UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE BAURU

GABRIELA ULIAN DE OLIVEIRA

**Avaliação do desgaste e da alteração da rugosidade superficial em
resinas compostas de diferentes características submetidas à
escovação simulada e ciclagem de pH**

BAURU
2011

GABRIELA ULIAN DE OLIVEIRA

Avaliação do desgaste e da alteração da rugosidade superficial em resinas compostas de diferentes características submetidas à escovação simulada e ciclagem de pH

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências Odontológicas Aplicadas na área de concentração Dentística.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Kiyoshi Ishikiriama

Versão Corrigida

BAURU
2011

Oliveira, Gabriela Ulian de

OI4a

Avaliação do desgaste e da alteração da rugosidade superficial em resinas compostas de diferentes características submetidas à escovação simulada e ciclagem de pH/ Gabriela Ulian de Oliveira. - - Bauru 2011

125 p. : il. ; 31cm.

Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Odontologia de Bauru. Universidade de São Paulo.

Nota: A versão original desta dissertação encontra-se disponível no Serviço de Biblioteca e Documentação da Faculdade de Odontologia de Bauru - FOB/USP.

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

Assinatura: _____

Data: ____/____/____

FOLHA DE APROVAÇÃO

DADOS CURRICULARES

Gabriela Ulian de Oliveira

Nascimento	6 de março de 1987
Naturalidade	Catanduva – São Paulo
Filiação	Antonio Carlos de Oliveira Maria Amélia Ulian de Oliveira
2005-2008	Curso de graduação em Odontologia pela Faculdade de Odontologia de Bauru – Universidade de São Paulo
2009-2010	Curso de Aperfeiçoamento em Periodontia pela Associação Paulista dos Cirurgiões Dentistas de Bauru
2009-2011	Curso de Pós Graduação, nível de Mestrado, em Ciências Odontológicas aplicadas à Dentística, pela Faculdade de Odontologia de Bauru – Universidade de São Paulo.
Associações	SBPqO – Sociedade Brasileira de Pesquisa em Odontologia

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,

Antonio Carlos de Oliveira e Maria Amélia Ulian de Oliveira,

Pelo exemplo de pessoas que são para mim, tanto na vida quanto na profissão. Vocês são meus ídolos!

Minha eterna gratidão por estarem sempre ao meu lado me apoiando em cada escolha realizada, pela confiança em mim depositada e pela amizade.

Amo muito vocês!

Ao Renato,

Pela compreensão nos momentos de angústia e pelo incentivo nas horas difíceis.

Muito obrigada pelo carinho, pela companhia e dedicação e por tudo que representa na minha vida. Amo você.

Ao meu irmão, Guilherme,

Gui, é maravilhoso ter você como irmão e amigo para todas as horas.

Muito obrigada pelo apoio e pela torcida em todos os desafios.

À toda minha família,

Muito obrigada a todos, avós, tios e primos, que torcem pelo meu sucesso e me apoiam em cada escolha, desde sempre!

Às amigas desde o início da graduação,

Amigas que sempre serão lembradas com enorme carinho e que espero poder rever muitas e muitas vezes. Muito obrigada pelos ouvidos nos momentos de lamentações e pelos sorrisos nas comemorações.

À Dani e a Franci,

Por me acolherem e por me incentivarem na profissão e na vida pessoal. Além de grandes amigas, agora também são minha família. Adoro vocês!

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao meu orientador, Sérgio Kiyoshi Ishikiriama,

Porque seu incentivo me ajudou a crescer na carreira.

Muito obrigada pela amizade, atenção e por todo o apoio durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Rafael Francisco Lia Mondelli,

Por despertar em mim a paixão pela Dentística Restauradora e acreditar no meu trabalho em todos esses anos de convivência.

Ao Prof. Dr. Marco Antonio Húngaro,

Pela realização cuidadosa da análise estatística da pesquisa, assim como dos demais trabalhos por mim desenvolvidos. Muito obrigada pela disposição em responder a todas as dúvidas e também aos chamados em clínica.

A todos os professores do Departamento de Dentística e Materiais Dentários,

Prof. Dr. Eduardo Batista Franco, Profa. Dra. Maria Teresa Atta, Profa. Dra. Linda Wang, Prof. Emerson André Coneglian, Prof. Dr. Carlos Eduardo Francisconi, Prof. Dr. José Mondelli Prof. Dra. Maria Fidela de Lima Navarro, Prof. Dr. César Antunes de Freitas, Prof. Dr. Paulo Afonso Silveira Francisconi, Profa. Dra. Ana Flávia Sanches Borges, pelo exemplo de profissionalismo, pela dedicação e atenção que recebi durante todos esses anos de convivência.

A todos os funcionários de Departamento de Dentística e Materiais Dentários,

Porque sempre foram prestativos e pacientes e por me ajudarem em tudo o que podiam para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

A toda a turma de mestrado 2009.

Marcela, Carol, Yvette, Ana Miriam, Larissa, Kiki, Luciana, Guilherme, Thiago, Victor e Ênio, muito obrigada pelos bons momentos durante todo o tempo de convivência, seja os que passamos em clínica e na organização de trabalhos e seminários ou durante as comemorações após eles.

Aos alunos do Doutorado.

Flávia, Lú Francisconi, Lulu, Leslie, Leonardo, Juan,
Pessoas queridas que sempre nos orientaram nas atividades do mestrado e também em clínica durante a graduação e não pouparam tempo nem conhecimento para que nosso desempenho fosse o melhor.

A todos que desejam meu sucesso, muito obrigada!

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar quantitativamente a alteração na rugosidade superficial e o desgaste de resinas compostas com diferentes características de matriz orgânica e de carga inorgânica frente ao teste de escovação simulada e ciclagem de pH. Foram testadas três resinas compostas: Filtek Z250 (Bis-GMA, microhíbrida), Filtek Z350 (Bis-GMA, nanoparticulada) e Filtek P90 (silorano, microhíbrida)(3M-ESPE). Para cada resina foram confeccionados dois grupos (n=10) de corpos de prova retangulares (15mmx5mmx4mm). Após a polimerização e polimento adequado dos espécimes, a rugosidade inicial (Ra) foi obtida pela média de três leituras com o Rugosímetro Hommel T1000. Metade de cada corpo de prova foi protegida com esmalte de unha e um dos grupos de cada resina foi submetido a um protocolo de ciclagem de pH (desmineralização-pH 4,3 e remineralização-pH 7,0). Para o teste de abrasão foram realizados 100.000 ciclos de escovação simulada, permanecendo a metade protegida como grupo controle. Na metade escovada foi verificada a rugosidade final, seguindo os mesmos parâmetros iniciais, e o desgaste (μm) foi quantificado pela média de 3 leituras do perfil real abrangendo as duas superfícies (controle e escovada). Os resultados obtidos (ANOVA, teste 't' Student e Tukey, $p<0.05$) mostraram diferenças significantes para o desgaste e alteração de rugosidade entre as resinas testadas. A maior média de desgaste foi apresentada pela Filtek P90 ($11,505\mu\text{m}\pm 5,690$) com diferença significativa para a Filtek Z250 ($4,191\mu\text{m}\pm 1,725$) e para a Filtek Z350 ($4,163\mu\text{m}\pm 0,947$), sendo que a ciclagem de pH afetou apenas o desgaste da resina Filtek P90 ($15,305\mu\text{m}\pm 5,409$). Verificou-se aumento da média de rugosidade superficial para as resinas Filtek Z250 e Z350 após escovação simulada, enquanto que a resina Filtek P90 apresentou comportamento contrário, com diferenças estatisticamente significantes ($p<0,05$). As imagens de microscopia eletrônica de varredura apresentaram-se coerentes com os resultados quantitativos obtidos.

Palavras-chave: silorano, desgaste, rugosidade.

ABSTRACT

Wear and surface roughness alteration evaluation of different composite resins after toothbrushing and pH cycling.

The present study aimed to quantitatively evaluate the surface roughness alteration and wear of resin composites with different characteristics of organic matrix and inorganic filler when submitted to simulated toothbrushing abrasion and pH cycling. Three different resin composites were evaluated: Filtek Z250 (Bis-GMA, microhybrid), Filtek Z350 (Bis-GMA, nanofilled) and Filtek P90 (silorane based, microhybrid) (3M-ESPE). For each resin two groups (n=10) of rectangular specimens (15mmX5mmX4mm) were made. After polymerization and polishing, the initial roughness (Ra) was evaluated by the average of three tracings using a roughness tester Hommel T1000 basic. Half of each specimen was protect with nail varnish and one group of each resin was submitted to pH cycling (demineralization-pH 4,3 and remineralization-pH 7,0). For the abrasion test 100.000 strokes of simulated toothbrushing was processed. The protected side was maintained as control. Over the brushed side the final roughness was measured with the same initial parameters and wear was quantified by the average of 3 readings of the real profile between the two surfaces (control and brushed side). The obtained results (ANOVA, Student "t" test and Tukey, $p<0.05$) showed significant differences of wear and surface roughness alteration between the tested materials. Filtek P90 presented the highest average wear rate ($11.505 \pm 5.690\mu\text{m}$) compared to Z250 ($4.191 \pm 1.725\mu\text{m}$) and Z350 ($4.163 \pm 0.947\mu\text{m}$) and the pH cycling significantly affected the wear of Filtek P90($15.305 \pm 5.409 \text{ mM}$). The surface roughness evaluation revealed an increasing on surface roughness for Filtek Z250 and Filtek Z350 after toothbrushing, while Filtek P90 showed an opposite behavior, with statistically significant differences ($p<0.05$). The scanning electron microscope images were in accordance to the quantitative results obtained.

Keyword: silorane, wear, roughness

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURAS

Figura 1 - Apresentação comercial das resinas utilizadas	54
Figura 2 - (A) Escova dental Colgate Classic; (B) Imagem aproximada da cabeça da escova.....	55
Figura 3 - Dentifrício Colgate.....	56
Figura 4 - Esquema representativo do delineamento experimental do presente estudo.....	57
Figura 5 - (A) Projeto gráfico e medidas da cavidade, braços e plataforma da matriz empregada; (B) Matriz com os braços fechados constituindo uma cavidade e o dispositivo utilizado para compressão.....	58
Figura 6 - Politriz metalográfica APL4, Arotec	60
Figura 7 - Rugosímetro Hommel Tester T1000.....	61
Figura 8 - Máquina utilizada nos testes de escovação simulada.....	64
Figura 9 - Escova dental acoplada à máquina de escovação simulada.....	65
Figura 10 - Representação esquemática da cabeça da escova dental e posicionamento dos tufo sobre o corpo de prova	65
Figura 11 - Exemplo do perfil de desgaste apresentado após procedimento de abrasão. (A) Início da leitura feita pelo rugosímetro; (B) Final da leitura	68
Figura 12 - Fotomicrografia da resina composta Filtek™ Z250 logo após polimento (MEV 500X original)	79
Figura 13 - Fotomicrografia da resina composta Filtek™ Z250 após escovação simulada (MEV 500X original)	79
Figura 14 - Fotomicrografia da resina composta Filtek™ Z250 após ciclagem de pH + escovação simulada (MEV 500X original)	79

Figura 15 - Fotomicrografia da resina composta Filtek™ Z350 logo após polimento (MEV 500X original)	79
Figura 16 - Fotomicrografia da resina composta Filtek™ Z350 após escovação simulada (MEV 500X original)	79
Figura 17 - Fotomicrografia da resina composta Filtek™ Z350 após ciclagem de pH + escovação simulada (MEV 500X original)	79
Figura 18 - Fotomicrografia da resina composta Filtek™ P90 logo após polimento (MEV 500X original)	79
Figura 19 - Fotomicrografia da resina composta Filtek™ P90 após escovação simulada (MEV 500X original)	79
Figura 20 - Fotomicrografia da resina composta Filtek™ P90 após ciclagem de pH + escovação simulada (MEV 500X original)	79

- GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico representativo das médias de desgaste (μm) e desvios padrão (*) das resinas compostas após o teste de escovação simulada	74
Gráfico 2 - Gráfico representativo das rugosidades superficiais (μm) das resinas compostas testadas antes e após o teste de escovação simulada	75
Gráfico 3 - Gráfico representativo da variação de rugosidade superficial (μm) das resinas compostas testadas	76
Gráfico 4 - Gráfico representativo da média de rugosidade superficial (μm) de todos os grupos que sofreram ciclagem de pH em comparação com a média (μm) dos grupos que não passaram por esse processo	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produtos utilizados, respectivos fabricantes, cores selecionadas, lotes, prazos de validade e abreviaturas.....	53
Tabela 2 -Características das resinas compostas utilizadas	54
Tabela 3 -Unidade fotoativadora e suas especificações.....	55
Tabela 4 - Composição do dentifrício.....	56
Tabela 5 - Médias de desgaste (μm) e desvio padrão.....	73
Tabela 6 - Valores das médias iniciais e finais das rugosidades ($\text{Ra-}\mu\text{m}$) obtidas antes e após a escovação simulada	75

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ADA	American Dental Association
Bis-GMA	Bis-fenol A-glicidil metacrilato
Bis-EMA	Bis-fenol A-polietileno glicol dieter dimetacrilato
Bis- MPEPP	2,2-bis(4metacriloxiepoxfenil)propano
°C	Graus Celsius
cm ²	centímetro quadrado
D	Dimensão
DP	Desvio padrão
F	Força
g	grama
h	Hora
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
min	Minuto
µm	Micrômetro
mm	Milímetro
mm ²	Milímetro quadrado
ml	Mililitro
mW/cm ²	MiliWatts por centímetro quadrado
nm	nanômetro
N	Newton
pH	Potencial hidrogeniônico
Ph-SIL	bis-3,4-epoxicicloexiletil-fenil-metilsilano
%	Porcentagem
Ra	Rugosidade aritmética
s	segundo
TEGDMA	Trietilenoglicol de dimetacrilato
TET-SIL	3,4-epoxicicloexiletil-ciclopometilsiloxano
THF	tetrahidrofurano
UEDMA	Uretano dimetacrilato
V	Volume
Vol	Volume
X	Veze

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
3	PROPOSIÇÃO	47
4	MATERIAIS E MÉTODO	51
4.1	Materiais	53
4.2	Método	56
4.2.1	Delineamento experimental	56
4.2.2	Obtenção dos corpos de prova	57
4.2.3	Planificação dos corpos de prova	59
4.2.4	Aferição de rugosidade superficial	60
4.2.5	Armazenamento dos espécimes	62
4.2.6	Ciclagem de pH	62
4.2.7	Procedimento de abrasão	63
4.2.8	Limpeza dos corpos de prova	66
4.2.9	Determinação da rugosidade final	66
4.2.10	Determinação do desgaste	67
4.3	Microscopia eletrônica de varredura	69
4.4	Delineamento estatístico	69
5	RESULTADOS	71
5.1	Desgaste	73
5.2	Rugosidade	74
5.3	Ilustração qualitativa	77
6	DISCUSSÃO	81
6.1	Desgaste	83
6.2	Rugosidade	94
6.3	Ciclagem de pH	99
7	CONCLUSÕES	105
	REFERÊNCIAS	109
	ANEXOS	117

1 Introdução

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da comercialização das resinas compostas e, principalmente, após a sua consagração na odontologia para aplicação em restaurações diretas, características relacionadas às suas propriedades físicas, qualidade de manipulação, durabilidade e resistência ao desgaste melhoraram consideravelmente. A crescente procura dos pacientes por restaurações estéticas, mesmo em áreas posteriores, torna necessária a realização de pesquisas para melhor entendimento das propriedades e aplicações destes materiais (VAN GROENINGEN, 1981; MITRA; WU; HOLMES, 2003; WEINMANN; THALACKER; GUGGENBERGER, 2005; PRAKKI et al., 2007). A avaliação das resinas compostas, em termos de resistência ao desgaste e rugosidade superficial, é um importante fator para a indicação destes materiais nos diversos tipos de restaurações a serem empregados.

As características das resinas compostas relacionadas ao tipo e quantidade de carga, além de serem determinantes para a obtenção de melhores propriedades físicas e mecânicas dos materiais, podem interferir na longevidade de uma restauração. Como já é sabido, resinas com menor tamanho de partículas inorgânicas garantem melhor polimento e retenção de brilho, o que também contribui com a redução do acúmulo de placa na sua superfície (VAN GROENINGEN, 1981; WILLEMS et al., 1992; VAN DIJKEN; SJÖSTRÖM; WING, 1987; MITRA; WU; HOLMES, 2003; ERGÜCÜ; TÜRKÜN, 2007; MORAES et al., 2009; BURGESS; CAKIR, 2010; LEPRINCE et al., 2010).

A contração de polimerização e a consequente geração de tensão na área marginal são características inerentes às resinas compostas e contribuem para a redução da integridade marginal, aumento da sensibilidade pós-operatória e desenvolvimento de lesões de cárie secundária, quando associadas aos sistemas adesivos nas diversas situações clínicas (BURGESS; CAKIR, 2010). Algumas estratégias podem ser usadas para reduzir a contração de polimerização que ocorre na matriz orgânica: 1. aumentar o volume proporcional de partículas inorgânicas; 2. aumentar o tamanho da molécula (peso molecular do monômero); 3. usar

diferentes tipos de monômeros (PEUTZFELDT, 1997; ILIE et al., 2007; ILIE; HICKEL, 2009a; LEPRINCE et al., 2010).

Mais recentemente, a fim de controlar os efeitos indesejados da contração de polimerização, foram introduzidas no mercado as resinas compostas com matriz orgânica à base de silorano, monômero com uma nova composição química que apresenta contração de polimerização menor do que as tradicionais resinas compostas à base de metacrilato. Esta nova resina combina duas vantagens particulares de seus componentes (siloxano e oxirano): baixa contração de polimerização devido ao monômero de cadeia aberta oxirano e o aumento da hidrofobicidade devido à presença de siloxano (WEINMANN; THALACKER; GUGGENBERGER, 2005; ILIE et al., 2007; ILIE; HICKEL, 2009b). De acordo com o fabricante, para se garantir o melhor desempenho deste material, o sistema iniciador e as partículas de carga foram adaptados.

Outro avanço nas resinas compostas atuais de uso direto foi a introdução da nanotecnologia, também conhecida como nanotecnologia molecular ou engenharia molecular. Essas resinas apresentam, em sua porção inorgânica, nanopartículas, com tamanho variando entre 1 e 100nm, ou formações maiores denominadas nanoaglomerados, que correspondem a aproximadamente 79% de carga (em peso) (MITRA; WU; HOLMES, 2003, ERGÜCÜ; TÜRKÜN, 2007). Elas podem ser usadas tanto para dentes anteriores como para posteriores, devido a melhor resistência e propriedades estéticas, quando comparadas a outras resinas compostas (MITRA; WU; HOLMES, 2003).

Todas estas modificações, tanto na porção inorgânica quanto na fase orgânica das resinas compostas podem influenciar em alterações de suas características. Dentre as propriedades que podem ser diretamente afetadas destacam-se a resistência ao desgaste, a rugosidade e a degradação química frente a desafios ácidos, sendo que estes fatores são normalmente interligados (ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 1998; YAP; LOW; ONG, 2000; TURSSI et al., 2005).

Existem vários métodos laboratoriais para avaliar o desgaste e a rugosidade superficial de materiais restauradores. Os testes de escovação *in vitro* são válidos na obtenção de dados comparativos sobre a resistência à abrasão de materiais

restauradores diretos e indiretos, bem como para a verificação da qualidade da superfície resultante (WU; MCKINNEY, 1982; ASENJO-MARTÍNEZ, 2004; WANG et al., 2004). A escovação simulada avalia um fator isolado, mas capaz de estabelecer um parâmetro do material quanto à sua resistência, não indicando necessariamente a resistência a outros tipos de desgaste como por contato oclusal, atividades parafuncionais ou dieta alimentar (SEXSON; PHILLIPS, 1951; VAN GROENINGEN, 1981).

Na cavidade bucal o meio químico é um aspecto que exerce influência significativa sobre o processo de degradação dos materiais restauradores resinosos, alguns fatores como o baixo pH, decorrente da ação dos microrganismos cariogênicos, da dieta e da composição iônica da saliva, causam o enfraquecimento do material restaurador (LEE et al., 1998; TURSSI et al., 2001; YAP et al., 2001; FERRACANE, 2006; FRANCISCONI et al., 2008). Isso se dá pela difusão de moléculas através da estrutura polimérica na matriz orgânica e resulta no amolecimento da resina (WU; MCKINNEY, 1982; ASMUSSEN, 1984). Parte da redução das propriedades mecânicas dos materiais é atribuída a esse processo (ASMUSSEN, 1984; TURSSI et al., 2005) e, conseqüentemente, fatores intrínsecos do material que interferem na difusão dos solventes, como por exemplo, a composição da matriz orgânica, o grau de conversão e a densidade de ligações cruzadas apresentam influência na resistência do material à degradação química (FERRACANE, 2006; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 1998).

Devido a importância em simular as condições da cavidade bucal, a ciclagem de pH é um fator relevante em estudos laboratoriais (TURSSI et al., 2001; PRAKKI et al., 2005; PRAKKI et al., 2007). Modelos *in vitro* de ciclagem de pH ainda são amplamente utilizados pois simulam a dinâmica de perda e ganho de mineral resultante de uma condição de desafio cariogênico envolvida na formação da lesão de cárie, situação a que também estão sujeitos os materiais restauradores (TEN CATE; DUIJSTERS, 1982; CARVALHO; CURY, 1999).

Considerando que as resinas compostas são comumente o material de escolha para restaurações de lesões cariosas e não cariosas e que o desgaste de áreas livres de contato oclusal é decorrente principalmente do processo de abrasão (TURSSI et al., 2001; GOHRING; BESEK; SCHIMIDLIN, 2002), o presente estudo

tem como objetivo avaliar quantitativamente o desgaste e a alteração na rugosidade superficial de resinas compostas com diferentes características de matriz orgânica (Bis-GMA e Silorano) e de carga inorgânica frente ao teste de escovação simulada após regime de ciclagem dinâmica de pH.

2 Revisão de Literatura

2 REVISÃO DE LITERATURA

Diversas modificações foram realizadas nas resinas compostas para uso direto que resultaram na melhoria desses materiais e na grande aceitação por parte dos profissionais. Porém, as pesquisas por um material com propriedades mecânicas, óticas e biológicas adequadas para substituir ou mimetizar a estrutura dentária perdida é contínua e ainda se faz necessária. Dentro desse contexto, a avaliação do desgaste e da rugosidade superficial sob condições que simulem o meio bucal apresentam-se como testes de grande relevância.

Como precursor no desenvolvimento de testes para avaliação de desgaste na odontologia, Miller (1907) verificou que diversos fatores podem resultar em danos às estruturas dentárias, como a erosão, a abrasão e a atrição. Em seu estudo ele realizou a escovação manual de dentes recém extraídos e percebeu através de uma análise visual a ocorrência de desgaste. Além disso, verificou grandes variações entre os resultados obtidos para as diferentes escovas dentais e substâncias abrasivas. O trabalho embasa diversos outros estudos que buscam causas e fatores relacionados ao desgaste tanto em estrutura dentária quanto em materiais restauradores.

As alterações superficiais decorrentes da abrasão, como a perda de peso e perda de brilho superficial, também foram analisadas por Sexon e Philips (1951). Com o início da utilização das resinas acrílicas em próteses totais, os autores objetivaram avaliar o efeito de agentes de limpeza na degradação superficial da resina. Para a simulação da escovação com o uso de dentífrício foi utilizada uma máquina, onde se procederam 20.000 ciclos. Alguns agentes de limpeza por imersão também foram testados em combinação com a escovação. Duas situações distintas foram aplicadas, uma com os corpos de prova mantidos estáticos e outra, com movimento de rotação durante a escovação. Nessas duas situações, verificou-se pouca variação entre a perda de peso decorrente da abrasão. Também houve pouco ou nenhum efeito na resina quando foi feito o uso exclusivo da escova dental para a abrasão, dessa forma, os autores associaram a perda de peso aos agentes de limpeza empregados, dentre eles, o dentífrício apresentou abrasividade média.

Na avaliação da superfície por microscopia eletrônica evidenciou-se a presença de sulcos e estrias nas resinas, com o uso prolongado de substâncias muito abrasivas isso pode dificultar manutenção da higiene da prótese.

Os autores Heath e Wilson (1976), buscaram desenvolver um método para avaliar de uma forma mais adequada a resistência abrasiva dos materiais restauradores quando submetidos à escovação e uso de dentífrico. Para isso foi desenvolvida uma máquina que simula a escovação em condições semelhantes à da boca. Os materiais testados foram ouro, amálgama, silicato, uma resina sem carga e diversas marcas de resinas com carga. Também foi utilizada uma solução de dentífrico à base de carbonato de cálcio, escolhido por ser representativo dos dentífricos mais comercializados. Os testes comparativos entre os materiais foram realizados após período de 7 dias de armazenamento dos corpos de prova em água destilada, à temperatura de 37°C, sob carga de 5N, amplitude de movimentos de 45mm e velocidade de 4,5 ciclos por segundo. Foi realizado um total de 20.000 ciclos de escovação por corpo de prova, o que, de acordo com os autores, equivalem a 10 meses de escovação *in vivo*. Para a avaliação do desgaste foi utilizado um equipamento que gera gráficos do perfil superficial obtido antes e após processo de abrasão, através da sobreposição dos gráficos foi possível calcular a área de material desgastada. A rugosidade foi obtida quantitativamente pela média das distâncias entre a linha central do gráfico com os vales e picos registrados em uma distância de 2,5mm. Para a verificação da efetividade do novo método criado, cada um dos parâmetros foi avaliado separadamente, temperatura, carga aplicada, amplitude e velocidade dos movimentos e quantidade de ciclos. O método desenvolvido mostrou-se adequado para determinar a resistência à abrasão dos materiais restauradores submetidos à escovação. Dos materiais avaliados o ouro apresentou maior resistência ao desgaste seguido pelo amálgama. Entre o cimento de silicato e os compósitos, houve pouca variação entre os valores de desgaste, mas foram significativamente maiores que os demais materiais. A resina sem carga (Sevriton, Amalgamated Trade Distributors Ltd.) foi a que apresentou maior desgaste. Além disso, ouro e amálgama apresentaram superfícies mais lisas que os materiais restauradores estéticos após abrasão.

Visando analisar os padrões de desgaste em superfícies de restaurações de resina composta, O'Brien e Yee (1980), realizaram exames de MEV em 10 restaurações após período de 3 a 8 anos de vida clínica. As restaurações foram cuidadosamente removidas e tratadas para serem submetidas aos exames. Pelos resultados obtidos nesse estudo, o desgaste foi considerado como resultante de 4 tipos principais de falhas: 1- perda de partículas; 2-desgaste da matriz orgânica; 3-fratura coesiva da matriz polimérica e 4- exposição de bolhas de ar inclusas.

Como já mencionado anteriormente, uma importante propriedade clínica para as resinas compostas é a resistência à abrasão. Preocupado em quantificar a abrasão de diferentes resinas *in vivo*, Van Groenigen (1981) testou uma resina sem carga (Sevriton), uma com partículas de quartzo (convencional)(Concise) e uma resina microparticulada (Isopast). Os materiais foram aplicados em cavidades classe I de pacientes que necessitavam várias restaurações, sendo que cada cavidade foi restaurada com uma resina diferente. Imediatamente após a finalização e polimento foram obtidos moldes e confeccionadas moldeiras individuais da superfície dos dentes restaurados. A avaliação da quantidade de abrasão foi feita através do controle dessas restaurações após 1, 3, 5, 7 e 10 meses, quando novos moldes foram obtidos através das moldeiras individuais inicialmente confeccionadas. Verificou-se a espessura e o peso da película de material de moldagem para a verificação do volume de material perdido. A resina sem carga e a resina com partículas de carga apresentaram desgaste comparável. Para a resina microparticulada a perda de material foi significativamente menor. Isso nos mostra a relação entre as características da carga inorgânica e o comportamento da restauração após abrasão.

A utilização das resinas em dentes posteriores sempre foi muito questionada. Wu e McKinney (1982) consideram o desgaste excessivo em áreas sujeitas a esforços mastigatórios o maior problema relacionado à aplicação das resinas em restaurações posteriores. Além disso, a interação com as diversas substâncias do meio bucal e com substâncias presentes em alimentos e bebidas pode ser outro fator que interfira na durabilidade das restaurações quando aplicadas nessas situações, já que o Bis-GMA é altamente susceptível ao amolecimento em meio químico. Os autores procuraram demonstrar o efeito de algumas substâncias químicas na resistência ao desgaste de uma resina à base de Bis-GMA (Adaptic -

Johnson & Johnson) através de ciclagem mecânica. As soluções utilizadas foram álcool em variadas concentrações, cicloexanona e água e os corpos de prova ficaram imersos por 2 semanas. O grau de amolecimento foi verificado com 5 leituras de dureza Knoop. A resina composta apresentou diminuição significativa da resistência ao desgaste quando imersas em soluções que degradam Bis-GMA. Os valores de desgaste obtidos foram maiores nos momentos iniciais do teste e diminuí progressivamente, o que pode ser atribuído à diminuição da concentração do solvente na solução à medida que ela incorpora as substâncias resultantes do desgaste. Houve diminuição da dureza após armazenamento em álcool, com maior diferença encontrada para a concentração de 75%, e em cicloexanona. Os valores de dureza apresentaram diminuição constante durante os testes, ou seja, os meios químicos utilizados no estudo podem gerar amolecimento do Bis-GMA.

Perda e recuperação de mineral em lesões cariosas artificiais de esmalte foram avaliadas por Ten Cate e Duijsters (1982), através de um modelo de ciclagem de pH: os corpos-de-prova foram submetidos a uma sequência de ciclagem de soluções de desmineralização e remineralização por 10 dias consecutivos. As concentrações de minerais perdidas e recuperadas foram mensuradas. As lesões foram avaliadas por teste de dureza e por microrradiografias. Em toda troca de solução com pH diferente foi utilizada uma solução fresca para evitar saturação das soluções com precipitados decorrentes da degradação do material. Entre essas trocas todos os espécimes foram lavados em água deionizada e cuidadosamente secos com papel absorvente, assim como os frascos onde estavam contidos. De acordo com os autores o sistema de ciclagem de pH é que melhor simula as condições in vivo. Apesar dos testes terem sido obtidos de um estudo laboratorial, as condições experimentais se aproximam muito do meio bucal, diferentemente do que ocorre com estudos que avaliam des- e remineralização separadamente. In vivo, períodos de alto e baixo pH se alternam periodicamente. Sua frequência é dependente da cariogenicidade dos hábitos alimentares do sujeito.

De acordo com Asmussen (1984), na placa dental humana, diversos ácidos são produzidos pelo metabolismo bacteriano e podem interferir na dureza de resinas compostas. Utilizando o etanol para simular as condições do meio bucal, além de ácidos orgânicos como ácido acético, ácido propiônico e ácido láctico, o autor verificou, através de dureza Wallace, o efeito dessas substâncias no amolecimento

de polímeros à base de Bis-GMA. O tempo de armazenamento foi de 24h. Não apenas o álcool, mas os outros ácidos orgânicos avaliados provocaram amolecimento nas resinas. Os menores efeitos do amolecimento foram verificados em polímeros de menor concentração de diluente (TEGDMA), provavelmente porque menor quantidade de ligações duplas se forma durante a polimerização quando a concentração de diluente aumenta. A profundidade de polimerização, que é maior em baixas concentrações de TEGDMA, também pode ter interferido nesse resultado obtido.

Sabe-se que a durabilidade de uma restauração não depende exclusivamente das propriedades do material restaurador e que, dentre outros fatores, as condições a que elas são expostas no meio bucal podem interferir no seu desempenho. Van Dijken, Sjöström e Wing (1987), a fim de verificar a influencia do tamanho das partículas de carga das resinas compostas no acúmulo de placa sobre restaurações proximais ou localizadas subgengivalmente e na qualidade da margem gengival ao redor das restaurações, fizeram uma análise *in vivo* em restaurações confeccionadas com resinas de partículas convencionais, híbridas e microparticuladas. Após 1 ano em função, a verificação da quantidade de placa acumulada e do grau de gengivite ao redor dessas restaurações não revelou grande diferenças com relação às áreas de esmalte hígido. Por uma nova análise realizada após um período de 3-4 anos em função, notou-se graus de gengivite variados e acúmulo de placa sobre as restaurações, o que, segundo os autores, se deve a uma deterioração superficial e nas margens das restaurações. As diferenças encontradas entre os resultados das resinas com diferentes características de partículas mostrou-se mais evidente em pacientes mais susceptíveis ao desenvolvimento de placa e gengivite, onde as resinas microparticuladas apresentaram melhores resultados que as demais resinas testadas quanto às respostas inflamatórias geradas na margem gengival.

Segundo Leinfelder, Beaudreau e Mazer (1989) há uma série de problemas associados ao uso da resina composta, como perda de forma anatômica, cáries secundárias, e técnica sensível. Houve uma redução considerável da taxa de desgaste de resinas utilizadas em dentes posteriores, apesar disso os fabricantes continuam a tentar melhorar todas as propriedades clínicas do material. Para o desenvolvimento de um estudo *in vitro* que assemelhasse melhor com a condição

clínica, os autores buscaram desenvolver um novo equipamento para compreender melhor os mecanismos associados com a degradação de resina compostas usadas em dentes posteriores. Resinas compostas de diferentes tamanhos de partículas foram avaliadas através de MEV após serem submetidos à ciclagem térmica e mecânica *in vitro*, assim como réplicas de restaurações após um ano de função *in vivo*. Pelas fotomicrografias obtidas, verificou-se variação considerável entre os padrões de desgaste e alterações microestruturais da superfície para as diferentes resinas avaliadas. Há maior perda de material na região de contato oclusal, além disso, as partículas de maior tamanho apresentam-se mais salientes na superfície das restaurações. Quanto ao desgaste generalizado na superfície da restauração, verificou-se que a perda de material foi maior nas resinas contendo partículas de maior tamanho e que as resinas com partículas “submicron” apresentaram desgaste generalizado *in vitro* menor que quando observados clinicamente após 2-3 anos em função.

A fim de obterem uma previsão da reação das restaurações confeccionadas em resina composta às condições a que elas podem ser expostas no meio bucal, Chadwick et al. (1990) avaliaram o efeito de diferentes meios de armazenamento (água destilada, soluções de lactato e de citrato) na alteração da dureza e no desgaste de 3 diferentes resinas: Occlusin, P30 e Fulfill. Quanto ao desgaste das resinas, que foi quantificado através de avaliação da alteração de massa e de volume, não há diferença nos resultados obtidos após 1 semana ou 1 ano de armazenamento em água ($p>0,05$). Quando os corpos de prova foram armazenados em solução de citrato ou lactato não houve aumento no desgaste significativo em comparação com os grupos que permaneceram em água, a não ser para a resina Fulfill quando em solução de citrato ($p<0,01$). A redução de dureza superficial de algumas resinas não resultou na redução do desgaste, o que, segundo os autores, está relacionado a pequena espessura da camada superficial que é afetada pelo meio, o que, em longo prazo *in vivo*, pode implicar em diminuição da resistência à abrasão, já que sempre uma nova camada será exposta pelo desgaste.

Em 1992, Willems et al. propuseram uma classificação dos tipos de resina composta existentes baseada na composição, tamanho, formato e na distribuição de suas partículas. Em uma pesquisa por um material restaurador biologicamente aceitável, os autores avaliaram 89 marcas de resina analisando as partículas após

serem isoladas da matriz, pela dissolução desta parte resinosa em acetona, através de um processo de centrifugação. Um sistema utilizando um aparelho de difração a laser acoplado a um computador foi usado para determinar as características das partículas. Aparados por esta análise, dividiram as resinas em 6 grupos: 1 - densa intermediária (até 60% de carga em volume), 2 - densa compacta (acima de 60% de carga em volume), 3 - micropartículas, 4 - mista, 5- tradicional e 6 - reforçada por fibra. Módulo de elasticidade, rugosidade superficial, resistência à compressão e dureza também foram avaliados. Concluíram que para todas as resinas estudadas, as características das partículas de carga interferem nas suas propriedades. Afirmaram também que, no momento do estudo, resinas densas compactas apresentam-se como material de escolha para restaurações posteriores por sua rugosidade superficial intrínseca, módulo de Young e, indiretamente, pelo seu conteúdo de carga, resistência compressiva e dureza superficial serem comparadas às propriedades de esmalte e dentina. Além disso, resinas densas intermediárias parecem muito satisfatórias em restaurações anteriores.

De acordo com Peutzfeldt (1997), o desenvolvimento das resinas compostas ao longo do tempo esteve focado principalmente em alterações nos sistemas iniciadores e nas tecnologias para desenvolvimento das partículas inorgânicas, enquanto que os monômeros que compõem esses materiais permaneceram praticamente imutáveis. A maioria das resinas compostas atuais ainda apresenta um sistema monomérico baseado no Bis-GMA. Esses materiais possuem como principais deficiências a contração de polimerização e a insuficiente resistência ao desgaste sob esforços mastigatórios, sendo que ambos os fatores são influenciados pelo sistema monomérico. A contração de polimerização do Bis-GMA fica em torno de 5%. Com a incorporação de partículas de carga, o valor final de contração de polimerização das resinas compostas encontra-se em cerca de 2 a 3%.

Como uma alternativa para se garantir a diminuição da contração de polimerização, o desenvolvimento de outros monômeros que substituam ou que, em combinação com o Bis-GMA, permitam a diminuição da sua concentração nas resinas compostas também tem sido considerado. Asmussen e Peutzfeldt (1998) conduziram um estudo para avaliar o efeito da concentração de diferentes monômeros nas resinas. Para isso, produziram diversas resinas com variações na proporção entre TEGDMA e Bis-GMA e/ou UEDMA e após a polimerização dos

espécimes realizaram testes de resistência à fratura e módulo de elasticidade. Os autores observaram que a composição da matriz orgânica influencia as propriedades mecânicas dos materiais restauradores. As resinas apresentam maior resistência quando Bis-GMA ou TEGDMA são substituídos por UEDMA, ou quando o Bis-GMA é substituído por TEGDMA.

Seguindo o mesmo raciocínio, Lee et al. (1998), também buscaram verificar a estabilidade da matriz polimérica e a degradação de resinas compostas com diferentes monômeros. Analisaram a composição das soluções resultantes do armazenamento das resinas testadas por um período de até 30 dias e a resistência à tensão diametral após esse período. Para os testes utilizaram 3 diferentes resinas: uma à base de Bis-GMA, Z100; uma à base de Bis-GMA/UDMA, Heliomolar; e outra à base de Bis-MPEPP (2,2-bis(4metacriloxiepoxifenil)propano), Marathon one. As soluções utilizadas para armazenamento foram etanol (75%) e alguns ácidos orgânicos presentes na placa, ácido acético (99,9%) e ácido propiônico (99%). Os corpos de prova de 4mm de diâmetro X 2mm de espessura foram mantidos em 3ml de solução à 37°C, e os testes realizados em períodos de 1, 3, 7, 14 e 30 dias. Após ANOVA e teste de Tukey, verificaram que a quantidade de substâncias encontradas nas soluções aumentou com maior tempo de imersão. A menor quantidade de componentes resultantes da degradação foi encontrada para a resina à base de Bis-GMA e na sequência para a resina à base de Bis-GMA/UDMA, e muitos deles eram diluentes das resinas. A resina à base de Bis-MPEPP foi a que apresentou maior degradação. A resina à base de Bis-GMA também foi a que apresentou maior resistência, que não foi diretamente afetada pelo tempo de armazenamento, diferente das outras resinas avaliadas, que mostraram uma diminuição da resistência ao longo do tempo. Os autores concluíram que ocorre um processo irreversível de dissolução de componentes com o armazenamento da resina em fluidos que simulam o meio bucal, o que contribui com a degradação do material.

Attin et al. (1998) avaliaram a resistência à abrasão de resinas compostas modificadas por poliácidos (compômeros) após armazenamento em soluções de pH ácido e neutro. O trabalho foi um dos pioneiros a avaliar a resistência ao desgaste por abrasão entre três corpos com escovação simulada. Para isso, foram confeccionados 40 espécimes de cada resina (Dyract e Compoglass), 20

armazenados em pH 3,0 e os restantes em pH 6,0 por 24h e depois foram submetidos à escovação. Na sequência eles passaram por 3 ciclos de 8h de armazenamento nas respectivas soluções seguidos de escovação simulada. O desgaste provocado por abrasão foi verificado por um perfilômetro, através da diferença entre o perfil da área submetida à escovação e desafio ácido e da área controle (protegida com fita adesiva). A resistência à abrasão foi significativamente menor no grupo experimental, que foi armazenado em pH ácido, mas considerando as condições extremas em que foram conduzidos os testes, o desgaste apresentado foi relativamente baixo e, segundo os autores, esses materiais podem ser indicados em diversas situações clínicas.

Muitos experimentos para avaliar a liberação de flúor no meio bucal foram baseados em mensurações da sua concentração em água ou saliva artificial, mas essas soluções não simulam a dinâmica do desenvolvimento da lesão de cárie, que depende de um equilíbrio entre desmineralização e remineralização durante as ciclagens de pH no interior da placa dental. Baseados nisso, Carvalho e Cury (1999) compararam a liberação de flúor de diferentes materiais restauradores, cimento de ionômero de vidro, compômero e uma resina composta, nas soluções convencionais (água e saliva artificial) e em um modelo laboratorial de ciclagem de pH (soluções de des- e remineralização). Para os testes foram confeccionados 18 espécimes, 6 para cada meio de imersão. Após 24h de armazenamento em água, foi realizado o polimento das superfícies (Sof-lex). Os espécimes foram colocados em 2ml de solução e mantidos sob agitação a temperatura ambiente (23°C). A solução foi trocada diariamente, no caso da ciclagem de pH os espécimes foram mantidos 6h em solução desmineralizadora (pH 4,3) e 18h em solução remineralizadora (pH 7,0), durante 15 dias. Os resultados obtidos foram analisados por ANOVA e teste de Tukey para comparação entre os diferentes grupos. Houve maior liberação de F nas soluções de ciclagem de pH que em água ou saliva artificial, que apresentou os menores valores, com diferença estatisticamente significativa para os demais.

Buchalla, Attin e Hellwig (2000) afirmam que a utilização de um material que ofereça maior resistência à abrasão na cimentação de restaurações indiretas diminui a chance de formação de “gaps” nas suas margens e, com isso, a tendência ao acúmulo de placa também diminui. Para verificar essas características, os autores avaliaram o desgaste de cimentos odontológicos de diferentes características após

armazenamento em solução ácida e simulação de abrasão por escovação. 4 cimentos resinosos, 2 cimentos à base de carboxilato e 2 ionoméricos foram testados quanto a sua resistência à escovação após armazenamento em soluções de pH neutro e ácido. Após a confecção dos espécimes eles foram mantidos a 37°C e 100% de umidade por 7 dias. Parte da sua superfície foi protegida com fita adesiva para servir como controle, metade dos espécimes confeccionados foi armazenado em solução ácida (pH=3,0) e a outra metade permaneceu em solução neutra (pH=6,8) por 24 horas e, na sequência, todos foram submetidos a 2.000 ciclos de escovação, esse processo foi repetido por 3 vezes. O desgaste superficial foi quantificado através de um perfilômetro. Após ANOVA e teste de Tukey ($p \leq 0,05$) constatou-se que os cimentos a base de resina apresentaram menor desgaste em comparação com demais cimentos avaliados. O armazenamento em meio de pH ácido não exerceu influencia na abrasão provocada pela escovação simulada nos cimentos resinosos, porém, resultou em maiores efeitos sobre o desgaste dos cimentos não resinosos que o meio de pH neutro.

Yap, Low e Ong (2000) afirmam que o meio químico é um aspecto do meio bucal que pode ter grande influência na degradação das resinas compostas *in vivo*. Com o objetivo de avaliar o efeito de líquidos que simulam a ação de alimentos sobre a rugosidade superficial e dureza testaram 4 marcas de resinas compostas à base de Bis-GMA (Silux Plus, Filtek Z100, Spectrum TPH e Filtek P50) e 2 compômeros (F2000 e Dyract AP). As soluções de imersão utilizadas foram: Heptano, ácido cítrico, ácido láctico, solução de etanol + água, e água destilada, o grupo controle permaneceu em ar a 37°C. Os resultados podem indicar o grau de solubilidade desses materiais em meio bucal quando expostos a diferentes alimentos. Dureza Knoop foi realizada com carga de 500g durante 15s. O protocolo para a verificação da rugosidade foi o Ra, avaliado por um perfilômetro. A rugosidade superficial dos materiais avaliados não foi afetada significativamente após armazenamento nas diferentes soluções. Para a dureza, não houve alteração significativa entre os compômeros, as demais resinas testadas apresentaram resultados variados para as diversas soluções testadas. Resinas a base de Bis-GMA apresentaram maior susceptibilidade aos efeitos de degradação e solubilidade gerados pelas soluções que simulam as condições do meio bucal que os compômeros (resinas modificadas por poliácidos).

Nessa mesma linha de pesquisa, Yap et al. (2001), avaliaram a influência de 6 diferentes meios químicos que simulam o meio bucal (saliva artificial, água destilada, ácido cítrico, ácido láctico, heptano e solução de água + etanol) na dureza superficial de 4 marca de resinas compostas: Silux Plus, Filtek Z100, Surefil e Ariston pHc. A espessura da camada de degradação decorrente da ação dos agentes químicos também foi mensurada e correlacionada com a alteração de dureza. Os corpos de prova foram confeccionados e armazenados em saliva artificial por 24h a 37°C. Após esse período a microdureza inicial foi avaliada através do teste de dureza Knoop com carga de 500gF e duração de 15 segundos. Os corpos de prova foram separados em 6 grupos, o grupo (controle) foi mantido em água destilada e os demais grupos, nas soluções químicas, por 1 semana a 37°C. A dureza foi reavaliada e depois os espécimes foram seccionados com o auxílio de um discodiamantado para a avaliação da espessura da camada de degradação em microscópio (aumento de 600X), para isso foi realizada a média entre 3 medidas obtidas. O efeito do meio químico de armazenamento sobre a dureza ou espessura da camada de degradação mostrou-se dependente do material. Todas as resinas apresentaram amolecimento após armazenamento em solução de etanol + água. Através de resultados de estudos laboratoriais como este, verificamos a importância com a simulação das variadas situações a que estes materiais estão sujeitos quando em função, já que o meio interfere nas das propriedades mecânicas dos materiais restauradores.

De acordo com Turssi et al. (2001) além do processo abrasivo, outros fatores como o baixo pH devido à de microrganismos cariogênicos ou alimentos ácidos e a composição iônica da saliva são fatores que exercem influência nas características físicas e mecânicas dos materiais restauradores. Pela necessidade de se estimar o comportamento em longo prazo dos materiais à base de resina, através de um estudo *in vitro*, os autores verificaram os padrões de rugosidade superficial durante teste de escovação sob condição de ciclagem dinâmica de pH. Durante 10 dias os espécimes foram submetidos a ciclagens de pH através de alternância de imersão em soluções de des- e remineralização seguida de desafio abrasivo realizado em máquina para simulação de escovação com solução de dentífrico. Após análise estatística (ANOVA e teste de Tukey) verificaram diferença significativa entre os materiais restauradores. Pelos dados obtidos, a realização da ciclagem de pH

previamente à simulação de escovação resultou em um aumento significativo de rugosidade (Ra). As resinas compostas avaliadas, Renamel (microparticulada, 80%v de carga) e Charisma (híbrida, 64%v carga) apresentaram maior resistência frente aos testes em comparação com as resinas modificadas por políácido (compômeros) (Compoglass F e Dyract AP) e com o CIV (Fuji II LC Improved) avaliados. Sendo que a resina Renamel apresentou-se mais lisa após os testes do que na avaliação inicial.

Segundo Göhring, Besek e Schilmidlin (2002) em áreas de contato oclusal o desgaste ocorre devido à atrição e em áreas livres de contato ele se deve principalmente à abrasão decorrente da escovação com o uso de dentífrico. Considerando esses aspectos, para verificar o comportamento de diferentes resinas em comparação com o esmalte humano os autores desenvolveram um estudo *in vitro*. A fim de simular as condições do meio bucal, os corpos de prova foram submetidos à ciclagem termo mecânica, além de passarem por um período de armazenamento em álcool (75%) para simulação de degradação química e por teste de escovação com solução de dentífrico. Foram realizadas leituras em 3D da superfície para a quantificação do desgaste e réplicas foram obtidas em diferentes momentos dos testes para as avaliações em MEV. Verificou-se que a atrição entre duas superfícies de esmalte resulta em menor desgaste nas áreas de contato oclusal. Algumas resinas de uso indireto apresentaram bons resultados quanto ao desgaste em áreas de contato oclusal, assim como boa resistência à abrasão. Pelos resultados obtidos, notou-se que menor conteúdo de carga não acarreta maior desgaste. As resinas compostas de uso direto avaliadas (Tetric Ceram e Concept) apresentaram maior desgaste quando o substrato do antagonista era esmalte. Após teste de escovação a resina microparticulada (Concept) apresentou maior degradação.

A nanotecnologia foi introduzida na Odontologia para possibilitar o desenvolvimento de materiais com melhores propriedades. As resinas compostas contendo nanopartículas podem ser indicadas para áreas anteriores e posteriores. Porém, todo o processo para a obtenção de partículas em escala molecular é diferenciado. O estudo de Mitra, Wu e Holmes (2003), descreve as pesquisas para o desenvolvimento de uma nova resina composta contendo nanopartículas, Filtek Supreme Universal (3M-ESPE), que, segundo os autores, apresenta as propriedades estéticas necessárias para as restaurações anteriores e as

propriedades mecânicas adequadas para aplicação em restaurações posteriores. Para o estudo, foram desenvolvidas nanopartículas de sílica para serem usadas dispersas na matriz orgânica e nanoaglomerados, que consistem de agregados de partículas nanométricas formados por um processo químico complexo. As propriedades mecânicas dessas resinas foram comparadas às de outras resinas amplamente comercializadas (Filtek A110, Filtek Z250, TPH Spectrum, Esthet X, Point4). Foram realizados testes para avaliação da resistência compressiva e à tensão diametral, resistência ao desgaste, onde foi utilizada uma máquina de simulação de desgaste entre 3 corpos durante 156.000 ciclos, resistência à fratura e à flexão, além de retenção de brilho superficial, avaliado pelo cálculo do índice de reflexão da luz sobre os corpos de prova antes e após 500 ciclos de escovação. Após ANOVA e teste pareado de Tukey/Kramer para comparação entre os grupos, verificaram que a resistência à compressão, à tensão diametral e a resistência à fratura são equivalentes ou maiores nas resinas contendo nanopartículas em comparação com resinas híbridas, microhíbridas ou microparticuladas. Nos testes de desgaste a resina Filtek Supreme Universal apresentou-se estatisticamente equivalente à resina Filtek Z250 e menor que as demais resinas avaliadas. A nova resina também apresentou retenção de brilho comparável ou superior à resina microparticulada após ensaio de escovação.

Jones, Bilington e Pearson (2004), verificaram a correlação do tamanho das partículas inorgânicas constituintes de resinas compostas com a percepção de rugosidade pelo paciente, que consegue detectar áreas de maior aspereza com a ponta da língua, o que interfere diretamente no seu conforto após a confecção de uma nova restauração. Para isso foram confeccionados corpos de prova que foram polidos com abrasivos variados até uma rugosidade específica. Essa avaliação da rugosidade foi feita através de um perfilômetro. Um dos grupos (controle) foi mantido com a superfície lisa resultante da polimerização através de uma placa de vidro, foi o menor valor de rugosidade conseguido ($0,06\mu\text{m}$). 25 voluntários fizeram a escala de acordo com a ordem de rugosidade de 5 espécimes de diferentes rugosidades superficiais com a ponta da língua. Um exemplar de cada categoria de rugosidade foi submetido a análise em MEV (500X). 60% dos voluntários acetaram a ordem de lisura. Os pacientes foram capazes de detectar diferenças de $0,5\mu\text{m}$ entre os corpos de prova com variação de $0,06\text{--}3,50\mu\text{m}$ de rugosidade. O ideal é que se busque um

polimento superficial da resina a um grau de lisura semelhante ao do esmalte para que seja imperceptível.

Wang et al. (2004), verificaram o desgaste de 5 diferentes resinas compostas classificadas como condensáveis em comparação com 2 resinas compostas através de teste de escovação simulada. Foram confeccionados espécimes cilíndricos para cada uma das resinas testadas: SureFil, Alert, Filtek, P90, Prodigy Condensable, Solitaire, Z100 e Silux Plus. A média de rugosidade superficial inicial foi avaliada através de um rugosímetro (Hommel Tester T1000), onde a rugosidade aritmética ($R_a - \mu m$) foi utilizada como parâmetro de medição. Foram feitas cinco leituras em um campo de medição de 1,5mm e cut off de 0,25mm. O peso inicial foi verificado até que os corpos de prova atingissem estabilidade de massa, nesse período (2 semanas) eles permaneceram em água deionizada. Os espécimes, adaptados em uma mesa metálica da máquina de simulação de escovação foram submetidos a 100.000 ciclos, sob irrigação constante de solução de dentifrício. As alterações de rugosidade e peso foram verificadas após o ensaio. Todas as resinas perderam peso. Quanto à rugosidade superficial, dois resultados distintos foram observados: Prodigy Condensable, Solitaire e Z100 tornaram-se mais lisas, enquanto que as resinas SureFil, Alert, P60 e Silux Plus ficaram mais rugosas.

Através de um levantamento, Prakki et al. (2005) buscou verificar a influência de diferentes pH na degradação dos polímeros. Para isso, diversos estudos laboratoriais que avaliaram os efeitos de diferentes meios de imersão nas propriedades dos materiais resinosos foram analisados. Constatou-se que, para estudos *in vitro*, a utilização de meios de imersão com pH pouco abaixo do neutro foram os que simularam de melhor forma as condições *in vivo*, apesar de demandar maior tempo de armazenamento para a observação dos seus efeitos. De acordo com os trabalhos encontrados, caso a intensão da avaliação laboratorial seja acelerar processo de hidrólise e degradação, a utilização de meios com pH mais extremos (muito ácido, menor que 2,0, ou muito básico, em torno de 13,0) pode ser mais indicada.

Baseados no incompleto entendimento de como as partículas inorgânicas influenciam a resistência ao desgaste e a conversão dos monômeros das resinas compostas, Turssi, Ferracane e Vogel (2005), avaliaram materiais com diferentes

combinações de tamanhos de partículas quanto à abrasão entre 3 corpos e ao grau de conversão. Os testes foram realizados com resinas especialmente desenvolvidas, compostas por matriz resinosa de Bis-GMA, UDMA e TEGDMA e com conteúdo de 56,7% (vol) de partículas inorgânicas, ou seja, a única variável foi o tamanho das partículas. Os testes de desgaste foram conduzidos em uma máquina de ciclagem mecânica e a avaliação dos resultados foi feita por um perfilômetro (μm), para a verificação do grau de conversão foi utilizado um espectrofotômetro. O tamanho e a forma das partículas apresentaram efeito significativo na resistência ao desgaste e no grau de conversão das partículas. A presença de partículas menores, tanto esféricas quanto irregulares, resultou em melhor resistência ao desgaste para as resinas, sem comprometer a porcentagem das duplas ligações de carbono formadas com a polimerização.

Nos últimos anos, muitas pesquisas avaliam a combinação de diferentes monômeros e suas propriedades como constituintes das resinas compostas. Weinmann, Thalacker e Guggenberger (2005) relataram que já foram realizados desenvolvimentos marcantes nas resinas compostas no sentido de melhorar as propriedades físicas, a resistência ao desgaste e a estabilidade no meio bucal, além das propriedades estéticas. Segundo esses autores, as propriedades que ainda desafiam os fabricantes e geram consequências danosas clinicamente, como falta de integridade marginal e sensibilidade pós-operatória, são a contração de polimerização e a tensão resultante da contração. Baseados nisso, os autores compararam quatro marcas comerciais de resinas à base de metacrilato com uma resina com matriz orgânica à base de silorano quanto à contração de polimerização e outras propriedades mecânicas, como resistência à compressão, resistência flexural, módulo-E e estabilidade em meio bucal. A resina composta com silorano apresenta contração volumétrica menor que 1%. Quanto aos parâmetros mecânicos ela apresentou-se semelhante e clinicamente aceitável quando comparada às resinas à base de metacrilato.

Reproduzir o processo de desgaste laboratorialmente, não é uma tarefa simples. A fim de analisar os fatores que contribuem para o desgaste no meio bucal e apresentar métodos que possibilitem a simulação das condições de desgaste, Lambrechts et al. (2006) realizou um levantamento dos métodos mais comuns de simulação de desgaste *in vitro*. Segundo o autor, o desgaste é um processo

complicado e de difícil simulação devido a grande quantidade de variáveis que devem ser controladas durante os testes, assim como a extrapolação dos resultados obtidos laboratorialmente para uma situação clínica. Para que seja previsível o desgaste que afeta estruturas dentais e materiais restauradores, os métodos de avaliação *in vitro* devem ser capazes de agregar o máximo de variáveis existentes no meio bucal, mas de forma que possam de serem controladas.

Em um levantamento Ferracane (2006) buscou verificar se o desgaste das resinas compostas ainda deve ser considerado um problema na clínica odontológica e a necessidade de avaliações através de simulações *in vitro*. De acordo com o autor, o desgaste dos compósitos utilizados na Odontologia tem reduzido consideravelmente, principalmente por alterações na sua fórmula. Muitos já consideram este um problema solucionado. Porém, pouca evidência suporta essa afirmação para restaurações extensas, principalmente as que envolvem a reconstrução de cúspides funcionais, o que é rotineiramente realizado. Para as restaurações pequenas e médias o desgaste apresenta menor importância, porém as taxas de falhas em restaurações amplas são maiores, além disso, o desgaste continua sendo uma causa significativa de falhas em pacientes com bruxismo e hábitos parafuncionais. Baseado nisso, ainda há necessidade de estudos que conduzam para o desenvolvimento de materiais que apresentem maior resistência às forças mastigatórias.

Sabendo das investigações existentes sobre o uso de siloranos (monômero a base de silicone com grupamentos funcionais de oxirano) para o desenvolvimento de novas resinas de baixa contração/tensão e que compostos contendo grupos oxirano reagem com água podendo gerar instabilidade ao ser aplicado em resinas compostas, Eick et al. (2006) testaram a estabilidade de siloranos em meios aquosos simulando o meio bucal. Dois tipos de siloranos foram avaliados, Ph-SIL (bis-3,4-epoxicicloexiletil-fenil-metilsilano) e TET-SIL (3,4-epoxicicloexiletil-ciclopilimetilsiloxano), além de uma mistura em proporção de 1:1 entre eles, SIL-MIX. Os testes foram realizados com a dissolução dos siloranos em meio aquoso com ou sem 1% de tetrahidrofurano (THF), contendo esterase hepática ou epóxido hidrolase com pH 7,4, ou HCl diluído com pH 1,4. Também foi avaliada a estabilidade de dois dioxiranos convencionais nas mesmas condições. Os oxiranos presentes nos siloranos testados se mostraram estáveis e insolúveis nos meios

aquosos avaliados. Provavelmente isso ocorre devido à insolubilidade dos siloranos. Desta forma, os siloranos podem ser considerados candidatos potenciais para uso em materiais resinosos odontológicos.

Ilie et al. (2007) observaram que para tentar contornar os problemas decorrentes da contração de polimerização, além das modificações já realizadas na quantidade e forma das partículas inorgânicas e nos diversos tratamentos superficiais existentes, a alteração da estrutura química dos monômeros apresenta-se atualmente como uma proposta promissora. Esses autores avaliaram o comportamento de uma resina composta para restaurações dentárias à base de silorano, quanto a sua contração de polimerização. Para isso, a tensão de contração gerada durante a polimerização, o ponto de gel e a tensão de contração foram avaliados após a polimerização do material em 10 diferentes regimes. ANOVA a um critério revelou diferença significativa ($p < 0,05$) para os diversos protocolos de ativação avaliados. Em comparação com uma resina a base de metacrilato, para o mesmo tempo de exposição à luz a resina composta a base de silorano apresentou menores valores de tensão de contração, no entanto, a tensão decorrente de expansão térmica após a polimerização não pode ser negligenciada e pode ser amplamente reduzida se utilizada a melhor estratégia de polimerização. Alta densidade de potência levou a um aumento na tensão de contração da resina de silorano, de forma que se deve recomendar um limite de 1200 mW/cm^2 . Como não houve diferença significativa entre os diferentes regimes de ativação testados para as propriedades mecânicas avaliadas em incrementos de 2mm de profundidade da resina a base de silorano 24 horas após a confecção dos corpos de prova um tempo mínimo de 20 segundos deve ser utilizado. Percebe-se que a técnica restauradora apresenta grande significância para a garantia das propriedades das resinas.

De acordo com Ergücü e Türkün (2007), é através do polimento que se consegue a redução da rugosidade e dos riscos criados pelos instrumentos de acabamento na superfície das restaurações. Para avaliar o efeito de sistemas de polimento, os autores analisaram a rugosidade superficial de cinco novas resinas compostas contendo nanopartículas, após polimento com 3 sistemas de passo único (PoGo, OptroPol e OneGloss). As seguintes resinas foram usadas no experimento: Filtek Supreme XT, Grandio, Ceram X, Tetric EvoCeram e Premise. Para os teste foram confeccionados espécimes de 10X2mm. Previamente à polimerização foi

colocada uma tira de poliéster e uma placa de vidro para planificação dos corpos de prova, na sequência, eles foram armazenados por 24 horas em água destilada. O grupo controle de cada resina teve sua rugosidade (Ra) avaliada pela média de cinco leituras realizadas por um rugosímetro (Mitutoyo, Japão). Os demais grupos passaram por uma politriz com lixa de carbureto de silício de granulação 320 e, na sequência, realizou-se o polimento com cada um dos sistemas e a avaliação de rugosidade. Para uma avaliação qualitativa os corpos de prova também foram analisados em MEV. Após análise estatística verificaram que para todas as resinas testadas houve diferença significativa para os sistemas utilizados. Pela análise em MEV, verificaram que OptraPol e OneGloss riscaram e removeram partículas da superfície das resinas, enquanto que o PoGo criou uma superfície uniforme, apesar da rugosidade não ser semelhante para cada resina.

Para verificar a influência da abrasão pela escovação em combinação com o efeito da alteração de pH em cimentos resinosos e materiais restauradores indiretos, Prakki et al. (2007) realizou um estudo *in vitro*. Cinco materiais foram avaliados: três cimentos resinosos, Enforce, Rely X e Variolink II, e dois materiais utilizados para a confecção de restaurações indiretas, Artglass e Duceram Plus. Após a confecção de 20 corpos de prova para cada material a ser avaliado foi realizado o polimento superficial, seguido do armazenamento em água destilada por 24 horas. Um grupo (n=10) de cada material passou por um processo dinâmico de ciclagem de pH (FEATHERSTONE et al., 1986; CARVALHO; CURY, 1999) onde cada amostra foi imersa em solução de desmineralização por 6 horas (pH=4.3) e, na sequência, em solução remineralizante (pH=7,0) por 18 horas. Este protocolo foi seguido por 15 dias consecutivos. Durante este período os demais grupos foram armazenados em água destilada para serem usados como controle. Para o processo de abrasão foi utilizada uma máquina de escovação simulada com escovas de cerdas macias e solução de água e dentífrico onde foram realizados 100.000 ciclos. A alteração de peso e a alteração de rugosidade foram verificadas pela diferença entre as médias obtidas inicialmente e após o desafio abrasivo. Um exemplar de cada grupo foi selecionado aleatoriamente para ser analisado em MEV. Todos os materiais apresentaram perda de peso e alteração da rugosidade superficial significantes. A ciclagem de pH não influenciou significativamente as alterações apresentadas pelos materiais.

De acordo com Francisconi et al. (2008), restaurações podem ser confeccionadas por necessidades estéticas ou para impedir a progressão do desgaste por erosão. Restauração direta em resina composta deve ser o tratamento de escolha quando a lesão está limitada em esmalte, em presença de dentina exposta, o ionômero de vidro também é muito utilizado. Porém, não se sabe muito bem como é o comportamento desses materiais frente a um desafio erosivo. Esses autores procuraram avaliar o efeito de ciclagem de pH em diferentes materiais ao redor de áreas de esmalte sujeitas à erosão. Para isso, foram obtidos 8 corpos de prova de esmalte bovino distribuídos aleatoriamente em 8 grupos que variavam de acordo com o material utilizado para as restaurações, que foram realizadas em cavidades confeccionadas na área central do espécime, e de acordo com o meio de imersão. Os materiais utilizados foram: GI e GV – CIV modificado por resina; GII e GVI – CIV convencional; GIII e GVII – resina composta; e GIV e GVIII – amálgama, sendo que do grupo GI ao GIV foi realizado desafio erosivo (3X ao dia com imersão em Coca-Cola por 5min) e os grupos restantes foram mantidos em saliva artificial. As alterações foram avaliadas pela porcentagem da diferença entre microdureza inicial e final e avaliação de desgaste através de um perfilômetro. Após serem submetido à ANOVA e teste de Tukey para comparação entre os diferentes grupos, considerando os materiais restauradores, não houve diferença significativa entre os diferentes meios de imersão. Pela análise do esmalte, a ciclagem de pH promoveu aumento do desgaste e da diferença percentual da microdureza quando comparada à saliva. Os materiais não influenciaram no esmalte adjacente.

Considerando a influência de fatores biológicos presentes no meio bucal, Rios et al. (2008) também avaliou o efeito do desafio erosivo em diferentes materiais restauradores e no esmalte adjacente à restaurações confeccionadas com esses materiais pela análise da alteração percentual da microdureza e do desgaste superficial avaliado através de perfilometria, porém, através de um estudo *in situ*. Para isso, 10 voluntários utilizaram placas palatais contendo 8 blocos de esmalte bovino cada uma, sendo que 4 deles foram mantidos em saliva apenas e os demais sofreram desafio ácido 3 vezes ao dia por 5 minutos com imersão *ex-vivo* em Coca-Cola (pH=2,6). Notou-se pouca alteração de dureza superficial e pouco desgaste nos materiais avaliados, nenhum deles apresentou efeito preventivo contra erosão do esmalte adjacente, que sofreu desgaste significativo.

Testes para avaliação de desgaste através de um perfilômetro também foram aplicados para avaliação do efeito de agentes clareadores sobre espécimes confeccionados em esmalte bovino por Mondelli et al. (2009). O estudo avaliou desgaste e rugosidade superficial após a utilização de 3 diferentes técnicas de clareamento seguidos de 100.000 ciclos de escovação simulada. As técnicas de clareamento utilizadas foram: peróxido de hidrogênio a 35% (HP) ativado com luz híbrida; HP ativado com lâmpada halógena e peróxido de carbamida 16%. Um grupo de corpos de prova foi submetido apenas ao processo de escovação simulada e serviu como controle. Os grupos que sofreram clareamento apresentaram diferença significativa da rugosidade superficial em comparação com o grupo controle. As técnicas de clareamento em associação com a escovação simulada resultou em aumento da rugosidade superficial e do desgaste. A maior alteração do desgaste ocorreu em decorrência da escovação e não da técnica de clareamento utilizada.

Moraes et al. (2009) compararam resinas compostas nanohíbridas (TPH³, Grandio, Premise e Concept Advanced), que possuem partículas convencionais misturadas às partículas nanométricas, com as tradicionais resinas microhíbridas (Filtek Z250) e com resinas de nanopartículas (Filtek Supreme XT). Os autores adotaram como nanohíbridas todas as resinas que possuíam partículas maiores de 100nm apesar das classificações dadas pelos fabricantes variar um pouco. Para essa caracterização das partículas de carga, as resinas passaram por um processo de dissolução em acetona para depois serem analisados em MEV. Vários parâmetros foram analisados: resistência à tensão diametral, rugosidade superficial antes e após escovação simulada, dureza knoop, sorção e solubilidade de água. Para o teste de abrasão por escovação simulada, foram confeccionados 8 corpos de prova de 5mm de diâmetro de superfície, 4mm de base e 1mm de altura. Após 24h de armazenamento em água, eles foram planificados e polidos e foi realizada a análise da rugosidade superficial inicial através da média de três leituras realizadas com um perfilômetro (Surfcorder SE1700, Kosaka Lab, Tóquio, Japão), utilizando-se o parâmetro Ra (μm). Os corpos de prova foram posicionados em uma máquina de forma que suas superfícies, completamente imersas em solução de dentífrico, fossem submetidas a 30.000 ciclos de escovação simulada e após esse processo foi determinada a rugosidade final da mesma forma como a inicial foi obtida. Os dados foram submetidos à ANOVA e teste Student-Newman-Keuls' ($p < 0,05$). A resina

composta nanoparticulada apresentou maior resistência e maior dureza, além de menor rugosidade superficial antes e após escovação simulada, comparada às demais resinas testadas e a resina nanohíbrida apresentaram propriedades muito pouco superiores às da resina microhíbrida.

Para avaliar o desempenho clínico e o desgaste das resinas nanoparticuladas em comparação com as microhíbridas, Palaniappan et al. (2009) utilizou métodos diretos (observação clínica/USPHS) e indiretos (quantitativo por escaneamento 3D e qualitativo por MEV) de avaliação. Após a seleção dos pacientes, foram confeccionadas 18 restaurações com a resina Filtek Supreme e 17 com a Z100 (3M) de acordo com o modelo “split mouth”. As avaliações foram realizadas imediatamente após a finalização das restaurações e após 6, 12, 24 e 36 meses em função, em cada controle foram realizadas novas moldagens e réplicas das superfícies restauradas foram obtidas para possibilitar a análise indireta. A resina composta Filtek supreme apresentou melhor polimento que a Z100, porém, quanto aos demais critérios, não houve diferença estatisticamente significativa ($p>0,05$). Pelas imagens de MEV observou-se maior desgaste em áreas de grande incidência de esforços mastigatórios e riscos e estrias em áreas de escape, provocados principalmente por substâncias abrasivas. Após 3 anos em função, ambas resinas testadas apresentavam-se clinicamente aceitáveis.

Sabendo que a contração de polimerização é uma característica inerente das resinas compostas à base de metacrilato Ilie e Rickel (2009a), procuraram avaliar o comportamento mecânico de uma resina à base de silorano, que possui polimerização decorrente da abertura do anel catiônico e, portanto, menor tensão resultante da polimerização, comparado ao das resinas à base de metacrilato, que são consagradas e amplamente usadas na clínica odontológica. Foram testadas sete marcas comerciais de resinas micro e nanohíbridas e, após armazenamento desses materiais em 4 diferentes condições (24h água, 4 semanas em água/álcool/saliva), totalizando 28 grupos experimentais, puderam concluir que a resina composta de silorano apresentou boas propriedades mecânicas, comparáveis às bem-sucedidas resinas de metacrilato. Essa resina também apresentou estabilidade em todos os solventes testados e após armazenamento em álcool apresentou menor comprometimento das propriedades mecânicas que as demais resinas avaliadas.

Esses mesmos autores, Ilie e Rickel (2009b), compararam 72 resinas compostas de variadas características de partículas inorgânicas quanto às suas propriedades mecânicas. Baseados nesse aspecto relataram que as partículas não apenas apresentam uma relação direta com as propriedades mecânicas das resinas compostas, como também permitem a redução da quantidade de monômero e, conseqüentemente, da contração de polimerização, além de melhorar o desgaste, a translucidez, opalescência e radiopacidade, a rugosidade superficial e o polimento, melhorando as propriedades estéticas e de manuseio. Como conclusão do estudo, os autores apontam que há grande variabilidade de propriedades mecânicas dentro de uma categoria de material, de forma que torna-se inadequada a previsão das propriedades de uma resina apenas pela sua classificação quanto ao tipo de partícula. O volume das partículas inorgânicas apresentou maior influência sobre as propriedades analisadas, atingindo o máximo da resistência flexural e do módulo de elasticidade quando está acima de 60%. A resistência à tensão diametral e à compressão se mostraram menos sensíveis a essa variação de volume.

Abrasão por escovação simulada e erosão agem conjuntamente no processo de desgaste do esmalte e os materiais restauradores também são afetados (YU et al., 2009). Pela falta de informações relevantes na literatura sobre os efeitos da combinação da erosão com escovação simulada sobre os materiais restauradores estéticos, Yu et al. (2009) compararam 5 tipos de materiais restauradores estéticos com o esmalte quanto à resistência ao desgaste. Foram confeccionados 10 espécimes de cada material para cada grupo: controle (C), erosão (E), abrasão (A) e erosão e abrasão (EA). Os corpos de prova passaram por ciclagem de erosão e/ou abrasão durante 10 dias (6X ao dia), onde realizou-se um total de 60min de desafio erosivo e/ou 6.000 ciclos de escovação simulada com solução de água e dentífrico (6 ataques de 1min ou 100 ciclos ao dia). Após esse período, os corpos-de-prova foram armazenados em saliva artificial por 4 dias. Para a avaliação do desgaste superficial foi utilizado um perfilômetro (μm). A perda de substância foi calculada pela diferença entre o perfil inicial e pós teste. 5 leituras foram realizadas controlando-se o posicionamento dos corpos de prova por um JIG também utilizado nas leituras iniciais. Após análise estatística, puderam concluir que a combinação da erosão com escovação simulada produziu a maior perda de substância e que as resinas compostas apresentaram maior resistência à erosão e/ou abrasão que os

outros materiais testados, até mesmo o esmalte humano. Pela análise em MEV também observaram que os materiais submetidos à escovação simulada apresentaram marcas das cerdas e exposição das partículas inorgânicas. O efeito combinado de erosão e abrasão mostrou mais danos superficiais que apenas o desafio erosivo, e este, que resultou em maior degradação de matriz, perda de brilho e trincas que o grupo controle.

Objetivando comparar as resinas lançadas recentemente no mercado nacional, à base de silorano, com as convencionais resinas com matriz orgânica de metacrilato quanto à sua susceptibilidade à adesão de streptococci oral e verificar a relação dessa característica com a rugosidade superficial, hidrofobicidade e tipo de matriz, Buergers et al. (2009) realizaram um estudo in vitro. Os corpos de prova foram confeccionados com as resinas Filtek Silorano, Filtek Z250, Tetric EvoCeram, Quixfil e Spectrum TPH e submetidos à polimento com lixas abrasivas de granulação 1.000, 2.000 e 4.000. A rugosidade (Ra) foi avaliada através da média de 5 leituras em cada espécime e a hidrofobicidade verificada através da análise do ângulo de contato formado por uma gota de água destilada com a sua superfície. Uma suspensão de cada uma das bactérias testadas foi incubada com os corpos de prova e a adesão na superfície de cada material foi verificada por fluorescência. As resinas Filtek Silorano, Filtek Z250 e Tetric EvoCeram apresentaram rugosidade superficial média (Ra) menor que as demais resinas e o ângulo de contato formado com a resina Filtek Silorano foi maior quando comparado com o das demais resinas testadas, provavelmente pela maior hidrofobicidade dessa resina composta. Todas as resinas apresentaram uma fina camada de bactérias aderidas, mas a proporção de área coberta variou de um material para outro. A resina à base de silorano apresentou menor susceptibilidade que as convencionais resinas de metacrilato. Segundo os autores, essa característica em combinação com a menor contração de polimerização poderia estender a longevidade da restauração e garantir maior sucesso clínico.

De acordo com Leprince et al. (2010) existem três tipos de resinas de baixa contração de polimerização atualmente: ormocers, de polimerização através da abertura de anel catiônico e resinas de metacrilato com alta concentração de carga inorgânica. Com o objetivo de avaliar a porção inorgânica das resinas e comparar suas propriedades mecânicas, os autores avaliaram o módulo dinâmico, módulo de

elasticidade e resistência flexural de diferentes resinas comercialmente disponíveis (Admira, Filtek Silorano/P90, Filtek Supreme XT, Tetric EvoCeram, Grandio, Synergy D6), além de duas novas resinas experimentais, uma a base deOrmocer (V35694) e uma à base de metacrilato (V34930). Pelos resultados apresentados, a nova resina Ormocer V35694 e a resina Filtek Silorano possuem propriedades comparáveis com as tradicionais resinas à base de metacrilato com alto conteúdo de carga. Porém, diferentes situações clínicas, como tamanho e localização da restauração, devem guiar a escolha de cada material. Sob esforço oclusal as resinas Grandio e V34930 apresentaram melhores resultados. Em cavidades menores as novas alternativas de materiais podem ser aplicadas por não haver necessidade de alta resistência mecânica e pela maior tensão de contração existente nessas situações.

Outras duas resinas, além da Filtek Silorano, que recentemente foram lançadas no mercado internacional, e também possuem baixa contração de polimerização foram avaliadas por Burgess e Cakir (2010). As propriedades analisadas foram contração de polimerização, desgaste, rugosidade superficial, brilho, estabilidade de cor e resistência ao manchamento. As resinas testadas foram: N'Durance, Surefil SDR, Filtek LS (Filtek P90 no mercado nacional), Heliomolar e Filtek Supreme Plus. Para a avaliação da contração de polimerização foi utilizado o aparelho AcuVol (Bisco), que permite o cálculo da porcentagem da alteração de volume após a polimerização. O teste de resistência ao desgaste foi realizado em uma máquina de simulação de desgaste com carga de 75N durante 400.000 ciclos. A quantificação de desgaste foi realizada por um perfilômetro que realiza o escaneamento da superfície. A sobreposição dos gráficos gerados antes e após o ensaio permitiu a obtenção do volume de material desgastado. O brilho foi mensurado em unidades de brilho e a avaliação da rugosidade superficial, calculada através da rugosidade aritmética, foi feita pelo mesmo perfilômetro utilizado na avaliação do desgaste. A estabilidade de cor foi verificada por um espectrofotômetro, com leituras realizadas antes e após imersão dos corpos de prova em solução corante ou em água em diferentes condições de exposição à luz. Após avaliações estatísticas para os diferentes testes realizados, a resina Filtek LS, à base de silorano, apresentou baixa contração de polimerização, menor que 1%, porém apresentou os maiores índices de desgaste, significativamente menores que da

resina Filtek Z250. Para os teste de brilho e rugosidade superficial, a Filtek LS apresentou baixo brilho superficial e rugosidade superficial semelhante à resina Heliomolar e maior que as resinas Filtek Supreme e N'Durance. Todas as resinas apresentaram alteração de cor perceptível após armazenamento em solução corante. De acordo com os autores, as novas resinas de baixa contração de polimerização apresentam propriedades físicas e mecânicas semelhantes às resinas já consagradas na clínica. Pela análise desses resultados verificamos que apesar de todas as alterações realizadas nos materiais restauradores estéticos, ainda não há um perfeito substituto para a estrutura dentária perdida.

3 Proposição

3 PROPOSIÇÃO

Esse trabalho teve como objetivo:

- Avaliar quantitativamente o desgaste e a alteração da rugosidade superficial de resinas compostas de diferentes características de partículas inorgânicas (microhíbrida e nanoparticulada) e de matriz orgânica (Bis-GMA e Silorano) frente à escovação simulada.
- Avaliar a influência da ciclagem de pH sobre as variáveis rugosidade e desgaste das resinas submetidas à escovação simulada.

4 Materiais e Método

4 MATERIAIS E MÉTODO

4.1. Materiais

Para a execução deste estudo foram utilizadas duas resinas compostas com matriz orgânica à base de metacrilato: uma microhíbrida, Filtek™ Z250 (3M-ESPE, Saint Paul-MN, EUA) e uma com nanopartículas, Filtek™ Z350 (3M-ESPE, Saint Paul-MN, EUA); e uma resina com matriz orgânica à base de silorano, Filtek™ P90 (3M-ESPE, Saint Paul-MN, EUA) também microhíbrida.

A tabela abaixo (Tabela 1) apresenta os nomes comerciais, fabricantes, cor selecionada, número de lote, validade e abreviaturas adotadas dos compósitos utilizados.

Tabela 1 – Produtos utilizados, respectivos fabricantes, cores selecionadas, lotes, prazos de validade e abreviaturas.

Resina composta	Fabricante	Cor	Lote	Validade	Abreviaturas
Filtek™ Z250	3M – ESPE, EUA	A2	8PE	Jul/2012	Z250
Filtek™ Z350	3M – ESPE, EUA	A2	N098698	Mai/2012	Z350
Filtek™ P90	3M – ESPE, EUA	A2	20090626	Nov/2010	P90

Pela análise da tabela seguinte (Tabela 2), pode-se observar o nome comercial, o tipo de matriz resinosa, a carga inorgânica e o tamanho médio de partículas, a classificação quanto ao tipo de carga que cada material recebe e a porcentagem de carga das três resinas compostas utilizadas.

Tabela 2 – Características das resinas compostas utilizadas

Resina composta	Matriz resinosa	Carga inorgânica	Tipo de carga	% carga (peso/volume)
Filtek™ Z250	Bis-GMA, uretano dimetacrilato, Bis-EMA	Sílica e zircônia - 0,6 µm (0,01-3,5µm)	Microhíbrida	84,5/60
Filtek™ Z350	BIS-GMA, BIS-EMA, uretano dimetacrilato, trietileno glicol dimetacrilato	Nanopartículas de sílica - 20nm; nanoaglomerados zircônia/sílica (0,6-1,4µm)	Nanoparticulada	78,5/59,5
Filtek™ P90	3,4-Epoxycyclohexylethylcyclo polymethylsiloxane, bis-3,4-epoxycyclohexylethylphenyl methylsilane	Quartzo e fluoreto de ítrio - 0,47µm (0,1 - 2µm)	Microhíbrida	76/55

Todas as resinas compostas são fotopolimerizáveis e estão disponíveis no mercado nacional (Figura 1).

Figura 1 - Apresentação comercial das resinas utilizadas

Para a fotopolimerização das resinas foi utilizado o aparelho de polimerização por luz halógena VIP (Bisco Inc., Schaumburg-IL, USA), na densidade de potência de 600mW/cm² (Tabela 3).

Tabela 3 – Unidade fotoativadora e suas especificações

Variable Intensity Polimerizer	
Fabricante	BISCO Inc.
Abreviatura	VIP
Fonte de luz	Halógena
Diâmetro da ponta guia	8 mm
Frequência	50/60 Hz
Potência	75 W
Comprimento de onda	400-500 nm
Densidade de potência	100 a 600 mW/cm ²

O procedimento de escovação simulada foi realizado com a escova dental de cerdas macias Colgate Classic e dentifrício Colgate MFP (Colgate-Palmolive, Divisão da Kolynos Ltda, Osasco-SP, Brasil), sendo estes escolhidos por serem consumidos em larga escala no comércio nacional (Figuras 2 e 3). A composição do dentifrício é apresentada a seguir (Tabela 4). Este dentifrício apresenta em sua composição o carbonato de cálcio como agente abrasivo e é classificado como de média abrasividade (BASTOS et al., 1985).

Figura 2 –(A) Escova dental Colgate Classic; (B) Imagem aproximada da cabeça da escova.

Figura 3 - Dentifrício Colgate.

Tabela 4 - Composição do dentifrício.

Composição básica do dentifrício Colgate MFP

Monofluorofosfato de Sódio (1500 ppm)

Carbonato de Cálcio

Lauril Sulfato de Sódio

Umectante / Espessante / Aromas / Água

4.2. Método

4.2.1. Delineamento experimental

A Figura 4 mostra, esquematicamente, o delineamento experimental seguido no presente estudo.

Figura 4 - Esquema representativo do delineamento experimental do presente estudo.

4.2.2. Obtenção dos corpos de prova

Os procedimentos foram realizados em uma sala especial de acordo com a especificação número 27 da American Dental Association (ADA) para restaurações diretas com resina composta. A temperatura ambiente foi mantida em $23\pm 2^{\circ}\text{C}$, controlada por termômetro e regulada por um condicionador de ar Admiral Royal (Springer Refrigerador AS., Brasil), e a umidade relativa do ar, em $50\pm 10\%$, ajustada pelo desumidificador OAS-S, Modelo OD-300 série 1.

Foram confeccionados 20 corpos de prova para cada resina testada ($n=10$). Para isso, foi utilizada uma matriz metálica desenhada e fabricada pela escola de Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI / Bauru) (ANSEJO-MARTINEZ, 2004). A matriz é constituída de uma plataforma de aço inoxidável totalmente plana e possui dois braços passíveis de serem articulados quando os parafusos laterais da

base são removidos. Quando os braços são unidos formam uma cavidade de 15 mm de comprimento, 5 mm de largura e 4mm de profundidade (Figura 5), dimensões das cavidades existentes na mesa metálica que é fixada na máquina de escovação.

Figura 5 - (A) Projeto gráfico e medidas da cavidade, braços e plataforma da matriz empregada; (B) Matriz com os braços fechados constituindo uma cavidade e o dispositivo utilizado para compressão.

Os corpos de prova foram confeccionados em 4 incrementos. Desta forma, estando a matriz com os braços fechados, foi acomodada na cavidade uma primeira porção da resina composta a ser testada com 2,0mm espessura, 5,0mm de largura e 7,5mm de comprimento, com auxílio de espátulas de inserção apropriadas, mini 1 e 3 (Hu-Friedy, USA). Das dimensões totais do espécime, esta primeira porção representa a metade do comprimento e a metade da altura da cavidade interna formada. Após sua fotopolimerização procedeu-se a aplicação e polimerização sequencial dos outros três incrementos, com as mesmas dimensões do primeiro.

A fotoativação dos primeiros dois incrementos (fundo da cavidade) foi realizada por 20 segundos a 600 mW/cm^2 . Previamente a fotoativação de cada um dos dois últimos incrementos (superficiais), a 600 mW/cm^2 por 40 segundos, posicionou-se uma tira de poliéster (TDV Dental Ltda, Brasil) sobre a resina e, por meio de um dispositivo metálico tipo carimbo, empregou-se uma carga axial contínua por 30 segundos para permitir o extravasamento dos excessos. O último

incremento foi demarcado para ser escovado posteriormente por não sofrer nenhuma influência durante a polimerização dos três primeiros incrementos.

Ao final desta etapa, 60 corpos de prova foram confeccionados. Todos eles foram armazenados em água deionizada, em frascos plásticos identificados em função da resina, à temperatura de 37°C e umidade absoluta de 100% por 24 horas.

4.2.3. Planificação dos corpos de prova

Os corpos de prova foram submetidos à planificação e polimento padronizados. Para isso, eles foram fixados com cera pegajosa Kota (Kota Ind. e Com. Ltda., Brasil) com o auxílio de um instrumento de PKT (Duflex Ind. Bras., Brasil) e uma lamparina (JON, Ind. Bras.), no centro de um disco de acrílico cristal (30mm de diâmetro por 8mm de espessura) com a face da resina composta que foi utilizada na avaliação voltada para cima, com o intuito de realizar a planificação da mesma. O conjunto (disco/resina) foi adaptado em uma Politriz Metalográfica (APL 4, Arotec, Brasil) com sistema de polimento múltiplo capaz de realizar o polimento automático de 6 corpos de prova (Figura 6), permitindo o paralelismo entre as superfícies polidas e os discos de acrílico, onde cada espécime foi fixado. Foram utilizadas três lixas metalográficas (ERIOS Equipamentos Técnicos e Científicos Ltda., Brasil) em ordem decrescente de granulometria, 400, 600 e 1200, sob refrigeração constante de água corrente. A politriz foi acionada em baixa velocidade, com peso padrão de 172g, durante 1 minuto para cada lixa, para se alcançar a lisura desejada.

Logo após a utilização de cada lixa, os corpos de prova foram levados ao aparelho de ultrassom T7 Thomson (Unique Ind. e Com. de Produtos Eletrônicos Ltda., Brasil) com frequência de 40 KHz, durante 5 minutos para remover possíveis grânulos abrasivos que pudessem interferir na qualidade de polimento da lixa seguinte ou na aferição da rugosidade superficial.

Figura 6 – Politriz metalográfica APL4, Arotec.

4.2.4. Aferição da rugosidade superficial

Para verificar a rugosidade superficial dos corpos de prova quantitativamente, foi utilizado o rugosímetro Hommel Tester T1000 basic (Hommelwerke GmbH ref. # 240851 – Schwenningem – Germany), adquirido através do auxílio pesquisa FAPESP nº 01/04945-2. Este aparelho possui uma ponta apalpadora de diamante de alta sensibilidade, a qual percorre a superfície por uma distância determinada previamente pelo operador. Os resultados são registrados e imediatamente digitalizados no visor de cristal líquido do aparelho. O aparelho também pode ser acoplado a um computador, onde um programa específico (Turbo Datawin-NT Versão 1.34, Copyright © 2001) processa e interage as informações obtidas (Figura 7).

Os parâmetros de medição utilizados devem ser delimitados inicialmente no próprio aparelho ou no programa. Os parâmetros selecionados foram os seguintes: T mínima = 0,01 μ m, T máxima = 8,00 μ m, Lt = 1,5mm, Lc = 0,25mm, Lm=1,25mm (NAHSAN, 2009; WANG et al., 2004).

Sendo:

T = tolerância (valores extremos a serem considerados nas leituras)

Lt = limite de tracejamento (extensão real percorrida pela ponta apalpadora)

Lc = cutt-off (filtragem, minimizando a interferência de ondulação da superfície)

Lm = limite de medição (extensão considerada da leitura)

Quando a ponta apalpadora percorre toda a superfície do corpo de prova forma-se um gráfico, na tela do aparelho ou do computador. Na sequência, o rugosímetro informa o valor, em micrômetros (μm), da rugosidade aritmética (R_a), parâmetro escolhido para a obtenção da rugosidade superficial. A rugosidade aritmética traduz o valor da média aritmética de todas as distâncias absolutas do perfil de rugosidade (R), apresentado no gráfico, desde a linha central, dentro da extensão de medida ($L_m=1,25\text{mm}$). No presente estudo, realizou-se as leituras diretamente na tela do rugosímetro.

As leituras iniciais foram tomadas no lado a ser submetido à escovação (teste) em sentido perpendicular ao da ação das cerdas, em áreas selecionadas de forma aleatória. Regiões que apresentavam algum tipo de irregularidade nítida foram desconsideradas. Foram realizadas três leituras em cada espécime. O valor de rugosidade superficial inicial foi obtido através da média aritmética dessas leituras.

Figura 7- Rugosímetro Hommel Tester T1000.

4.2.5 Armazenamento dos espécimes

Após determinação da rugosidade superficial inicial todos os espécimes foram armazenados individualmente em frascos hermeticamente fechados e identificados, contendo 5ml de água deionizada, sendo mantidos à temperatura de 37°C e umidade absoluta de 100%, simulando a condição encontrada na cavidade oral.

Foi aguardado um período de sete dias para a ocorrência de absorção de água e estabilidade da massa (WANG et al., 2004; TURSSI et al., 2001), propriedade verificada nas resinas compostas.

Sequencialmente, duas camadas de esmalte de unha foram aplicadas em metade da superfície de cada corpo de prova, que foi mantida como controle, como proteção (FRANCISCONI et al., 2008; RIOS et al., 2008).

4.2.6 Ciclagem de pH

Um grupo de cada material (Z20+pH, Z350+pH e P90+pH) foi submetido a um regime de ciclagem de pH previamente ao procedimento de escovação simulada. Este protocolo de ciclagem foi inicialmente proposto por Featherstone et al. (1986) e posteriormente modificado por Carvalho e Cury (1999).

A cada 24 horas, cada corpo de prova foi imerso individualmente em 6ml de solução desmineralizadora por 6h, que consiste em 2,0 mM de cálcio e 2,0 mM de fosfato em uma solução tampão de acetato de 75 mM com pH 4,3, contendo NaN_3 0,02%. Decorrido este tempo, os espécimes foram lavados com água deionizada, secos e imersos em solução remineralizante (saliva artificial) por 18 horas, que consiste em 1,5 mM de Ca; 0,9 mM de PO_4 ; 150 mM de KCl em solução tampão de

20mM “Tris”, pH 7,0, contendo NaN_3 0,02%, completando 24 horas. Este protocolo foi rigorosamente seguido por 15 dias consecutivos, e ao fim, os espécimes foram cuidadosamente lavados em água deionizada (PRAKKI et al., 2007; WANG et al., 2004).

O pH das soluções foi monitorado no ato do seu preparo e durante os ensaios através de um pHmetro (B 371, MicroNal S.A, São Paulo).

4.2.7 Procedimento de abrasão

Para a realização dos testes de abrasão foi utilizada uma máquina para simulação de escovação (Figura 8) adquirida através de auxílio pesquisa FAPESP no: 01/04945-2, idealizada para este propósito, através do protocolo descrito em 2001 por TURSSI. Esta metodologia já foi utilizada em outros trabalhos nesta linha de pesquisa (NAHSAN, 2009; ASENJO-MARTÍNEZ, 2004; WANG et al., 2004).

O equipamento consiste em um motor que produz movimentos de vai e vem em dez braços, nos quais são fixadas as “cabeças” das escovas dentais (Colgate / Colgate-Palmolive Ind. Com. Ltda, Brasil), viabilizando a simulação simultânea da escovação em dez corpos-de-prova. Com o objetivo de impedir a movimentação dos mesmos durante o movimento de vai e vem, o equipamento possui uma barra de aço inoxidável com dez cavidades independentes para o posicionamento e estabilidade dos espécimes. As cabeças das escovas dentais (8mm) foram acopladas à máquina de escovação simulada de tal forma que a ação das cerdas da escova dental exercesse atrito somente na metade da superfície do espécime. A outra metade (lado controle) do mesmo corpo-de-prova foi protegida com uma fita isolante, permitindo uma clara identificação entre a área escovada e área controle (Figuras 9 e 10). Esta condição é essencial para as mensurações de desgaste.

A máquina possui um sensor de temperatura que viabiliza a escovação a temperatura de $37\pm 2^{\circ}\text{C}$ através de um monitoramento preciso e livre de interferências externas. A amplitude da excursão dos movimentos de escovação foi ajustada em 20mm, compatível com a dimensão dos espécimes. Os ciclos foram ajustados a velocidade de 4,5 ciclos por segundo com carga de 300g. Durante a escovação, a máquina foi programada para injetar frequentemente, sobre cada corpo de prova, 0,4ml de solução de dentífrício a cada dois minutos. Essa solução consiste de dentífrício dental (Colgate MFP / Colgate-Palmolive Ind. Com. Ltda, Brasil) e água destilada na proporção de 1:2 em peso e foi pesada e diluída no interior de um becker (ISO /14569-1, 1999). O preparo da solução foi realizado imediatamente antes da sua utilização, com a finalidade de preservar suas características.

Figura 8 - Máquina utilizada nos testes de escovação simulada.

Figura 9 – Escova dental acoplada à máquina de escovação simulada.

Figura 10 - Representação esquemática da cabeça da escova dental e posicionamento dos tufo sobre o corpo de prova.

Para o procedimento de escovação em si, os grupos foram escolhidos aleatoriamente e os espécimes cuidadosamente encaixados nos dez orifícios na barra de aço inoxidável do equipamento, aproximadamente 1mm acima desta, garantindo um contato íntimo fileiras de tufo das escovas dentais com a superfície de cada espécime. As escovas de dente foram trocadas ao término de cada 50.000 ciclos, sendo que um total de 100.000 ciclos de escovação foi utilizado para cada espécime. O tempo de ensaio para cada grupo (100.000 ciclos = 2 anos) foi de aproximadamente 8 horas. As leituras de rugosidade superficial final foram

realizadas exclusivamente na área submetida ao procedimento de abrasão (lado escovado).

4.2.8 Limpeza dos corpos de prova

Após o término dos 100.000 ciclos de escovação, os corpos de prova foram cuidadosamente removidos da matriz metálica e imediatamente lavados em água corrente. A película de esmalte de unha aplicada como proteção foi removida com o auxílio de uma pinça clínica. Em seguida, foram colocados no interior de um aparelho de vibração ultrassônica T7 Thornton (Unique Ind. E Com. de Produtos Eletrônicos Ltda., São Paulo, SP) por 5 minutos, para que as partículas abrasivas do creme dental fossem removidas das superfícies das amostras. Na sequência, foram secos com papel absorvente e mantidos em água deionizada no interior de recipientes individualizados e identificados à temperatura de 37°C e umidade absoluta de 100% para a determinação da rugosidade superficial final e do desgaste.

4.2.9 Determinação da rugosidade final

O mesmo método de medição foi repetido para a avaliação da rugosidade final (Ra) nos corpos-de-prova que sofreram o processo de abrasão, onde foi obtida a diferença entre as rugosidades iniciais e finais. As leituras foram realizadas exclusivamente na área submetida ao procedimento de abrasão (lado escovado).

4.2.10 Determinação do desgaste

Para as leituras de desgaste da superfície dos corpos de prova foi utilizado o mesmo aparelho, HommelTester T1000 basic (HommelwerkeGmbH ref. # 240851 – Schwenningem – Germany), usado na determinação da rugosidade superficial, na função de perfilômetro. Assim, foram utilizados outros parâmetros na programação do aparelho.

O rugosímetro foi conectado a um microcomputador que processa todas as informações pertinentes aos ensaios. Com o auxílio de um software do equipamento (Turbo Datawin-NT Versão 1.34, Copyright © 2001), além dos dados específicos das rugosidades superficiais, foram obtidos também os perfis reais das superfícies testadas, sendo estes importantes para a ilustração e quantificação do desgaste.

Foram feitas três leituras para determinação da média de desgaste (ANSEJO-MARTINEZ, 2004). Para a verificação do perfil real, o rugosímetro percorreu a superfície dos corpos-de-prova passando pela metade protegida (lado controle) e pela metade não protegida (lado escovado). Como o lado controle não foi escovado, o gráfico nessa área se assemelha muito a uma linha reta, tornando-se fácil a identificação da região submetida à escovação. Assim sendo, a perda de resina composta foi quantificada pelo perfil real medindo-se à distância em micrometros (μm) da linha média do gráfico, correspondente à linha do plano da área protegida do espécime (lado controle), até o maior vale correspondente à área escovada (Figura 11) (HONÓRIO et al., 2006).

Figura 11- Exemplo do perfil de desgaste apresentado após procedimento de abrasão. (A) Início da leitura feita pelo rugosímetro; (B) Final da leitura; (C) Desgaste máximo.

Para aferição do desgaste através do perfil real da superfície de cada copo de prova foram escolhidos os seguintes parâmetros:

T mínima = $0\mu\text{m}$, T máxima = $40\mu\text{m}$, $L_t = 5,0\text{ mm}$, $L_m = 4,5\text{ mm}$, $L_c = 0,25\text{mm}$ (cut-off).

Sendo:

T= tolerância (valores extremos a serem considerados nas leituras)

L_t = limite de tracejamento (extensão real percorrida pela ponta ativa)

L_m = limite de medição (extensão considerada na leitura)

L_c = cut-off (filtragem, minimizando a ondulação da superfície).

4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

Esta etapa foi realizada de forma ilustrativa por meio de Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV – JEOL JLM 5600 LV). Para tanto, foi selecionado aleatoriamente um espécime de cada grupo para ser metalizado com partículas de ouro para permitir sua visualização em MEV. Foi obtida uma fotomicrografia com aumento de 500X de cada área: controle e escovada, de cada espécime.

4.4 Delineamento estatístico

Os resultados foram submetidos à análise estatística para a verificação de diferenças ou não entre os grupos, em relação ao desgaste e rugosidade superficial das resinas compostas testadas, utilizando um programa estatístico versão 5.0. Para a avaliação de diferenças significantes entre os valores de desgaste e de alteração de rugosidade obtidos, considerando cada uma das variáveis testadas (resinas e ciclagem de pH) aplicou-se ANOVA a dois critérios. Também aplicou-se ANOVA, porém a um critério de classificação, para a análise entre grupos dos valores de rugosidade inicial e de rugosidade final. A fim de evidenciar as diferenças e de comparar os grupos entre si o teste de Tukey foi realizado. Para a verificação de significância entre os resultados de rugosidade inicial e final de um mesmo grupo (análise intra grupo amostra dependente) foi realizado teste “t” de Student. Sendo que para todos os testes realizados foi considerado o nível de significância de 5%.

5 Resultados

5 RESULTADOS

5.1. Desgaste

Os valores das médias de desgaste (μm) obtidos após escovação simulada e o resultado da análise estatística realizada para comparação entre todos os grupos avaliados (ANOVA e teste de Tukey, $p < 0,05$) encontram-se na tabela a seguir.

Tabela 5 – Médias de desgaste (μm) e desvio padrão.

GRUPO	Desgaste $\pm$ DP
Z250	3,915a $\pm$ 0,8814
Z250+pH	4,467ab $\pm$ 2,3089
Z350	4,171ab $\pm$ 0,9818
Z350+pH	4,155ab $\pm$ 0,9648
P90	7,704b $\pm$ 2,6433
P90+pH	15,305c $\pm$ 5,4092

DP – Desvio Padrão

Letras minúsculas demonstram diferenças entre os grupos

Todos os grupos apresentaram desgaste após a realização de escovação simulada. Houve diferenças estatisticamente significantes ($p < 0,05$) entre as médias de desgaste apresentadas pelos grupos avaliados (Tabela 5). A resina P90, quando submetida à ciclagem de pH, apresentou desgaste superficial significativamente maior (15,305 μm) que os demais grupos testados. A menor média de desgaste foi a apresentada pelo grupo da resina Filtek Z250 que não foi submetido à ciclagem de pH, porém não houve diferença significativa entre ele e os demais grupos compostos pelas resinas à base de metacrilato. Através da observação entre os dois grupos da mesma resina, com e sem ciclagem de pH, verifica-se que a resina Filtek P90 foi a única que sofreu influência da ciclagem de pH.

Considerando apenas a variável material, pela análise estatística realizada entre as médias dos valores de desgaste apresentados pelas resinas (com ciclagem de pH + sem ciclagem de pH), pode-se verificar que a resina Filtek P90 apresentou

desgaste superior às demais resinas testadas, Filtek Z250 e Filtek Z350, com diferenças estatisticamente significantes (ANOVA e teste de Tukey, $p < 0,05$) (Gráfico 1).

Letras minúsculas demonstram diferenças entre os grupos ($p < 0,05$)
Desvio Padrão - entre parênteses

Gráfico 1 - Gráfico representativo das médias de desgaste (µm) e desvios padrão (*) das resinas compostas após o teste de escovação simulada.

5.2. Rugosidade

As médias dos valores de rugosidade inicial e final, registradas pelo rugosímetro Hommel Tester T1000 e os respectivos valores de desvio padrão encontrados para todos os grupos avaliados encontram-se na Tabela 6.

Teste de análise de variância a um critério revelou diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os grupos avaliados para os valores de rugosidade inicial e também para os valores de rugosidade final. Teste de Tukey foi realizado para comparações entre os grupos (Tabela 6).

Tabela 6 – Valores das médias iniciais e finais das rugosidades (Ra- μm) obtidas antes e após a escovação simulada.

GRUPO	Ra inicial $\pm$ DP	Ra final $\pm$ DP
Z250	0,092 Aab $\pm$ 0,0092	0,186 Bb $\pm$ 0,0306
Z250+pH	0,079 Aa $\pm$ 0,0115	0,188 Bb $\pm$ 0,0215
Z350	0,100 Aab $\pm$ 0,0163	0,210 Bb $\pm$ 0,0115
Z350+pH	0,085 Aa $\pm$ 0,0135	0,179 Bb $\pm$ 0,0357
P90	0,137 Ac $\pm$ 0,0497	0,079 Ba $\pm$ 0,0208
P90+pH	0,123 Abc $\pm$ 0,0149	0,086 Ba $\pm$ 0,0052

DP – Desvio padrão; Ra – Rugosidade aritmética

Letras maiúsculas demonstram diferenças significantes entre colunas

Letras minúsculas demonstram diferenças significantes entre linhas
 $p < 0,05$

Gráfico 2 - Gráfico representativo das rugosidades superficiais (μm) das resinas compostas testadas antes e após o teste de escovação simulada.

Para melhor avaliação da alteração da rugosidade superficial apresentada por cada um dos grupos, foi realizada a análise estatística (ANOVA e teste de Tukey, $p < 0,05$) dos valores obtidos pela diferença entre rugosidade inicial e rugosidade final (Gráfico 3).

Letras minúsculas demonstram diferenças estatísticas entre os grupos

Gráfico 3 - Gráfico representativo da variação de rugosidade superficial (μm) das resinas compostas testadas.

Através da análise dos gráficos (Gráficos 2 e 3) verificamos a diferença de comportamento das resinas compostas frente aos testes realizados. Houve diferença estatisticamente significativa entre os valores de rugosidade inicial e rugosidade final para todos os grupos testados. Independente do tipo de armazenamento, apenas em água ou com alternância das soluções para ciclagem de pH, as resinas Filtek Z250 e Filtek Z350 apresentaram aumento de rugosidade superficial após escovação simulada e a resina Filtek P90 apresentou diminuição da rugosidade superficial (Gráfico 3).

As resinas à base de Bis-GMA, Filtek Z250 e Z350, apresentaram maior alteração de rugosidade após o teste de escovação simulada, com diferença estatisticamente significativa se comparadas à resina Filtek P90.

Não houve diferença estatisticamente significativa (teste de Tukey, $p < 0,05$) entre a média de rugosidade de todos os grupos que sofreram ciclagem de pH ($0,054\mu\text{m}$) e a média dos grupos que não passaram por esse processo ($0,047\mu\text{m}$). A ciclagem de pH não interferiu diretamente na alteração de rugosidade superficial (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Gráfico representativo da média de rugosidade superficial (μm) de todos os grupos que sofreram ciclagem de pH em comparação com a média (μm) dos grupos que não passaram por esse processo.

5.3. Ilustração qualitativa

Foram obtidas imagens através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de amostras representativas das resinas testadas, previamente e após os testes realizados. Pela análise das figuras a seguir pode-se constatar as alterações superficiais resultantes do processo de abrasão, com e sem ciclagem de pH, sobre cada um dos materiais avaliados.

Figura 12 – Fotomicrografia da resina composta Filtek™ Z250 logo após polimento (MEV 500X original).

Figura 13 – Fotomicrografia da resina composta Filtek™ Z250 após escovação simulada (MEV 500X original).

Figura 14 – Fotomicrografia da resina composta Filtek™ Z250 após ciclagem de pH + escovação simulada (MEV 500X original).

Figura 15 – Fotomicrografia da resina composta Filtek™ Z350 logo após polimento (MEV 500X original).

Figura 16 – Fotomicrografia da resina composta Filtek™ Z350 após escovação simulada (MEV 500X original).

Figura 17 – Fotomicrografia da resina composta Filtek™ Z350 após ciclagem de pH + escovação simulada (MEV 500X original).

Figura 18 – Fotomicrografia da resina composta Filtek™ P90 logo após polimento (MEV 500X original).

Figura 19 – Fotomicrografia da resina composta Filtek™ P90 após escovação simulada (MEV 500X original).

Figura 20 – Fotomicrografia da resina composta Filtek™ P90 após ciclagem de pH + escovação simulada (MEV 500X original).

6 Discussão

6 DISCUSSÃO

Os materiais restauradores utilizados para substituir a estrutura dentária perdida, seja por lesão de cárie ou não cariosa, também estão sujeitos aos efeitos decorrentes da grande variabilidade de agentes e fatores que atuam no meio bucal, e que podem influenciar na durabilidade e no comportamento clínico a curto e longo prazo. Fatores como as variações térmicas e de pH, que ocorrem constantemente na cavidade bucal, podem afetar as propriedades físico-químicas de qualquer material restaurador, e características como o desgaste e a rugosidade superficial, que apresentam grande influência na qualidade e longevidade de uma restauração, podem ser alteradas (PALANIAPPAN et al., 2009).

Para melhor compreensão dos resultados apresentados pelas diferentes resinas compostas testadas, quanto ao desgaste e alteração de rugosidade superficial, e dos efeitos resultantes do desafio ácido a que foram submetidas pela realização da ciclagem de pH, discutiremos separadamente cada um desses fatores.

6.1 DESGASTE

O desgaste foi conceituado por Jones, Jones e Wilson (1972) como a perda de substância de uma determinada superfície por ação mecânica. Ferracane (1994) definiu desgaste como sendo a perda de substância que resulta em alteração da forma anatômica.

Clinicamente, o desgaste de restaurações pode ser resultado da atrição pelos contatos oclusais em relação cêntrica ou durante a função mastigatória, ou ainda dos contatos interproximais. Em áreas livres de contatos, o desgaste pode ser decorrente da abrasão pelo bolo alimentar ou pela escovação, com ou sem o uso de um dentífrício (ATTIN et al., 1998; GÖHRING, BESEK, SCHIMIDLIN, 2002; PRAKKI et al., 2007).

Ao longo dos anos de utilização das resinas compostas, houve grande melhoria das suas propriedades de forma geral. Dentre essas, o aumento da resistência ao desgaste favoreceu em grande parte a aceitação desses materiais

pelos profissionais, particularmente para aplicação em dentes posteriores. De acordo com a norma 27 da ADA (American Dental Association, 1998), as resinas compostas, além da aplicação em dentes anteriores, também podem ser aplicadas em restaurações de dentes posteriores, em cavidade de classe I, II e V conservadoras ou de tamanho moderado, possibilitando, também para essas áreas, resultados estéticos excepcionais.

Diante das diversas indicações das resinas compostas, torna-se essencial a avaliação do comportamento de novos materiais frente ao processo de desgaste, que ainda pode ser considerado o principal problema presente de forma rotineira na clínica odontológica (LEINFELDER; BEAUDREAU; MAZER, 1989).

O desgaste pode levar a consequências indesejáveis como aumento da rugosidade superficial (TURSSI et al., 2001; ASENJO-MARTINEZ, 2004; WANG et al., 2004; MONDELLI et al., 2009; NAHSAN, 2009), maior acúmulo de placa e manchamento (WEITMAN; EAMES, 1975; BUERGERS et al., 2009), podendo comprometer ainda a estética, a durabilidade da restauração e alterar o padrão oclusal. Portanto, uma previsão do comportamento a curto e longo prazo dos materiais restauradores é essencial para sua aplicação na clínica.

Apesar da maior credibilidade dos estudos clínicos, a quantificação do desgaste de uma restauração, quando esta se encontra em função, não é simples, muitas vezes tendo que recorrer à realização de moldagens e confecção de réplicas para a determinação da quantidade de material que foi perdido, o que, de certa forma, diminui a precisão dos resultados (LEINFELDER; BEAUDREAU; MAZER, 1989; PALANIAPPAN et al., 2009). Ferracane (2006) afirmou que avaliações *in vitro* para previsão do desgaste de materiais restauradores deveriam ser aperfeiçoadas e a busca por métodos mais precisos ainda se faz necessária.

Segundo Francisconi et al. (2008), devido a complexidade e diversidade das condições intra bucais, modelos *in vitro* são de fundamental importância para fornecer informações relativas ao comportamento quanto a biodegradação dos materiais. Além disso, estudos laboratoriais demandam menos tempo e custo que estudos clínicos (WANG et al., 2004). Por esses motivos, optou-se pela realização de um estudo *in vitro* para avaliação dos efeitos da escovação e das variações de pH sobre as características de desgaste e rugosidade das resinas compostas.

São encontradas na literatura diversas metodologias para se avaliar e quantificar a resistência ao desgaste, tanto de estruturas dentais quanto de materiais restauradores. Para a verificação laboratorial do desgaste pode-se relacionar duas diferentes abordagens: abrasão entre dois corpos e abrasão entre três corpos. A abrasão de três corpos, que ocorre quando o abrasivo é inserido à parte e não quando está agregado a uma das superfícies (como ocorre no desgaste entre dois corpos), é o modelo de simulação *in vitro* que mais se assemelha com a condição *in vivo* e pode prever melhor o desempenho clínico dos materiais restauradores (LEINFELDER; BEAUDREAU; MAZER, 1989; LAMBRECHTS et al., 2006).

Miller (1907) foi o precursor dos testes de desgaste utilizando dentifrícios, ou seja, abrasão envolvendo três corpos. Em seu estudo realizou a escovação manual de dentes recém-extraídos e percebeu, através de uma análise visual, a ocorrência de desgaste. A partir daí, diversos outros estudos foram realizados para se verificar a resistência ao desgaste de estruturas dentais ou de materiais restauradores.

Leinfelder, Beaudreau e Mazer (1989) também desenvolveram um modelo de estudo *in vitro* baseado na abrasão entre 3 corpos e obtiveram, através de análise em MEV, padrões de desgaste microestrutural praticamente idênticos aos observados *in vivo* em réplicas de restaurações após 1 ano em função.

Sendo a escovação simulada um modelo de abrasão entre três corpos consagrado na literatura, esse foi o método escolhido no presente estudo. Além disso, a abrasão por escovação é considerado um importante fator de desgaste *in vitro*, por simular uma condição clínica e permitir, em parte, a extrapolação dos resultados obtidos. Vale ressaltar que o método avalia um fator isolado, não indicando necessariamente a resistência a outros fatores do meio bucal que também levam ao desgaste, como contato oclusal, atividades parafuncionais e dieta alimentar. Por isso, sempre haverá necessidade de se estabelecer condições padronizadas capazes de serem relacionadas clinicamente. Foi o que o presente estudo procurou, além da padronização, a reprodução de diferentes fatores que ocorrem *in vivo* a fim de permitir a extrapolação (SEXSON; PHILLIPS, 1951; VAN GROENINGEN, 1981; VAN DIJKEN; RUYTER, 1987; ATTIN et al., 1998; LAMBRECHTS et al., 2006).

A escovação dos blocos confeccionados em resina composta foi realizada através da combinação da ação mecânica da escova com o componente abrasivo do dentífrico selecionado, o carbonato de cálcio, que é o abrasivo presente na grande maioria dos dentífricos utilizados pela população (HEATH; WILSON, 1976; BASTOS et al., 1985; WANG et al., 2004). Para isso, foi empregada uma máquina de escovação simulada que possui dez braços onde foram fixadas as cabeças de escovas dentais e que proporcionaram os movimentos de vai e vem. A variação da amplitude dos movimentos e a presença ou não de dentífrico apresenta grande efeito sobre o desgaste resultante. Heath e Wilson (1976) afirmaram que em presença de dentífrico, movimentos de 45mm de amplitude geram maior desgaste em comparação com movimentos de 15mm e, em sua ausência, a quantidade de desgaste provocado com menor amplitude dos movimentos foi maior ou semelhante ao desgaste provocado quando se utilizou a maior amplitude. De acordo com os autores, uma possível explicação para isso seria o maior tempo de contato das cerdas da escova em movimento com a resina, resultando em maior desprendimento de partículas inorgânicas. No presente estudo, a amplitude de 20 mm para os movimentos foi empregada por ser próxima à condição clínica realizada durante a escovação dos dentes e por permitir o contato das cerdas da escova com todo o corpo de prova (TURSSI et al., 2001). Além disso, sobre a cabeça das escovas dentais acopladas à máquina foi aplicada uma carga padronizada de 300g, que corresponde a 3N (TURSSI et al., 2001; PRAKKI et al., 2007; MONDELLI et al., 2009). A padronização das variáveis presentes na escovação garantiu que os diferentes resultados obtidos tenham ocorrido apenas em decorrência das diferentes características dos materiais restauradores empregados.

Além da amplitude dos movimentos e pressão empregada pelas escovas, a velocidade dos movimentos também pode influenciar no desgaste dos materiais. A velocidade de 4,5 ciclos por segundo foi selecionada por ser amplamente utilizada em diferentes protocolos de simulação de escovação para avaliação de desgaste e por ser representativa da velocidade de escovação *in vivo* (HEATH; WILSON, 1976; ATTIN et al., 1998; PRAKKI et al., 2007; MONDELLI et al., 2009).

Existem divergências na literatura sobre a quantidade de ciclos de escovação realizados com o tempo equivalente *in vivo*. No presente estudo adotou-se a realização de 100.000 ciclos de escovação simulada em cada corpo de prova. Para

Wang et al. (2004) esse tempo de escovação realizado em laboratório equivale a 4,2 anos *in vivo*, o que, proporcionalmente, está de acordo com a afirmação de Heath e Wilson (1976). Segundo esses autores, 20.000 ciclos de escovação equivalem a 10 meses *in vivo*. Porém, para Sexon e Phillips (1951) a realização de 20.000 ciclos é correspondente a 2 anos de escovação. De qualquer forma, o tempo de escovação selecionado (100.000 ciclos) simula uma avaliação clínica a longo prazo, estudos nesse sentido são essenciais para a avaliação da resistência à fadiga dos materiais (PALANIAPPAN et al., 2009).

As escovas dentais de cerdas macias (Colgate Classic) foram selecionadas para serem fixadas na máquina de escovação por serem amplamente comercializadas em mercado nacional. Recomenda-se a substituição das escovas dentais assim que apresentem sinais de desgaste ou danificação das cerdas, pois elas perdem a capacidade de remoção adequada de placa bacteriana da superfície dental, independentemente do tempo de uso (KREIFELDT; HILL; CALISTI, 1980). Apesar de alguns trabalhos afirmarem não haver necessidade de troca das escovas dentais para a realização de estudos laboratoriais se o número de ciclos não ultrapassar 450.000 (HEATH, WILSON, 1976), a troca foi efetuada ao término de 50.000 ciclos realizados, pois pode-se notar que ao final deste período as cerdas encontravam-se com disposição bastante alterada (WANG et al., 2004; PRAKKI et al., 2007; MONDELLI et al., 2009).

Finalizado o processo de simulação de desgaste e efetuada a limpeza dos corpos de prova em água deionizada em aparelho de ultrassom, seguiu-se a aferição do desgaste. Destacam-se como formas de se medir a resistência ao desgaste: a utilização de isótopos radioativos (GRABENSTETTER et al., 1958), o escaneamento a laser para obtenção de imagens em 3D (PALANIAPPAN et al., 2009), a quantificação de alteração de volume e densidade (LI et al., 1985), a avaliação da alteração de massa em balança de alta precisão (JONES; JONES; WILSON, 1972; CHADWICK et al., 1990; PRAKKI et al., 2007) e a perfilometria (TURSSI; FERRACANE; VOGEL, 2005; FRANCISCONI et al., 2008). Vale ressaltar que esses testes podem, muitas vezes, ser associados para melhor entendimento do processo de desgaste. No presente estudo, optou-se pela avaliação do desgaste através da perfilometria, tendo como plano de referência para a quantificação (μm) do material desgastado o lado controle do mesmo corpo de prova, que permaneceu

coberto com fita adesiva durante o teste (TURSSI; FERRACANE; VOGEL, 2005). O método foi escolhido porque além de ser considerado um método simples e direto para a quantificação do desgaste, o mesmo permitiu a comparação dos valores obtidos com dados já existentes na literatura, já que é um método comumente aplicado (CARPINETTI et al., 1996; PRAKKI et al., 2007; WANG et al., 2004; HONÓRIO et al., 2006).

As resinas compostas após serem inseridas na cavidade bucal devem apresentar comportamento e características semelhantes às estruturas dentárias. Para isso, diferentes componentes orgânicos e inorgânicos foram agregados às formulações das resinas compostas. Pode-se considerar que as resinas são essencialmente constituídas por uma matriz resinosa (fase orgânica), partículas de carga (fase inorgânica), um agente de união entre as partículas de carga e a matriz resinosa (interface), além de outros componentes em menor concentração que incluem iniciadores de polimerização, estabilizadores e pigmentos (YAP et al., 2001). Todas as suas propriedades físico-químicas são dependentes desses diferentes componentes e suas interações (YAP; LOW; ONG, 2000; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 1998).

Com relação à resistência a desgaste, O'Brien e Yee (1980) examinaram a superfície de restaurações que permaneceram em função por um período de três a oito anos e, após a remoção cuidadosa, verificaram através de análise em microscópio eletrônico de varredura que o desgaste superficial da resina pode ocorrer em decorrência de fratura parcial ou perda das partículas de carga, desgaste da matriz resinosa, propagação de trincas na matriz resinosa e exposição de bolhas de ar incorporadas na resina.

Segundo Leinfelder, Beaudreau e Mazer (1989), os mecanismos associados com a degradação superficial das resinas compostas são complexos e dependendo do tamanho das partículas de carga diferentes formas de desgaste podem ser verificadas. Para os autores, resinas com tamanho das partículas de carga "submicron" (menor que 1 μ m) apresentam maior incidência de desgaste localizado (resultante de contato com dente antagonista) e falhas ou fraturas marginais, enquanto que desgaste generalizado na superfície de restaurações (resultante de abrasão, por exemplo) é verificado para resinas com partículas de maior tamanho.

Para tentar solucionar o problema do desgaste, diversas modificações foram realizadas na carga inorgânica das resinas até os dias de hoje. Um dos maiores avanços conseguidos nos últimos anos que resultou na melhoria das propriedades mecânicas dos materiais restauradores diretos foi a introdução da nanotecnologia. Através do desenvolvimento de resinas compostas com partículas em escala nanométrica foi possível associar as características de resistência mecânica das resinas híbridas às propriedades óticas das resinas microparticuladas, permitindo o uso de materiais da mesma cor do dente, tanto em dentes anteriores quanto posteriores (MITRA; WU; HOLMES, 2003).

A resina Filtek Z350 apresenta em sua composição partículas nanométricas e nanoaglomerados (nanopartículas de sílica - 20nm; nanoaglomerados zircônia/sílica de 0,6-1,4 μ m) e foi utilizada no presente estudo para possibilitar a comparação com as resinas híbridas Filtek Z250 (contendo partículas de sílica e zircônia com tamanho médio de 0,6 μ m) e Filtek P90 (com partículas de quartzo e fluoreto de ítrio de tamanho médio de 0,47 μ m), indicadas para restauração de dentes posteriores.

Os resultados mostraram que, mesmo com o grande avanço tecnológico para o desenvolvimento da resina nanoparticulada Filtek Z350, ela apresentou comportamento semelhante à resina microhíbrida Filtek Z250 frente ao teste de resistência ao desgaste. Também pode-se notar que, apesar dos tamanhos médios de partículas semelhantes, a Filtek Z250 e a Filtek P90, ambas microhíbridas, apresentaram comportamentos distintos. Desta forma, a alteração no tamanho das partículas de carga de cada uma das resinas testadas não deve ser considerada como a causa exclusiva dos diferentes valores de desgaste apresentados.

Em contrapartida, alguns trabalhos da literatura relatam certa correlação entre o desgaste das resinas compostas e o tamanho das suas partículas. Turssi, Ferracane e Vogel (2005) observaram comportamentos distintos entre resinas com diferentes combinações de formas e tamanhos de partículas inorgânicas. Através de teste de resistência ao desgaste por simulação de contato oclusal em presença de solução abrasiva verificaram que o tamanho de partículas de carga afetou significativamente o comportamento das resinas compostas. Resinas compostas contendo partículas de carga maiores (1,5 μ m) apresentaram maior abrasão, com diferença significativa para as resinas que apresentam partículas de até 1 μ m.

Todas as resinas avaliadas no presente estudo apresentam tamanho médio de partículas inferior a 1 μ m (segundo informações do fabricante), porém verificou-se maior valor de desgaste para a resina Filtek P90, que também recebe a classificação de microhíbrida, mas apresenta composição diferenciada tanto com relação à carga orgânica quanto à sua composição inorgânica em comparação com as demais resinas. Possivelmente seu comportamento diferenciado (maior desgaste) ocorreu devido a essas alterações.

A resina Filtek P90, além de exibir uma matriz resinosa inovadora, à base de silorano, apresenta em sua composição inorgânica partículas de quartzo associadas a partículas de fluoreto de ítrio, outro diferencial para as demais resinas testadas. Tanto a resina Filtek Z250 quanto a Filtek Z350 apresentam partículas de sílica e zircônia. Segundo Leprince et al. (2010), a resina à base de silorano ainda apresenta maior irregularidade quanto à forma das suas partículas de carga, pois as partículas de quartzo não podem ser obtidas pelo processo sol-gel (meio de obtenção das partículas nanométricas), diferentemente das resinas nanoparticuladas que apresentam partículas esféricas regulares e aglomerados compostos por essas partículas. Possivelmente, a combinação de todos os fatores diferenciais da resina Filtek P90, que ocorreram devido à alteração dos seus monômeros, podem ter interferido na diminuição da sua resistência ao desgaste por abrasão.

Apesar do tempo de teste ter sido pequeno para associar a degradação das resinas testadas com o envelhecimento das partículas de carga, pouco se sabe sobre quanto o desgaste das resinas compostas depende da composição química das partículas inorgânicas (TURSSI; FERRACANE; VOGEL, 2005). Investigações futuras ainda são necessárias visto que a resina Filtek P90 apresenta partículas de composição química diferente das demais.

Outra característica que pode interferir no comportamento das resinas, no sentido de levar a uma melhoria das suas propriedades físicas e mecânicas, e alcançar maior longevidade clínica, é o aumento na quantidade de partículas inorgânicas incorporadas na matriz resinosa (LI, et al., 1985; ILIE et al., 2007; LEPRINCE et al., 2010). Leprince et al. (2010) afirmou que a concentração de carga é dependente de diversos fatores como tamanho, forma e quantidade de carga, tipo e extensão da cobertura de silano das partículas, além da viscosidade e hidrofobicidade da matriz resinosa.

Para Li et al. (1985) uma maior concentração de carga resulta em aumento da dureza e da resistência à compressão e diminuição de sorção de água, propriedades que influenciam no desgaste superficial.

Ilie e Hickel (2009b) avaliaram o comportamento mecânico de diversas marcas de resinas comercializadas dentro de diferentes categorias de classificação quanto ao tamanho e quantidade de carga (híbridas, microhíbridas, microparticuladas, condensáveis, à base de Ormocer e resinas fluidas, além de compômeros e compômeros fluidos). Pelos resultados desse estudo, a quantidade de partículas de carga em peso ou volume mostrou ter grande influência sobre as propriedades mecânicas avaliadas, principalmente quanto à resistência flexural e módulo de elasticidade. Os autores ainda afirmaram que comparadas com as resinas híbridas, a quantidade de carga das nano-híbridas, assim como a resistência flexural e resistência à compressão são semelhantes, porém, apresentaram menor módulo de elasticidade, propriedade fundamental para a aplicação em áreas de grande incidência de força. Um estudo de Leprince et al. (2010) avaliou propriedades mecânicas de diferentes resinas compostas, microhíbridas, nanohíbridas, nanoparticuladas e à base de Ormocer (incluindo a resina com matriz orgânica de silorano) e verificou que a resina Filtek LS (P90) apresentou menor módulo de elasticidade que as demais, sendo, por isso, necessária maior atenção na indicação desse material.

Pelos resultados do presente estudo verificou-se que a resina à base de silorano apresentou valor de desgaste maior que as demais resinas, com diferenças estatisticamente significantes. Possivelmente, a menor concentração de partículas inorgânicas da resina Filtek P90 (76/55% p/v) em comparação com as demais resinas avaliadas (Z250 – 84,5/60% p/v e Z350 – 78,5/59,5% p/v), influenciou na quantidade de desgaste apresentada. O que também nos faz refletir sobre a indicação desses materiais para áreas que exijam maior resistência à abrasão.

Assim como a resistência ao desgaste constitui um fator extremamente importante para a longevidade das restaurações, o selamento marginal também pode ser considerado um fator determinante. A contração de polimerização resulta em tensão na interface dente restauração podendo comprometer o vedamento marginal e aumentar a chance de manchamento e sensibilidade pós-operatória, além de facilitar a ocorrência de infiltração e cárie secundária (BURGESS; CAKIR,

2010). De acordo com Peutzfeldt (1997) a contração de polimerização do Bis-GMA, constituinte da maior parte das resinas, fica em torno de 5%, a incorporação de partículas de carga levou a uma diminuição no valor final de contração de polimerização das resinas compostas, para cerca de 2 a 3%.

A possibilidade de aumento no conteúdo de carga com o desenvolvimento das resinas nanoparticuladas, também acarreta uma consequente redução da concentração de monômero na matriz resinosa, o que determina uma diminuição ainda maior da contração de polimerização que ocorre nesta matriz, além da diminuição do desgaste e da rugosidade superficial (MORAES et al., 2009; BURGESS; CAKIR, 2010; ILIE; HICKEL, 2009b; LEPRINCE, et al., 2010).

Atualmente os avanços nos materiais restauradores se focam no desenvolvimento de monômeros que possibilitem a diminuição da contração de polimerização e, nesse sentido, a resina Filtek P90 que é constituída de matriz orgânica à base de silorano (nome resultante da combinação dos nomes das suas moléculas, siloxano e oxirano) foi lançada como uma proposta promissora. Essa resina apresenta polimerização em anel aberto, o que resulta na aproximação entre as moléculas vizinhas sem que haja uma contração do material, característica do componente siloxano, além de hidrofobicidade, devido ao seu componente oxirano, o que pode colaborar com maior longevidade da restauração. A diminuição de incidência de tensão de contração na área marginal durante a fotopolimerização garante maior integridade marginal. Apesar dessas características positivas da resina à base de silorano, pouco se sabe sobre seu comportamento mecânico em longo prazo (WEINMANN; THALACKER; GUGGENBERGER, 2005; ILIE; RICKEL, 2009a).

Asmussen e Peutzfeldt (1998) apresentaram como sugestão para melhorar a resistência ao desgaste das resinas compostas o aumento da resistência abrasiva da matriz resinosa e não a dureza das partículas. Eles observaram que a composição da matriz orgânica influenciou as propriedades mecânicas dos materiais restauradores. Os autores afirmaram que as resinas apresentam maior resistência quando Bis-GMA ou TEGDMA são substituídos parcialmente por UDMA, ou quando o Bis-GMA é substituído por TEGDMA. No presente estudo as resinas compostas Filtek Z250 e Z350 que apresentam uma combinação desses monômeros em sua constituição apresentaram comportamento semelhante quanto ao desgaste. De

acordo com informações do fabricante, a resina Filtek Z250 apresenta Bis-GMA, UDMA e Bis-EMA, e a resina Filtek Z350, Bis-GMA, UDMA e TEGDMA, não sendo informados, porém, a quantidade percentual de cada um deles em suas formulações.

Pode-se notar pelos resultados apresentados no gráfico 1 que as informações supracitadas continuam pertinentes apesar de grandes modificações já realizadas nas resinas. Entretanto, a substituição dos monômeros já consagrados na literatura (Bis-BMA, TEGDMA, UDMA) pelo silorano na constituição da resina Filtek P90 promoveu resistência ao desgaste significativamente inferior quando comparada às resinas à base de Bis-GMA, possivelmente devido a essa diferença na matriz orgânica, além da menor porcentagem de carga inorgânica já comentada.

As imagens de MEV são importantes para avaliação visual dos padrões de desgaste dos materiais testados (O'BRIEN; YEE, 1980; LEINFELDER, BEAUDREAUEU, MAZER, 1989; WANG et al., 2004). Pela análise qualitativa das imagens obtidas, verificamos áreas de desgaste de matriz resinosa e áreas de perda de partículas, padrões comumente encontrados em avaliações em MEV após ensaio abrasivo (O'BRIEN e YEE, 1980). Observamos comportamentos distintos entre os materiais que apresentam composições diferentes, o que também foi verificado pela análise quantitativa. Na superfície dos corpos de prova confeccionados com as resinas à base de Bis-GMA verificamos partículas carga protruindo através da matriz resinosa mais desgastada e, para as amostras da resina à base de silorano, uma superfície mais lisa e uniforme.

Alguns trabalhos que avaliaram o desgaste da resina Filtek P90 chegaram a resultados semelhantes. Burgess e Cakir, em 2010, através de avaliação de perda de volume após a realização de teste de resistência ao desgaste, verificou que a resina à base de silorano apresentou desgaste maior que todas as resinas com alto conteúdo de carga avaliadas, apesar de apresentar a menor contração de polimerização, abaixo de 1%. Nesse mesmo estudo, a resina Filtek Z250 mostrou-se mais resistente frente ao teste de abrasão que as demais resinas, incluindo resinas com partículas de carga nanométricas, como as Filtek Supreme Plus (3M) e Grandio (Voco). Resultados semelhantes foram verificados no presente estudo, onde a resina Z250 apresentou o menor valor de média de desgaste (4,191µm), estatisticamente menor que a média apresentada pelos grupos da resina Filtek P90

(11,505µm). Provavelmente, a associação da resistência à abrasão da matriz resinosa composta por Bis-GMA e do conteúdo inorgânico à base de sílica e zircônia, garantiram melhor comportamento das resinas Filtek Z250 e Z350 frente ao teste de desgaste em comparação com a resina Filtek P90.

Em contrapartida, os resultados de um estudo clínico realizado por Burke et al. (2011) revelaram que o comportamento das restaurações confeccionadas com a Filtek P90, com relação a forma anatômica, integridade marginal, pigmentação marginal, alteração de cor e alteração superficial, após 2 anos em função, é satisfatório ao ser comparado com resultados de demais trabalhos clínicos que avaliaram restaurações realizadas com as convencionais resinas à base de metacrilato. Porém, estudos futuros ainda são necessários para avaliar o comportamento clínico em longo prazo.

Devido às grandes diferenças na composição da resina à base de silorano em comparação com as resinas à base de metacrilato, é difícil definir um ponto crítico da sua fórmula, assim como quais propriedades podem ser afetadas. Baseando-se nos resultados relacionados ao desgaste, a resina Filtek P90 apresentou certa desvantagem em comparação com as resinas Filtek Z250 e Filtek Z350. Ao considerar que a região posterior é mais crítica para se garantir a qualidade de uma restauração devido a maior incidência de esforços mastigatórios, e sendo esta área a de maior indicação de um material com menor tensão de contração, a nova resina possivelmente apresenta melhor comportamento quando aplicada em cavidades menores e que apresentem fator de configuração cavitária mais desfavorável. Enquanto que, no caso de restaurações maiores, as resinas com melhor resistência ao desgaste podem ser perfeitamente aplicadas.

6.2 RUGOSIDADE

Devido às exigências estéticas atuais, os materiais restauradores devem simular a aparência da estrutura dentária natural. Uma restauração em resina composta será imperceptível a olho nu quando a sua superfície apresentar cor, textura e brilho semelhante à da estrutura dentária circundante (ERGÜCÜ; TÜRKÜN, 2007; BURGESS; ÇAKIR, 2010). Essa caracterização é possível através de um

adequado acabamento e polimento e está diretamente relacionada às características do material restaurador.

Dentre as razões para a realização cuidadosa dessa etapa do procedimento restaurador também podemos destacar o conforto do paciente (JONES; BILLINGTON; PEARSON, 2004). Com a ponta da língua é possível detectar superfícies mais rugosas e a maior aspereza de novas restaurações confeccionadas é uma reclamação frequente na clínica odontológica. Além disso, superfícies rugosas favorecem o acúmulo de placa, que pode gerar consequências à saúde periodontal ou ainda o desenvolvimento de cárie secundária (VAN DIJKEN; SJÖSTROM; WING, 1987; ERGÜCÜ; TÜRKÜN, 2007). Assim, a busca por materiais restauradores que possibilitem obter uma lisura superficial semelhante a do esmalte torna-se essencial.

Existem diferentes métodos para se avaliar a qualidade da superfície de restaurações, tanto de forma quantitativa quanto qualitativa. No caso de uma análise objetiva, a rugosidade de uma superfície é basicamente quantificada por parâmetros relacionados à altura (amplitude) e largura (espaçamento) das irregularidades ou por uma combinação desses atributos (CARPINETTI et al., 1996). Com essa finalidade, o valor de Ra (rugosidade aritmética) é o mais comumente usado na odontologia e na engenharia (JONES; BILLINGTON; PEARSON, 2004; ERGÜCÜ; TÜRKÜN, 2007). A rugosidade aritmética (Ra) é expressa em micrômetros (μm) e obtida pela média aritmética entre os picos e vales percorridos pela ponta do aparelho aferidor. Ela mede a lisura da resina polida e baixos valores indicam uma superfície mais lisa (BURGESS; CAKIR, 2010).

A metodologia empregada no presente estudo procurou seguir os protocolos utilizados em estudos que avaliaram rugosidade superficial antes e após escovação simulada (TURSSI et al., 2001; ASENJO-MARTINEZ, 2004; WANG et al., 2004; MONDELLI et al., 2009; MORAES et al., 2009; NAHSAN, 2009). Dentro deste contexto, as medições de rugosidade superficial foram realizadas através do rugosímetro Hommel Tester T1000 (Hommelwerk, GmbH), utilizando-se como parâmetro a rugosidade aritmética. Foram realizadas três leituras de rugosidade superficial antes e após os testes, por serem consideradas estatisticamente suficientes (TURSSI et al., 2001; MORAES et al., 2009; NAHSAN, 2009).

Em um trabalho *in vitro* de Mondelli et al. (2009) verificou-se que o esmalte bovino apresenta valor de rugosidade aritmética (Ra) próximo a 0,100µm imediatamente após polimento com discos de lixa. Os autores avaliaram a rugosidade superficial nos blocos de esmalte após 100.000 ciclos de escovação simulada e obtiveram como média final o valor de 0,150 µm. Ou seja, para que uma restauração em resina composta tenha sua superfície semelhante ao esmalte ela deve apresentar rugosidade superficial próxima ao valor supracitado. No presente estudo, os valores médios apresentados pelas resinas avaliadas imediatamente após o polimento superficial variou de 0,079 µm a 0,137 µm, sendo que a resina Filtek Z250 apresentou a superfície mais lisa e a resina Filtek P90, a mais rugosa. Além disso, observou-se boa correlação dos valores de Ra apresentados pelas resinas no presente estudo, cujas médias variaram de 0,079 µm a 0,210 µm, com os obtidos em blocos de esmalte bovino por Mondelli et al. (2009) após teste de escovação simulada.

No caso de resinas compostas, algumas características do material podem colaborar com a qualidade da superfície resultante e um fator importante a ser observado é a sua rugosidade intrínseca. Devido à heterogeneidade de seus componentes, como a quantidade, o tamanho, o tipo e a forma das partículas, a qualidade e quantidade dos componentes orgânicos, tipo de união e forma de polimerização, a rugosidade é considerada um fator inerente ao material (WILLENS et al., 1992; ERGÜCÜ; TÜRKÜN, 2007). Assim, cada resina testada no presente estudo apresentou valores de rugosidade diferentes entre si. As resinas compostas constituídas de matriz orgânica de Bis-GMA apresentaram rugosidade superficial inicial menor que a resina à base de silorano. Apesar das resinas Filtek Z250 (microhíbrida) e Filtek Z350 (nanoparticuladas) receberem diferentes classificações quanto ao tamanho das partículas de carga inorgânica não apresentaram diferenças significantes entre os valores de rugosidade inicial avaliados. Já a resina Filtek P90 (também classificada como microhíbrida) apresentou média de rugosidade inicial maior que as demais, no entanto, com diferença estatisticamente significativa em apenas um dos grupos confeccionados com essa resina. Apesar do cuidado para a padronização dos corpos de prova, as diferenças quanto a média de rugosidade inicial podem também ser resultantes de possíveis variações no momento do polimento, que foi realizado separadamente para cada um dos grupos testados.

Apesar de todas as condições favoráveis de um estudo *in vitro*, a obtenção de uma superfície lisa e uniforme não é uma realidade. Ergücü e Türkün (2007) verificaram a ocorrência de riscos e remoção de partículas superficiais de resinas compostas imediatamente após a realização de polimento. Segundo os autores, isso ocorre mesmo para as resinas nanoparticuladas, apesar de terem sido desenvolvidas com o intuito de apresentarem melhor comportamento, frente ao processo de abrasão, que as resinas nanohíbridas e microhíbridas.

A rugosidade das resinas compostas e de qualquer outro material restaurador é alterada após o polimento devido a diversos fatores presentes na cavidade oral e que atuam sobre os materiais, como os processos de abrasão frente a escovação ou pela ação dos alimentos e o atrito de dentes antagonistas (DE GEE; HARKEL-HAGENAAR; DAVIDSON, 1985; BUCHALLA; ATTIN; HELLWIG, 2000; WANG et al., 2004). Alguns autores salientaram que a grande vantagem das resinas compostas que contêm nanopartículas seria a melhor retenção do brilho conseguido com o polimento superficial (MITRA; WU; HOLMES, 2003; MORAES et al., 2009).

Pelos resultados obtidos em um estudo para o desenvolvimento de materiais restauradores estéticos com aplicação de nanotecnologia, onde as resinas compostas que possuíam nanopartículas e nanoaglomerados apresentaram menor perda de brilho após escovação simulada, Mitra, Wu e Holmes, em 2003, salientaram que as partículas nanométricas se desprendem individualmente dos aglomerados, ou seja, os nanoaglomerados não se destacam inteiramente da superfície da restauração, o que resultaria em defeitos superficiais, aumento de rugosidade e perda de brilho. Diferentemente das partículas das resinas híbridas e microhíbridas, apesar delas possuírem tamanho médio semelhante ao dos nanoaglomerados, não podem se subdividir sob forças abrasivas, o que leva ao aumento significativo de rugosidade após desafio abrasivo.

Ao avaliarem a rugosidade superficial de resinas com diferentes constituições de partículas após teste de escovação, Moraes et al. (2009) obtiveram menores valores de rugosidade aritmética para as resinas nanoparticuladas quando comparadas às resinas nanohíbridas e microhíbridas, que apresentaram comportamento semelhante entre si. Este tipo de reação ao processo de abrasão das resinas com diferentes partículas não foi notado no presente estudo. Ao analisar a variação de rugosidade apresentada pelas diferentes resinas avaliadas, verificou-

se que, em contradição às afirmações anteriores, as resinas microhíbrida (Filtek Z250) e nanoparticulada (Filtek Z350) apresentaram comportamentos semelhantes. Porém, aliado ao fato de que os nanoaglomerados apresentam tamanho médio semelhante ao das partículas de resinas microhíbridas, em nenhum dos trabalhos citados anteriormente o tempo de escovação utilizado foi próximo a 100.000 ciclos. Possivelmente, quando as resinas nanoparticuladas são submetidas a forças abrasivas por períodos maiores de tempo, como a que foi aplicada no atual estudo, tendem a apresentar mais irregularidades superficiais atingindo valores de rugosidade semelhantes aos apresentados pelas resinas microhíbridas, já que ambas apresentam a mesma constituição de matriz orgânica.

Ao compararmos as resinas à base de Bis-GMA e a resina à base de silorano, verificamos diferenças significantes entre os valores de rugosidade superficial obtidos. A variação da rugosidade superficial apresentada pela resina Filtek P90 foi significativamente menor em comparação com as demais resinas, independentemente da realização ou não de ciclagem de pH e do maior desgaste. Ao analisarmos as rugosidades iniciais e finais nos grupos que foram submetidos apenas ao processo de abrasão por escovação verificamos alterações estatisticamente significantes para todas as resinas avaliadas. Os corpos de prova confeccionados com as resinas Filtek Z250 e Z350 apresentaram aumento significativo de rugosidade superficial média após escovação simulada, de 0,092 para 0,186 e de 0,100 para 0,210, respectivamente, enquanto que para a resina P90 a rugosidade superficial diminuiu significantemente, de 0,137 para 0,079. Considerando esses diferentes comportamentos, constatamos que a composição do material pode ter influenciado no processo de abrasão das diferentes resinas.

O aumento da lisura superficial da resina Filtek P90 pode ser decorrente de uma possível ação de polimento do dentifrício, dependendo da interação das suas partículas abrasivas com a superfície (GRABENSTETTER et al., 1958). Apesar de todos os grupos terem passado pelo mesmo processo de abrasão, não podemos desconsiderar que cada resina apresenta composição distinta tanto com relação à composição da matriz orgânica quanto da carga inorgânica, e essa seria uma possível razão por apresentarem diferentes respostas frente ao teste de escovação simulada.

A baixa rugosidade superficial é almejada e importante, pois contribui com diminuição do acúmulo de placa, essencial para maior longevidade da restauração. BUERGERS, em 2009, verificou a adesão de streptococci oral na resina à base de silorano, que apresentou menor susceptibilidade que as convencionais resinas à base de metacrilato. O autor afirmou que isso provavelmente ocorreu devido à maior hidrofobicidade da resina à base de silorano. No presente estudo a resina Filtek P90 apresentou uma diminuição na rugosidade superficial após o teste de abrasão, o que provavelmente também acarretaria em diminuição do acúmulo de placa, mas vale ressaltar que este comportamento ocorreu em concomitância ao maior desgaste sofrido pela mesma.

A análise quantitativa obtida com as medidas da rugosidade superficial (Ra) juntamente com a análise qualitativa das imagens realizadas através de microscopia eletrônica de varredura, permite uma melhor avaliação para a caracterização da superfície de materiais restauradores (JONES; BILLINGTON; PEARSON, 2004). No presente estudo pode-se verificar uma correlação entre os dados quantitativos e a análise qualitativa das amostras testadas. Pelas imagens de MEV, podemos notar uma proximidade entre os tamanhos médios das partículas de carga da Filtek Z250 e dos nanoalglomerados da Filtek Z350. As pequenas partículas nanométricas dispersas na matriz não podem ser visualizadas por não serem atingidas pela luz (MITRA; WU; HOLMES, 2003). Já a resina Filtek P90 apresenta configuração distinta, da mesma forma que também apresentou um comportamento diferenciado pela avaliação quantitativa da alteração de rugosidade.

6.3 CICLAGEM DE pH

Muitos trabalhos já avaliaram os efeitos das variações de pH associadas à abrasão no esmalte ou à capacidade de liberação de flúor de alguns materiais odontológicos (CARVALHO; CURY, 1999; ATTIN et al., 1998; LEE et al., 1998). Entretanto, poucos são os estudos que mostraram o resultado de um processo de abrasão em condições que simulam o efeito da ciclagem de soluções com diferentes pH que atuam no meio bucal sobre os materiais restauradores, sendo esta uma

avaliação também essencial para a garantia da estabilidade e longevidade do procedimento restaurador.

A degradação dos materiais restauradores resinosos não pode ser atribuída somente ao desgaste, pois eles também estão sujeitos aos efeitos de agentes químicos que resultam na degradação da sua integridade superficial. O meio químico é, portanto, um aspecto da cavidade bucal que pode exercer influência importante no processo de degradação dos materiais restauradores resinosos. Alguns fatores presentes no meio bucal, como o baixo pH, podem gerar alterações nas características físicas e mecânicas dos materiais restauradores (ASMUSSEN, 1984; ATTIN et al., 1998; LEE et al., 1998; FERRACANE, 1994; YAP et al., 2001).

Ten Cate e Duijsters (1982) afirmaram que, *in vivo*, períodos de alto e baixo pH se alternam periodicamente sendo a frequência dependente da cariogenicidade da dieta do indivíduo. Asmussen (1984) ainda afirmou que os ácidos orgânicos presentes na placa influenciam a qualidade das restaurações em resina composta com relação ao desgaste e possível aumento na susceptibilidade ao manchamento da superfície. Consequentemente uma boa higiene oral é determinante para a longevidade das restaurações.

Segundo Yap et al. (2001) as situações de variação do pH às quais são submetidos os tecidos moles, os dentes, e os materiais restauradores ocorrem continuamente, quando os agentes químicos podem ser absorvidos pela placa ou cálculo aderido ao dente e aos poucos são liberados na cavidade bucal ou até mesmo quando produtos de decomposição das bactérias presentes no biofilme são liberados, ou intermitentemente quando provém de alimentos ou bebidas ingeridas.

A saliva é um fluido que irriga os tecidos bucais e é produzido pelas glândulas salivares. Sua composição é complexa, pois contém componentes orgânicos, como proteínas, carboidratos e enzimas, e inorgânicos, como cálcio e fosfatos, além de ser um fluido variável, pois fluidos transitórios são adicionados à saliva na forma de alimentos e bebidas. Várias funções são atribuídas à saliva, dentre as quais podemos citar a proteção da cavidade bucal contra danos causados por alterações do pH (potencial hidrogênico), já que a sua capacidade tampão colabora com a manutenção do pH neutro (entre 6,8-7,2) (THYLSTRUP e FEJERSKOV, 2001).

A cárie dentária representa um processo de alternância dos fenômenos de desmineralização e remineralização que estão relacionados com a manutenção de um pH crítico na boca (CARVALHO; CURY, 1999).

Modelos *in vitro* de ciclagem de pH ainda são amplamente utilizados pois simulam a dinâmica de perda e ganho de mineral, resultante de uma condição de desafio cariogênico envolvida na formação da lesão de cárie (TEN CATE; DUIJSTERS, 1982; FEATHERSTONE, 1986; CARVALHO; CURY, 1999). Para Ten Cate (1990) a ciclagem de pH é o modelo laboratorial que melhor simula o meio bucal.

De acordo com PRAKKI et al. (2005), para estudos laboratoriais, os meios de imersão com pH pouco abaixo do neutro devem ser a escolha para a simulação das condições *in vivo*. Eles simulam algumas situações clínicas melhor do que quando se utiliza água, apesar de seus efeitos parecerem levar tempo, essa condição foi a selecionada para aplicação no presente estudo, onde soluções de desmineralização e remineralização foram usadas para reproduzir uma situação dinâmica de ciclagem de pH. Quando a intensão do estudo é um envelhecimento acelerado, as melhores alternativas são meios de imersão com pH muito altos ou muito baixos (acima de 13,0 ou menor que 2,0), que não foi o caso do presente estudo.

Para simular as condições *in vivo*, no presente estudo optou-se pela realização da ciclagem de pH em um dos grupos de cada material avaliado. Para isso, foi utilizado o modelo inicialmente preconizado por Featherstone et al., em 1986, que foi posteriormente modificado por Carvalho e Cury em 1999. Os corpos de prova foram imersos individualmente em frascos escuros contendo solução desmineralizadora (pH=4,3) por 6h, e após serem lavados em água deionizada, foram transferidos para frascos semelhantes contendo saliva artificial, solução remineralizadora (pH=7,0), por 18 horas, completando desta forma o período de 24 horas. Este protocolo foi rigorosamente seguido por 15 dias consecutivos (WANG et al., 2004; PRAKKI et al., 2007).

Outros estudos também aplicaram protocolos de ciclagem dinâmica semelhantes, porém durante diferentes períodos. Turssi et al. (2001) realizaram imersão de corpos de prova confeccionados em resina composta em soluções de desmineralização (pH=4,3) e remineralização (saliva artificial, pH=7,0) por apenas

10 dias consecutivos. A rugosidade superficial, obtida através da rugosidade aritmética também foi realizada pelos autores para prever as alterações das características mecânicas das resinas compostas em situações de baixo pH. Os autores ainda afirmaram que diferentes comportamentos são esperados frente ao teste de ciclagem de pH e que variações de rugosidade superficial entre diferentes materiais resinosos ocorrem principalmente devido aos diferentes tipos e tamanhos de partículas que podem apresentar. Em seu estudo verificou-se que a ciclagem de pH seguida de escovação simulada resultou em aumento significativo de rugosidade para os materiais resinosos testados, com exceção da resina composta Renamel (microparticulada com alto conteúdo de carga), que apresentou o menor valor de rugosidade após o teste (0,052 μ m), seguida da resina Charisma (híbrida – 0,092 μ m).

Por outro lado, também são encontrados na literatura resultados contrários quanto ao efeito da realização de ciclagem de pH previamente ao desafio abrasivo. Cimentos resinosos e materiais restauradores indiretos (resina Artglass e porcelana Duceram Plus) foram avaliados por Prakki et al. (2007), seguindo o mesmo protocolo de ciclagem de pH, por 15 dias consecutivos seguidos de 100.000 ciclos de escovação simulada. Pelos resultados obtidos os autores concluíram que a ciclagem de pH não influenciou a perda de material em peso ou a rugosidade superficial após abrasão. Entretanto, houve diferenças entre os resultados apresentados pelos diferentes cimentos resinosos testados. Segundo os autores, as diferentes características de composição dos materiais, quanto ao tipo de matriz orgânica, tipo e tamanho de partícula ou da cobertura de silano, influenciam os diferentes comportamentos.

No presente estudo, verificamos que a situação de desafio ácido não gerou grandes alterações na rugosidade superficial das resinas compostas avaliadas. Pela avaliação da rugosidade superficial final nos grupos que sofreram desafio ácido, não houve diferença significativa em comparação com os grupos que não sofreram ciclagem de pH. Apesar da resina Filtek P90 ter apresentado uma diminuição da rugosidade superficial (de 0,137 μ m para 0,079 μ m no grupo sem ciclagem e de 0,123 μ m para 0,086 μ m para o grupo com ciclagem de pH), diferentemente das resinas Filtek Z250 e Filtek Z350, que apresentaram aumento da rugosidade superficial (Z250 – de 0,092 μ m para 0,086 μ m sem ciclagem e de 0,079 μ m para

0,188 μ m com ciclagem; Z350 – de 0,100 μ m para 0,210 μ m sem ciclagem e de 0,085 μ m para 0,179 μ m com ciclagem), houve semelhança entre os resultados obtidos nos grupos com e sem ciclagem. Aparentemente, o desafio ácido não é o fator determinante das alterações microestruturais superficiais das resinas compostas. O que está em acordo com demais estudos que observaram que a rugosidade é dependente das características intrínsecas da resina, como tamanho e quantidade de partículas e composição inorgânica (O'BRIEN; YEE, 1980; WILLEMS et al., 1992; TURSSI et al., 2001; MITRA; WU; HOLMES, 2003; ERGÜCÜ; TÜRKÜN, 2007).

Entretanto, comparando-se os valores obtidos de média de desgaste superficial entre o grupo que passou pelo processo de ciclagem de pH previamente à escovação simulada e o grupo controle de uma mesma resina, verificamos que a resina Filtek P90 apresentou diferença significativa, com maior quantidade de desgaste no grupo que sofreu ciclagem dinâmica de pH. Diferentemente das resinas à base de Bis-GMA (Filtek Z250 e Filtek Z350) que apresentaram comportamento semelhante quanto ao desgaste entre os grupos que sofreram ciclagem de pH e os que passaram apenas pelo processo de escovação simulada.

Outros trabalhos apresentaram resultados semelhantes. Buchalla, Attin e Hellwig (2000) avaliaram o desgaste de cimentos odontológicos de diferentes características após armazenamento em solução ácida (pH=3,0) e simulação de abrasão por escovação. Para os cimentos resinosos testados, os resultados encontram-se em acordo com os encontrados para as resinas à base de Bis-GMA testadas no presente estudo, ou seja, a imersão prévia em solução ácida não afetou o desgaste por abrasão. Attin et al. (1998) também verificaram que mesmos sob as condições extremas de um estudo *in vitro*, o aumento do efeito da abrasão por escovação simulada devido à condição de baixo pH (pH=3,0) em compômeros (que possuem componentes metacrilatos na matriz orgânica) foi relativamente pequeno.

Após um estudo *in situ* realizado em 2008, Rios et al. observaram que as alterações superficiais, referentes ao desgaste e microdureza de materiais restauradores (CIV convencional, CIV modificado por resina, resina composta e amálgama) são pequenas após desafio erosivo e abrasivo, e que os valores de desgaste obtidos em blocos de esmalte bovino são significativamente maiores.

Francisconi et al. (2008), após verificarem o desgaste e alteração de dureza de diversos materiais submetidos à desafios erosivos com ciclagem de pH, concluíram que apesar dos materiais restauradores serem menos susceptíveis à erosão se comparados com o esmalte, o ataque erosivo pode induzir, de certa forma, a degradação da matriz e das partículas inorgânicas dos materiais restauradores.

Yu et al. (2009) afirmaram que, de certa forma, a escovação simulada e erosão apresentam efeitos sinérgicos no desgaste dos materiais restauradores. Mas também verificaram que as resinas compostas apresentam melhor resistência frente ao teste de abrasão e/ou erosão que compômeros, cimentos de ionômero de vidro ou que o esmalte humano, substrato que apresentou maior alteração de peso após desafio ácido associado com abrasão. Nesse mesmo estudo, não houve diferença significativa quanto ao efeito da abrasão e/ou erosão entre a resina à base de silorano e uma resina à base de metacrilatos (Tetric EvoCeram).

Pelos resultados do presente estudo podemos afirmar que o efeito sinérgico da abrasão por escovação simulada e do desafio ácido do protocolo de ciclagem de pH utilizado não são significativos para as resinas com matriz orgânica à base de Bis-GMA. Porém, esta combinação de fatores apresentou influência significativa no desgaste sofrido pela resina à base de silorano. O desgaste apresentado por essa resina quando submetido à ciclagem de pH em associação com a escovação simulada foi significativamente maior do que quando foi submetida apenas ao processo de abrasão (15,305µm e 7,704µm respectivamente).

Baseando-se nessa situação verificada podemos notar que, apesar da já confirmada hidrofobicidade e estabilidade dos siloranos em meios aquosos (EICK et al., 2006), em se tratando de áreas constantemente submetidas à desafios abrasivos, a aplicação dessa nova resina (Filtek P90) para restaurações parece limitada e estudos futuros que avaliem seu comportamento clínico a longo prazo ainda são necessários.

7 Conclusões

7 CONCLUSÕES

- Todas as resinas apresentaram desgaste após escovação simulada. A resina Filtek P90 apresentou média de desgaste superior às resinas à base de Bis-GMA (Filtek Z250 e Filtek Z350);

- Todas as resinas apresentaram alteração de rugosidade superficial após o teste de abrasão por escovação simulada. Sendo que as resinas Filtek Z250 e Filtek Z350 apresentaram aumento de rugosidade, enquanto que a Filtek P90 apresentou comportamento inverso;

- A variável ciclagem de pH influenciou apenas o desgaste apresentado pela resina à base de silorano (Filtek P90). Entretanto, a ciclagem de pH não foi determinante das alterações de rugosidade superficial verificadas nas resinas testadas.

Referências

REFERÊNCIAS

- American Dental Association. Council on Dental Materials and Devices. Specification 27 for direct filling resins. J Amer Dent Ass. 1977;94(6):1191-5.
- American Dental Association. Council on Scientific Affairs: ADA Council on Dental Benefit Programs. Statement on posterior resin-based composites. J Amer Dent Ass. 1998;129(11):1627-8.
- Asenjo-Martinez MAJ. Avaliação do desgaste e da rugosidade superficial de uma resina composta após escovação simulada, em função de diferentes energias e fontes de luz usadas na polimerização [dissertação]. Bauru(SP): Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 2004.
- Asmussen E. Softening of BISGMA-based polymers by ethanol and by organic acids of plaque. Scand J Dent Res. 1984; 92(3):257-61.
- Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of UEDMA BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites. Dent Mater. 1998;14(1):51-6.
- Attin T, Buchalla W, Trett A, Hellwig E. Toothbrushing abrasion of poliacid-modified composites in neutral and acidic buffer solutions. J Prosthet Dent. 1998;80(2):148-50.
- Bastos JRM, Lopes ES, Tárzia O, Bassani AC. Contribuição à posologia de dentifrícios pelo cirurgião dentista no Brasil. Rev Gaúcha Odont. 1985;33(3):202-5.
- Buchalla W, Attin T, Hellwig E. Brushing abrasion of luting cements under neutral and acidic conditions. Oper Dent. 2000; 25(6):482-7.
- Buergers R, Schneider-Brachert W, Hahnel S, Rosentritt M, Handel G. Streptococcal adhesion to novel low-shrink silorane-based restorative. Dent Mater. 2009;25(2):269-75.
- Burgess J, Cakir D. Comparative properties of low shrinkage composite resins. Compend Cont Educ Dent. 2010;31(Special Issue 2):10-5.
- Burke FJ, Crisp RJ, James A, Mackenzie L, Pal A, Sands P, Thompson O, Palin WM. Two year clinical evaluation of a low-shrink resin composite material in UK general dental practices. Dent Mater. 2011;27(7):622-30.
- Carpinetti LCRC, Gonçalves Filho EV, Porto AJV, Jasinevicius RG. Rugosidade Superficial: conceitos e princípios de medição. São Carlos. Seção de Publicações da EESC-USP, 1996.

- Carvalho AS, Cury JA. Fluoride release from some dental materials in different solutions. *Oper Dent*. 1999; 24(1):14-9.
- Chadwick RG, McCabe JF, Walls AWG, Storer R. The effect of storage media upon the surface microhardness and abrasion resistance of three composites. *Dent Mater*. 1990;6(2):123-8.
- De Gee AJ, Harkel-Hagenaar HC, Davidson CL. Structural and physical factors affecting the brush wear of dental composites. *J Dent*. 1985;13(1):60–70.
- Ergücü Z, Türkün LS. Surface roughness of novel resin composites polished with one-step systems. *Oper Dent*. 2007;32(2):185-92.
- Eick JD, Smith RE, Pinzino CS, Kostoryz EL. Stability of silorane dental monomers in aqueous systems. *J Dent*. 2006;34(6):405-10.
- Featherstone JDB, O'Reilly MM, Shariati M, Brugler S. Enhancement of remineralization *in vitro* and *in vivo*. In: Leach SA (ed). *Factors relating to demineralization and remineralization of the teeth* (ed 1). Oxford: IRL Press; 1986:23-34.
- Ferracane JL. Elution of teachable components from composites. *J Oral Rehabil* 1994;21(4):441-52.
- 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(8):689-92.
- Francisconi LF, Honório HM, Rios D, Magalhães AC, Machado MAAM, Buzalaf MAR. Effect of erosive pH cycling on different restorative materials and on enamel restored with these materials. *Oper Dent*. 2008;33(2):203-8.
- Göring TN, Besek MJ, Schmidlin PR. Attritional wear and abrasive surface alterations of composite resin materials *in vitro*. *J Dent*. 2002;30(2-3):119-27.
- Grabenstetter RJ, Broge RW, Jackson FL, Radike AW. The measurement of the abrasion of human teeth by dentifrice abrasives: a test utilizing radioactive teeth. *J Dent Res*. 1958;37(6):1060-8.
- Heath JR, Wilson HJ. Abrasion of restorative materials by toothpaste. *J Oral Rehab*. 1976;3(2):121-38.
- Honório HM, Rios D, Abdo RC, Machado MA. Effect of different prophylaxis methods on sound and demineralized enamel. *J Appl Oral Sci*. 2006;14(2):117-23.
- Ilie N, Jelen E, Clementino-Luedemann T, Hickel R. Low-shrinkage composite for dental application. *Dent Mater J*. 2007;26(2):149-55.
- Ilie N, Hickel R. Investigations on mechanical behavior of dental composites. *Clin Oral Invest*. 2009;13(4):427-38.(a)

Ilie N, Hickel R. Macro-, micro- and nano-mechanical investigations on silorane and methacrylate-based composites. *Dent Mater*. 2009;25(6):810-9.(b)

International Organization for Standardization. Technical Specification 14569-1. Dental Materials. Guidance on testing of wear resistance. Part – 1: wear of dental composites. Switzerland, ISO, 1999.

Jones CS, Billington RW, Pearson G. The in vivo perception of roughness of restorations. *Br Dent J*. 2004;196(1):42-5.

Jones DW, Jones PA, Wilson HJ. A simple abrasion test for composites. *J Dent*. 1972;1(1):28-34.

Kreifeldt JG, Hill PH, Calisti LJ. A systematic study of the plaque removal efficiency of worn toothbrushes. *J Dent Res*. 1980;59(12):2047-55.

Lambrechts P, Debels E, Van Landuyt K, Peumans M, Van Meerbeek B. How to simulate wear? Overview of existing methods. *Dent Mater*. 2006;22(8):693-701.

Lee SY, Huang HM, Lin CY, Shih YH. Leached components from dental composites in oral simulating fluids and the resultant composite strengths. *J Oral Rehabil*. 1998;25(8):575-88.

Leinfelder KF, Beaudreau RW, Mazer RB. An in vitro device for predicting clinical wear. *Quintessence Int*. 1989;20(10):755-61.

Leprince J, Palin WM, Mullier T, Devaux J, Vreven J, Leloup G. Investigating filler morphology and mechanical properties of new low-shrinkage resin composite types. *J Oral Rehabil*. 2010;37(5):364-76.

Li Y, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK, Roberts TA. Effect of filler content and size on properties of composites. *J Dent Res*. 1985;64(12):1396-401.

Mondelli RFL, Azevedo JFDG, Francisconi PAS, Ishikiriyama SK, Mondelli J. Wear and surface roughness of bovine enamel submitted to bleaching. *The Eur J Esthet Dent*. 2009;4(4):396-403.

Moraes RR, Gonçalves LS, Lancellotti AC, Consani S, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA. Nanohybrid resin composites: Nanofiller loaded materials or traditional microhybrid resins? *Oper Dent*. 2009;34(5):551-7.

Miller WD. Experiments and observations on the wasting of tooth tissue erroneously designated as erosion, abrasion, denudation, etc. *Dent Cosmos*. 1907;49(1):109-24.

Mitra SB, Wu D, Holmes BN. An application of nanotechnology in advanced dental materials. *J Am Dent Assoc*. 2003;134(10):1382-90.

Nahsan FPS. Influência da aplicação de selantes de superfície na rugosidade de resinas compostas [dissertação]. Bauru (SP):Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo, 2009.

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

Palaniappan S, Bharadwaj D, Mattar DL, Peumans M, Meerbeek BV, Lambrechts P. Three-year randomized clinical trial to evaluate the clinical performance and wear of a nanocomposite versus a hybrid composite. *Dent Mater*. 2009;25(11):1302-14.

Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry: the monomer systems. *Eur J Oral Sci*. 1997; 105(2):97-116.

Prakki A, Cilli R, Mondelli RFL, Kalachandra S, Pereira JC. Influence of pH environment on polymer-based dental material properties. *J Dent*. 2005;33(2):91-8.

Prakki A, Araújo PA, Navarro MFL, Mondelli J, Mondelli RFL. Effect of toothbrushing abrasion on weight and surface roughness of pH-cycled resin cements and indirect restorative materials. *Quintessence Int*. 2007;38(9):e544-54.

Rios D, Honório HM, Francisconi LF, Magalhães AC, Machado MAAM, Buzalaf MARB. In situ effect of an erosive challenge on different restorative materials and on enamel adjacent to these materials. *J Dent*. 2008;36(2):152-7.

Sexson JC, Phillips WR. Studies on the effect of abrasives on acrylic resins. *J Prosth Dent*. 1951;1(4):454-71.

Ten Cate JM, Duijsters PPE. Alternating demineralization and remineralization of artificial enamel lesions. *Caries Res*. 1982;16(3):201-10.

Ten Cate JM. In vitro studies on the effects of fluoride on de- and remineralization. *J Dent Res*. 1990; Spec Iss No 69:614-9.

Thylstrup A, Fejerskow O. *Cariologia clínica*. 3.ed. São Paulo: Santos, 2001. 421 p.

Turssi CP, de Magalhães CS, Serra MC, Rodrigues Júnior AL. Surface roughness assessment of resin-based materials during brushing preceded by pH-cycling simulations. *Oper Dent*. 2001; 26(6):576-84.

Turssi CP, Ferracane JL, Vogel K. Filler features and their effects on wear and degree of conversion of particulate dental resin composites. *Biomaterials*. 2005;26(24):4932-7.

Van Dijken JWV; Ruyter IE. Surface characteristics of posterior composites after polishing and toothbrushing. *Acta Odontol Scand*. 1987;45(5):337-46.

Van Dijken JWV; Sjöström S; Wing K. The effect of diferente types of composite resin fillings on marginal gingiva. *J Clin Periodontol*. 1987;14(4):185-9.

Van Groeningen G. In vivo – abrasion of composites: A quantitative investigation. *Quintessence Int*. 1981;12(10):1101-7.

Wang L; Garcia FCP; Araújo PA; Franco EB; Mondelli RFL. Wear resistance of packable resin composite after simulated toothbrushing test. *J Esthet Rest Dent*. 2004;16(5):303-15.

Weinmann W, Thalacker C, Guggenberger R. Siloranes in dental composites. *Dent Mater J*. 2005;21(1):68–74.

Weitman RT, Eames WB. Plaque accumulation on composite surfaces after various finishing procedures. *J Am Dent Assoc*. 1975;91(1):101-6.

Willems G, Lambrechts P, Braem M, Celis JP, Vanherle G. A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics. *Dent Mater*. 1992;8(5): 310-9.

Wu W, McKinney JE. Influence of chemicals on wear of dental composites. *J Dent Res*. 1982;61(10):1180-3.

Yap AUJ, Tan SHL, Wee SSC, Lee CW, LIM ELC, Zeng KY. Chemical degradation of composite restoratives. *J Oral Rehab*. 2001;28(11):1015-21.

Yap AU, Low JS, Ong LF. Effect of food-simulating liquids on surface characteristics of composite and polyacid-modified composite restoratives. *Oper Dent*. 2000;25(3):170-6.

Yu H, Wegehaupt FJ, Wiegand A, Ross M, Attin T, Buchalla W. Erosion and abrasion of tooth-colored restorative materials and human enamel. *J Dent*. 2009;37():913-22.

Anexos

ANEXOS

ANEXO A - Aplicação de ANOVA (análise de variância), a 2 critério de classificação, para comparação entre os valores de desgaste apresentados pelas resinas.

Variável dependente: DESGASTE					
Variáveis independentes: RESINA(Fixo) CICLAGEM(Fixo)					
Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	"F"	Probab
RESINA	715,90459000	2	357,95229500	48,53762	0,000000
CICLAGEM	110,35128167	1	110,35128167	14,96341	0,000297
Interação	180,04952333	2	90,02476167	12,20717	0,00004
	Resíduo	398,23589000	54	7,37473870	
	Total	1404,54128500	59		
	Bartlett = 46,20278		Prob. = 0,000000		

ANEXO B - Aplicação de teste de Tukey, nível de significância de 5%, para análise da influência do material e da realização da ciclagem de pH sobre a variável desgaste.

Comparação	Diferença	Valor crítico	Interpretação
P90 X Z250	7,31350000	2,070243	SIGNIFICANTE
P90 X Z350	7,31350000	2,070243	SIGNIFICANTE
Z250 X Z350	0,02800000	2,070243	Não significativa
+ pH X sem pH	2,71233333	2,070243	SIGNIFICANTE

ANEXO C - Aplicação de teste de Tukey, nível de significância de 5%, para análise diferenças quanto ao desgaste, entre todos os grupos testados.

Comparação	Diferença	Valor crítico	Interpretação
P90+pH X P90	7,60100000	3,587605	SIGNIFICANTE
P90+pH X Z250+pH	10,8380000	3,587605	SIGNIFICANTE
P90+pH X Z250	11,3900000	3,587605	SIGNIFICANTE
P90+pH X Z350+pH	11,1500000	3,587605	SIGNIFICANTE
P90+pH X Z350	11,1340000	3,587605	SIGNIFICANTE
P90 X Z250+pH	3,23700000	3,587605	Não significativa
P90 X Z250	3,78900000	3,587605	SIGNIFICANTE
P90 X Z350+pH	3,54900000	3,587605	Não significativa
P90 X Z350	3,53300000	3,587605	Não significativa
Z250+pH X Z250	0,55200000	3,587605	Não significativa
Z250+pH X Z350+pH	0,31200000	3,587605	Não significativa
Z250+pH X Z350	0,29600000	3,587605	Não significativa
Z250 X Z350+pH	-0,2400000	3,587605	Não significativa
Z250 X Z350	-0,2560000	3,587605	Não significativa
Z350+pH X Z350	-0,0160000	3,587605	Não significativa

ANEXO D - Aplicação de ANOVA (análise de variância), a 1 critério de classificação, para comparação entre os valores de rugosidades iniciais entre os grupos.

Variável independente: RESINA

Variável dependente: RUGOSIDADE INICIAL

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	"F"	Probab
ENTRE GRUPOS	0,02585333	5	0,00517067	9,030271	0,000000
Resíduo	0,03092000	54	0,00057259		
Total	0,05677333	59			
Bartlett = 37,10395		Prob. = 0,000000			

ANEXO E - Aplicação de teste de Tukey, nível de significância de 5% (valor crítico = 0,03161215), para comparação entre os valores de rugosidades iniciais entre os grupos.

Comparação	Diferença	Valor crítico	Interpretação
P90+pH X P90	-0,0140000	0,03161215	Não significativa
P90+pH X Z250+pH	0,04400000	0,03161215	SIGNIFICANTE
P90+pH X Z250	0,03100000	0,03161215	Não significativa
P90+pH X Z350+pH	0,03800000	0,03161215	SIGNIFICANTE
P90+pH X Z350	0,02300000	0,03161215	Não significativa
P90 X Z250+pH	0,05800000	0,03161215	SIGNIFICANTE
P90 X Z250	0,04500000	0,03161215	SIGNIFICANTE
P90 X Z350+pH	0,05200000	0,03161215	SIGNIFICANTE
P90 X Z350	0,03700000	0,03161215	SIGNIFICANTE
Z250+pH X Z250	-0,0130000	0,03161215	Não significativa
Z250+pH X Z350+pH	-0,0060000	0,03161215	Não significativa
Z250+pH X Z350	-0,0210000	0,03161215	Não significativa
Z250 X Z350+pH	0,00700000	0,03161215	Não significativa
Z250 X Z350	-0,0080000	0,03161215	Não significativa
Z350+pH X Z350	-0,0150000	0,03161215	Não significativa

ANEXO F - Aplicação de ANOVA (análise de variância), a 1 critério de classificação, para comparação entre os valores de rugosidades finais entre os grupos.

Variável independente: RESINA

Variável dependente: RUGOSIDADE FINAL

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	"F"	Probab
ENTRE GRUPOS	0,12969500	5	0,02593900	7,789056	0,00001
Resíduo	0,17983000	54	0,00333019		
Total		0,30952500	59		
Bartlett = 81,51804		Prob. = 0,000000			

ANEXO G - Aplicação de teste de Tukey, nível de significância de 5%, para comparação entre os valores de rugosidades finais entre os grupos.

Comparação	Diferença	Valor crítico	Interpretação
P90+pH X P90	0,00700000	0,07623694	Não significativa
P90+pH X Z250+pH	-0,1020000	0,07623694	SIGNIFICANTE
P90+pH X Z250	-0,1000000	0,07623694	SIGNIFICANTE
P90+pH X Z350+pH	-0,0930000	0,07623694	SIGNIFICANTE
P90+pH X Z350	-0,0810000	0,07623694	SIGNIFICANTE
P90 X Z250+pH	-0,1090000	0,07623694	SIGNIFICANTE
P90 X Z250	-0,1070000	0,07623694	SIGNIFICANTE
P90 X Z350+pH	-0,1000000	0,07623694	SIGNIFICANTE
P90 X Z350	-0,0880000	0,07623694	SIGNIFICANTE
Z250+pH X Z250	0,00200000	0,07623694	Não significativa
Z250+pH X Z350+pH	0,00900000	0,07623694	Não significativa
Z250+pH X Z350	0,02100000	0,07623694	Não significativa
Z250 X Z350+pH	0,00700000	0,07623694	Não significativa
Z250 X Z350	0,01900000	0,07623694	Não significativa
Z350+pH X Z350	0,01200000	0,07623694	Não significativa

ANEXO H - Aplicação de teste "t" de Student (amostra dependente) para comparação entre os valores de rugosidade inicial e final de cada um dos grupos avaliados.

Z250

Teste "t" de Student - Duas amostras pareadas
Arquivo: C:\PACOTICO\GABRIELAZ250SEM.DBF
Testando: INICIAL - FINAL

Grupo	Média	DP	Nº de valores
INICIAL	0,09200000	0,00918937	10
FINAL	0,18600000	0,03062316	10
Diferença de medias = -0,0940000 Desvio padrão da dif. = 0,03438346			
Valor de "t" = -8,6452646 Graus de liberdade = 9			
Probabilidade = 0,00001184 (significante)			
Hipótese alternativa : INICIAL <> FINAL			

Z250+pH

Teste "t" de Student - Duas amostras pareadas
 Arquivo: C:\PACOTICO\GABRIELAZ250COM.DBF
 Testando: INICIAL - FINAL

Grupo	Média	DP	Nº de valores
INICIAL	0,07900000	0,01449138	10
FINAL	0,18800000	0,02149935	10
Diferença de medias = -0,1090000 Desvio padrão da dif. = 0,02330951			
Valor de "t" = -14,787451 Graus de liberdade = 9			
Probabilidade = 0,00000012 (Significante)			
Hipótese alternativa : INICIAL <> FINAL			

Z350

Teste "t" de Student - Duas amostras pareadas
 Arquivo: C:\PACOTICO\GABRIELAZ350SEM.DBF
 Testando: INICIAL - FINAL

Grupo	Média	DP	Nº de valores
INICIAL	0,10000000	0,01632993	10
FINAL	0,21000000	0,01154701	10
Diferença de medias = -0,1100000 Desvio padrão da dif. = 0,02000000			
Valor de "t" = -17,392527 Graus de liberdade = 9			
Probabilidade = 0,00000003 (significante)			
Hipótese alternativa : INICIAL <> FINAL			

Z350 + pH

Teste "t" de Student - Duas amostras pareadas
 Arquivo: C:\PACOTICO\GABRIELAZ350COM.DBF
 Testando: INICIAL – FINAL

Grupo	Média	DP	Nº de valores
INICIAL	0,08500000	0,01354006	10
FINAL	0,17900000	0,03573047	10
Diferença de medias = -0,0940000 Desvio padrão da dif. = 0,03169297			
Valor de "t" = -9,3791804 Graus de liberdade = 9			
Probabilidade = 0,00000608 (significante)			
Hipótese alternativa : INICIAL <> FINAL			

P90

Teste "t" de Student - Duas amostras pareadas
 Arquivo: C:\PACOTICO\GABRIELAP90SEM.DBF
 Testando: INICIAL – FINAL

Grupo	Média	DP	Nº de valores
INICIAL	0,13700000	0,04967673	10
FINAL	0,07900000	0,02078995	10
Diferença de medias = 0,05800000 Desvio padrão da dif. = 0,03994441			
Valor de "t" = 4,59168438 Graus de liberdade = 9			
Probabilidade = 0,00130589 (significante)			
Hipótese alternativa : INICIAL <> FINAL			

P90 + pH

Teste "t" de Student - Duas amostras pareadas
 Arquivo: C:\PACOTICO\GABRIELAP90COM.DBF
 Testando: INICIAL – FINAL

Grupo	Média	DP	Nº de valores
INICIAL	0,12300000	0,01494434	10
FINAL	0,08600000	0,00516398	10
Diferença de medias = 0,03700000 Desvio padrão da dif. = 0,01946507			
Valor de "t" = 6,01098701 Graus de liberdade = 9			
Probabilidade = 0,00019979 (significante)			
Hipótese alternativa : INICIAL <> FINAL			

ANEXO I - Aplicação de ANOVA (análise de variância), a 2 critérios de classificação, para comparação entre os valores obtidos pela diferença entre as médias iniciais e finais de cada grupo.

Variável dependente: RUGOSIDADE
 Variáveis independentes: RESINA(Fixo) CICLAGEM(Fixo)

Fonte de variação	Soma de quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	"F"	Probab
RESINA	0,25669000	2	0,12834500	156,2712	0,000000
CICLAGEM	0,00088167	1	0,00088167	1,073506	0,304772
Interação	0,00296333	2	0,00148167	1,804058	0,17441
	Resíduo	0,04435000	54	0,00082130	
	Total	0,30488500	59		
Bartlett = 5,921766 Prob. = 0,313906					

ANEXO J - Aplicação de teste de Tukey, nível de significância de 5% (valor crítico = 0,021847), para análise da influência do material e da realização da ciclagem de pH sobre a alteração de rugosidade.

Comparação	Diferença	Valor crítico	Interpretação
P90 X Z250	-0,1385000	0,021847	SIGNIFICANTE
P90 X Z350	-0,1390000	0,021847	SIGNIFICANTE
Z250 X Z350	-0,0005000	0,021847	Não significativa

ANEXO K - Aplicação de teste de Tukey, nível de significância de 5% (valor crítico = 0,014840), para análise da influência da realização da ciclagem de pH sobre a alteração de rugosidade.

Comparação	Diferença	Valor crítico	Interpretação
COM pH X SEM pH	0,00766667	0,014840	Não significativa

ANEXO L - Aplicação de teste de Tukey, nível de significância de 5% (valor crítico = 0,037860), para comparação entre os valores de rugosidades finais entre os grupos.

Comparação	Diferença	Valor crítico	Interpretação
P90+pH X P90	0,02000000	0,037860	Não significativa
P90+pH X Z250+pH	-0,1360000	0,037860	SIGNIFICANTE
P90+pH X Z250	-0,1210000	0,037860	SIGNIFICANTE
P90+pH X Z350+pH	-0,1230000	0,037860	SIGNIFICANTE
P90+pH X Z350	-0,1350000	0,037860	SIGNIFICANTE
P90 X Z250+pH	-0,1560000	0,037860	SIGNIFICANTE
P90 X Z250	-0,1410000	0,037860	SIGNIFICANTE
P90 X Z350+pH	-0,1430000	0,037860	SIGNIFICANTE
P90 X Z350	-0,1550000	0,037860	SIGNIFICANTE
Z250+pH X Z250	0,01500000	0,037860	Não significativa
Z250+pH X Z350+pH	0,01300000	0,037860	Não significativa
Z250+pH X Z350	0,00100000	0,037860	Não significativa
Z250 X Z350+pH	-0,0020000	0,037860	Não significativa
Z250 X Z350	-0,0140000	0,037860	Não significativa
Z350+pH X Z350	-0,0120000	0,037860	Não significativa