Sinhana, e a todos os primos, por sempre estarem por perto e torcerem muito por mim.

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

Sumário

Resumo

Abstract

1 - Introdução	19
2 - Revisão de literatura	23
3 - Proposição	39
4 - Materiais e métodos	43
5 - Resultados	65
6 - Discussão	71
6.1 - dos aspectos gerais	71
6.2 - dos métodos utilizados	75
6.3 - dos resultados obtidos	76
7 - Conclusões	81
Referências	85
Apêndice	

Resumo

Neste estudo, foi avaliada a resistência ao desgaste abrasivo de uma resina composta, através de três diferentes métodos: do disco retificado, por escovação e do nanodurômetro. Nos dois primeiros métodos, foram utilizados 20 espécimes da resina Filtek Z250 (10 da cor Incisal e 10 da cor C4, ambos fotopolimerizados por 30 segundos cada) e 10 de polimetilmetacrilato (PMMA), atuando estes últimos como padrão de referência. Para os ensaios com o nanodurômetro, foi utilizado apenas um espécime de cada cor, assim como um único de PMMA, em cujas superfícies planas foram efetuadas sete medições, o que foi considerado equivalente a sete espécimes. No método do disco retificado, cada espécime de resina composta era confeccionado diretamente numa cavidade semicircular, localizada na periferia de um disco-suporte; os espécimes de PMMA consistiam em discos constituídos exclusivamente por este material; o desgaste de cada espécime era promovido por um disco de porcelana e seu conseqüente deslocamento era detectado por um palpador; assim, a taxa de desgaste era estabelecida, expressa em milímetros cúbicos por newton por segundo ($\text{mm}^3/\text{N.s}$). No método de escovação, cada espécime cilíndrico ficava preso numa placa metálica, a qual era fixada no interior da máquina de escovação; sua perda de massa (em miligramas) era verificada através de uma balança analítica. No método do nanodurômetro, existiu apenas um espécime cilíndrico para cada condição, em cuja face plana superior eram feitos sete sulcos (equivalentes a sete espécimes); o coeficiente de atrito permitia estabelecer a respectiva resistência ao desgaste. Para cada método utilizado, os dados foram tratados estatisticamente, através de análise de variância (ANOVA) e de teste de Tukey. Pôde-se concluir que, através do disco retificado, a taxa de desgaste (em $\text{mm}^3/\text{N.s}$) dos materiais foi: Incisal (0,6807) > C4 (0,5012) > PMMA (0,1439); que, através da escovação, a taxa de desgaste (em mg) foi de 5,40 para Incisal, de 9,35 para C4 e de 5,88 para PMMA, sem diferença significativa apenas entre Incisal e PMMA, os mais resistentes; e que, através do nanodurômetro, a resistência ao desgaste abrasivo (expressa pelo coeficiente de atrito) foi de 0,207 para Incisal, de 0,214 para C4 e de 0,281 para PMMA, sem diferença significativa agora apenas entre Incisal e C4, os menos resistentes.

Palavras-chave: Resinas Compostas. Desgaste de Restauração Dentária. Desgaste Abrasivo. Sistema do Disco Retificado. Escovação Dentária. Dureza.

Abstract

Abrasive wear of a composite resin, using three different methods (ground disc, toothbrushing and nanodurometer).

The aim at this study was to evaluate the resistance to abrasive wear of a composite resin, using three different methods: ground disc, toothbrushing and nanodurometer. At the first two methods were employed 20 specimens of Filtek Z250 composite resin (10 of Incisal and 10 of C4, both the colors cured for 30 seconds each one) and 10 of polymethylmethacrylate (PMMA), the latter acting as a reference standard. For the tests with the nanodurometer it was used only one specimen of each color, as well as just one of PMMA, in whose flat surfaces seven measurements were made, what was considered equivalent to seven specimens. At the ground disc method, each composite resin specimen was directly made on a semicircular cavity located on the periphery of a supporting disc; PMMA specimens consisted of discs made up exclusively with this material; the wear of each specimen was promoted by a ceramic disc and its consequent displacement was detected by a sensor; thus, the wear rate was established, expressed in cubic millimeters per newton per second ($\text{mm}^3/\text{N.s}$). At the toothbrushing method, each cylindrical specimen was trapped in a metal plate, which was fixed inside the machine brushing; its weight loss (in milligrams) was verified by an analytical balance. At the nanodurometer method, there was only one cylindrical specimen for each condition, in whose flat upper face seven grooves were made (what was equivalent to seven specimens); the coefficient of friction was used to establish its wear resistance. For each method, data were statistically analyzed by ANOVA and Tukey's test. It could be concluded that, by ground disc method, materials wear rate (in $\text{mm}^3/\text{N.s}$) was Incisal (0.6807) > C4 (0.5012) > PMMA (0.1439); by brushing method, materials wear rate (in mg) was 5.40 for Incisal, 9.35 for C4 and 5.88 for PMMA, without significant difference only between Incisal and PMMA (the toughest); by nanodurometer method, abrasive wear resistance (expressed by the coefficient of friction) was 0.207 for Incisal, 0.214 for C4 and 0.281 for PMMA, now without significant difference just between Incisal and C4, the least resistant.

Key-words: Composite Resins. Dental Restoration Wear. Abrasive Wear. Ground Disc Method. Toothbrushing. Hardness.

1 Introdução

Devido à alta taxa de desgaste, as restaurações dentárias confeccionadas com as primeiras resinas compostas necessitavam ser substituídas após curtos períodos de função clínica. Atualmente, seu desgaste abrasivo é muito menor e sua substituição somente se torna necessária após períodos maiores de tempo.

Para obter-se essa melhoria em relação à resistência, muitos estudos foram realizados, observando-se vários aspectos relacionados ao grau de conversão, ao grau de polimerização, ao tamanho e à forma das partículas inorgânicas, aos agentes de união, entre outros. Todos esses fatores estão ligados aos polímeros constituintes da resina composta, desde o monômero básico (mais comumente a resina epóxica/acrílica) até os demais co-monômeros.

Cientificamente, conversão e polimerização são fenômenos distintos; entretanto, é comum os pesquisadores usarem a expressão de que o material está bem “polimerizado”, quando querem indicar que sua resistência é alta, em termos gerais.

Devido ao grande número de fatores envolvidos, ainda continua-se a pesquisar sobre esse tema. Para citar apenas um exemplo, o grau de influência que a cor da resina composta exerce sobre a fotopolimerização não está claramente estabelecido; além da influência do próprio pigmento envolvido no caso, há também sua somatória com a de outros fatores como sua concentração, o tipo de luz polimerizadora, o tempo e a forma da fotopolimerização (contínua ou pulsada), juntamente com a potência do aparelho, para citar apenas alguns.

Assim, é almejado que a resistência final do material seja a maior possível, sob todos os aspectos, inclusive em relação ao desgaste abrasivo.

Para que a análise desse complexo mecanismo ficasse completa, seria necessário que todas as resinas existentes fossem analisadas, com todos os diferentes aparelho fotopolimerizadores, em diferentes tempos e formas de fotopolimerização, em relação a diversos tipos de resistência.

Normalmente, o tempo de fotopolimerização é estabelecido pelo fabricante, o qual não esclarece em quais trabalhos de pesquisa se apoiou para fixar

o tempo de fotopolimerização por ele sugerido; inclusive ele não informa qual o tipo de luz que pode e/ou deve ser utilizado.

Seria também interessante pesquisar se resinas de cores diferentes, de um mesmo fabricante, fotopolimerizadas sob as mesmas condições, apresentam taxa de desgaste similar, quando analisadas através de diferentes sistemas (métodos) de avaliação de desgaste abrasivo.

Outro fator influente na fotopolimerização é o tipo e a quantia de fotoiniciador; a canforoquinona parece ser a substância fotossensível mais utilizada pelo fabricantes de resina composta; entretanto, existem outros, dos quais podem ser citados a butanodiona (BD), a fenilpropanodiona (PPD), o óxido mono-aquil-fosfínico (MAPO, também denominado Lucirin TPO) e o óxido bis-aquil fosfínico (BAPO).

Esse mecanismo iniciado por luz tem sido denominado por vários termos diferentes, tais como fotoativação (direta da substância fotossensível e indireta da resina), fotopolimerização, fotossensibilização ou, ainda, simplesmente polimerização.

Ao se avaliar qualquer resistência mecânica de uma resina composta, deveria existir a certeza de que ela estivesse adequadamente polimerizada, situação difícil de se obter com um alto grau de certeza.

Para se prever a resistência abrasiva de um material, tem sido muito utilizado sistemas de avaliação da dureza. Ora, a dureza é um tipo de resistência que pode ser avaliada tanto através da penetração de uma ponta (o que informa unicamente a plasticidade), como através de riscamento; apenas este segundo é um bom indicador da resistência oferecida por um material ao desgaste abrasivo, pois nele existe a formação de cavacos, ou seja, a remoção de material.

Dentre vários sistemas empregados para avaliar a resistência ao desgaste abrasivo de um material qualquer, poderia ser usada uma máquina de escovação, o método do disco retificado, o nanodurômetro, ou ainda os sistemas genericamente denominados como os de pino-no-disco.

Seria interessante serem testados diferentes métodos de desgaste abrasivo para se estabelecer a efetividade de cada um.

2 Revisão de literatura

No presente tópico, os estudos apresentados englobam a composição da resina composta, os sistemas de sua fotopolimerização e diferentes tipos de ensaios que envolvem o desgaste desse material, entre outros aspectos.

Phillips *et al.* (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 (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 e Yee (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 American Dental Association (ADA) (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 e Davidson (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 e De Gee (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 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 µm para o esmalte, de 1,2 µm para o Miradapt e o P10, de 5,9 µm para o Adaptic e 2,0 µm para o Herculite.

Taira *et al.* (1988) analisaram 7 resinas compostas então existentes e verificaram que em todas elas o agente fotoiniciador utilizado era a canforoquinona, a qual estava presente em concentrações entre 0,17 e 1,03% p/p da fase resinosa.

A American Dental Association (ADA) (1989) divulgou 5 recomendações, relativas à utilização das resinas compostas na região posterior: 1) apresentar boa resistência ao desgaste oclusal e à abrasão; 2) permitir uma precisa adaptação às margens cavitárias e promover um efetivo vedamento da restauração, quanto ao ingresso de fluidos bucais, que podem conter microorganismos e criar um ambiente propício para o desenvolvimento de 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.* (1990) compararam métodos diretos (através de avaliação clínica) e indiretos (através de modelos tomados de dentes posteriores restaurados com resina composta) para mensurar o desgaste deste material; 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 (1991), na área de Engenharia, idealizou o método do disco retificado, no qual um rebolo agressor de porcelana (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 palpador, o qual enviava os dados para um programa computacional, possibilitando assim, o cálculo dos valores de desgaste.

Satou *et al.* (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 e Leinfelder (1994), após ensaios numa máquina de desgaste do tipo de 3 corpos, relataram que as resinas compostas com carga exibiram melhor resistência; baseados em fotomicrografias, afirmaram que as diferenças de resistência ao desgaste seriam dependentes da força de união entre matriz e carga; como terceiro elemento, usavam pérolas de polimetilmetacrilato (PMMA).

Yoshida e Greener (1994) relataram que a canforoquinona, por ser um pó de cor amarelo intenso, causava amarelamento da resina composta, limitando sua incorporação quando é necessário obter cores mais claras.

Wassell, McCabe e Walls (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 (1995), em sua 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.* (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 e Ferracane (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.* (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.

Rueggeberg, Ergle e Lockwood (1997) estudaram a influência do aumento do nível de fotoiniciador sobre vários aspectos de uma resina experimental sem carga (com 50% de Bis-GMA e 50% de TEGDMA, em moles); analisaram o papel da canforoquinona, como fotoiniciador associado ao dimetilamino etilmetacrilato (DMAEMA), nas proporções de 0,3% e 0,75%, respectivamente, em peso relativo ao de resina; multiplicando essas quantias por 2 e por 4 vezes, constataram que quanto maior a quantia de fotoiniciador, maior o aumento da taxa de conversão.

Salgado, Freitas e Bianchi (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 de 3 resinas compostas. Na superfície curva de cada disco estático (agora de aço anodizado), era 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 uma porcelana odontológica) desgastava a resina do estático, promovendo o deslocamento da balança; o palpador 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.* (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.

Krishnan e Yamuna (1998) verificaram que as propriedades mecânicas de uma resina composta experimental melhoraram com o aumento de canforoquinona, nos valores máximos de 0,25 a 0,5%; além dessas concentrações, não houve nenhuma melhora no material, o que indicou que há um limite máximo de eficácia para este fotoiniciador.

Wang, DiBenedetto e Goldberg (1998) tomaram um tribômetro (aparelho utilizado para medir a intensidade do atrito entre duas 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.

A International Organization for Standardization (ISO) (1999) divulgou sua Especificação Técnica (TS) na qual estabeleceu que, para qualquer pesquisa envolvendo desgaste de materiais através de escovação, deveriam ser utilizados espécimes de referência confeccionados com PMMA, do tipo sem agente de ligação cruzada.

Bianchi *et al.* (2000b), num congresso nacional de Engenharia Mecânica, apresentaram uma proposta para que o sistema do disco retificado fosse utilizado como um padrão para avaliar o desgaste abrasivo de resinas compostas.

Kurachi (2000), em sua tese de Doutorado, comparou a eficiência de aparelhos fotopolimerizadores à base de LASER, de diodo emissor de luz (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 e Asmussen (2000) determinaram o efeito de diferentes métodos de polimerização nas propriedades mecânicas, no grau de conversão e no desgaste *in vitro* de duas 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.

Stansbury (2000) efetuou uma revisão literária acerca do processo de fotoativação de resinas compostas, inclusive ressaltando o papel da canforoquinona/amina; citou que a canforoquinona absorve luz com comprimento de onda de 468 nm, passando para um estado excitado e formando uma molécula mais complexa; ainda cita novos fotoiniciadores, como o 1-fenil,2-propanodiona (PPD), o Lucirin TPO e o óxido bis-aquil fosfínico (BAPO).

Sun e Chae (2000) investigaram duas dicetonas, a fenil-propanodiona (PPD) e a butanodiona (BD), como fotoiniciadores de resinas compostas que eles formularam, comparando suas eficiências com a da canforoquinona (CQ), a qual afirmaram ser o fotoiniciador mais utilizado; estudaram a fotodecomposição dos referidos fotoiniciadores, com e sem amina, através da espectroscopia de absorção por UV. Apontaram que a eficiência da fotopolimerização aumentava tanto com o aumento do tempo de irradiação, como com o aumento da quantidade de fotoiniciador, na ordem $BD < CQ < PPD$. Curiosamente, as resinas com BD ou PPD apresentaram melhores propriedades mecânicas do que aquela que continha CQ; baseando-se numa reação modelo, constataram que a BD e a PPD atuavam não apenas como fotoiniciadores, mas também como agentes de ligação cruzada.

Bianchi *et al.* (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.* (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.

Franco e Lopes (2003) discutiram sobre os conceitos atuais ligados à polimerização de sistemas restauradores resinosos. Após discutirem sobre a polimerização de resinas fotoativadas com luz visível, teceram considerações sobre as diferentes fontes de luz (lâmpada halógena, arco de plasma, LASER de argônio e LED). Comentaram que algumas resinas (com outros fotoiniciadores, como o PPD ou o BAPO) não se polimerizavam adequadamente através de aparelhos providos por um desses três últimos sistemas de luz, devido ao fato de que eles emitiam luz capaz de excitar adequadamente apenas a canforoquinona, fotoiniciador existente na maioria das resinas compostas.

França *et al.* (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.

Aguiar *et al.* (2005) usando espécimes de resina composta submetidos a ensaios de microdureza Knoop e de resistência à tração diametral, não encontraram diferença entre a fotopolimerização convencional por 30 segundos e sistemas pulsados ou ainda de alta intensidade.

Alvim (2005), entre outros aspectos estudados, detectou que a canforoquinona presente em várias resinas compostas existia em quantias diferentes (expressas 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 A3.

Lohbauer *et al.* (2005) estudaram o comportamento de uma resina composta, fotopolimerizada por diferentes aparelhos (lâmpada convencional, arco de plasma e LED azul), em função da resistência à fadiga e do grau de conversão. Concluíram que o sistema de lâmpada halógena (convencional) conduziu a uma maior homogeneidade da fotopolimerização em profundidade.

Santana *et al.* (2005), através do método do disco retificado, analisaram a resistência ao desgaste de diferentes resinas compostas, após a exposição a diferentes tempos (10, 20 e 40 s) de fotopolimerização por LED, e concluíram que a taxa de desgaste foi diferente para cada tempo.

Ferracane (2006) ressaltou os fenômenos básicos influentes em processos de desgaste e neles apontou alguns fatores críticos, como o tipo de

desgaste (abrasivo, atritivo, erosivo ou adesivo) mensurável por um determinado aparelho, qual o parâmetro de medida (profundidade, área ou volume) a ser utilizado no processo, qual o nível conveniente de capacidade discriminatória do aparelho e 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.* (2006) efetuaram uma análise crítica dos fatores influentes no processo de desgaste biológico, avaliando os simuladores de desgaste existentes em Odontologia, quanto à sua capacidade em reproduzir as condições reais. Apontaram que o conhecimento dos variados 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 descrevem a existência de cinco termos importantes: a abrasão de 2 corpos, a abrasão de 3 corpos, o desgaste por fadiga, o desgaste triboquímico (como a 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 (2006) utilizou o método do disco retificado, para avaliar a resistência ao desgaste abrasivo de 6 resinas compostas, polimerizadas por tempos de 10, 20 e 40 s, utilizando aparelhos com lâmpada halógena e LED. A maioria dos valores de desgaste mostrou diferenças estatisticamente 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 implicava no fato da microdureza por penetração não ser um indicador adequado da taxa de desgaste de uma resina composta.

Almeida *et al.* (2007) avaliaram a resistência ao desgaste abrasivo de 2 cimentos de ionômero de vidro, frente a 2 dentifrícios (de uso infantil), através de uma máquina de escovação, utilizando o PMMA como material de referência.

Alvim *et al.* (2007) quantificaram a canforoquinona presente em diferentes resinas compostas, em função da cor. Confeccionaram amostras de 500 mg de cada resina, dissolvendo-as em 10 ml de metanol, centrifugando-as (para acelerar a sedimentação das partículas inorgânicas); tomaram 0,8 ml da solução sobrenadante e a analisaram num aparelho de cromatografia gasosa, acoplado a um espectrômetro de massa, usando soluções de canforoquinona pura como padrão. Comparando-se os resultados entre as cores de uma mesma marca, detectaram uma menor quantidade de canforoquinona na Filtek Z250 Incisal, quando comparada com a A3; na resina Filtek Supreme encontraram uma elevada quantidade de canforoquinona na cor incisal; na resina Pyramid Enamel conseguiram detectá-la somente na cor A1, enquanto que na Translucent não foi possível identificar o fotoiniciador. Assim, concluíram que, em diferentes cores de uma mesma resina composta, podiam existir diferenças na quantidade e no tipo do fotoiniciador.

Brackett *et al.* (2007) avaliaram o amarelamento residual em 12 cores de resinas compostas fotopolimerizadas por lâmpada halógena ou por LED; todos os materiais continham somente canforoquinona como fotoiniciador; os espécimes foram armazenados no escuro por 24 horas, quando então os parâmetros de cor foram novamente registrados e então determinadas as mudanças de cor. Observaram que aparelhos de lâmpada halógena promoveram maior amarelamento do que a maioria daqueles com LED.

Freitas (2007) avaliou a influência da variação do tempo de fotopolimerização (10, 20 e 30 s) em diferentes cores (I, B1, B3 e C4) da resina composta Filtek Z250 (3M/ESPE), sobre a taxa de desgaste abrasivo, medida através do método do disco retificado; agora, um disco constituído exclusivamente de PMMA servia como padrão de referência. Cada espécime agora ficava contido numa cavidade semicircular localizada na periferia de um disco constituído também por PMMA, denominado disco estático; um rebolo de porcelana, denominado disco dinâmico, agindo sob velocidade controlada, desgastava o espécime, nele criando uma cavidade de aspecto semicircular. O deslocamento vertical do disco estático, ao ser desgastado, era detectado por um palpador, o qual criava os arquivos de desgaste, em função do tempo. Os dados finais (expressos em milímetros cúbicos

por newton por segundo) foram tratados estatisticamente, permitindo concluir que as variações de tempo não influenciaram significativamente a resistência à abrasão, a qual sempre foi a maior para o PMMA (0,1301 mm³/N.s); dentre as resinas, a de cor C4 (0,5882 mm³/N.s) foi a mais resistente, enquanto as demais cores tiveram comportamento semelhante entre si.

A International Organization for Standardization (ISO) (2007) divulgou seu Reporte Técnico (TR), no qual reiterou a necessidade do uso de espécimes de referência confeccionados com PMMA, do tipo sem agente de ligação cruzada, para ensaios de escovação; isto foi uma atualização de sua antiga Especificação Técnica (TS), de 1999.

Silva (2007), em sua Dissertação, fez referência a citações de vários outros pesquisadores, a respeito da composição da resina composta; dentre elas, apontou que, além da canforoquinona, existem outros fotoiniciadores, tais como o óxido bis-aquil fosfínico (BAPO) e o óxido mono-aquil-fosfínico (MAPO, também denominado Lucirin TPO); também relatou que, como consequência de sua cor mais clara, estes absorvem luz com comprimento de onda inferior ao da canforoquinona, o qual é perfeitamente coberto pelas unidades de luz halógena, porém não o é pelas que utilizam LED azul, devido ao seu estreito espectro de emissão, o que faz com que as resinas contendo esses fotoiniciadores não sejam adequadamente polimerizadas por estes aparelhos, assim apresentando baixo grau de conversão e baixas taxas de propriedades mecânicas.

Ulhôa *et al.* (2007) compararam 5 resinas compostas, fotopolimerizadas por diferentes tempos (10, 20 e 40 s), através de aparelhos com lâmpada halógena e LED, utilizando o método do disco retificado. A análise estatística dos valores de microdureza e de resistência à abrasão permitiu concluir que “não houve correlação” entre essas propriedades. Na análise de microdureza, a heterogeneidade característica do material implicou em resultados com valores de desvio-padrão relativamente altos.

Cruz *et al.* (2008) utilizaram o sistema do disco retificado para medir a resistência ao desgaste abrasivo de 6 resinas compostas, fotopolimerizadas por lâmpada halógena, durante 10, 20 e 40 segundos. Os resultados mostraram um comportamento variável para cada material, nas várias condições do estudo, possibilitando uma confirmação de que o referido método é prático e rápido para analisar materiais recém-introduzidos no mercado.

Bianchi *et al.* (2010) analisaram a influência de diferentes tempos de fotopolimerização sobre o desgaste abrasivo de 6 resinas compostas, através do método do disco retificado. Seus resultados indicaram que os materiais analisados apresentaram resultados diferentes em função dos diferentes tempos de fotopolimerização aplicados. Afirmaram que o aumento do número de espécimes, aliado à acuidade das medidas, foi o fator responsável pelos baixos valores de desvio-padrão obtidos.

Freitas *et al.* (2011) avaliaram a resistência ao desgaste abrasivo de 2 cimentos de ionômero de vidro, frente a um dentifrício (de uso adulto), através de uma máquina de escovação, também utilizando o PMMA como material de referência.

Kossatz *et al.* (2011) reforçaram a idéia de que, para uma correta fotopolimerização das resinas compostas, é necessário uma intensidade de luz, no mínimo de 400 mW/cm^2 , para um “incremento” de 2 mm de espessura de material, e que se essa polimerização não for adequada, poderá contribuir para o insucesso clínico da restauração, que, entre outros aspectos, poderá existir uma maior tendência ao desgaste, sendo por isso importante a verificação periódica da intensidade de luz dos fotopolimerizadores, através de radiômetros. No seu trabalho, avaliaram a qualidade da luz emitida por 3 fotopolimerizadores (um de lâmpada halógena e 2 à base de LED) e o desempenho de 5 radiômetros, dos quais 3 eram específicos para lâmpada halógena e 2 para LED. Concluíram que, entre outros aspectos, não houve diferença entre quaisquer radiômetros, na análise da luz emitida pelos fotopolimerizadores estudados, e que estes apresentaram, tanto o intervalo de comprimento de onda, como a potência, adequados para uma correta polimerização de uma resina composta que contenha canforoquinona.

Rueggeberg (2011), fazendo uma revisão acerca da fotopolimerização, afirmou existir confusão sobre como se obter uma polimerização ideal da resina composta, não importando qual seja o sistema emissor de luz (lâmpada halógena, LASER, arco de plasma ou LED). Também afirmou que erravam os fabricantes dos aparelhos fotopolimerizadores, ao indicarem o uso deles por um período determinado, independentemente da composição da resina composta e de sua cor, entre outros aspectos; que erravam também os fabricantes de resina, ao recomendarem tempos de exposição específicos para seus próprios produtos. Em

função disso, sugeriu que seriam necessários mais estudos, sobre as propriedades de cada resina fotopolimerizada por diferentes aparelhos e que também sejam obtidos mais dados concretos, relacionados às características das luzes emitidas, de modo que uma correlação melhor seja alcançada, entre essas propriedades e a exposição à radiação, até que seja possível o estabelecimento de Normas específicas.

3 Proposição

3 Proposição

O objetivo neste trabalho foi avaliar, usando três diferentes métodos (do disco retificado, por escovação e do nanodurômetro), a resistência ao desgaste abrasivo de uma resina composta, sempre utilizando-se o polimetilmetacrilato (PMMA) como padrão de referência.

4 Materiais e métodos

4.1- Esclarecimentos gerais

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

A resina composta fotopolimerizável selecionada para confeccionar os espécimes neste trabalho foi a Filtek Z250, da 3M/ESPE, fabricada pela 3M do Brasil Ltda. (Sumaré - SP), nas cores Incisal e C4 (figura 1), respectivamente dos lotes N139571BR e N148223BR, os quais tinham vencimento em outubro/2012 e setembro/2012. O tamanho médio de suas partículas inorgânicas, segundo o fabricante, é de 0,6 μm , variando de 0,01 a 3,50 μm , sua matriz é formada por Bis-GMA, UDMA e Bis-EMA e sua carga, por zircônia/sílica em 60% em volume. 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 a cor C4, os “incrementos” devem ter no máximo 2,0 mm de espessura e tempo de polimerização de 30 segundos. A confecção dos espécimes 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 $50 \pm 10\%$.

Foram confeccionados também espécimes de polimetilmetacrilato (PMMA), os quais atuaram como padrão de referência.

Cada espécime foi mantido em frasco individual, contendo água deionizada, durante 7 dias, em estufa a 37°C , antes de seu ensaio.

4.2- Esclarecimentos específicos para cada método

4.2.1- Do disco retificado

Foi utilizado o banco de ensaios apresentado na figura 2. 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), do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM), da Faculdade de

Engenharia de Bauru, da Universidade Estadual Paulista (FEB/UNESP). Neste banco, o motor e seu cabeçote* encontravam-se fixados, através de parafusos, numa base de aço que ficava presa na mesa da retificadora, durante os procedimentos. Na extremidade posterior do eixo do cabeçote era fixado um rebolo de porcelana, denominado de disco dinâmico, que atuava como o agente agressor do material a ser ensaiado. Na base deste conjunto, por trás do cabeçote, era fixado um dispositivo removível denominado sistema cursor, cuja função básica era suportar um disco constituído de PMMA. Nesse disco, podiam existir 4 cavidades semicirculares (espaçadas de forma equidistante entre si), preenchidas com resina composta já fotopolimerizada; cada uma delas era considerada como um espécime, cuja confecção detalhada será descrita posteriormente. Cada disco completo, ou seja, com resina composta em todas suas cavidades, era denominado, após ser retificado, de disco estático. Este também poderia estar íntegro, situação em que agia como padrão de referência. A resina composta contida numa cavidade era individualmente desgastada pelo disco dinâmico; no caso do disco de PMMA íntegro, cada local de ensaio era considerado um espécime.

Na figura 3, 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 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 recebia a denominação de trave para registro de deslocamento, a qual possuía, na face superior, uma haste cilíndrica central, na qual podiam ser adicionados anéis metálicos, que serviam para compor a quantia de carga necessária ao ensaio. Unindo ambas as hastes cilíndricas, agora inferiormente, existia uma outra placa, a qual possuía, na sua face inferior, uma haste fendada denominada de local de fixação do disco estático. Neste conjunto também existia uma cânula plástica, a qual

* Nomenclatura dada à parte principal de um dispositivo, na área da Engenharia Mecânica.

consistia na parte terminal do sistema de refrigeração, esta promovida por fluxo contínuo de água.

Para o rebolo de porcelana dava-se o nome de disco dinâmico, pois ele já teve tal forma, em pesquisas anteriores. A porcelana que constituiu este disco 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). Os componentes da sua fórmula foram os seguintes, percentualmente em peso: 38,5 de argila São Simão, 21,5 de sílica e 40 de feldspato; 25 g desta mistura (à qual já tinha sido adicionado 5% em peso de ligante polietilenoglicol) foi colocada numa matriz cilíndrica de aço inoxidável, onde sofreu prensagem, sob uma carga de 3 toneladas. Após ser extruída da matriz, a peça sofreu sinterização, desde a temperatura ambiente até 1220°C, elevando-se cerca de 100°C por hora e mantendo-se a temperatura final por mais 2 horas; após isto, aguardava-se seu resfriamento, para nela então ser 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 4.

Este disco dinâmico era fixado na parte posterior do eixo do cabeçote e retificado em sua superfície curva, através de um rebolo diamantado. Na figura 5a, pode ser visto o disco dinâmico, no momento de sua retificação pelo rebolo diamantado (figura 5b); este possuía diâmetro de 350 mm, furo central com diâmetro de 127 mm, espessura de 15 mm, com camada diamantada de 5 mm, granulação 126 (μm) e concentração 50, com código SD 126MV50B2 (Dinser Ferramentas Diamantadas Ltda., São Paulo - SP). Durante tal operação, executada sob refrigeração por fluxo contínuo de água, o rebolo diamantado girava na velocidade tangencial de 33 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 disco dinâmico na de 9 m/s, porém ambos em sentidos discordantes; este último ficava aproximadamente com altura de 20 mm e diâmetro externo de 25 mm; foi constatada que sua rugosidade média (R_a), na superfície curva, era de aproximadamente 1,5 μm , o que foi verificado através de um aparelho HOMMEL TESTER modelo T1000 (HOMMELWERKE, Alemanha).

Foram confeccionados 8 discos de PMMA (fabricado pela firma Sheet Cril, Arealva - SP), cada um com espessura de 2 mm, diâmetro de 26 mm e furo central

com diâmetro de 7,5 mm (um deles pode ser visto na figura 6a). Estes foram retificados em condições semelhantes àsquelas da porcelana, agora com um rebolo de óxido de alumínio branco, apresentado na figura 6b, até atingirem o diâmetro de 25 mm; este rebolo possuía diâmetro de 355 mm, furo central com diâmetro de 76,2 mm, espessura de 50 mm e granulação 120 (μm), com código I 00537867 (Norton Abrasivos Brasil, S.A., Ribeirão Preto - SP). Em 6 discos, na sua parte periférica, foram confeccionadas (com o já citado disco dinâmico) 4 cavidades semicirculares, circunferencialmente equidistantes entre si, cujas porções centrais tinham 2 mm de profundidade, contados a partir da superfície curva original. Na figura 7a, pode ser visto um momento da confecção das cavidades e, na figura 7b, um disco com as 4 cavidades já prontas.

Cada uma dessas cavidades era desengordurada, durante 5 segundos, com uma solução composta de partes iguais (em volume) de álcool etílico e de éter sulfúrico, esfregada com pequenos chumaços de algodão. O disco era então colocado entre 2 guardas laterais de uma matriz própria, constituídas de politetrafluoretileno (PTFE[†]), cada uma com 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 vista a referida matriz, desmontada, com um disco de PMMA na posição central; a figura 8b ilustra a aparência deste conjunto, com seus elementos já unidos.

Então, para compor um espécime de resina composta, em cada cavidade de cada disco, eram inseridas (com uma espátula metálica nº 1) pequenas porções deste material (figura 9a), as quais iam sendo condensadas (com a mesma espátula já citada), até o preenchimento total e de modo a se obter o menor excesso possível, conforme mostrado na figura 9b. Imediatamente, uma tira de poliéster era comprimida sobre a resina (figura 9c), para que esta viesse a se adaptar adequadamente à cavidade e não aderisse à ponta ativa do aparelho fotopolimerizador. O tempo de polimerização era de 30 segundos. Assim, existiram 3 discos, totalizando 12 espécimes para cada cor de resina, Incisal ou C4. Por ocasião

[†] 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.

dos subseqüentes ensaios, os espécimes foram sendo escolhidos ao acaso, até que fossem obtidos os 10 valores necessários; os 2 espécimes restantes, confeccionados como reserva, foram desprezados.

Os outros 2 discos de PMMA foram mantidos íntegros. Em cada um destes, em 5 locais diferentes e eqüidistantes entre si, foram feitos os ensaios (desgastes); cada um destes locais foi considerado um espécime do material de referência, perfazendo também um total de 10 espécimes.

Para a fotopolimerização, foi utilizado um aparelho convencional Ultralux EL (Dabi Atlante Ind. Médico Odontológicas Ltda., Ribeirão Preto - SP), com ponta ativa de 12 mm de diâmetro, o qual é mostrado na figura 10a; sua aferição era efetuada através de um radiômetro modelo RD-7, para lâmpada halógena e LED, com cód. 01219 e n^o. de série 0000083 (ECEL, Ribeirão Preto - SP), com faixa de sensibilidade de 400-500 nm, faixa de intensidade de 0 a 1500 mW/cm² e precisão de +/- 5% da leitura, o qual é mostrado na figura 10b. Através deste, foi possível constatar que o comprimento de onda da luz emitida pelo fotopolimerizador era de 468 nm e que a intensidade luminosa era de 550 mW/cm². Na figura 11 é mostrado um momento da fotopolimerização de um espécime de resina qualquer.

Na figura 12a, é apresentado um disco com seus 4 espécimes de resina, porém ainda com os excessos de material. Após 7 dias de armazenamento com aquelas condições já referidas, os 6 discos eram simultaneamente retificados (como ilustrado pela figura 12b) com o rebolo de óxido de alumínio, para que os referidos excessos fossem eliminados, ficando cada espécime pronto para o ensaio.

Para a efetuação de um 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 do cabeçote. A fixação de ambos os discos nos seus respectivos locais era realizada através do uso de porcas, que pressionavam arruelas. Um espécime qualquer, existente no disco estático, era então colocado em contato com o disco dinâmico, ficando contra ele pressionado através da carga de todo o conjunto no qual ele estava preso (16,2 N); era necessário que os pontos centrais dos discos ficassem verticalmente alinhados.

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 freqüência, ajustado para 33,2 Hz

e 1990 rpm. Como está ilustrado pela figura 13, o disco dinâmico, ao girar, sob refrigeração, provocava o desgaste progressivo do espécime, consequentemente fazendo com que as hastes cilíndricas (êmbolos) do sistema cursor se deslocassem para baixo; com isso, a trave para registro de deslocamento (identificada com o número 4 na figura 3) também se deslocava.

Tal deslocamento era detectado através de um palpador eletrônico, modelo 32.10904, da fábrica suíça TESA S.A., ligado à sua unidade de controle TESATRONIC, modelo TT60. Sua parte ativa terminal consistia numa esfera, a qual era ajustada para contatar a face inferior da trave para registro de deslocamento. 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 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 qual se encontrava instalada no interior de um computador. A referida placa recebia cada sinal elétrico (analógico), transformava-o em digital e o repassava para um “software” (LabVIEW, versão 6.1), de mesma procedência da placa. Neste, criava-se um subprograma que armazenava os valores de um ensaio, num arquivo individual, e os processava para criar um gráfico. Cada um desses valores definia um ponto da curva cujo gráfico surgia no monitor do computador, como ilustrado pela figura 15.

Posteriormente, para continuar o processamento destes arquivos, usava-se um outro programa, o MatLab versão 6.5 (The MathWorks, Natick - MS, EUA). Assim, cada arquivo de ensaio era agora processado, gerando um gráfico mais refinado (figura 16). 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 (figura 17), em cujo eixo vertical continuavam registrados os mesmos valores do deslocamento e, no eixo horizontal, aquele mesmo tempo, porém agora elevado à 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, construía-se um novo gráfico (figura 18), no qual a linha reta azul representa aquela outra, de forma extremamente aproximada. Assim definia-se o ângulo α , 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 é 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, agora elevado a 3/2.

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

Como esta equação também estava incluída no programa computacional, bastava que nela fossem colocados os respectivos valores numéricos, para que a taxa de desgaste de cada espécime fosse obtida. Este resultado expressava o volume de resina removido, 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 deste modelo matemático era que, em cada ensaio, os diâmetros de ambos os discos (dinâmico e estático) fossem iguais, tanto quanto possível.

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.

A figura 19 serve para ilustrar a aparência dos espécimes de resina composta (a) e dos de PMMA (b) já ensaiados, em 2 discos estáticos tomados ao acaso; aí podem ser vistas as regiões semicirculares desgastadas.

Uma trilha do disco dinâmico tornava-se uma faixa brilhante (como mostrado na figura 20), após um ensaio, em decorrência do material que aí ficava impregnado.

Ao término de 6 ensaios realizados, haviam sido usadas as 6 trilhas possíveis do disco dinâmico e tornava-se necessária a retificação deste, executada da mesma forma anteriormente explicada, removendo-se dele então uma camada de 5 μm ; seu diâmetro continuava obedecendo a exigência do modelo matemático,

de manter próximos os valores dos diâmetros de ambos os discos; isso aconteceria mesmo com uma diferença de até 50 μm .

É importante caracterizar o grau de rugosidade do disco dinâmico, visto que este é um importante fator no processo de desgaste abrasivo aqui estudado. Assim, ao final da parte prática do presente trabalho, com o auxílio de um rugosímetro HOMMEL TESTER modelo T1000 (fabricado pela empresa alemã HOMMELWERKE), foi constatado que o valor da rugosidade média (R_a) foi de 1,7 μm , conforme ilustra o gráfico que compõe a figura 21, no qual o valor do maior pico (R_p) foi 4,8 μm e o valor do maior vale (R_z) 9,5 μm .

Todos os espécimes referidos foram ensaiados, nas condições descritas, sendo anotados os respectivos valores de desgaste, os quais foram tratados estatisticamente.

4.2.2- Por escovação

Para a confecção dos espécimes de resina composta utilizou-se uma matriz cilíndrica, também constituída por PTFE, cujas dimensões são apresentadas no esquema que compõe a figura 22.

Cada espécime ficava preso à uma placa metálica, esta constituída em aço inoxidável e denominada placa-suporte, cujas dimensões constam da figura 23. Assim, foram utilizadas 10 placas-suporte, todas numericamente identificadas. A face superior da placa-suporte era aquela na qual seu orifício central cônico tinha o diâmetro menor.

Para compor cada espécime, acoplava-se uma placa-suporte à matriz, como está ilustrado pela figura 24. Pode ser notado que, neste acoplamento, a placa-suporte ficava invertida, agora com sua face superior voltada para baixo.

A resina era inserida através do orifício central da placa-suporte, acoplada à matriz de PTFE (como é mostrado na figura 25), até seu total preenchimento, com o auxílio de uma espátula comum. Após isso, uma tira de poliéster era encaixada no sulco transversal da citada placa-suporte (figura 26) e pressionada por uma lamínula de vidro somente visando propiciar lisura e uma boa condensação do material na cavidade; então, era realizada a fotopolimerização (ilustrada pela figura 27), por 30 segundos, utilizando o já referido aparelho Ultralux EL, aferido pelo também já referido radiômetro.

A placa-suporte era então removida da matriz, levando consigo o espécime. A figura 28 ilustra esquematicamente um espécime acoplado à sua placa-suporte.

Foram confeccionados também 10 espécimes de PMMA; para compor cada um deles, um bloco deste material acrílico foi torneado, até ficar com as dimensões apresentadas no esquema da figura 29. Sua fixação numa placa-suporte foi feita com resina acrílica auto-polimerizante Dencôr (Artigos Odontológicos Clássico Ltda., São Paulo - SP), através da tradicional técnica do pincel. Assim, montados na placa-suporte, os espécimes de resina composta e de PMMA apresentavam formas e dimensões bem próximas entre si.

Então, cada espécime de ambos estes materiais teve sua face superior desgastada, através de lixas d'água número 1.000, sob irrigação com água deionizada. Para efetuar tal tarefa (mantendo-se o paralelismo entre a face superior da resina/PMMA e a face inferior da respectiva placa-suporte), cada espécime era posicionado na fenda de uma régua auxiliar, com espessura de 1,5 mm, confeccionada em aço inoxidável, colocada sobre uma lixa d'água; esta operação está ilustrada pela figura 30.

Cada espécime era imerso em água deionizada, contida num frasco individual, o qual era mantido em estufa à 37°C por 7 dias. Após esse período, imediatamente antes do ensaio, cada espécime era retirado do seu frasco e, em seguida, imerso na água deionizada contida num aparelho comum de ultra-som, durante 10 minutos. Então, ele era seco com papel absorvente comum (por 10 segundos) e exposto às condições ambientais já citadas, por 15 minutos, antes de se verificar sua massa inicial (M_i), expressa em miligramas, através de pesagem em uma balança analítica modelo U Mark 210 A (ONDA Científica Ltda., Campinas - SP), com acuidade de 0,0001 g e capacidade máxima de 210 g. Eram feitas 3 pesagens e a média aritmética dos valores obtidos era considerada a massa inicial.

A máquina de escovação comportava 10 espécimes (como pode ser visto na figura 31). Para que todos os materiais (resina composta cor Incisal, resina composta cor C4 e PMMA) viessem a ocupar consecutivamente todas as 10 posições da referida máquina, foram compostos os 3 grupos de escovação apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Composição dos 3 grupos de escovação

Grupo	Posições									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	I	C4	PMMA	I	C4	PMMA	I	C4	PMMA	I
2	C4	PMMA	I	C4	PMMA	I	C4	PMMA	I	C4
3	PMMA	I	C4	PMMA	I	C4	PMMA	I	C4	PMMA

Foram utilizadas escovas modelo Sorriso Kolynos Original (Colgate-Palmolive Indústria e Comércio Ltda., São Bernardo do Campo, SP), de cerdas macias. Após ter seu cabo eliminado, cada uma delas incidia sobre um espécime, como está ilustrado pela figura 32. Assim, no interior da máquina de escovação eram fixados os 10 espécimes do grupo a ser escovado, numa barra metálica denominada barra-suporte. Cada escova era fixada no mordente metálico existente na extremidade livre de cada um dos 10 braços da máquina, o qual efetuava movimentos no sentido ântero-posterior da máquina, fazendo com que a escova a ele fixada (com seu longo eixo alinhado paralelamente às faces laterais da máquina) executasse movimentos (ciclos) de ida-e-volta.

O dentifrício utilizado no presente trabalho foi o Colgate Sensitive Multi Proteção, também fabricado pela Colgate. Este era misturado com água deionizada, na proporção de 1:2, em peso; a pesagem de ambos era também realizada através da mesma balança analítica já referida, compondo-se assim uma suspensão que era colocada no interior das 10 seringas plásticas acopladas à máquina.

Os locais dos espécimes na barra-suporte, eram ordenadamente identificados com os números de 1 a 10, a partir do lado esquerdo do observador. A máquina era regulada de modo que, a cada 2 minutos, uma quantia de 0,4 ml da suspensão era despejada sobre o espécime, vindo desde uma seringa, através de uma cânula de borracha, até a respectiva agulha.

A amplitude do curso da escova sobre o espécime era ajustada para 20 mm; a carga aplicada por aquela sobre este era de 300 gramas-força (aproximadamente 3 N) e a temperatura na câmara da máquina era de 37°C.

Para cada grupo, a escovação foi efetuada na velocidade de 4,5 ciclos por segundo, o que implicava em cerca de 6 horas e meia de ensaio, assim totalizando-se 100.000 ciclos. Terminada a escovação, cada espécime era lavado com jatos de água deionizada, por cerca de 5 segundos, até se evidenciar visualmente a eliminação do dentifrício, quando então ele era novamente lavado,

agora no aparelho de ultra-som, para ser posteriormente pesado, da forma e com os cuidados já referidos, obtendo-se assim seu valor final de massa.

Os valores detectados da perda de massa de todos os espécimes foram posteriormente tratados estatisticamente.

4.2.3- Do nanodurômetro

Para os ensaios com o presente método, foram confeccionados 3 discos de PMMA, com diâmetro de 24 mm e espessura de 4 mm. Com o objetivo de servir de padrão de referência, um destes discos foi mantido íntegro, como está ilustrado na figura 33a. Em cada um dos 2 restantes, foi confeccionada uma cavidade cilíndrica com diâmetro de 7 mm e profundidade de 2 mm, ficando cada disco com a aparência mostrada na figura 33b; cada cavidade foi preenchida com a resina composta já referida (Incisal ou C4), de modo semelhante ao que foi descrito no método por escovação, ficando assim compostos os espécimes apresentados na figura 34.

Na parte central da superfície plana da resina composta (ou no centro do disco de PMMA), foram efetuados 7 ensaios, o que foi considerado o equivalente a 7 espécimes. Cada ensaio consistia na confecção de um sulco, através da ponta diamantada de um *Triboindenter* (Hysitron, Inc., Minneapolis - MN, USA), conhecido como nanodurômetro, apresentado na figura 35, instalado no Laboratório de Plasmas Tecnológicos, do Curso de Engenharia de Controle e Automação, da UNESP - *Campus de Sorocaba*.

Esta operação era controlada através de um programa computacional (*software*) próprio do nanodurômetro. Assim, o aparelho foi regulado para que a extensão do referido sulco fosse de 10 μm e que a carga exercida pela ponta sobre o espécime fosse constantemente de 900 μN .

Durante cada ensaio, era criada uma planilha, com vários dados, como os valores da carga (FN), da profundidade de penetração da ponta no material (DN), da força de atrito (FL) e da extensão do deslocamento (DL), entre outros aspectos, em relação ao tempo.

Após a realização de cada ensaio, podia ser feita uma varredura da região da superfície onde o sulco tinha sido efetuado e obtida uma imagem (juntamente com um gráfico de rugosidade), como exemplificado pela figura 36, para uma resina composta, e pela figura 37, para o PMMA.

A força de atrito também pode ser compreendida como a resistência que o material oferece frente ao deslocamento da ponta. O valor de FL dividido pelo de FN fornece o coeficiente de atrito dinâmico (μ).

Num ensaio, existia sempre uma primeira fase, chamada carregamento, seguida por outra, a qual era o ensaio propriamente dito, e uma final, chamada descarregamento. Para cada espécime ensaiado, foram utilizados somente os valores de μ correspondentes ao ensaio propriamente dito, descartando-se aqueles das fases de carregamento e descarregamento. A média aritmética desses valores foi considerada como o μ do espécime ensaiado.

Assim, os valores do coeficiente de atrito de todos os espécimes foram posteriormente tratados estatisticamente.

Figuras ilustrativas.

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

Figura 1 - Resina composta fotopolimerizável Filtek Z250.

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

Figura 4 - Disco dinâmico já perfurado.

Figura 5 - a) Disco dinâmico no momento de sua retificação, sob refrigeração; b) rebolo diamantado.

Figura 6 - a) Um disco de PMMA, com suas dimensões originais; b) o rebolo de óxido de alumínio.

Figura 7 - a) Um momento da confecção das cavidades em 6 discos de PMMA pelo disco dinâmico; b) um deles, já com as 4 cavidades referidas no texto.

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 - Fotopolimerização de um espécime de resina qualquer.

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

Figura 13 - 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 α definido.

Figura 19 - Discos estáticos já ensaiados: a) 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.

[Todas as dimensões estão expressas em milímetros.]

Figura 22 - Esquema da matriz cilíndrica de PTFE, utilizada para a confecção dos espécimes de resina composta.

[Todas as dimensões estão expressas em milímetros.]

Figura 23 - Esquema da placa-suporte; corte longitudinal em A e corte transversal em B.

Figura 24 - Uma placa-suporte acoplada à matriz.

Figura 25 - Um momento da inserção de uma porção de resina composta.

Figura 26 - Tira de poliéster encaixada no sulco transversal de uma placa-suporte.

Figura 27 - Momento da fotopolimerização de um espécime de resina composta.

[Todas as dimensões estão expressas em milímetros]

Figura 28 - Esquema de um espécime de resina composta, acoplado à sua placa-suporte.

[Todas as dimensões estão expressas em milímetros.]

Figura 29 - Esquema de um espécime de PMMA, obtido por torneamento.

Figura 30 - Um espécime qualquer, sendo desgastado por uma lixa d'água (A), sob a régua auxiliar (B).

Figura 31 - Vista frontal da máquina de escovação, com espécimes e escovas já em seus respectivos locais.

Figura 32 - Escovas incidindo sobre seus espécimes.

Figura 33 - Discos de PMMA, íntegro (a) e com cavidade (b).

Figura 34 - Espécimes de resina composta.

Figura 35 - Nanodurômetro Hysitron.

Figura 36 - Tela do ensaio de um espécime de resina composta.

Figura 37 - Tela do ensaio de um espécime de PMMA.

5 Resultados

5 Resultados

Na tabela 2 são apresentados os valores do desgaste através do método do disco retificado. No Apêndice, encontram-se os gráficos 1, 2 e 3, os quais ilustram respectivamente cada grupo da referida tabela.

Tabela 2 - Taxas de desgaste (expressas em $\text{mm}^3/\text{N.s}$), verificadas através do método do disco retificado, para cada espécime dos 3 materiais ensaiados, com os respectivos valores da média (m), do desvio-padrão (dp) e do coeficiente de variação (cv)

espécime	Incisal	C4	PMMA
1	0,6625	0,5885	0,1542
2	0,6323	0,5738	0,1625
3	0,7765	0,5089	0,1492
4	0,6683	0,5715	0,1072
5	0,6925	0,4447	0,1198
6	0,5779	0,5783	0,1136
7	0,5671	0,4207	0,1495
8	0,7158	0,4993	0,1362
9	0,8583	0,4334	0,1569
10	0,6554	0,3931	0,1903
m	0,6807	0,5012	0,1439
dp	0,0876	0,0744	0,0253
cv	0,13	0,15	0,18

O teste de Levene mostrou que não existia homogeneidade das variâncias dos 3 grupos, a qual passou a existir após a transformação logarítmica dos respectivos valores; assim, foi executada a análise de variância (ANOVA), a um critério de classificação, modelo fixo, a qual apontou $F = 208,301$, para $p < 0,001$, o que significava que existia diferença significativa entre os grupos.

Para as comparações entre os grupos, o teste de Tukey apontou que existiam diferenças significantes dos 3 grupos entre si, ou seja, que as taxas de desgaste dos materiais foram as seguintes: $I > C4 > PMMA$.

Na tabela 3 são apresentados os valores do desgaste através da escovação.

Tabela 3 - Taxas de desgaste (expressas em mg), verificadas através do método por escovação, para cada espécime dos 3 materiais ensaiados, com os respectivos valores da média (m), do desvio-padrão (dp) e do coeficiente de variação (cv)

espécime	Incisal	C4	PMMA
1	7,4	8,7	8,7
2	4,7	10,8	5,4
3	4,9	11,3	5,1
4	6,6	8,5	7,3
5	5,3	8,3	6,9
6	6,5	8,0	5,9
7	5,6	9,0	6,0
8	4,7	11,8	5,6
9	4,2	7,5	4,0
10	4,1	9,6	3,9
m	5,40	9,35	5,88
dp	1,11	1,48	1,47
cv	0,21	0,16	0,25

O teste de Levene mostrou que existia homogeneidade das variâncias dos 3 grupos; assim, pode ser executada a análise de variância (ANOVA), a um critério de classificação, modelo fixo, a qual apontou $F = 25,07$, para $p < 0,001$, o que significava que existia diferença significativa entre os grupos.

Para as comparações entre os grupos, o teste de Tukey apontou que não existiu diferença significativa entre Incisal e PMMA (ambos igualmente os mais resistentes); porém, tal diferença existiu entre Incisal e C4, assim como entre PMMA e C4.

Na tabela 4 estão apresentados os valores do coeficiente de atrito obtidos através do nanodurômetro. No Apêndice, encontram-se os gráficos de 4 a 10, os quais ilustram respectivamente cada linha da referida tabela.

Tabela 4 - Taxas de resistência (expressas através do coeficiente de atrito), verificadas através do nanodurômetro, para cada espécime dos 3 materiais ensaiados, com os respectivos valores da média (m), do desvio-padrão (dp) e do coeficiente de variação (cv)

Espécime	Incisal	C4	PMMA
1	0,209	0,220	0,276
2	0,202	0,214	0,277
3	0,210	0,208	0,281
4	0,201	0,216	0,278
5	0,188	0,214	0,283
6	0,216	0,217	0,287
7	0,225	0,212	0,284
m	0,207	0,214	0,281
dp	0,012	0,004	0,004
cv	0,057	0,018	0,015

O teste de Levene mostrou que existia homogeneidade das variâncias dos 3 grupos, assim podendo ser executada a análise de variância (ANOVA), a um critério de classificação, modelo fixo, a qual apontou $F = 202,151$, para $p < 0,001$, o que significava que existia diferença significativa entre os grupos.

Para as comparações entre os grupos, o teste de Tukey apontou não existir diferença significativa entre Incisal e C4; porém, o PMMA (o mais resistente de todos) apresentou diferença tanto em relação à Incisal quanto à C4.

6 Discussão

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

6.1- dos aspectos gerais

A resina composta fotopolimerizável Filtek Z250 foi escolhida para ser analisada no presente estudo, devido ao fato dela já ter sido utilizada num trabalho anterior realizado por Freitas (2007) envolvendo apenas o sistema do disco retificado. No referido trabalho, a resistência ao desgaste abrasivo foi maior para a cor C4, enquanto as demais cores (Incisal, B1 e B3) apresentaram semelhança entre si. Por esse motivo, foram selecionadas para o presente trabalho de pesquisa apenas as cores C4 e Incisal, esta última, representativa do grupo menos resistente naquele trabalho, onde a variação dos tempos de fotopolimerização (10, 20 e 30 s) não influenciou os resultados.

Como aconteceu no já referido estudo, aqui também foi utilizado o PMMA como padrão de referência, obedecendo-se assim a exigência da Especificação Técnica da ISO (2007), a qual estabelece que, para qualquer pesquisa envolvendo desgaste de materiais através de escovação, os espécimes de referência sejam confeccionados com este material, do tipo sem agente de ligação cruzada. Por analogia, este padrão também foi incluído nos dois demais métodos aqui empregados.

Já em 1989, a ADA reconhecendo a necessidade de escolha de um material que servisse como um padrão em ensaios de desgaste, envolvendo resinas compostas, também apontou as dificuldades inerentes a isso. Este problema foi atendido com a Norma da ISO (1999), atualmente atualizada por uma outra Norma, também da ISO (2007), quando foi escolhido o padrão de referência constituído por PMMA, para ensaios de escovação de diversos materiais odontológicos.

Foi escolhido utilizar-se um fotopolimerizador de lâmpada halógena, devido a vários motivos. Primeiro, porque ele já foi utilizado numa pesquisa anterior, também desenvolvida pela autora, cujos resultados sofrerão alguma comparação

com os do presente trabalho. Segundo, por ele ser o mais tradicional (o que lhe confere a denominação de convencional), consequentemente sendo aquele que foi o mais empregado na maioria dos estudos que envolvem a polimerização de resina composta; sabidamente, ele promove níveis de polimerização bastante adequados, como foi comprovado inclusive por Lohbauer *et al.* (2005), os quais detectaram uma maior homogeneidade da fotopolimerização do material, em profundidade, numa comparação com aparelhos de arco de plasma e de LED.

Ora, um fotopolimerizador deve ser utilizado por tempo suficiente e em condições adequadas, para poder promover a polimerização adequada da maioria das resinas compostas, as quais contêm canforoquinona como fotoiniciador; para isso, sua intensidade luminosa (também denominada potência luminosa) deve ter níveis adequados. Ora, a potência do fotopolimerizador aqui utilizado (550 mW/cm^2) juntamente com o tempo de sua ação (30 segundos) compõem um conjunto dessas características que foi o mais utilizado na literatura, como foi afirmado por Aguiar *et al.* (2005).

O método do disco retificado foi utilizado novamente, para se verificar a esperada repetição de resultados, o que apontaria o nível de confiabilidade do mesmo.

Os métodos de escovação e do nanodurômetro (que também envolvem mecanismos de desgaste abrasivo) foram agora utilizados, na expectativa de se estabelecer alguma relação do desempenho deles com o do método do disco retificado.

As condições ambientais de temperatura e umidade, mantidas durante a confecção dos espécimes de resina composta, obedeceram às exigências da Especificação da ADA (1977).

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.

Para que uma resina composta atinja seu desempenho máximo, ela deveria sofrer uma completa polimerização; em outras palavras, seu grau de conversão deveria ser total. Discutir com minúcias acerca de todos os fatores que influem nesse processo não é o tema do presente trabalho, mas estes aspectos estão bem apresentados, no trabalho de Alvim (2005), no qual está exposto o mecanismo da polimerização, desde a ativação da canforoquinona; o referido

pesquisador já aventou a hipótese de que quantias diferentes deste fotoiniciador exercem influência na velocidade de polimerização e no grau de conversão.

O fato de uma maior quantidade de canforoquinona conduzir a um aumento do grau de conversão, assim melhorando inclusive as propriedades mecânicas das resinas compostas, já foi apontado por Peutzfeldt e Asmussen (1989); Rueggeberg, Ergle e Lockwood (1997).

Porém, como a cor amarela da canforoquinona causa o amarelamento do material, sua incorporação fica limitada, quando da fabricação de cores mais claras, como apontado por Yoshida e Greener (1994); Park, Chae e Rawls (1999); Sun e Chae (2000).

Já foi comentado que existem outras substâncias usadas como fotoiniciadores, como a butanodiona (BD), a fenilpropanodiona (PPD), o óxido mono-aquil-fosfínico (MAPO, também denominado Lucirin TPO) e o óxido bis-aquil fosfínico (BAPO). Ora, pode ser constatado, na maior parte das bulas que acompanham as resinas compostas, que não é informado qual o fotoiniciador nelas presentes. Cada fotoiniciador tem seu próprio espectro de absorção (ou de excitação). Esse espectro deve coincidir com o da luz emitida pelo fotopolimerizador.

A fonte luminosa dos aparelhos atuais pode ser uma lâmpada de filamento incandescente (halógena), um diodo emissor de luz (LED), um dispositivo a LASER[‡] ou ainda uma combinação destes. Para cada um deles, o espectro de luz é diferente. Esta deve ter a capacidade de estimular adequadamente o fotoiniciador. Na maior parte dos casos, como é de conhecimento comum, o fabricante do fotopolimerizador não divulga informações sobre o espectro de luz emitido por seu aparelho.

Existem vários trabalhos científicos, dentre eles o de Rueggeberg e Craig (1988), nos quais buscou-se, sem sucesso, descobrir se a taxa de conversão da resina composta atingia níveis adequados. Muitos são os fatores envolvidos nesse processo, alguns destes esclarecidos por Kurachi (2000).

O grau de conversão alcançado por uma resina composta pode ser estabelecido de forma direta, através de exames laboratoriais (químicos e/ou físico-químicos) que são extremamente caros, como a análise dinamo-

[‡] A sigla LASER foi composta a partir da expressão "Light Amplified and Stimulated of Radio-Emission".

mecânica (DMA), também denominada análise termo-dinamo-mecânica (DMTA), e espectroscopias de vários tipos, como por infravermelho ou de chama. Não foi objetivo no presente trabalho determinar se a polimerização estava completa, do ponto de vista químico; entretanto, foram tomados os cuidados possíveis para que ela fosse adequada.

A avaliação da resistência ao desgaste abrasivo, efetuada laboratorialmente, é um processo que fornece resultados adequados mais rapidamente do que estudos clínicos.

Teoricamente, os ensaios laboratoriais mais adequados seriam aqueles onde existe a formação de cavacos, ou seja, quando fragmentos são removidos de um substrato, o que indica que realmente está ocorrendo abrasão, como acontece com os 3 ensaios utilizados no presente trabalho.

No caso do nanodurômetro, é isso que acontece, durante a criação do sulco; esse realmente é um processo de dureza, porém, de dureza dinâmica. Já a dureza por penetração de uma ponta, a qual é uma dureza estática, não é indicador adequado do desgaste abrasivo, principalmente para materiais plásticos e tão heterogêneos como a resina composta, pois envolve apenas a deformação plástica e não a formação de cavacos. Sob esse aspecto, Harrison e Draughn (1976), já haviam detectado não existir alto nível de correlação entre o desgaste abrasivo e a dureza por penetração de uma ponta; isso também foi apontado por Ulhôa *et al.* (2007).

O método do disco retificado, idealizado por Coelho (1991), para avaliar o desgaste abrasivo de aços, veio sendo aperfeiçoado por uma equipe de Professores da Faculdade de Engenharia de Bauru (UNESP), e da Faculdade de Odontologia de Bauru (USP), para analisar materiais odontológicos, inclusive resina composta. Assim, foram desenvolvidos vários trabalhos, como o de Dias (1995); Bianchi *et al.* (1996); Salgado (1996); Salgado, Freitas e Bianchi (1997); Bianchi *et al.* (2000b); Bianchi (2002); Bianchi *et al.* (2002); Bianchi *et al.* (2003); França *et al.* (2004); Cruz *et al.* (2005); Santana *et al.* (2005); Cintra *et al.* (2006); Ulhôa (2006); Ulhôa *et al.* (2006); Freitas (2007); Ulhôa *et al.* (2007); Cruz *et al.* (2008); Bianchi *et al.* (2010), os quais consistiram em artigos publicados em revistas, apresentações em congressos e pesquisas envolvendo Iniciação Científica, Mestrado ou Doutorado.

Este método está em processo de registro de patente de Bianchi *et al.* (2000a), financiado pela UNESP.

Em qualquer estudo, a espessura da camada da resina composta a ser fotopolimerizada é um aspecto importante. Na maioria dos trabalhos, ela é de cerca de 2 mm; entretanto, alguns autores como Rueggeberg e Craig (1988) afirmam que esta espessura pode ser de até 4 mm.

6.2- dos métodos utilizados

Quanto ao método do disco retificado, houve necessidade de se utilizar a retificadora tangencial plana instalada no Laboratório de Usinagem por Abrasão (LUA/UNESP), 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.

Era necessário que o operador da máquina fosse alguém de capacidade adequada e com permissão regulamentar da Faculdade, o que implicava, no mínimo, na ajuda de um estudante do Curso de Graduação em Engenharia. Antes do uso de um reboło (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 reboło diamantado manter-se inalterada; a necessária movimentação do cabeçote da máquina implicava na

remoção do sistema cursor e de sua recolocação no banco, para nova série de 6 ensaios. Todos os trabalhos de pesquisa realizados através desse método possibilitam afirmar que ele é adequado para verificar as taxas de desgaste abrasivo, inclusive das resinas compostas. É necessário que, através desse método, sejam mantidas fixas a maior parte das variáveis envolvidas; assim, as características da rugosidade superficial do disco dinâmico utilizado no presente trabalho apresentaram extrema semelhança com aquelas do disco usado no trabalho anterior de Freitas (2007).

Quanto ao método de escovação, os espécimes dos 3 materiais analisados (PMMA, resina composta Incisal e a C4) ocuparam todas as posições da máquina de escovação, para assim ser obedecida a determinação da ISO (2007), a qual inclusive estabelece que o dentífrício seja dissolvido em água, na proporção de 1:2, em peso.

Caso seja necessária alguma conversão de unidades, a densidade (expressa em mg/mm^3) da resina composta Incisal é 0,00000216, da C4 é 0,00000259 e do PMMA é 0,00000127.

6.3- dos resultados obtidos

No método do disco retificado (que consiste num método de 2 corpos), o PMMA mostrou a maior resistência, seguido pela resina C4, sendo a Incisal a mais fraca dentre esses materiais. Esses mesmos resultados foram observados no trabalho anterior da autora, Freitas (2007), para os espécimes fotopolimerizados também por 30 segundos, ou seja, $0,1301 \text{ mm}^3/\text{N.s}$ para o PMMA, $0,5882 \text{ mm}^3/\text{N.s}$ para a C4 e $0,7675 \text{ mm}^3/\text{N.s}$ para a Incisal. Não pode ser feita nenhuma outra comparação com quaisquer outros trabalhos, como Coelho (1991); Dias (1995); Bianchi *et al.* (1996); Salgado (1996); Salgado, Freitas e Bianchi (1997); Bianchi *et al.* (2000b); Bianchi (2002); Bianchi *et al.* (2002); Bianchi *et al.* (2003); França *et al.* (2004); Cruz *et al.* (2005); Santana *et al.* (2005); Cintra *et al.* (2006); Ulhôa (2006); Ulhôa *et al.* (2006); Freitas (2007); Ulhôa *et al.* (2007); Cruz *et al.* (2008); Bianchi *et al.* (2010), onde foi utilizado o referido método, em função de diferenças das condições e/ou dos materiais envolvidos.

No método por escovação, o PMMA mostrou basicamente a mesma resistência à abrasão apresentada pela resina Incisal, enquanto a resina C4 (que no

método anterior foi mais resistente em relação à resina Incisal) agora mostrou-se o material mais fraco de todos. A hipótese que parece explicar essa alteração de comportamento é o “tumulto” causado pela introdução de um “terceiro corpo”, no caso, o abrasivo do dentífrico, visto que esse método abrasivo é considerado como do tipo de 3 corpos. Nenhuma outra comparação pode ser feita com quaisquer outros estudos, em função também de diferenças entre as condições envolvidas.

No método do nanodurômetro (que também consiste num método de 2 corpos), o PMMA continuou apresentando-se isoladamente como o material mais resistente de todos (assim como aconteceu no método do disco retificado), agora seguido pelas resinas, as quais apresentaram comportamento semelhante entre si. Não foram encontrados trabalhos envolvendo esse método para analisar a resistência ao desgaste abrasivo de resinas compostas, o que explica a inexistência de qualquer comparação. Um aumento da carga, além da quantia aqui utilizada (900 μN), talvez permita uma diferença mais nítida entre os 3 materiais aqui analisados, o que é uma pretensão em futuros trabalhos.

Foi interessante constatar que, dentre os métodos aqui utilizados, o do disco retificado foi o único que permitiu detectar diferenças entre os 3 materiais analisados. Para que o método do nanodurômetro alcance esse mesmo objetivo, talvez seja necessário aumentar o número de espécimes, ou a carga, por exemplo; esta possibilidade teórica é uma expectativa lógica. Finalmente, para que o método de escovação teoricamente venha a possibilitar tal detecção, talvez também seja necessário aumentar o número de espécimes ou deixar de utilizar o dentífrico, visto que esse último tumultua bastante o processo de desgaste.

7 Conclusões

Os resultados obtidos dentro das condições do presente estudo, após serem analisados estatisticamente, permitiram concluir que a resistência ao desgaste abrasivo:

1) pelo método do disco retificado, foi maior para o PMMA, seguida pela resina C4 e menor para a resina Incisal, sendo o primeiro o material mais resistente de todos;

2) pelo método de escovação, foi semelhante para o PMMA e a resina Incisal (os mais resistentes), sendo menor para a resina C4, e

3) pelo método do nanodurômetro, também foi maior para o PMMA (o mais resistente), seguida pela das resinas, as quais apresentaram comportamento semelhante entre si.

Referências

Referências

Aguiar FHB, Braceiro ATB, Ambrosano GMB, Lovadino JR. Hardness and diametral tensile strength of a hybrid composite resin polymerized with different modes and immersed in ethanol or distilled water media. *Dent Mat.* 2005;21:1098-1103.

Almeida CT, Freitas CA, Freitas MFA, Bianchi EC, Imai LJ. Desgaste dos cimentos de ionômero de vidro Vidrion R e ChemFlex, promovido pelos dentifrícios infantis Tandy e Baby Barney em máquina de escovação. *RPG.* 2007;14:45-51.

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.

Alvim HH, Alecio AC, Vasconcellos WA, Furlan M, Oliveira JE, Saad JRC. Analysis of camphorquinone in composite resins as a function of shade. *Dent Mat.* 2007;23:1245-9.

American Dental Association. Council on Dental Materials and Devices. American National Standards Institute. Specification No. 27 for Direct Filling Resins. *J Amer Dent Assoc.* 1977 June;94:1191-4.

American Dental Association. Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. Posterior composite resins. *J Amer Dent Assoc.* 1986 May;112(5):707-9.

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.

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.

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.

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.

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. (a)

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.

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]. (b)

Bianchi EC, Uihôa MPM, Aguiar PR, Freitas CA, Gonçalves GMB. Analysis of polymerization time on abrasive wear of dental resins. Mat Res. 2010;13(1):41-4.

Brackett MG, Brackett WW, Browning WD, Rueggeberg FA. The effect of light curing source on the residual yellowing of resin composites. Oper Dent. 2007;32(5):443-50.

Cintra MB, Uihôa MPM, Bianchi EC, Freitas CA, Freitas MFA, Aguiar PR. Desgaste abrasivo de cimentos de ionômero de vidro nacionais e importado. In: Anais da Associação Brasileira de Ciências Mecânicas; 2006 ago 22 a 25; Recife, PE; em CD p. 1-9 [apresentado no IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM) 2006].

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.

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.

Cruz CED, Santana LRS, Bianchi EC, Ulhôa 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].

Cruz CED, Santana LRS, Bianchi EC, Aguiar PR, Silva Júnior CE, Catai RE, Freitas CA, Salgado MH, Freitas MFA, Ulhôa MPM. Análise da influência dos diferentes tempos de polimerização por luz incandescente sobre a resistência ao desgaste abrasivo de resinas compostas. *Matéria*. 2008;13:77-87.

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.

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.

Dickson G. Physical and Chemical Properties and Wear. *J Dent Res*. 1979;58(5):1535-43.

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.

França TV, Bianchi EC, Aguiar PR, Fusse RY, Catai RE, Freitas CA. Avaliação do desgaste abrasivo causado pelas cerâmicas Duceram e Vita em resinas compostas pelo método do disco retificado. *Rev Cerâmica* 2004;50:166-71.

Franco EB, Lopes LG. Conceitos atuais na polimerização de sistemas restauradores resinosos. *Biodonto* 2003;1(2):51.

Freitas MFA. Desgaste abrasivo da resina composta Filtek Z250 (4 diferentes cores, fotopolimerizadas por 3 diferentes tempos), através do método do disco retificado [dissertação]. Bauru (SP): Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 2007.

Freitas MFA, Imai LJ, Freitas CA, Bianchi EC, Almeida CT, Martins-Filho IE. Desgaste abrasivo de dois cimentos odontológicos ionoméricos, em máquina de escovação. RSBO 2011;8(3):287-93.

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.

International Organization for Standardization. Dental materials - Guidance on testing of wear resistance. Part 1: Wear by tooth brushing. Technical Specification, ISO/TS n°. 14569-1. Switzerland, 1999.

International Organization for Standardization. Dental materials - Guidance on testing of wear resistance. Part 1: Wear by tooth brushing. Technical Report, ISO/TR, n°. 14569-1, Switzerland, 2007.

Kossatz S, Silva RM, Paula E, Hoepfner MG. Análise de radiômetros manuais para aparelhos fotopolimerizadores. Rev Assoc Paul Cir Dent. 2011;65(3):206-12.

Krishnan VK, Yamuna V. Effect of initiator concentration, exposure time and particle size of the filler upon the mechanical properties of a light-curing radiopaque dental composite. J Oral Rehabil. 1998;25:747-51.

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.

Lambrechts P, Debels E, Landuyt K, Peumans M, Meerbeek B. How to simulate wear? Overview of existing methods. Dent Mater. 2006;22:693-701.

Lohbauer U, Rahiotis C, Krämer N, Petschelt A, Eliades G. The effect of different light-curing units on fatigue behavior and degree of conversion of a resin composite. Dent Mat. 2005;21:608-15.

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.

Momoi Y, Hirotsaki K, Kohno A, McCabe JF. *In vitro* toothbrush-dentifrice abrasion of resin-modified glass ionomers. Dent Mater. 1997 Mar;13(2):82-8.

O'Brien WJ, Yee J. Microstructure of posterior restorations of composite resin after clinical wear. Oper Dent. 1980 May/Jun;5(3):90-4.

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.

Park YJ, Chae KH, Rawls HR. Development of a new photoinitiator system for dental light-cure composite resins. Dent Mater. 1999 Mar;15(2):120-7.

Peutzfeldt A, Asmussen E. Hardness of restorative resins: effect of camphorquinone, amine and inhibitor. Acta Odontol Scand. 1989 Aug;47(4):229-31.

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. (OK)

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.

Rueggeberg FA. State-of-the-art: Dental photocuring - A review. Dent Mat. 2011;27:39-52.

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.

Rueggeberg FA, Ergle JW, Lockwood PE. Effect of photoinitiator level on properties of a light-cured and post-cure heated model resin system. Dent Mater. 1997 Nov;13(6):360-4.

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.

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.

Santana LRS, Cruz CED, Catai RE, Bianchi EC, Ulhôa 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.

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.

Silva EH. Influência de diferentes fontes fotoativadoras na conversão de resinas compostas [dissertação]. Belo Horizonte (MG): Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Universidade Federal de Minas Gerais; 2007.

Stansbury JW. Curing dental resins and composites by photopolymerization. J Esth Dent. 2000;12(6):300-8.

Sun GJ, Chae KH. Properties of 2,3-butanedione and 1-phenyl-1,2-propanedione as new photosensitizers for visible light cured dental resin composites. Polymer. 2000;41(16):6205-12.

Taira M *et al.* Analysis of photo-initiators in visible-light-cured dental composites resins. J Dent Res. 1988 Jan;67(1):24-8.

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.

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.

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; em CD p. 1-9 [apresentado no IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM) 2006].

Ulhôa MPM, Santana LRS, Bianchi EC, Cruz CED, Aguiar PR, Freitas CA, Freitas MFA. Comparação da influência entre tempos de polimerização em resinas compostas polimerizadas com LED e luz incandescente. Polímeros. 2007;17:258-62.

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.

Yoshida K, Greener EH. Effect of photoinitiator on degree of conversion of unfilled light-cured resin. J Dent. 1994 Oct;22(5):296-9.

Wang W, DiBenedetto AT, Goldberg AJ. Abrasive wear testing of dental restorative materials. Wear 1998 Sep;219(2):213-9.

Wassell RW, McCabe JF, Walls AWG. A two-body frictional wear test. J Dent Res. 1994 Sep;73(9):1546-53.

Apêndice

Apêndice

Os gráficos 1, 2 e 3 ilustram a tabela 2, quanto aos valores do desgaste através do método do disco retificado. O primeiro deles corresponde à resina composta Incisal, o seguinte à resina composta C4 e o último ao PMMA.

As tabelas 5, 6 e 7 contém, respectivamente, os valores originais dos 3 grupos de escovação que possibilitaram a confecção da tabela 3.

Tabela 5 - Valores originais (inicial e final) das massas dos espécimes do Grupo 1 de escovação

Grupo 1			
Posição	Material	Massa inicial	Massa final
1	Incisal	4666,2	4658,8
2	C4	4778,3	4767,5
3	PMMA	4550,9	4545,8
4	Incisal	4713,7	4707,1
5	C4	4748,3	4740,0
6	PMMA	4523,9	4518,0
7	Incisal	4741,5	4735,9
8	C4	4666,7	4654,9
9	PMMA	4463,4	4459,4
10	Incisal	4710,3	4706,2

Tabela 6 - Valores originais (inicial e final) das massas dos espécimes do Grupo 2 de escovação

Grupo 2			
Posição	Material	Massa inicial	Massa final
1	C4	4,7432	4734,5
2	PMMA	4,5877	4582,3
3	Incisal	4,7271	4722,2
4	C4	4,7042	4695,7
5	PMMA	4,4808	4473,9
6	Incisal	4,5934	4586,8
7	C4	4,5881	4579,1
8	PMMA	4,5314	4525,8
9	Incisal	4,7188	4714,6
10	C4	4,7191	4709,5

Tabela 7 - Valores originais (inicial e final) das massas dos espécimes do Grupo 3 de escovação

Grupo 3			
Posição	Material	Massa inicial	Massa final
1	PMMA	4460,3	4451,6
2	Incisal	4743,1	4738,4
3	C4	4727,7	4716,4
4	PMMA	4519,0	4511,7
5	Incisal	4717,1	4711,8
6	C4	4716,4	4708,4
7	PMMA	4546,4	4540,4
8	Incisal	4654,8	4650,1
9	C4	4691,3	4683,8
10	PMMA	4450,8	4446,9

Os gráficos de números 4 a 10 ilustram a tabela 4, quanto aos valores do coeficiente de atrito obtidos através do nanodurômetro. O primeiro deles corresponde aos 3 espécimes existentes na primeira linha da referida tabela; o segundo é correspondente aos 3 espécimes da segunda linha e assim por diante.