

**UNESP**  
**Faculdade de Engenharia do Campus de**  
**Guaratinguetá**

**Guaratinguetá**  
**2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CELSO NAVES DE SOUZA

"Avaliação da Resistência ao Desgaste  
de Uma Resina Composta  
Odontológica Nanoparticulada  
Empregando Diferentes Tempos de  
Fotopolimerização"

Tese apresentada à Faculdade de  
Engenharia do Campus de Guaratinguetá,  
Universidade Estadual Paulista, para a  
obtenção do título de Doutor em Engenharia  
Mecânica na área de Materiais.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Rosifini Alves Claro

Guaratinguetá  
2009

S729r Souza, Celso Naves de  
Avaliação da Resistência ao Desgaste de Uma Resina Composta Odontológica Nanoparticulada Empregando Diferentes Tempos de Fotopolimerização. / Celso Naves de Souza – Guaratinguetá : [s.n], 2009. 91f. : il.  
Bibliografia: f. 85-91

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2009.  
Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Rosifini Alves Claro

1. Resinas dentárias 2. Dentes - Abrasão I. Título

CDU 620.1

**CELSO NAVES DE SOUZA**

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA  
ÁREA: MATERIAIS

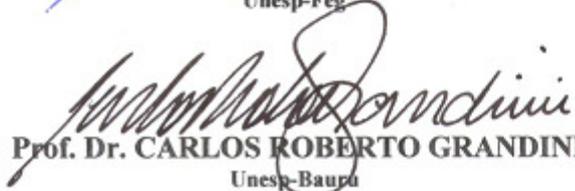
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

  
Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. ANA PAULA ROSHINI ALVES CLARO  
Orientadora / Unesp-Feg

  
Prof. Dr. EDSON COCCHIERI BOTELHO  
Unesp-Feg

  
Prof. Dr. CARLOS ROBERTO GRANDINI  
Unesp-Baurá

  
Prof. Dr. SANDRA GIACOMINI SCHNEIDER  
EEL / USP

  
Prof. Dr. SERGIO SCHNEIDER  
EEL / USP

novembro de 2009

## **DADOS CURRICULARES**

### **CELSO NAVES DE SOUZA**

**NASCIMENTO** 13.07.1964 – Maringá – PR.

**FILIAÇÃO** Eginaldo Gomes de Souza  
Alzira Naves de Souza

1987/1992 Curso de Graduação em Engenharia Mecânica  
Escola de Engenharia de Vassouras – ENVA - RJ

2001/2003 Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica  
Nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia  
do Campus de Bauru da Universidade Estadual  
Paulista/ UNESP

2003/2009 Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica  
Nível de Doutorado, na Faculdade de Engenharia  
do Campus de Guaratinguetá. da Universidade Estadual  
Paulista/ UNESP

Aos meus pais, Eginaldo e Alzira, os quais acreditaram que a educação é a única forma de transformação do ser humano e por isso não mediram esforços para proporcionar uma educação de qualidade aos seus filhos.

## AGRADECIMENTOS

*Expressos os meus mais sinceros agradecimentos*

a Deus, fonte da vida e da graça, pela vida, pela inteligência, pela persistência e paciência;

à orientadora, *Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> ANA PAULA ROSIFINI ALVES CLARO* pela orientação, incentivo, dedicação, apoio constante, valiosas sugestões e confiança depositada na realização desse trabalho;

ao *Prof. Dr. THOMAS HASHIMOTO* e *Prof. Dr. ROGÉRIO HEINN do DMT, Departamento de Materiais da UNESP-FEG;*

aos professores e funcionários do Laboratório de Tribologia da USP-SP;

aos Professores e funcionários do DEMAR, Departamento de Materiais USP - Lorena-SP;

à Cirurgiã Dentista *MARTA AKEMI KATO*, pelo apoio e consultoria e a Cirurgiã Dentista *MARIA ISABEL EBOLI KIMAIID* pela dedicação no auxílio ao preparo das amostras.

ao Técnico. de Laboratório de Processos da UTFPR-CP *WANDERLEY MALAQUIAS* pela confecção do banco de ensaio;

a todos os funcionários da *UNESP-FEG*, pelo carinho recebido nesse período.

à Biomédica e Mestre Srta. *ANA LUCIA DO AMARAL ESCADA*, pelo companheirismo;

às amigas da UTFPR - Cornélio Procópio, *Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. MARILU MARTENS DE OLIVEIRA* e *Prof<sup>a</sup>. MSc ELISABETH MARIA GIACOBBO*, pelo incentivo;

aos funcionários do Laboratório de Transformação de Fases, do Departamento de Engenharia Aeronáutica, em especial ao Engenheiro Mecânico *PEDRO LUIZ LORENZO* – USP – São Carlos – SP;

à estudante de Engenharia de Materiais e laboratorista *LUISA DOS SANTOS CONEJO*, pelo auxílio nas análises termogravimétricas.

a todos meus colegas da UTFPR - Cornélio Procópio, Coordenação da Mecânica (COMEC), local onde trabalho.

***O Amor:***

é sofredor;  
é benigno;  
não é invejoso;  
não trata com leviandade;  
não se enobrece;  
não se porta com indecência;  
não busca seus interesses;  
não se irrita;  
não suspeita mal.  
Não se vangloria com a injustiça  
não enobrece com a verdade.  
Tudo sofre,  
tudo crê,  
tudo espera,  
tudo suporta.

***Coríntios 13 (4-7)***

SOUZA, C.N., **Avaliação da Resistência ao Desgaste de Uma Resina Composta Odontológica Nanoparticulada Empregando Diferentes Tempos de Fotopolimerização**. 2009, 91 p. Tese Doutorado em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência dos tempos de fotopolimerização nas resinas odontológicas, onde quatro resinas compostas foram utilizadas, sendo três micro híbridas e uma nanoparticulada. Esses compósitos foram submetidos ao desgaste abrasivo de esfera rotativa pelo método de *ball cratering*. Para tal ação foi projetado e construído um dispositivo de desgaste por micro abrasão de esfera rotativa livre de três corpos. Os corpos de prova foram confeccionados e embutidos em uma matriz de alumínio, com uma profundidade de 2mm. Usam-se o aparelho LED RADII, com os tempos de exposição de 20, 30 e 40 segundos e uma esfera com 15 mm de diâmetro de aço temperada, retificada e revenida. A lama abrasiva utilizada nesse estudo foi uma solução composta por 20% de talco (USP/200) e 80% de soro fisiológico, na quantidade de 3 gotas por segundo. Para comprovação dos resultados obtidos, utilizaram-se os testes de: Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS), Infravermelho por Transformada de Fourier (FT-IR), Análise Termogravimétrica (TGA), micro dureza Vickers, ensaio de desgaste de micro abrasão por esfera rotativa pelo método de *ball cratering* e a análise da superfície desgastada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Esta análise foi realizada para verificar o real mecanismo de desgaste ocorrido. Os resultados obtidos comprovam que o tempo recomendado pelos fabricantes, tem a capacidade suficiente de fotopolimerizar toda a matriz orgânica, comprovaram também que a resina nanoparticulada obteve em todos os ensaios os melhores resultados em relação às resinas híbridas, e que a cultura do acréscimo de até 20s além do recomendado não tem influência direta em relação ao desgaste abrasivo.

**Palavras chave:** Resina Dentária; Desgaste abrasivo; *Ball Cratering* e Micro Abrasão.

SOUZA, C.N., **Evaluation of Wear Resistance of a Composite Dental Resin Nanoparticulated Using Different Times of Photopolymerization.** 2009, 91 p. Doctorate Thesis in Mechanical Engineering from the Campus of Guaratinguetá, São Paulo State University.

## **ABSTRACT**

This work has as an objective to evaluate the influence of photopolymerization in odontological resins, where composed four resins were used, being three of them micro hybrid and one nanoparticulated. These composites were submitted to abrasive wear and tear of rotative sphere by the method ball cratering. For such action a device of micro abrasion of rotative sphere was designed and built free of three bodies. The bodies of proof were produced and put in a matrix of aluminum with a depth of 2mm. The device used was a LED RADII, with exposition time of 20, 30 and 40 seconds and a sphere of 15mm diameter made of tempered steel, rectified and soften, the abrasive lama used in this study was a solution composed by 20% of powder (USP/200) and 80% of physiological serum released at 3 drops per second. For verification of the results obtained the tests of Energy Dispersion Spectrograph (EDS) was used, transformed Infra red of Fourier (FT-IR), Thermogravimetric Analysis (TGA) Vickers micro hardness, wear and tear of micro abrasion by rotative sphere by the method *ball cratering* and the analysis of worn superficies by Sweeping Electronic Microscopy (SEM). This analysis was carried out to verify the real mechanism of the worn occurred. The results obtained prove that the time recommended by the manufacturer has enough capacity to photopolymerized all the organic matrix, it also proved that the resin nanoparticulated obtained in all the essays the best results in what concerns to the hybrid resins. And the culture of the addition of 20 seconds besides what is recommended has no direct influence in relation to the abrasive wear and tear.

**KeyWords:** Dental Resin, Abrasive Wear and Tear, *Ball Cratering* and Micro Abrasion.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Polimerização do metil metacrilato por mecanismo de adição para formação do poli (metil metacrilato), (adaptado de PEUTZFELDT, 1997).....	23
Figura 2.2	Resina epóxi – diglicidil éter de bisfenol A (adaptado de PEUTZFELDT, 1997).....	24
Figura 2.3	Síntese do BisGMA a partir do bisfenol A e do glicidil metacrilato ou do diglicidil éter de bisfenol A (adaptado de PEUTZFELDT, 1997).....	25
Figura 2.4	Monômeros dimetacrilatos usados como diluentes do BisGMA (adaptado de PEUTZFELDT, 1997).....	26
Figura 2.5	(a) Estrutura do UDMA – uretano dimetacrilato (FLOYD, DICKENS, 2006); (b) estrutura do BisEMA – polietileno glicol dimetacrilato (adaptado de PEUTZFELDT, 1997).....	26
Figura 2.6	Representação da reação de ativação da canforaquinona, (adaptado de TESHIMA et al., 2003).....	29
Figura 2.7	Representação esquemática de mecanismos de desgaste: (a) adesão; (b) abrasão (dois e três corpos); (c) fadiga; (d) corrosão (TURSSI et al., 2003).....	35
Figura 2.8	Imagem obtidas no MEV das partículas : bolas de vidro(gb), sílica (ss), granada(g), alumina (al), carbetto de silício( sic) e quartzo (q). (STACHOWIAK e STACHOWIAK , 2001).....	36
Figura 2.9	Fotomicrografia da superfície de metal usada no desgaste abrasivo de três corpos (a) esferas de vidro, (b) sílica, (c) granada, (d) quartzo e (e) carbetto de silício (STACHOWIAK e STACHOWIAK, 2001).....	38
Figura 2.10	Princípio de funcionamento do equipamento de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera fixa (Adaptado de RAMALHO, ANTUNES, 2003).....	23
Figura 2.11	Princípio de funcionamento do equipamento de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa livre (NASCIMENTO et al., 2005)....	40

Figura 2.12	Representação esquemática da seção transversal da cratera de desgaste provocada pelo teste da esfera abrasiva (a) e (b) cratera produzida na camada de TiN (Adaptado de GEE et al., 2005).....	40
Figura 2.13	Cratera formada pelo desgaste abrasivo. Com 40s de fotopolimerização e 300 rotações, (adaptado de RAMALHO, ANTUNES; 2005).....	42
Figura 2.14	Coefficiente de desgaste equivalente ao padrão de dureza Mohs dos materiais ensaiados, (NASCIMENTO, 2005).....	43
Figura 2.15	(a) Abrasão de dois corpos com formação de riscos (sulcos) na direção do movimento; (b) Abrasão de três corpos, ocorrendo à formação de múltiplas indentações (rolamento); (c) Corpo-de-prova de PMMA que sofreu desgaste abrasivo por riscamento na região central e desgaste abrasivo por rolamento nas extremidades (ADACHI e HUTCHINGS, 2005).....	44
Figura 3.1	Fluxograma de metodologia empregada no presente trabalho.....	45
Figura 3.2	Fotopolimerizador LED RADII.....	47
Figura 3.3	Molde empregado para a confecção das amostras.....	48
Figura 3.4	Seqüência empregada para o preparo das amostras: (a) colocação da placa de vidro sobre a matriz (b) Prensagem da matriz de alumínio entre placas de vidro (c) Fotopolimerização das amostras.....	49
Figura 3.5	Espectrofotômetro ( FT-IR – BOMEM) empregado para análise do grau de conversão das resinas.....	50
Figura 3.6	Equipamento utilizado para a Análise de Termogravimétrica (TGA).....	52
Figura 3.7	Representação esquemática do equipamento projetado para a realização dos ensaios de desgaste.....	53
Figura 3.8	Detalhe da esfera em contato com corpo de prova.....	53
Figura 3.9	Vista superior do sistema de desgaste abrasivo por esfera rotativa.....	54
Figura 3.10	Momento da medição no <i>software</i> IMAGE J.....	55
Figura 4.1	Espectro de infravermelho da resina A sem fotopolimerizar.....	58
Figura 4.2	Espectro de infravermelho da resina A fotopolimerizada com o tempo de 20s.....	58

Figura 4.3	Espectro de infravermelho da resina A fotopolimerizada com o tempo de 30s.....	
Figura 4.4	Espectro de infravermelho da resina A fotopolimerizada com o tempo de 40s.....	59
Figura 4.5	Grau de conversão (CG %) das resinas estudadas e os três diferentes tempos de fotoativação.....	59
Figura 4.6	Coeficiente de desgaste das resinas A, B, C e D em relação aos três tempos de fotopolimerização, utilizando talco como abrasivo.....	63
Figura 4.7	Microdureza Vickers (Hv) das Resinas Fotopolimerizadas com diferentes tempos.....	65
Figura 4.8	Fotomicrografia do abrasivo, com ampliação de 50x, e detalhe dos grãos do abrasivo com ampliação de 500x .....	67
Figura 4.9	Apresenta a superfície do compósito A antes do desgaste e a Fig 4.9(b) depois de desgastada, para um tempo de fotopolimerização de 20s. Figura 4.9 – (a) Fotomicrografia da superfície antes do desgaste (b)Fotomicrografia da superfície desgastada do compósito A, com ampliação de 50x., fotopolimerizada com o tempo de 20s.....	68
Figura 4.10	Detalhe do desgaste ocorrido para a resina A após 20 s.....	69
Figura 4.11	Detalhe do desgaste ocorrido para a resina A após 30 s.....	70
Figura 4.12	Detalhe do desgaste ocorrido para a resina A após 40 s.....	70
Figura 4.13	(a) Fotomicrografia da superfície antes do desgaste (b) Fotomicrografia da superfície desgastada do compósito B, com ampliação de 50x., fotopolimerizada com o tempo de 20s.....	71
Figura 4.14	Detalhe do desgaste ocorrido para a resina B após 20s.....	72
Figura 4.15	Detalhe do desgaste ocorrido para a resina B após 30s.....	73
Figura 4.16	Detalhe do desgaste ocorrido para a resina B após 40s.....	74
Figura 4.17	(a) Fotomicrografia da superfície antes do desgaste (b)Fotomicrografia da superfície desgastada do compósito C, com ampliação de 50x, fotopolimerizada com o tempo de 20s.....	74
Figura 4.18	Detalhe do desgaste ocorrido para a resina C após 20s.....	75
Figura 4.19	Detalhe do desgaste ocorrido para a resina C após 30s.....	76

Figura 4.20	Detalhe do desgaste ocorrido para a resina C após 30s.....	77
Figura 4.21	(a) Fotomicrografia da superfície antes do desgaste (b) Fotomicrografia da superfície desgastada do compósito D, com ampliação de 50x., fotopolimerizada com o tempo de 20s.....	77
Figura 4.22	Resina D, fotopolimerizada com 20s (detalhe do desgaste).....	78
Figura 4.23	Resina D, fotopolimerizada com 30s. Detalhe do desgaste ocorrido com ampliação de 10000x.....	79
Figura 4.24	Resina D, fotopolimerizada com 40s. Detalhe dos grãos da resina com ampliação de 10000x.....	79
		80

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Peso molecular dos monômeros dimetracrilatos empregados na fabricação das resinas compostas (SIDEROU; TSERKI; PAPANASTASIOU, 2002)..	27
Quadro 2	Classificação das resinas compostas e indicação de uso (ANUSAVICE, 2005).....	31
Quadro 3	Principais resinas empregadas na Odontologia (ANUSAVICE, 2005).....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Compósitos odontológicos avaliados nesse estudo,.....	46
Tabela 4.1	Constituintes inorgânicos dos compósitos odontológicos estudados (% em peso) .....	57
Tabela 4.2	Constituintes inorgânicos do abrasivo (talco) (% em peso).....	60
Tabela 4.3	Análise estatística e a média do Grau de Conversão (CG %)......	62
Tabela 4.4	Valores de porcentagem de carga obtidos após análise térmica.....	63
Tabela 4.5	Coefficiente de desgaste (Ks), análise estatística e desvio padrão das resinas, em relação aos três tempos de fotoativação.....	64
Tabela 4.6	Análise estatística e a média da Dureza Vickers das Resinas estudadas.....	66
Tabela 4.7	Valores de microdureza e coeficiente de desgaste e grau de conversão de cada compósito estudado. ....	81

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

**Ball Cratering** – Desgaste em forma de calota esférica.

**BisEMA** – Polietileno Glicol Diéter Dimetacrilato

**Bis-GMA** - Bisfenol glicidil metacrilato

**CG** – Grau de Conversão

**CQ** - Canforaquinona

**EGMA** – Etil Clicol Dimetracrilato

**FT-IR** – Transformada de Fourier por Infravermelho

**in vitro (latim)** - teste realizado dentro de um laboratório, simulando condições de um ambiente vivo.

**in vivo (latim)** – teste realizado dentro de um ambiente vivo.

**J/cm<sup>2</sup>** - Joules por centímetro quadrado (quantidade de energia por uma área)

**Kg** - quilograma

**LED** – (light emitting diodes) Diodo emissor de luz

**MEV** - microscópio eletrônico de varredura

**mm** - milímetro

**mW** - Miliwatts

**mW/cm<sup>2</sup>** - Miliwatts por centímetro quadrado

**nm** - nanômetro

**°C** - graus Celsius

**PMMA** – Poli (metilmatacrilato)

**r.p.m** - rotação por minuto

**s** - segundos

**TEGDMA** - Trietilenoglicol dimetacrilato

**UDMA** - Uretano dimetil dimetacrilato

**VOLT** - Unidade de tensão elétrica

**W** - Unidade de resistência elétrica (Watt)

**µm** - micrômetro

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
1.1	OBJETIVOS.....	21
1.2	ESTRUTURA DA TESE.....	23
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	23
2.1	Resinas Compostas Odontológicas.....	23
2.1.1	Matriz orgânica.....	23
2.1.2	Carga inorgânica.....	27
2.1.3	MÉTODOS DE POLIMERIZAÇÃO.....	28
2.2	CLASSIFICAÇÃO DAS RESINAS COMPOSTAS.....	30
2.3	DESGASTE DE RESINAS ODONTOLÓGICAS.....	33
2.3.1	TIPO DE DESGASTE.....	34
2.3.2	FATORES QUE INFLUENCIAM O DESGASTE ABRASIVO.....	35
2.3.3	ENSAIO DE DESGASTE POR MICRO-ABRASÃO.....	38
2.3.4	ESTUDOS AVALIANDO O DESGASTE DE RESINAS COMPOSTAS.....	41
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1	Obtenção das amostras.....	45
3.1.1	Fotopolimerização dos corpos-de -prova.....	46
3.1.2	Confecção dos corpos-de -prova.....	47
3.2	CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS COMPOSTAS.....	48
3.2.1	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FT- IR).....	50
3.2.2	Análise térmica.....	52
3.3	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA.....	53
3.3.1	Ensaio de Micro Abrasão por esfera rotativa.....	53
3.3.2	ENSAIOS DE MICRODUREZA.....	56
3.3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS.....	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS.....	57
4.1.2	Análise da Parte Orgânica dos Compósitos Resinosos.....	57

4.1.3	Resultados do Grau de Conversão dos Compósitos Resinosos.....	61
4.1.4	Análise termogravimétrica.....	63
4.2	ANÁLISE DOS COEFICIENTES DE DESGASTES EM RELAÇÃO AOS TEMPOS DE FOTOATIVAÇÃO.....	64
4.3	MICRODUREZA VICKERS.....	66
4.4	RESULTADO DA ANÁLISE DE MICROSCÓPICA DA SUPERFÍCIE DESGASTADA.....	68
4.5	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO GRAU DE CONVERSÃO SOBRE A DUREZA E O COEFICIENTE DE DESGASTE.....	80
5.	CONCLUSÕES.....	83
	SUGESTÃO PARA FUTUROS TRABALHOS.....	84
	REFERÊNCIAS.....	85

## 1 INTRODUÇÃO

As resinas compostas são usadas em substituição ao amálgama em muitas situações clínicas devido à facilidade de manipulação, à sua não toxicidade e polimerização *in situ*, adesão à estrutura do dente e excelentes resultados estéticos (BRACKETT et al., 2007). São materiais formados por uma carga mineral, também denominada de matriz inorgânica, em conjunto com a matriz orgânica, que consiste em um metacrilato multifuncional, um diluente metacrilato e um sistema fotoiniciador (AL-HIYASAT, DARMANI, MILHEM, 2005; AMIROUCHE-KORICHI et al., 2009).

O BisGMA (Bisfenol A glicol dimetacrilato), produto resultante da reação do bisfenol A com o diglicidil éster metacrilato (GMA), é o monômero metacrilato mais empregado na fabricação das resinas compostas devido às suas excelentes propriedades como baixa contração, rigidez e toxicidade reduzida devido à volatilidade mais baixa. No entanto, sua elevada viscosidade não permite a utilização de elevadas quantidades de carga inorgânica, sendo necessária a adição de dimetacrilatos diluentes com menor viscosidade como o trietileno glicol dimetacrilato (TEGDMA), (SIDEROU et al., 2002).

A polimerização dos dimetacrilatos pode ser iniciada quimicamente ou por meio de luz azul visível, fenômeno este conhecido por fotopolimerização, onde é possível um melhor controle do processo de cura deste biomaterial. A luz azul pode ser obtida a partir de aparelhos fotopolimerizadores com lâmpadas halógenas ou com diodos capazes de emitir luz (LED), (TOLOSA et al., 2005). A radiação emitida pelas lâmpadas incandescentes possui um espectro inicial entre 380nm e 480nm e final entre 500nm e 520nm. Uma vez que somente uma pequena parte do espectro emitido pelas lâmpadas incandescentes é empregado para ativar fotoiniciadores, a eficiência desses equipamentos é baixa. Por outro lado, fotopolimerizadores do tipo LED operam em uma faixa de espectro mais estreita e desse modo são fontes de luz mais eficientes (HOFMANN et al., 2002).

Durante a polimerização das resinas compostas, nem todos os monômeros podem ser convertidos, ocorrendo uma considerável insaturação residual no produto

final o que resulta em um grau de conversão de 55 a 75% (SILIKAS et al., 2000). Além dos fatores relacionados à fonte de luz (intensidade, tempo e potência), o tamanho, o tipo e a quantidade de carga também podem afetar a polimerização, uma vez que restringem a mobilidade dos monômeros (TURSSI et al., 2005). No entanto, o efeito do conteúdo da carga sobre a mobilidade dos radicais livres é mais baixo e a influência da carga sobre a conversão está mais relacionada com o seu tamanho e área superficial (ATAI et al., 2006).

A nanotecnologia tem proporcionado o desenvolvimento de novas resinas compostas por nanopartículas de aproximadamente 25nm e nanoagregados de aproximadamente 75nm. Esses agregados são tratados com silano para melhor adesão com a resina. Nesses casos, a distribuição de carga é superior a 75% o que resulta em melhor acabamento e propriedades mecânicas superiores às resinas sem essa porção nanométrica (GARCIA et al., 2006).

O desempenho e a durabilidade desses materiais, no entanto, estão relacionados tanto com o seu processamento quanto ao meio bucal onde serão inseridos. O desgaste é um fenômeno na cavidade bucal, o que tem levado ao desenvolvimento de diversas pesquisas nos últimos anos. Idealmente, o desgaste de um material dentário deve ser similar ao do esmalte, apenas materiais cerâmicos e algumas ligas metálicas exibem este comportamento (HEINTZE et al., 2006).

Dois tipos de mecanismos de desgaste podem ser identificados: abrasão e atrito. A abrasão é causada principalmente pelas interações da superfície com o creme dental, bolo alimentar e componentes fluidos durante a mastigação. Por outro lado, o atrito ocorre a partir do contato com o dente antagonista (MAYWORM, 2008; LAMBRECHTS et al., 2006).

Estudos *in vitro* para avaliar a resistência ao desgaste de resinas compostas são os mais empregados devido às dificuldades inerentes observadas na realização de estudos clínicos. O ensaio de desgaste conhecido como *Ball Cratering* é o mais indicado, uma vez que simula o movimento natural que ocorre na boca, e também porque possibilita variações na amplitude do movimento e condições de contato. Essa técnica consiste basicamente na geração da abrasão a partir da rotação de esfera (raio R) sobre a superfície a ser desgastada, com alimentação contínua de uma lama

abrasiva (formada por partículas abrasivas e água) (RAMALHO, ANTUNES, 2005; LEROY et al., 2005). A lama abrasiva pode ser modificada de diversas formas para o estudo dos diferentes tipos de abrasivos, é comum a utilização de abrasivos com dureza elevada, de tal forma que as matrizes orgânica e inorgânica são desgastadas simultaneamente o que muitas vezes não reproduz o que ocorre *in vivo* (SARRET et al., 1991). O desgaste das resinas compostas ocorre primeiro na matriz orgânica, com a microabrasão do polímero por meio da ação da comida abrasiva, levando à exposição das partículas da matriz inorgânica (EHRNFORD, 1980).

## **1.1. OBJETIVOS**

A partir do exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento quanto ao desgaste de resinas nanocompósitas fotopolimerizadas com três diferentes tempos (20, 30 e 40 s) e comparar os resultados obtidos com três resinas convencionais microhíbridas. Algumas propriedades como microdureza, grau de conversão e porosidade também foram avaliadas.

## **1.2. ESTRUTURA DA TESE**

Esta tese é composta por cinco capítulos e pelas referências, e seu conteúdo apresenta-se distribuído da seguinte forma:

Capítulo 1 - Introdução: expõe aspectos gerais, proposta do trabalho, objetivos e a estrutura.

Capítulo 2 - Revisão da Literatura: considerações gerais sobre resinas compostas e seu comportamento quanto ao desgaste.

Capítulo 3 - Materiais e Métodos: aborda como foram preparados os corpos de prova e os ensaios de EDS, FT-IR, TGA, MEV e de desgaste pelo método de *Ball Cratering*.

Capítulo 4 - Resultados e Discussões: apresentação dos resultados obtidos e suas respectivas análises, em confronto com trabalhos revisados da literatura.

Capítulo 5 - Conclusões: são expostas as conclusões obtidas a partir da avaliação criteriosa dos resultados encontrados.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.2 Resinas Compostas Odontológicas

As resinas compostas odontológicas curadas com luz visível são amplamente empregadas na Odontologia, principalmente devido à facilidade de manipulação e excelente efeito estético que proporcionam. Geralmente, são formadas por uma matriz orgânica, obtida a partir de um metacrilato multifuncional, um diluente do metacrilato, por um sistema foto-iniciador e por carga inorgânica. Apresentam propriedades mecânicas muitas vezes equivalentes às do amálgama e das cerâmicas odontológicas, que são influenciadas pela quantidade e forma geométrica das partículas de carga presente como também pela estrutura química dos monômeros da matriz orgânica (AMIROUCHE-KORICHI et al., 2009).

#### 2.2.1 Matriz orgânica

Na década de 1930, o (poli) metilmetacrilato foi introduzido na Odontologia para a fabricação de bases de dentaduras. A descoberta da amina terciária peróxido de benzoil como iniciador-acelerador permitiu ao metilmetacrilato polimerizar à temperatura ambiente. O metilmetacrilato polimeriza por um mecanismo de adição a partir da quebra das ligações duplas C-C, formando o poli (metilmetacrilato) (PMMA), conforme esquematizado na figura 2.1, (PEUTZFELDT, 1997).



Figura 2.1 – Polimerização do metil metacrilato por mecanismo de adição para formação do poli (metil metacrilato), (adaptado de PEUTZFELDT, 1997).

A utilização dessas resinas resultou em inúmeros inconvenientes no produto final, como elevada contração de polimerização, elevado coeficiente de expansão térmica, descoloração e ainda elevada incidência de cáries secundárias. As limitações impostas por essa resina levaram ao desenvolvimento de novos tipos de resinas epóxis com aplicação específica nas restaurações bucais, síntese da cadeia demonstrada na figura 2.2, (PEUTZFELDT, 1997).

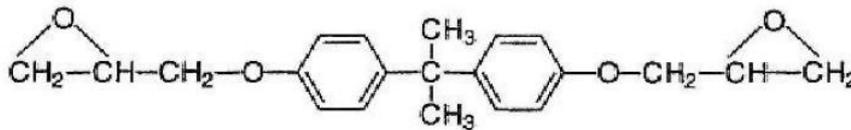


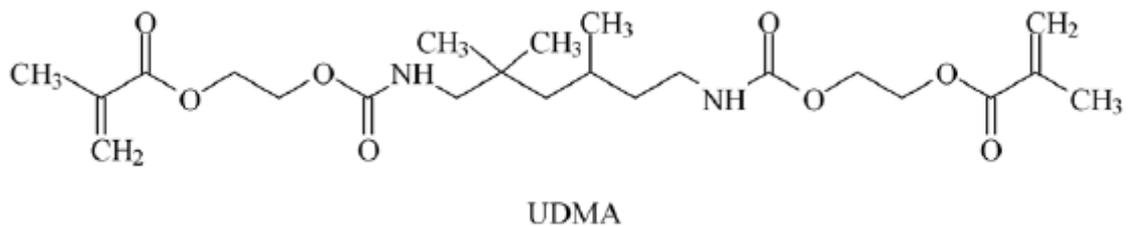
Figura 2.2 - Resina epóxi – diglicidil éter de bisfenol A  
(adaptado de PEUTZFELDT, 1997)

A palavra epóxi (EP=entre e Oxi = oxigênio) refere-se a um grupo constituído por um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono, por exemplo, óxido de etileno. Sua polimerização ocorre por condensação a partir dos grupos epoxídicos. No entanto, o seu emprego na fabricação de restaurações diretas não foi eficiente devido à demora na sua cura, (PEUTZFELDT, 1997).

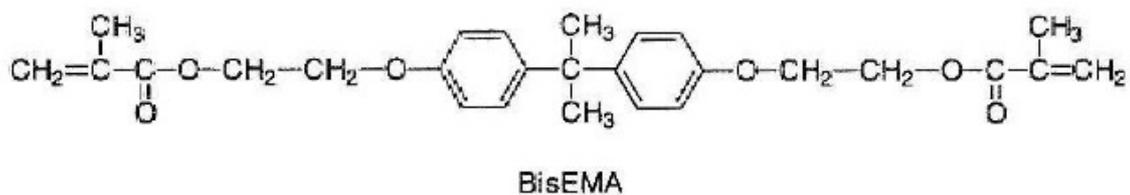
Em 1956, Bowen sintetizou um novo monômero, iniciando a era das resinas odontológicas. O monômero foi preparado a partir do bisfenol A e glicidil metacrilato e mais tarde a partir do diglicidil éter de bisfenol A e ácido metacrílico (Figura 2.3). As principais vantagens desse monômero são: baixa contração, elevado módulo e toxicidade reduzida. No entanto, sua elevada viscosidade limita a adição de grandes quantidades de carga. Esse problema pode ser minimizado a partir da adição de monômeros dimetacrilato de baixo peso molecular, como o etileno glicol dimetacrilato (EGDMA) e o trietilenoglicol dimetacrilato (TEGDMA) (SIDEOROU et al., 2002; PEUTZFELDT, 1997) (Fig. 2.4).



Posteriormente, o TEGDMA foi substituído por um *blend* polimérico formado por uretano dimetacrilato (UDMA) e bisfenol A polietileno glicol dimetacrilato (BisEMA) (Fig.2.5). Ambos UDMA e BisEMA possuem maior peso molecular do que o TEGDMA, levando a menor contração da resina e menor quantidade de ligações duplas por unidade de peso (YAP, 2002). UDMA exibe maior viscosidade do que o TEGDMA e BisEMA devido às ligações de hidrogênio (-NH-) e aos grupos C=O, porém sua viscosidade é muito menor do que a do BisGMA. O quadro 1 exibe as propriedades físicas desses monômeros de dimetacrilato.



(a)



(b)

Figura 2.5 – (a) Estrutura do UDMA – uretano dimetacrilato (FLOYD, DICKENS, 2006); (b) estrutura do BisEMA – polietileno glicol dimetacrilato (adaptado de PTEUTZFELDT, 1997).

Quadro 1 – Peso molecular dos monômeros dimetacrilatos empregados na fabricação das resinas compostas (SIDEROU et al.,2002).

Monômero	Peso molecular	Concentração de ligações duplas (mol/kg)	Viscosidade (Pa)
BisGMA	510,6	3,90	1200
TEGDMA	286,3	6,99	0,011
UDMA	470,0	4,25	23,1
BisEMA	540,0	3,70	0,9

### 2.1.2. Carga inorgânica

Os avanços tecnológicos verificados para as resinas odontológicas nos últimos anos podem ser atribuídos as melhorias obtidas para as partículas inorgânicas utilizadas como reforço. A matriz inorgânica é formada por partículas com diâmetros microscópicos cuja finalidade é melhorar as propriedades físico-químicas principalmente a instabilidade dimensional da matriz. Os materiais mais comuns de reforço são: quartzo, sílica coloidal e vitro-cerâmicas (RUDELL et al., e PEUTZFEELT, 1997).

O quartzo foi o primeiro tipo de carga incorporado aos materiais resinosos, sendo utilizado até os dias atuais. Com o aperfeiçoamento dos compósitos odontológicos, outros tipos de carga foram incorporados, como a sílica coloidal, o vidro de fluorsilicato de alumínio, o bário e o estrôncio, sendo os últimos adicionados para conferir radiopacidade ao material (CONCEIÇÃO et al., 2000).

Diversas propriedades das resinas compostas são melhoradas pelo aumento na quantidade de carga (fração volumétrica): aumento da dureza e resistência mecânica; resistência ao desgaste; redução da contração de polimerização; da expansão térmica; diminuição da sorção de água, amolecimento, manchamento, fixação da forma geométrica e radiopacidade (capacidade de tornar-se visível aos raios-X)

(ANUSAVICE, 2005). Para igual quantidade de carga, a resistência do material será afetada pela geometria e tamanho das partículas (RUDELL, et al., 2002).

### 2.1.3. MÉTODOS DE POLIMERIZAÇÃO

A polimerização dos metacrilatos presentes na matriz orgânica das resinas pode ser quimicamente ativada ou iniciada por luz visível, sendo esta última técnica preferida por proporcionar melhor controle na restauração final (SIDEROU et al., 2002).

As resinas compostas polimerizadas por luz visível possuem um mecanismo de polimerização por radicais livres, sendo o sistema fotoiniciador canforaquinona (CQ)/amina terciária amplamente empregado. Se esses dois componentes são deixados sem exposição à luz não reagem, mas a exposição à luz com um comprimento de onda de 468nm produz um estado de excitação. Quando a molécula de canforaquinona absorve um fóton de energia é excitada para um nível energético superior (estado triplet). A canforaquinona absorve um hidrogênio da amina terciária formando o radical livre que desencadeia o processo de polimerização, unindo os monômeros e formando o polímero. A síntese dessa reação está representada na Fig. 2.6, (TESHIMA et al., 2003).

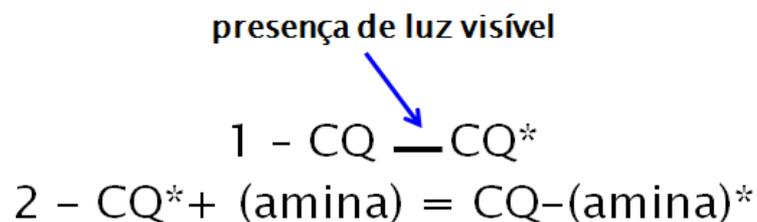


Figura 2.6 – Representação da reação de ativação da canforaquinona (adaptado de TESHIMA et al., 2003)

A energia necessária para iniciar a polimerização é obtida por meio de aparelhos fotopolimerizadores. Atualmente, os profissionais da área de Odontologia

possuem uma série de equipamentos acessíveis para a fotopolimerização de resinas compostas, sendo as principais unidades de cura com lâmpadas halógenas e LED.

As lâmpadas halógenas usadas em aparelhos convencionais geram uma luz branca quando o filamento de tungstênio é aquecido, ocasionando elevada geração de calor. Dessa forma, o refletor e o filtro podem degradar-se com o tempo devido às elevadas temperaturas de operação e grande quantidade de calor produzido durante os ciclos de operação. Isto resulta na redução da efetividade da cura e em implicações clínicas como falha prematura das restaurações (STAHL et al., 2000; TARLE et al., 2002; OBICI et al., 2005).

Unidades de fotopolimerização do tipo LED (*Light Emission Diode*) usam semicondutores especiais para gerar eletroluminescência maior do que das lâmpadas halógenas. Essa diferença resulta em maior vida do equipamento e menor consumo de energia. Nenhum tipo de luz infravermelha ou ultravioleta é emitida, reduzindo desse modo o calor o que torna o equipamento mais silencioso, pois não é necessário um ventilador para resfriamento. A maior parte da luz emitida pelo diodo se concentra em uma banda estreita de 470nm promovendo uma maior profundidade de cura do que as unidades com lâmpadas halógenas. Isso acontece porque quando a intensidade de luz aumenta mais fótons ficam livres para serem absorvidos pelos fotoiniciadores e mais moléculas de CQ são elevadas para o estado excitado, para reagir com as amins terciárias e formar radicais livres para a polimerização (VANDEWALLE, 2005).

Os aparelhos de arco de plasma, de xenônio e o laser argônio são fontes de luz que se caracterizam pela produção com alta intensidade, possibilitando a redução no tempo de fotopolimerização, porém, devido ao seu alto custo, seu uso ainda não se faz presente na rotina da comunidade odontológica (PEUTZFELDT, et al., 2000).

Teoricamente as resinas deveriam ter todos os seus monômeros convertidos durante a polimerização. Entretanto os monômeros dimetacrilatos exibem elevada insaturação residual no produto final, com um grau de conversão de 55 a 75%. Dessa forma, quanto maior a quantidade de monômeros que se transformam em polímeros, maior o grau de conversão da resina e melhores as propriedades mecânicas do produto final (SILIKAS, et al., 2000; IMAZATO, 2001). A porcentagem de conversão pode

ser medida por meio de espectroscopia por Transformada de Fourier no Infravermelho (FT-IR) (PEUTZFELDT, ASMUSSEN, 2005).

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS RESINAS COMPOSTAS

As resinas compostas podem ser classificadas de acordo com o tamanho médio da sua matriz inorgânica, conforme pode ser verificado no Quadro 2 (ANNUSAVICE, 2005 ).

De acordo com a literatura, para melhorar a superfície das resinas tradicionais, as partículas inorgânicas foram trituradas até um tamanho na faixa de 0,5 a 3 $\mu$ m, o que possibilitou o emprego de maior carga orgânica (80 a 90%p.) que as resinas compostas tradicionais e conseqüentemente um aumento das propriedades mecânicas (Quadro 3). As resinas compostas de partículas pequenas possuem sílica amorfa que contém metais pesados, o que fornece radiopacidade ao material. Essa propriedade é importante na detecção radiográfica de cáries secundárias. Essas partículas são mais susceptíveis à lixiviação em água e hidrólise quando comparadas à sílica e ao quartzo, (ANUSAVICE, 2005).

Para resolver os inconvenientes encontrados nas resinas compostas tradicionais, de partículas pequenas, as resinas compostas de micropartículas (0,4 $\mu$ m) passaram a ser empregadas, porém a elevada quantidades de matriz orgânica gera inconvenientes como alta sorção de água e baixo módulo de elasticidade. Quando empregadas em áreas propensas ao desgaste, tendem a quebrar e a se desgastar de forma acelerada, não sendo recomendado seu uso em áreas sujeitas a grandes tensões mastigatórias. No entanto, uma das suas principais vantagens é o acabamento superficial que pode ser obtido com o seu uso, uma vez que durante o polimento a partícula de sílica é removida juntamente com a resina na qual esta envolvida, o que proporciona uma superfície lisa e polida durante um longo período.

Quadro 2 – Classificação das resinas compostas e indicação de uso  
(ANUSAVICE, 2005).

<b>Classe da resina composta</b>	<b>Tamanho da Partícula</b>	<b>Uso Clínico</b>
Tradicional (part. Grande) Híbrida (part. grande)	Vidro de 1,50 $\mu$ m (1) vidro de 1 - 20 $\mu$ m (2) sílica de 0,04 $\mu$ m	Área de grande tensão Área de grande tensão que requerem melhor polimento
Híbrida (part. média)	(1) vidro de 0,1 - 10 $\mu$ m (2) sílica de 0,04 $\mu$ m	Área de grande tensão que requerem melhor polimento (classes III e IV)
Híbrida (minipart/PTP)	(1) vidro de 0,1 - 20 $\mu$ m (2) sílica de 0,04 $\mu$ m	Área de tensão moderada que requerem melhor polimento (classes III e IV)
Híbrida compactável	Híbrida com partículas médias/minipartículas, mas com baixa fração volumétrica de carga	Situações nas quais se necessita maior facilidade de condensação (Classes I e II)
Híbrida com baixa viscosidade	Híbrida com partículas médias, mas com distribuição refinada do tamanho da partículas de sílica de 0,04 $\mu$ m	Situações nas quais o maior escoamento e/ou nas quais o acesso é difícil e necessita maior facilidade de condensação (Classes I e II)
Micropartículas homogêneas	sílica de 0,04 $\mu$ m	Áreas de baixa tensão e áreas subgingivais que requerem elevado brilho e polimento
Micropartículas heterogêneas	(1) vidro de 0,04 $\mu$ m (2) partículas de resina pré-polimerizada contendo sílica de 0,04 $\mu$ m	Áreas de baixa tensão onde uma reduzida contração é essencial.

Quadro 3 – Principais resinas empregadas na Odontologia (adaptado de ANUSAVICE, 2005)

<b>Característica/ Propriedades</b>	<b>Resina Acrílica sem carga</b>	<b>Tradicional</b>	<b>Híbrida de Partícula Pequena</b>	<b>Híbrida (multiuso)</b>	<b>Micro- particulada</b>	<b>Híbrida de baixa viscosidade</b>	<b>Híbrida de compactável</b>	<b>Esmalte</b>	<b>Dentina</b>
<b>Tamanho (µm)</b>	-	8 - 12	0,5 – 3	0,4 – 1,0	0,04 – 0,4	0,6 – 1,0	Fibrosa	-	-
<b>Carga Inorgânica (%) em volume</b>	0	60 – 70	65 – 77	60 - 65	20 - 59	30 - 55	48 67	-	-
<b>Carga Inorgânica (%) em peso</b>	0	70- 80	80 – 90	75 - 80	35 - 67	40 - 60	65 81	-	-
<b>Resistência à Compressão (MPa)</b>	70	250- 300	300 – 350	75 - 80	250 -350	-	-	384	297
<b>Resistência à Tração (MPa)</b>	24	50- 65	75 – 90	75 - 80	30 -50	-	40-45	10	52
<b>Módulo de Elasticidade (GPa)</b>	24	8 - 15	15 – 20	11 - 15	3 - 6	4- 8	3 - 13	84	18
<b>Coefficiente de expansão Térmica (ppm/°C)</b>	92,8	25 - 35	19 – 26	30 - 40	50 - 60	-	-	-	-
<b>Sorção de água (mg/cm<sup>2</sup>)</b>	1,7	0,5 – 0,7	0,5 – 0,6	0,5 – 0,7	1,4 – 1,7	-	-	-	-
<b>Dureza Knoop (KHN)</b>	15	55	50 – 60	50 – 60	25 - 35	-	-	350 - 430	68
<b>Contração de polimerização (% em volume)</b>	8 - 10	-	2,3	2,3	2,3	3,5	2,3	-	-
<b>Radiopacidade (mm Al)</b>	0,1	2,3	2,3	2,4	0,5 - 2	1,4	2,3	2	1

As resinas compostas híbridas foram desenvolvidas com o objetivo de obter-se uma superfície com acabamento superior a das resinas compostas de partículas pequenas, porém sem diminuição das propriedades mecânicas. Possuem dois ou mais tipos de carga, sendo que as mais modernas empregam como carga a sílica coloidal e partículas de vidro contendo metais pesados (75 a 80%p.). Suas propriedades variam entre as resinas tradicionais e as resinas de partículas pequenas, e são superiores às das resinas de micropartículas. Além disso, assim como acontece com as resinas de partículas pequenas, a incorporação de vidros com metais pesados viabiliza o seu uso. São amplamente empregadas no preparo de restaurações posteriores devido ao acabamento superficial que pode ser obtido e também boa resistência ao desgaste, (ANUSAVICE, 2005).

Recentemente, a nanotecnologia levou ao desenvolvimento de novas resinas compostas contendo nanopartículas de aproximadamente 25nm, ou ainda nanoagregados de aproximadamente 75nm, com distribuição de carga superior a 79,5%p. O menor tamanho de partícula resulta em resinas com melhor acabamento superficial e com propriedades mecânicas superiores (GARCIA et al., 2006).

### **2.3. DESGASTE DE RESINAS ODONTOLÓGICAS**

Comum é classificar o desgaste dental como abrasivo, erosivo e por atrito. Estes processos de desgaste não descrevem a real condição no meio bucal, exibem os resultados clínicos de vários eventos subjacentes. Além disso, nota-se que a maioria dos casos clínicos não se ajusta em apenas um desses três tipos. Uma aproximação alternativa para o estudo e diagnóstico do desgaste é considerar os mecanismos fundamentais que dão origem às condições clínicas (MAIR et al., 1996).

### 2.3.1 TIPO DE DESGASTE

O desgaste pode ser definido como a perda progressiva de material resultante da interação mecânica entre as superfícies em contato, as quais se encontram em movimento relativo. Dependendo da estrutura e das condições de interação de um tribosistema, tanto os fatores mecânicos quanto o meio influenciam a delaminação do material. Uma classificação usual dos tipos de desgaste inclui desgaste adesivo, desgaste abrasivo, desgaste devido à fadiga e desgaste devido à ação química do meio (corrosivo), conforme ilustrado na Figura 2.7 (TURSSI et al., 2003).

O desgaste adesivo ocorre quando uma superfície áspera entra em contato com outra superfície áspera oposta. Elas podem se aderir fortemente, e num movimento tangencial, entre estas superfícies, ocorre separação do material de menor dureza, sendo parte do volume deste material removido (Figura 2.7.a). Durante o contato sobre um movimento, alternado e repetido pode-se formar plasticamente deformações nas regiões, decorrentes do contato por rolamento entre as duas superfícies, resultando em microtrincas e microrrupturas, ocorrendo a separação do material (Figura 2.7.b). O desgaste devido à corrosão ocorre devido à interação do material com o ambiente: uma camada é formada na superfície sobre o deslizamento, que pode ser removida (Figura 2c, (Zum-Gahr, 1987).

O desgaste por abrasão caracteriza-se por movimento relativo entre um corpo duro e uma superfície de menor dureza. Neste processo, tanto o corpo de maior dureza pode ser fraturado como a superfície de menor dureza pode ser trincada e/ou deformada. O desgaste abrasivo pode ser considerado de dois ou três corpos (Figuras 2.7.d e 2.7e). O primeiro ocorre quando o abrasivo desliza ao longo de uma superfície, e o segundo quando ele se encontra em contato entre duas superfícies, (TURSSI et al., 2003).

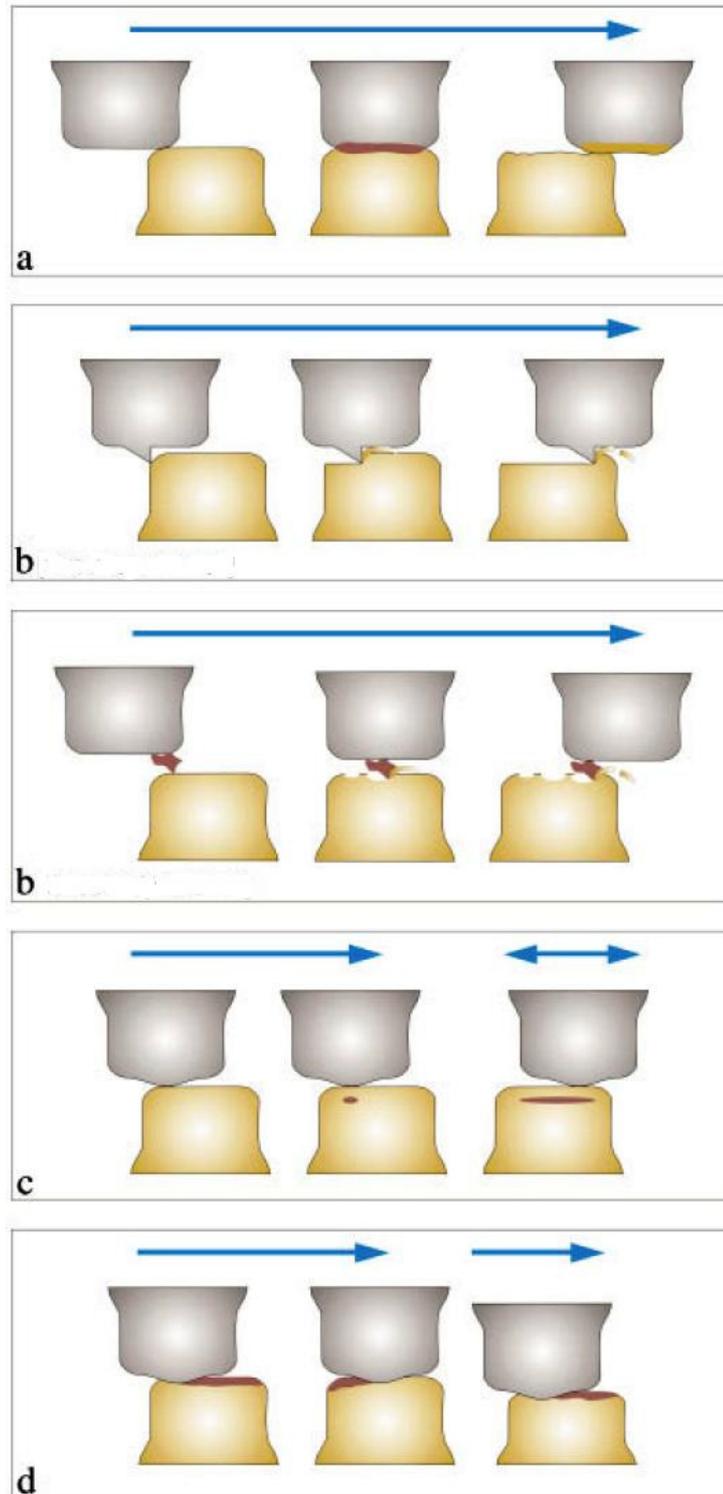


Figura 2.7 - Representação esquemática de mecanismos de desgaste: (a) adesão; (b) abrasão (dois e três corpos); (c) fadiga; (d) corrosão (TURSSI et al., 2003).

Apesar do caráter sistêmico do desgaste abrasivo, a literatura atual ressalta dois mecanismos de desgaste diferentes: (a) deslizamento das partículas, onde os abrasivos engastados no contra-corpo riscam a superfície, removendo o material; (b) rolamento dos abrasivos, levando a indentações sobre o material, onde, em alguns casos, cada indentação pode ocasionar a remoção de material (SILVA et al., 2005).

A geometria arredondada da partícula promove o deslizamento sobre a superfície, enquanto que a partícula pontiaguda tende a rolar entre as superfícies. O deslizamento leva à formação de sulcos sobre a superfície, enquanto que o rolamento produz uma série de pontos de deformação plástica (indentações) (SILVA, MELLO, 2006).

### **2.3.2. FATORES QUE INFLUENCIAM O DESGASTE ABRASIVO**

A taxa de desgaste abrasivo e os mecanismos de desgaste podem ser afetados por vários fatores tais como: o tamanho do grão abrasivo, carga aplicada e dureza dos materiais utilizados. A resistência ao desgaste abrasivo não é uma propriedade do material, dependendo também dos parâmetros do ensaio (MONDAL et al, 1998; DOGAN, HAWK, 2001; KATO, 2000).

A dureza do abrasivo desempenha papel fundamental durante o processo de desgaste. Para uma mesma dureza da superfície  $H_S$ , quanto maior a dureza do abrasivo,  $H_A$ , maior a taxa de desgaste da superfície e quanto menor a dureza do abrasivo, menor a taxa de desgaste. Entretanto, mesmo que  $H_S > H_A$ , ocorrerá desgaste (KRUSCHOV, 1957, *apud* PINTAÚDE, 2002).

A forma dos abrasivos também é importante no processo de desgaste. Partículas pontiagudas podem ocasionar taxas de desgaste bem maiores do que partículas com pontas arredondadas (HUTCHINGS, 1992). Stachowiak e Stachowiak (2001) analisaram diferentes tipos de partículas abrasivas (Figura 2.8) e o seu efeito sobre o desgaste abrasivo por rolamento.

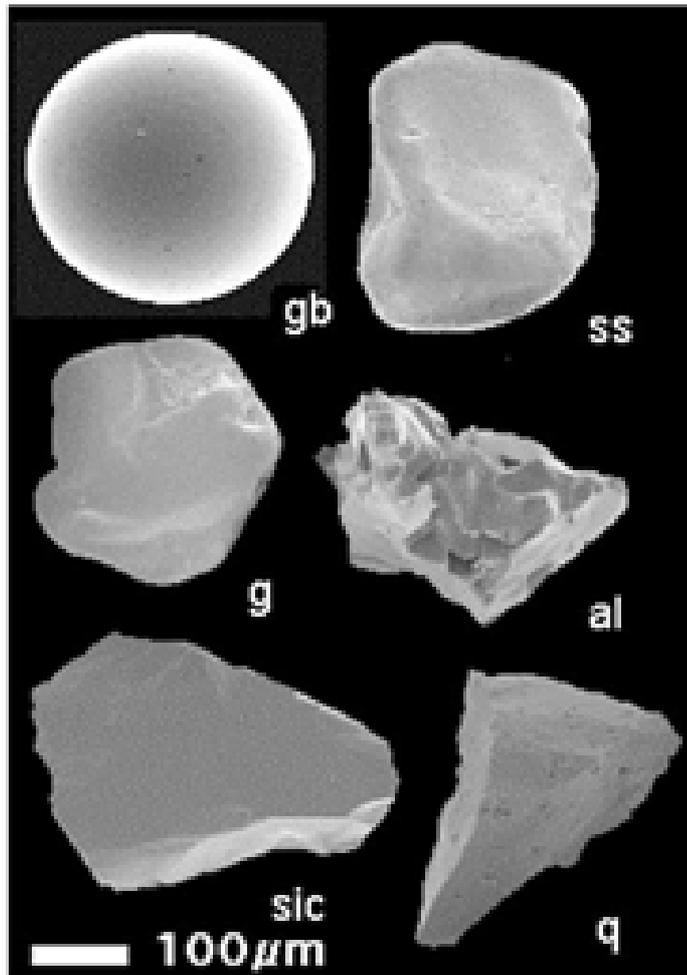


Figura 2.8 – Imagem obtidas no MEV das partículas : bolas de vidro(gb), sílica (ss), granada(g), alumina (al), carbeto de silício( sic) e quartzo (q). (STACHOWIAK e STACHOWIAK, 2001)

O quartzo gerou o menor desgaste. Características adicionais como dureza da partícula, orientação no contato e marcas nas superfícies afetaram os resultados do desgaste. O desgaste por rolamento prevaleceu nas amostras, e a morfologia das superfícies desgastadas está correlacionada com as formas das partículas abrasivas usadas. Partículas arredondadas geraram crateras redondas e lisas texturas, enquanto que partículas angulares produziram texturas mais pontiagudas como mostram a Figura 2.9, (STACHOWIAK e STACHOWIAK, 2001).

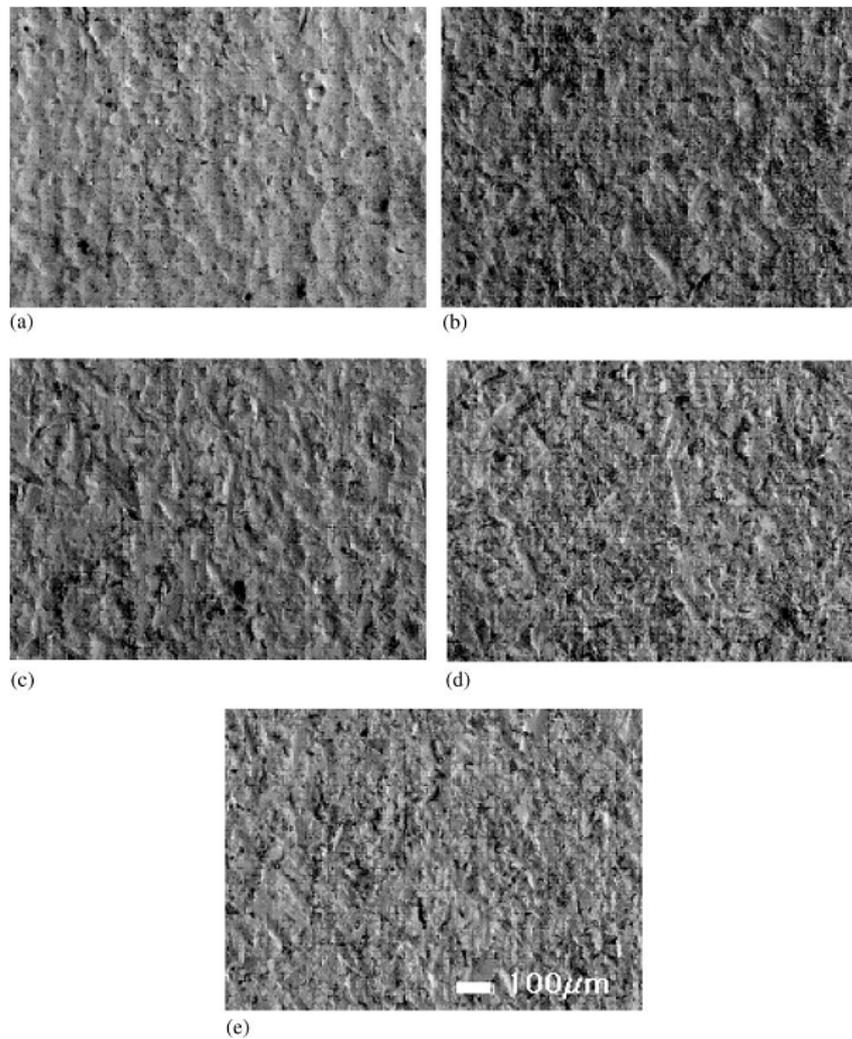


Figura 2.9 - Fotomicrografia da superfície de metal usada no desgaste abrasivo de três corpos (a) esferas de vidro, (b) sílica, (c) granada, (d) quartzo e (e) carbeto de silício (STACHOWIAK e STACHOWIAK, 2001).

### 2.3.3 ENSAIO DE DESGASTE POR MICRO-ABRASÃO

Em 1996, Rutherford e Hutchings desenvolveram o ensaio de micro-abrasão por esfera rotativa. A finalidade dessa nova configuração era apenas medir a espessura de revestimentos. Atualmente, pelo potencial do ensaio, o mesmo é aplicado em pesquisas envolvendo desgaste abrasivo de materiais (KUSANO, HUTCHINGS,

2005; SILVA JR., 2003) metálicos e não-metálicos, sob várias condições de ensaio. Existem duas configurações de equipamentos para o ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa: i) máquina de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa fixa (Figura 2.10) e ii) máquina de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa livre. A Figura 2.11 ilustra o princípio de funcionamento desse equipamento (COZZA, 2006).

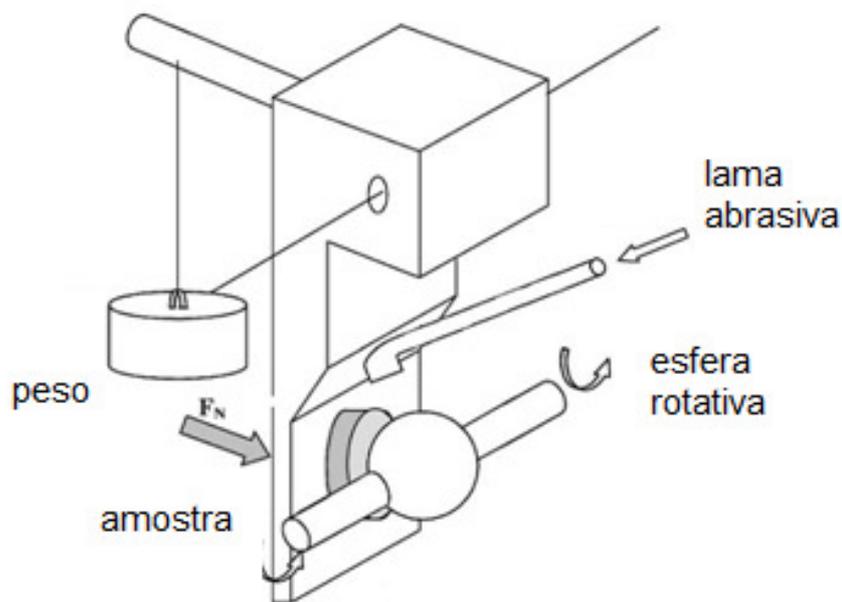


Figura 2.10- Princípio de funcionamento do equipamento de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera fixa (Adaptado de RAMALHO, ANTUNES, 2003).

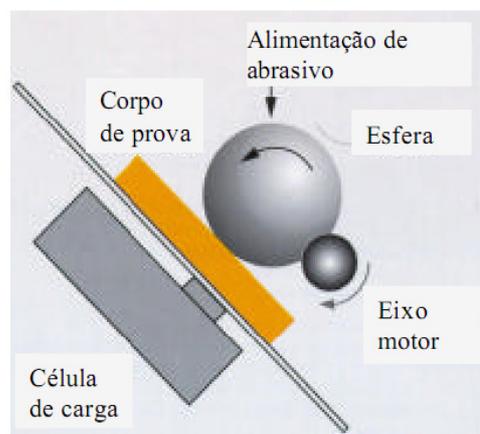


Figura 2.11- Princípio de funcionamento do equipamento de ensaio de desgaste micro-abrasivo por esfera rotativa livre (NASCIMENTO et al., 2005).

No teste da esfera abrasiva uma esfera de raio  $R$  é rotacionado contra um corpo de prova na presença de uma fina lama abrasiva. A forma da marca de desgaste reproduz a geometria da esfera, e o volume desgastado pode então ser determinado a partir da medição do diâmetro da cratera ou da sua profundidade. A figura 2.12, representa esquematicamente a descrição desse ensaio.

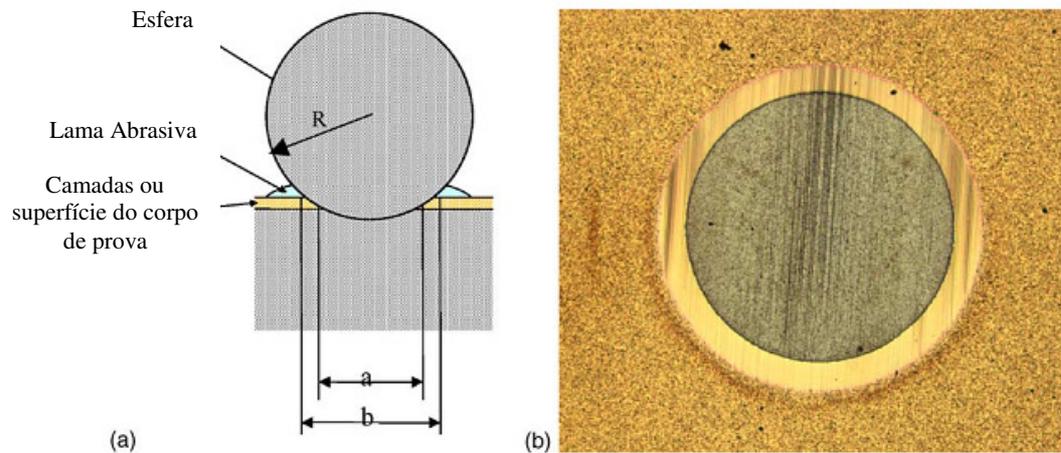


Figura 2.12 - Representação esquemática da seção transversal da cratera de desgaste provocada pelo teste da esfera abrasiva (a) e (b) cratera produzida na camada de TiN (Adaptado de GEE et al., 2005).

Para materiais homogêneos (não revestidos), segundo Kassman e colaboradores (1991), o volume desgastado,  $V$ , pode ser relacionado com a distância total de deslizamento da esfera,  $L$ , e a força normal desta sobre o corpo de prova,  $F_n$ , a partir da equação de Archer para o desgaste por deslizamento, equação 2.1.

$$V = kLF_n \quad (2.1)$$

onde  $\kappa$  é o “coeficiente de desgaste” ou “taxa de desgaste específica” medida em  $\text{m}^3 (\text{Nm})^{-1}$ . A resistência ao desgaste abrasivo é definida como  $\kappa^{-1}$  e tem unidades  $(\text{Nm})\text{m}^{-3}$ .

Para uma marca de desgaste na forma de uma calota esférica produzida por uma esfera com raio  $R$  sobre um corpo de prova inicialmente plano, o volume desgastado pode ser calculado a partir do diâmetro,  $b$ , da cratera de desgaste, pela equação 2.2.

$$V = \frac{\pi b^4}{64R} \quad \text{para } b \ll R \quad (2.2)$$

O método pode ser estendido para materiais revestidos e os coeficientes de desgaste para recobrimento e substrato podem ser determinados em um único ensaio (KASSMAN et al., 1991; RUTHERFORD, HUTCHINGS, 1997).

#### **2.3.4 ESTUDOS AVALIANDO O DESGASTE DE RESINAS COMPOSTAS**

O desgaste abrasivo pelo método de *Ball Cratering* em resinas odontológicas foi avaliado por Ramalho e Antunes (2005). Seis resinas compostas comerciais fotopolimerizadas com tempos de 20, 40, 60 e 80s foram avaliadas. A morfologia das crateras obtidas nos ensaios de microabrasão foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura (MEV), onde foram observadas estrias profundas, devido à abrasão de dois-corpos na superfície testada, sendo este um mecanismo típico que ocorre na boca entre o contato dente/dente. A Figura 2.13 mostra as crateras formadas com formato regular, onde devido ao desgaste abrasivo de dois-corpos, riscos puderam ser observados na superfície do compósito. Concluíram que, em relação aos tempos de fotopolimerização e a microdureza Vickers que o tempo de cura não influenciou nas resinas compostas e que a microdureza aumenta até um certo limite. Em relação ao tempo de cura e a resistência ao desgaste, a técnica de desgaste abrasivo por esfera

fixa é satisfatória para o estudo de materiais dentários, o valor de dureza absoluta não é um critério seguro para a escolha de um material, compósito ou amálgama, para uma aplicação de odontologia onde resistência abrasiva é o fator mais importante. Embora, para cada um dos materiais testados, um aumento no valor de dureza normalmente conduziu para uma melhor resistência a abrasão (RAMALHO, ANTUNES, 2005).

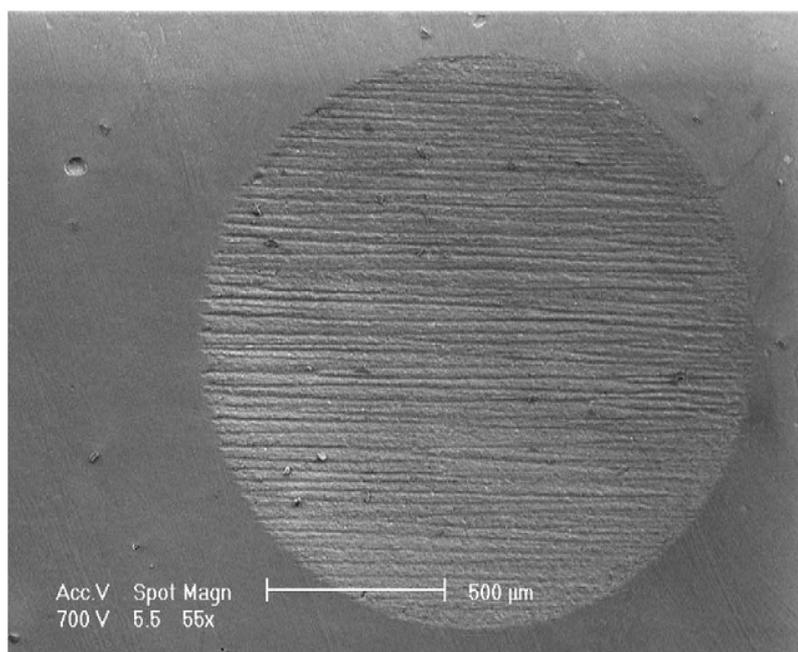


Figura 2.13 - Cratera formada pelo desgaste abrasivo. Com 40s de fotopolimerização e 300 rotações, (adaptado de RAMALHO, ANTUNES; 2005).

Nascimento et al. 2005, avaliaram as resistências ao desgaste de oito materiais comerciais (amálgama e sete resinas compostas) usados em restaurações, por meio do ensaio de microabrasão. Para efeito de comparação, também foram avaliadas as resistências ao desgaste dos esmaltes dentário humano e bovino. Por meio da resistência ao desgaste equivalente, os esmaltes dentários, o amálgama e os compósitos foram referenciados às resistências ao desgaste dos padrões de dureza Mohs (Figura 2.14). Considerando que a escala de dureza Mohs é exponencial, as resistências à abrasão dos compósitos se mostraram bem aquém das resistências ao desgaste dos esmaltes dentário humano e bovino e o amálgama se mostrou equivalente a estes, (NASCIMENTO et al, 2005).

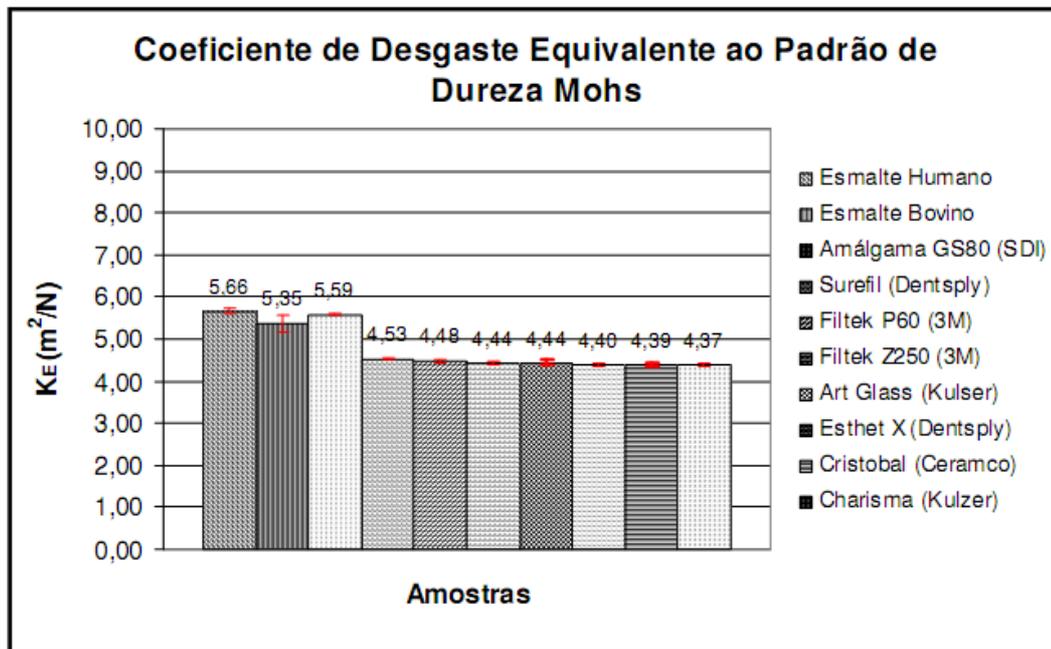


Figura 2.14 - Coeficiente de desgaste equivalente ao padrão de dureza Mohs dos materiais ensaiados (NASCIMENTO et al., 2005).

Adachi e Hutchings (2005) desenvolveram, por meio de ensaios de microabrasão por esfera rotativa, um modelo teórico para identificar os regimes de desgaste abrasivo de dois-corpos (deslizamento) e de três-corpos (rolamento), dominantes no sistema. Os modos de desgaste foram executados com diferentes combinações de esferas e corpos de prova em condições de teste diferentes, como concentração abrasiva e força aplicada. Os autores observaram que quando a superfície sofre os dois modos de desgaste (Figura 2.15), a mesma pode apresentar, em sua região central, ranhuras características de desgaste abrasivo por riscamento (Figura 2.15a) e, nas extremidades, micro-impressões, deixadas pelo desgaste abrasivo por rolamento (Figura 2.15b). Também verificaram que a concentração de fração volumétrica interferiu nos tipos de desgaste obtidos, (NASCIMENTO et al., 2005).

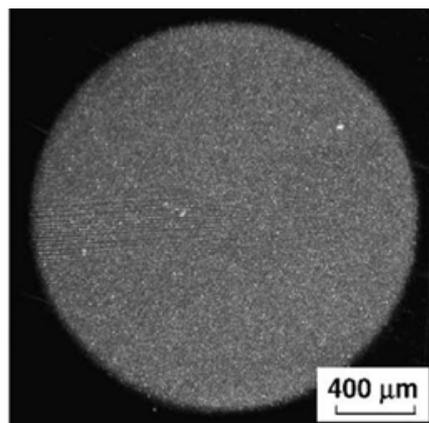
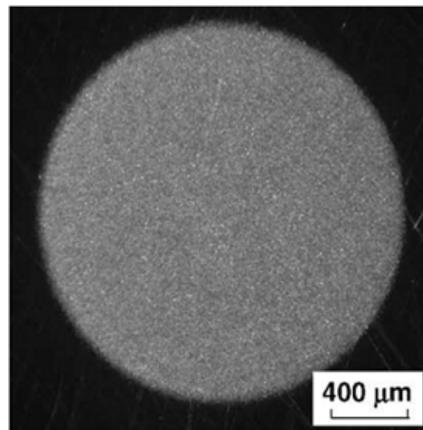
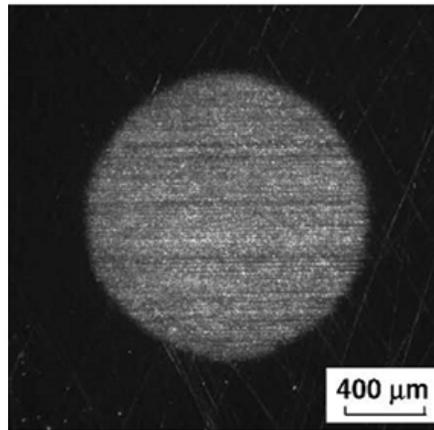


Figura 2.15 – (a) Abrasão de dois corpos com formação de riscos (sulcos) na direção do movimento; (b) Abrasão de três corpos, ocorrendo a formação de múltiplas indentações (rolamento); (c) Corpo-de-prova de PMMA que sofreu desgaste abrasivo por riscamento na região central e desgaste abrasivo por rolamento nas extremidades (ADACHI e HUTCHINGS, 2005).

### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Na figura 3.1 é possível observar um fluxograma da metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho.

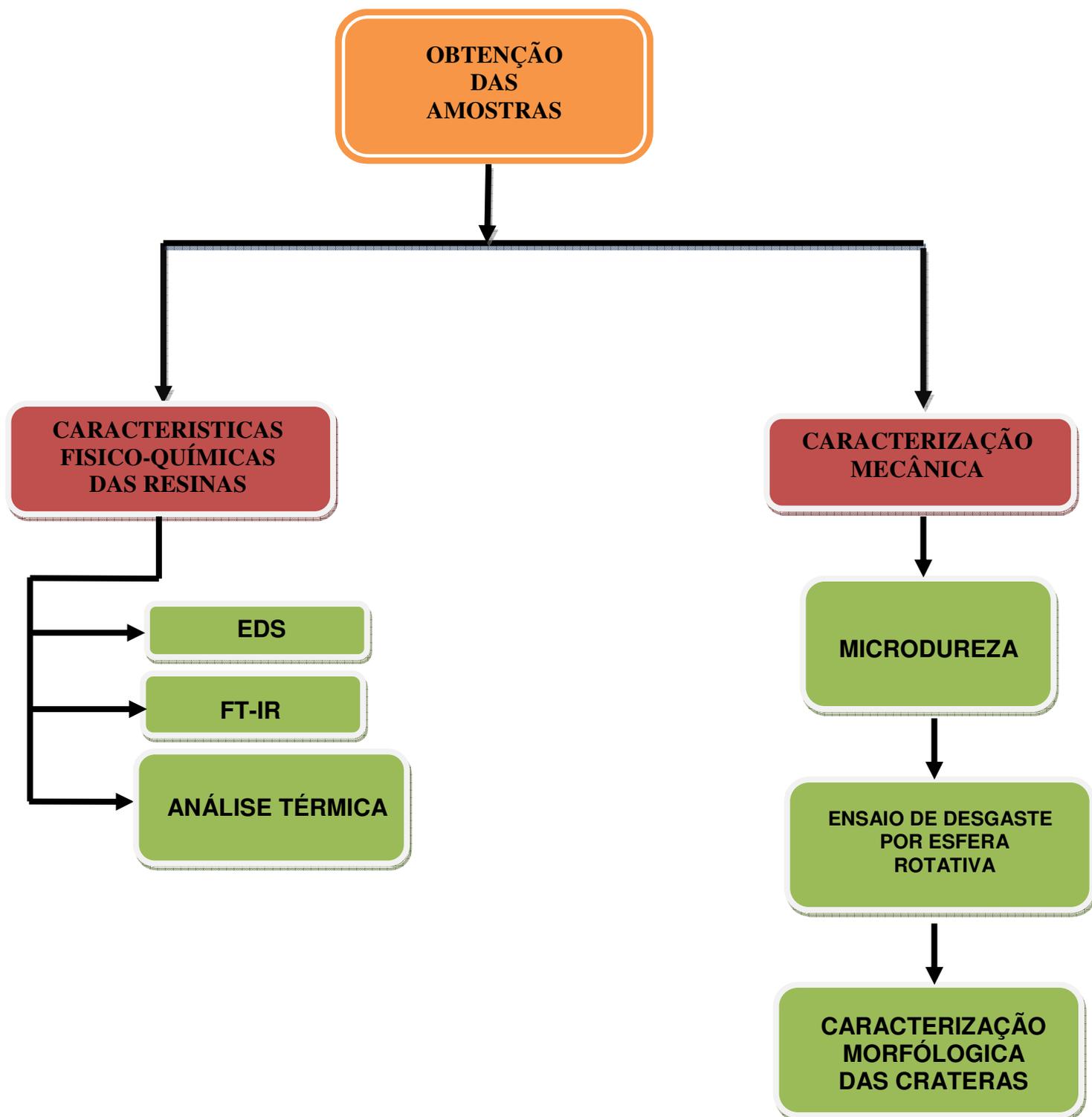


Figura 3.1 - Fluxograma de metodologia empregada no presente trabalho

### 3.1 - Obtenção das amostras

Para a realização dessa pesquisa foram utilizados quatro tipos de resinas compostas odontológicas comerciais fotoativadas: três microhíbridas, identificadas pelas letras (A, B e C) e uma nanohíbrida designada (D). Na tabela 3.1 é possível verificar as principais características dos materiais avaliados, de acordo com as especificações do fabricante.

Tabela 3.1 – Características dos compósitos odontológicos avaliados nesse estudo, (dados fornecidos pelo fabricante)

Resina Composta	Matriz Orgânica	Matriz inorgânica		
		Tipo	Tamanho da partícula	Fração (%vol)
A	BisGMA TEGDMA	Vidro de bário, alumínio fluoretado e dióxido de silício	0,02-2 µm	64,00
B	BisGMA, UDMA e Bis-EMA	Zircônia e sílica	0,19-3,3 µm	60,00
C	BisGMA, TEGDMA	Silicato de boro, silicato de alumínio, sílica pirolizada, bário sinalizado	0,8 µm	60,00
D	BisGMA, TEGDMA, UDMA e Bis-EMA	Zircônia e sílica	0.6 – 1,4µm 5 – 20nm	59,5

### 3.1.1 - Fotopolimerização dos corpos-de -prova

Uma grande característica do equipamento utilizado nesse ensaio é que seu tempo de vida útil é de cerca de 100 mil horas, sem alteração significativa do fluxo de luz ao longo do tempo; o baixo consumo energético, o que dispensa manutenção; e ainda há vantagem de praticamente não emitir radiações infravermelhas e ultravioletas pois, é munido de baterias recarregáveis, permitindo a sua utilização portátil. Além disso, o aquecimento gerado pelos LEDs no processo de polimerização é reduzido, porque nestes aparelhos não é incorporado qualquer sistema de ventilação, minimizando o ruído provocado. Por outro lado, as reduzidas dimensões dos LEDs podem permitir a sua incorporação diretamente na extremidade do fotopolimerizador, dispensando a necessidade de fibras ópticas para a transmissão da luz. A especificidade tecnológica usada na concepção destes aparelhos pode proporcionar-lhes, sob o ponto de vista ergonômico, diferenças significativas em relação aos fotopolimerizadores convencionais de luz halogéna. A figura 3.2 ilustra o fotopolimerizador LED RADII, utilizado neste estudo (VINAGRE et al., 2004).



Figura 3.2 – Fotopolimerizador LED RADII

### 3.1.2 - Confecção dos corpos-de -prova

Para a obtenção das amostras, foi utilizada a mesma base empregada na realização dos ensaios de microabrasão. Na figura 3.3, pode-se notar que a matriz foi confeccionada em alumínio (45mm de comprimento x 20mm largura x 2mm de espessura), com dois orifícios: um com 5mm, utilizado para inserção da resina composta; e outro com 2 mm, para a introdução do abrasivo durante os ensaios de micro abrasão.

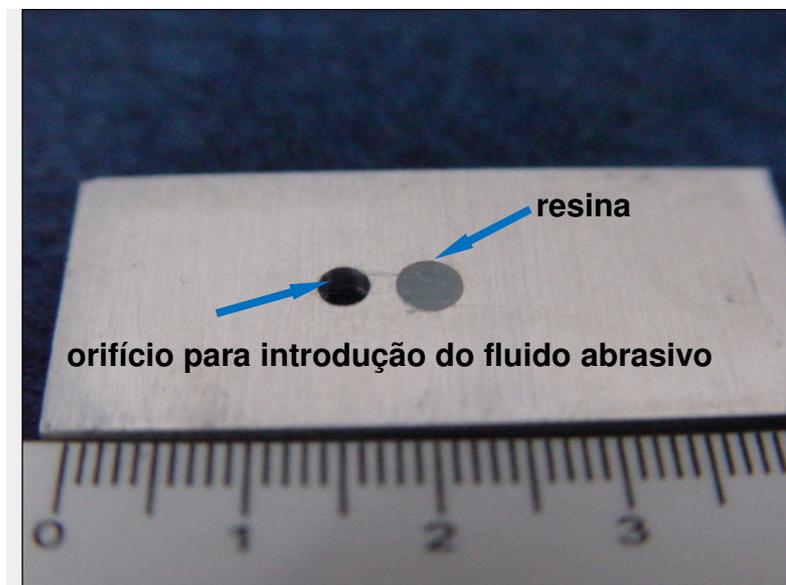
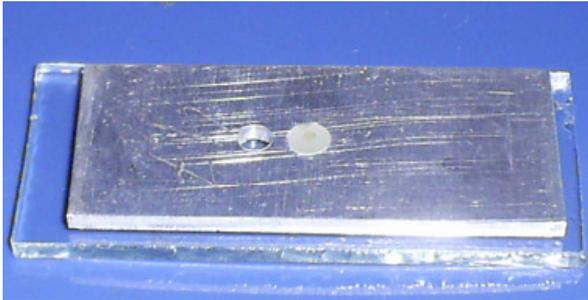


Figura 3.3 – Molde empregado para a confecção das amostras

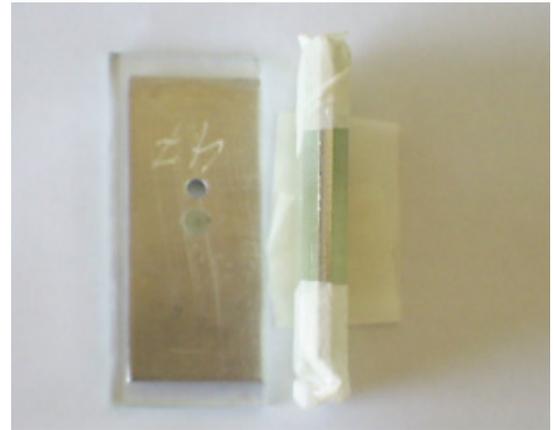
A sequência de operações para preparação das amostras pode ser resumida da seguinte forma:

- (a) para obtenção de uma superfície plana, uma placa de vidro foi colocada sob a matriz de alumínio (Fig. 3.4 (a)) e o conjunto foi preenchido com uma das resinas estudada, em uma porção única, com o auxílio de uma espátula de aço.
- (b) Em seguida, outra lâmina de vidro foi posicionada sobre a matriz, o que resultou em uma superfície plana e uniforme. Em seguida, o conjunto foi pressionado para escoar possíveis excessos de material (Fig. 3.4 (b)).

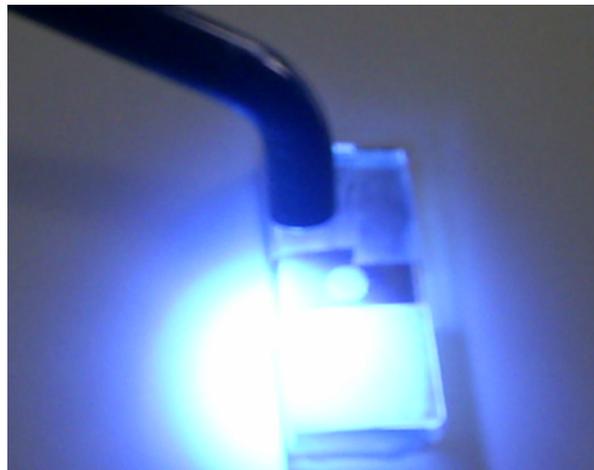
(c) A resina contida entre as lâminas e o molde foi então fotopolimerizada (Figura 3.4.c), em um único incremento, de acordo com o tempo de polimerização escolhido. Para cada tipo de resina foram avaliados três tempos de fotopolimerização: 20s (recomendado pelo fabricante), 30 segundos e 40 segundos.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.4 – Sequência empregada para o preparo das amostras:

- (a) colocação da placa de vidro sobre a matriz ,
- (b) Prensagem da matriz de alumínio entre placas de vidro,
- (c) Fotopolimerização das amostras

Após o preparo, os corpos de prova foram imersos em soro fisiológico e mantidos a 37°C por 30 dias, com o objetivo de simular o ambiente bucal, antes da realização dos ensaios de desgaste e microdureza.

## **3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS COMPOSTAS**

### **3.2.1 - Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FT-IR)**

Para análise do grau de conversão das resinas, foi empregado um espectrômetro (FT-IR - BOMEM), Laboratório de química, da UFSCar – Universidade Federal de São Carlos (Figura 3.5). O aparelho foi ajustado para leitura em número de onda na região de 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$ , com 32 varreduras e as intensidades das bandas expressas em transmitância (%).



Figura 3.5 – Espectrofotômetro ( FT-IR – BOMEM) empregado para análise do grau de conversão das resinas

As resinas foram avaliadas antes e após a fotopolimerização, conforme a seguinte metodologia:

a) previamente a polimerização, 1,5mg do material foi colocado sobre uma pastilha de NaCl, e algumas gotas (1ml) de solução de clorofórmio (CHCl<sub>3</sub>) foram colocadas sobre a superfície. Após a evaporação total do solvente foram iniciadas as análises;

b) após a fotopolimerização as resinas foram transformadas em um pó fino, pesadas em balança analítica, colocadas em cadinho e misturada, m.m. com KBr. A mistura foi colocada em molde metálico com pressão de 10.000 – 15.000 psi, durante 60 s para obtenção de um disco.

Após a obtenção dos picos de transmitância, o percentual de duplas ligações carbônicas não convertidas (%C=C) foi determinado pela taxa de intensidade de absorção entre ligações C=C em 1637 cm<sup>-1</sup> (pico alifático) e ligações C=C em 1610 cm<sup>-1</sup> (pico aromático), antes e após a polimerização. O grau de conversão (GC) correspondente foi calculado pela subtração desta taxa de 100%, equação 3.1.

$$(\%C = C) = \frac{\frac{trns(1637cm^{-1})}{trns(1610cm^{-1})} \text{ polímero}}{\frac{trns(1637cm^{-1})}{trns(1610cm^{-1})} \text{ monômero}} \times 100$$

$$\text{Grau de Conversão (GC)} = 100\% - (\%C = C) \quad (3.1)$$

### 3.2.2. Análise térmica

Para avaliação da quantidade de carga (% peso) presente em cada resina foi realizada a análise termogravimétrica (TGA). As resinas foram analisadas na forma não fotopolimerizada em cadinho de alumínio (figura 3.6).

As análises foram realizadas, no Laboratório de Análises Térmicas, Departamento de Materiais e Tecnologia, UNESP-Guaratinguetá.



Figura 3.6 – Equipamento utilizado para a Análise de Termogravimétrica (TGA)

### 3.3 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

#### 3.3.1 Ensaios de Micro Abrasão por esfera rotativa

Para a realização do ensaio de microabrasão, foi projetado e construído o equipamento ilustrado na Figura 3.7.

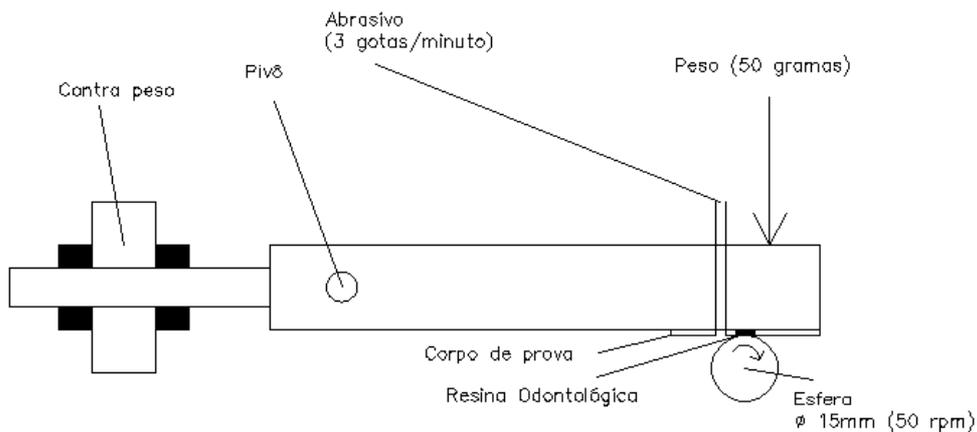


Figura 3.7 - Representação esquemática do equipamento projetado para a realização dos ensaios de desgaste

O ensaio consiste basicamente no contato de uma esfera de 15mm de diâmetro de aço ASTM 52100, em rotação com movimento preciso contra a superfície a ser desgastada (Figuras 3.8 e 3.9).

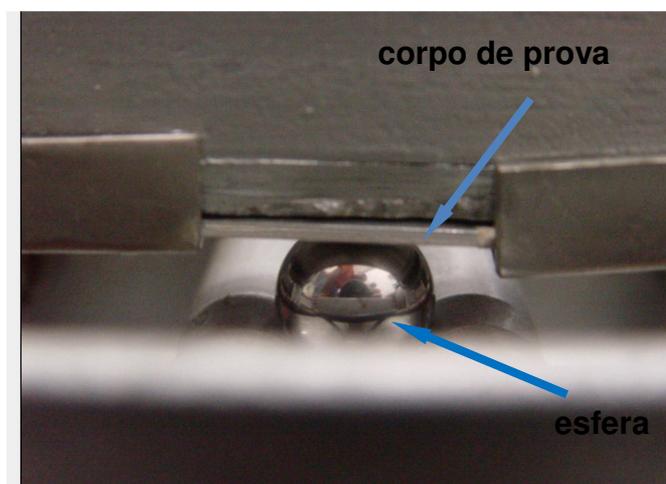


Figura 3.8 – Detalhe da esfera em contato com corpo de prova



Figura 3.9 – Vista superior do sistema de desgaste abrasivo por esfera rotativa.

Um peso (50 gramas) foi aplicado para garantir uma carga normal sobre a esfera em movimento. O abrasivo utilizado foi o talco (USP/200) diluído na fração de 1: 5 de soro fisiológico. Para garantir uma solução homogênea, utilizou-se um dispositivo de agitação magnética durante todo o tempo do ensaio e uma bomba com capacidade de 180 gotas por minuto. Após o tempo de 60 segundos, obteve-se a impressão de uma cratera na superfície das amostras.

Após a realização do ensaio, as crateras produzidas nas amostras foram observadas em um microscópio óptico e, a partir da utilização de um programa de análise de imagens (*Image J*) foi possível medir o raio ( $r$ ) de cada cratera (Figura 3.10).



Figura 3.10 - Momento da medição no *software* (IMAGE J).

Com os valores de diâmetros obtidos nos ensaio de *Ball Cratering*, para as resinas estudadas e utilizando as equações 3.3 e 3.4, calculou-se o Coeficiente de desgaste ( $K_s$ ) das amostras.

$$K_s = \frac{V}{S} \times N \quad (3.3)$$

Onde:

$S$  é a distância deslizada (mm);

$N$  é Carga ou força normal aplicada (N);

$V$  é o volume desgastado ( $\text{mm}^3$ ), que pode ser calculado pela equação (4):

Para o cálculo do volume, usou-se a equação:

$$V = \frac{\pi \times b^4}{64 \times R} \quad (3.4)$$

Onde:

$b$  é o diâmetro da superfície da cratera;

$R$  é o raio da esfera.

### **3.3.2 - ENSAIOS DE MICRODUREZA**

Após os ensaios de desgaste foram realizadas medidas de dureza nas amostras, com um microdurômetro Vickers, Shimadzu, (carga de 10g e tempo de 15s). Os testes de microdureza foram feitos no Laboratório de Caracterização de Materiais, Departamento de Materiais, UNESP - FEG Campus de Guaratinguetá. Realizaram-se três impressões para cada corpo-de-prova, totalizando doze impressões. Os valores apresentados no visor do equipamento para cada impressão foram anotados e tabulados estatisticamente.

### **3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS**

Para comprovação entre os tempos de fotopolimerização estudados, foi utilizado o Teste de Tukey, para comprovação individual, entre cada grupo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS RESINAS

A tabela 4.1 mostra a composição da matriz inorgânica dos compósitos estudados.

Tabela 4.1 - Constituintes inorgânicos dos compósitos odontológicos estudados  
(% em peso)

Resinas Compostas	Zr	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaF <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
A	----	3,17	4,63	92,2	----
B	12,69	----	3,14	83,74	0,44
C	----	7,94	21,47	70,60	----
D	18,71	----	----	81,29	----

Zr – Zircônio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - alumina, BaF<sub>2</sub> - Fluoreto de bário,  
SiO<sub>2</sub> - sílica – Quartzo, NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> - Albite

Comparando os resultados da Tabela 4.1 com os da Tabela 3.1, verifica-se que estes elementos fazem parte da composição destes compósitos. Entretanto os componentes BaF<sub>2</sub> - Fluoreto de bário e NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> – Albite detectados no EDS da resina B não constam nos dados fornecidos pelo fabricante (Tabela 3.1), sendo dessa forma elementos residuais do talco empregados como abrasivo nos ensaios.

#### 4.1.2 Análise da Parte Orgânica dos Compósitos Resinosos

Neste ensaio, utilizaram-se as amostras das resinas sem a fotopolimerização e com a fotopolimerização com o aparelho fotopolimerizador Led Raddi, com os tempos de 20s, 30s e 40s.

A figura 4.1 mostra o espectro de infravermelho da resina A sem a fotopolimerização. A figura 4.2, 4.3 e 4.4 mostra o espectro de infravermelho da resina A, com a fotopolimerização nos diferentes tempos de fotopolimerização.

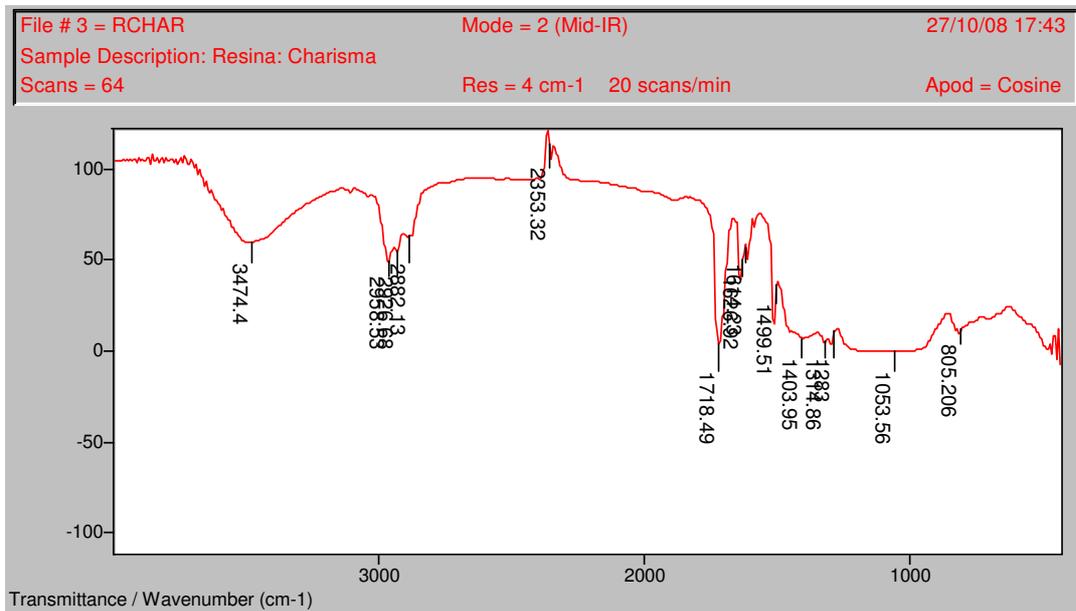


Figura 4.1 - Espectro de infravermelho da resina A sem fotopolimerizar.

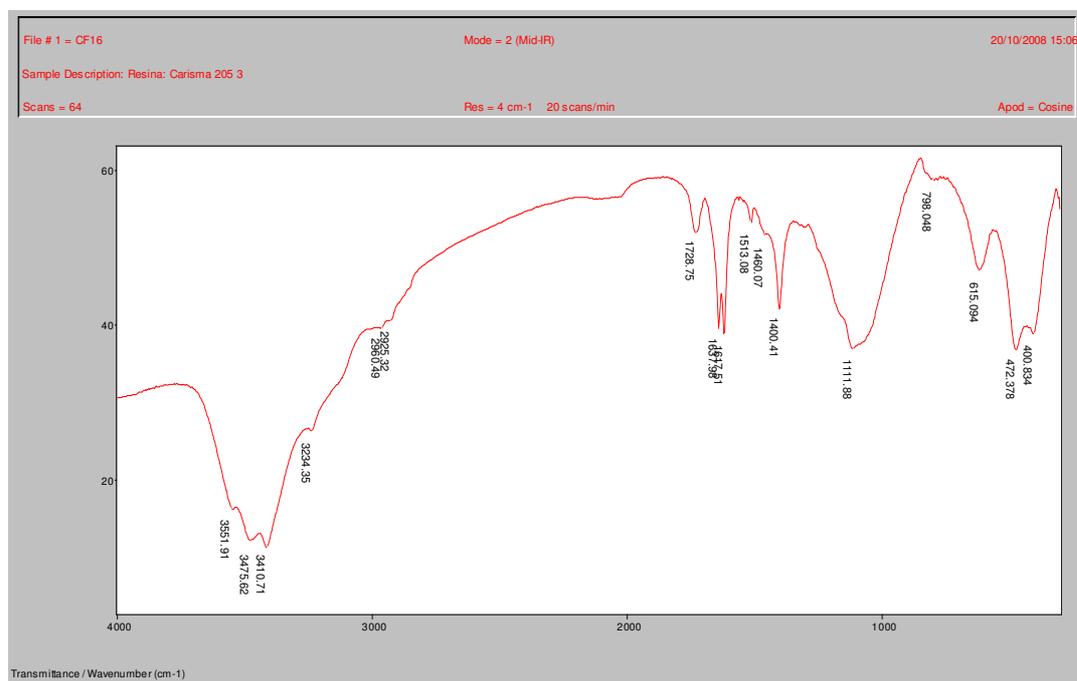


Figura 4.2 - Espectro de infravermelho da resina A fotopolimerizada com o tempo de 20s

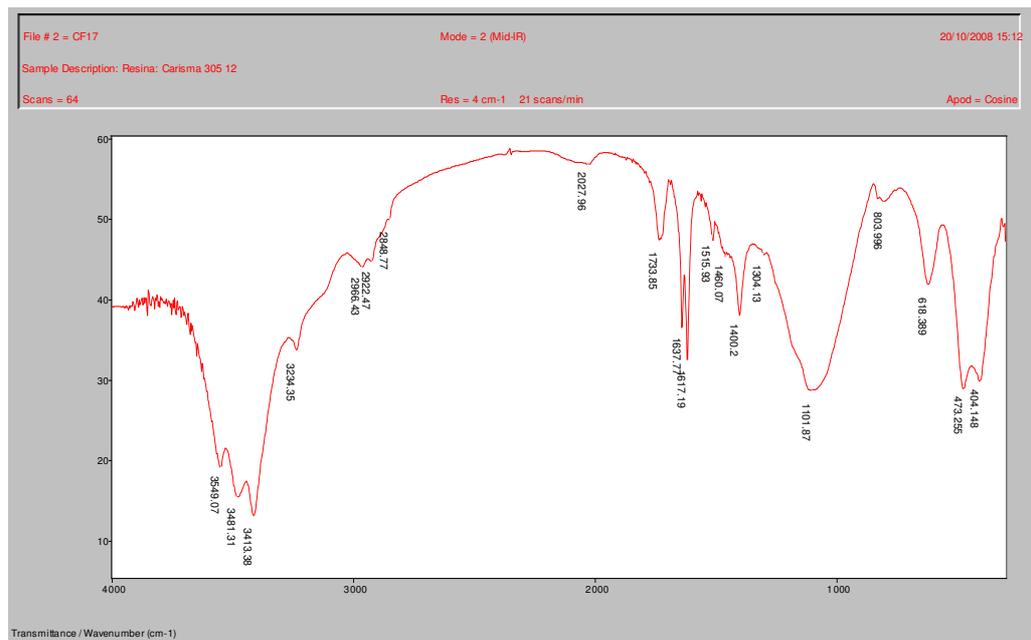


Figura 4.3 - Espectro de infravermelho da resina A fotopolimerizada com o tempo de 30s.

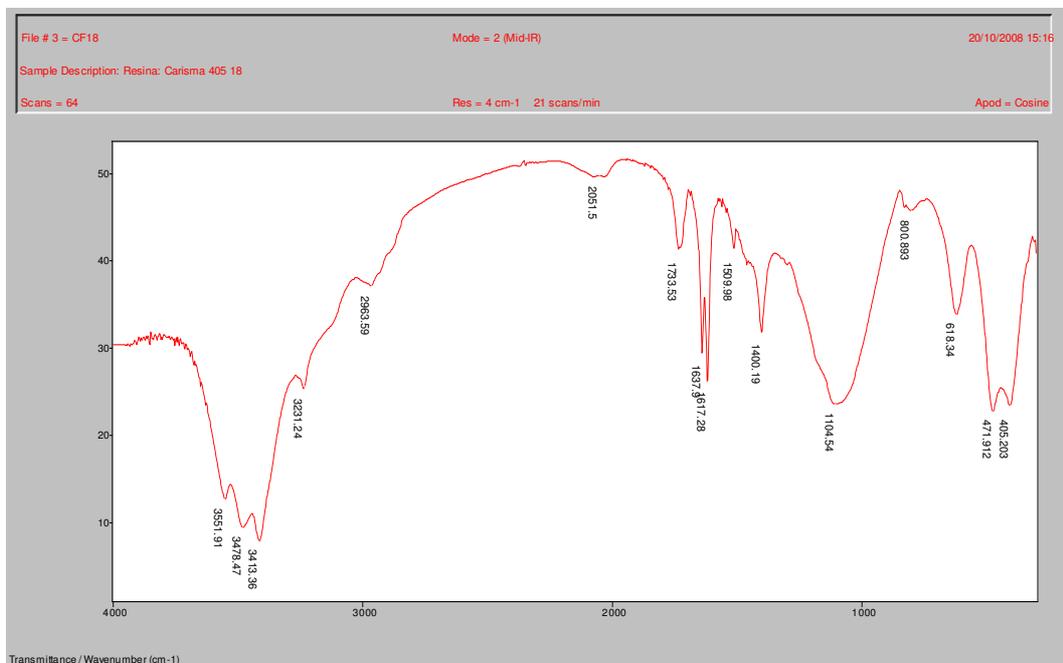


Figura 4.4 - Espectro de infravermelho da resina A fotopolimerizada com o tempo de 40s

O espectro da resina composta A é apresentado na figura 4.1 sem a polimerização. As bandas indicadas na figura estão relacionadas à deformação angular e estiramento dos grupos específicos e indicado na Tabela 4.2.

Os espectros da resina composta A, antes e após o processo de cura, estão apresentados nas figuras 4.2, 4.3 e 4.4, as quais mostram as bandas a  $1607\text{cm}^{-1}$  e  $1638\text{cm}^{-1}$  do estiramento C=C do grupo aromático e do metacrilato, respectivamente. Observou-se a diminuição da intensidade da banda a  $1638\text{cm}^{-1}$  devido à reação de cura com quebra da dupla ligação entre os átomos de carbono. A intensidade da banda a  $1607\text{cm}^{-1}$  permanece inalterada, visto que corresponde à dupla ligação entre os átomos de carbono do anel aromático. Essa relação entre as intensidades das bandas permite estimar o grau de cura da resina a partir do espectro.

Tabela 4.2 - Grupamentos presentes na resina composta A

<i>Frequência (<math>\text{cm}^{-1}</math>)</i>	<i>Atribuição</i>
806	deformação angular Si-O-Si
1200	estiramento Si-O
1300	estiramento alifático C-O
1404	deformação angular C=CH <sub>2</sub>
1457, 1513, 1558	vibração estrutural do anel benzênico
<b>1607</b>	<b>estiramento C=C grupo aromático</b>
<b>1638</b>	<b>estiramento C=C do metacrilato</b>
1714	estiramento C=O livre

Os modelos vibracionais principais foram identificados das figuras 4.2, 4.3 e 4.4. Entre outros grupos, os que apresentam maior interesse são as ligações duplas entre átomos de carbono C=C que apresentam bandas na região de  $1630\text{ cm}^{-1}$ . A presença destes sinais no espectro de FT-IR indica a presença de monômeros não reagidos na amostra, o que significa que a polimerização não foi completa, (SGARBI, 2006).

Pode-se observar uma flutuação de quantidade de cada grupo funcional nas diferentes fotopolimerizações ocorridas com os diferentes tempos de fotopolimerização, quando comparados nas figuras 4.2, 4.3 e 4.4.

O mesmo procedimento foi realizado para as resinas B, C e D, utilizando-se os espectros obtidos no espectrofotômetro de cada resina para calcular a porcentagem do grau de conversão, onde foram observadas as intensidades dos picos de absorção nas regiões de  $1637\text{ cm}^{-1}$  (ligação dupla alifática C=C) e  $1608\text{ cm}^{-1}$  (ligação dupla do grupo aromático C=C) do polímero e calculado com a equação 3.1 descrita no capítulo 3.

#### **4.1.3 Resultados do Grau de Conversão dos Compósitos Resinosos**

A partir da equação 3.1 apresentado no capítulo 3, calculou-se o grau de conversão de todos os compósitos em relação aos três tempos de fotopolimerização, os resultados obtidos são mostrados na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Análise estatística e a média do Grau de Conversão (CG %).

<i>Amostra</i>	<i>Análise Estatística</i>			<i>GC (%)</i>	<i>Desvio Padrão</i>
A-20s	a			65,19	0,01
A-30s		b	c	72,78	0,01
A-40s		b	c	71,72	0,02
<b>B-20s</b>	<b>a</b>			<b>74,48</b>	<b>0,01</b>
<b>B-30s</b>		<b>b</b>	<b>c</b>	<b>74,72</b>	<b>0,03</b>
<b>B-40s</b>		<b>b</b>	<b>c</b>	<b>74,76</b>	<b>0,02</b>
C-20s	a	b	c	60,53	0,01
C-30s	a	b	c	59,80	0,02
C-40s	a	b	c	59,59	0,01
<b>D-20s</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>88,09</b>	<b>0,02</b>
<b>D-30s</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>87,69</b>	<b>0,01</b>
<b>D-40s</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>88,11</b>	<b>0,02</b>

Pela análise da Figura 4.5 e da tabela 4.3, em relação ao grau de conversão, pode-se observar que a Resina A teve sua maior conversão com 30s, a Resina B, Resina C e a Resina D apresentaram para os três tempos de fotoativação valores próximos, inclusive comprovados pelo teste de Tukey. A resina C foi a que apresentou o menor grau de conversão, na média dos 60%. Observa-se que a resina D foi a que proporcionou o melhor grau de conversão (87%). Imazato et al., 2001 e Silikas et al., 2000, descrevem em seus trabalhos que o grau de conversão dos compósitos odontológicos é de 50 a 70% em média. Na figura 4.5, pode-se observar que todas as resinas e seus tempos de fotopolimerização apresentaram-se na faixa citada por Imazato et al., 2001, porém a resina A, nos tempos de 30 e 40s, e a resina D, em todos os tempos de fotopolimerização, superaram a faixa máxima citada pelos autores, com destaque para a resina D, com 40s de fotopolimerização, que obteve 88%, superando em 25% a citação acima. Em relação ao desvio padrão, pode-se dizer que os valores apresentados foram pequenos tornando-se imperceptível, quando apresentados graficamente.

Os resultados obtidos do GC e o desvio padrão, estão apresentados na tabela 4.3 das resinas compostas fotoativadas com os tempos de 20s, 30s e 40s, apresentados na figura 4.10.

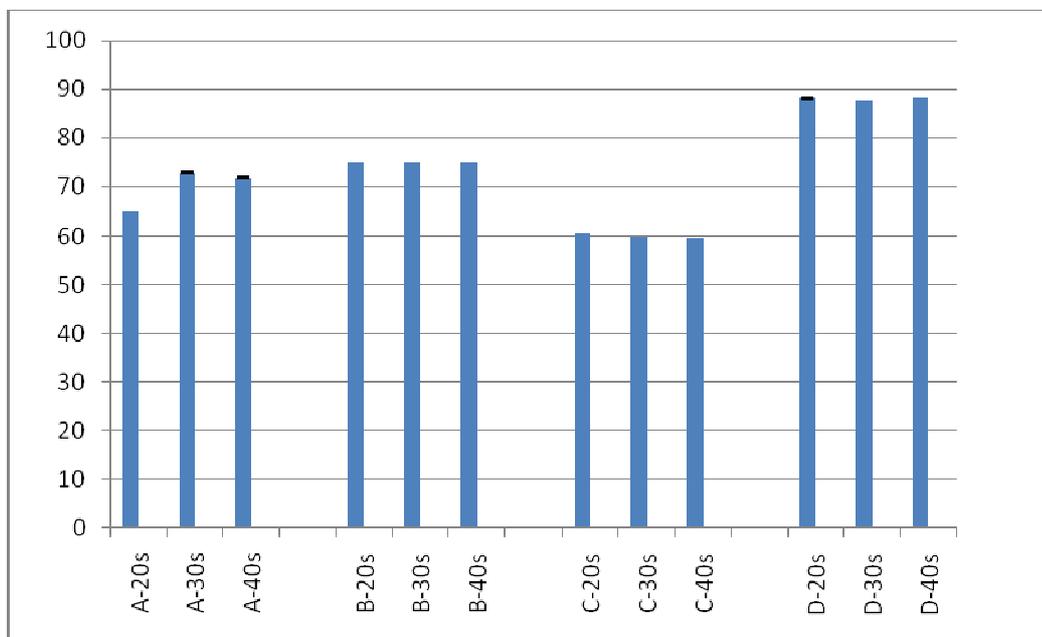


Figura 4.5 - Grau de conversão (CG %) das resinas estudadas e os três diferentes tempos de fotoativação.

#### 4.1.4. Análise termogravimétrica

Na tabela 4.4 observam-se os valores encontrados para a carga orgânica após análise termogravimétrica (TGA).

Tabela 4.4 – Valores de porcentagem de carga obtidos após análise térmica

	RESINA A	RESINA B	RESINA C	RESINA D
<b>Carga inorgânica</b>				
(% em peso)	69,57	77,25	75,23	72,78

Segundo o Anusavice, 2005, quadro 3, todas as resinas estão dentro da faixa citada na quantidade de carga inorgânica em peso.

#### 4.2 ANÁLISE DOS COEFICIENTES DE DESGASTES EM RELAÇÃO AOS TEMPOS DE FOTOATIVAÇÃO

A tabela de 4.5 apresenta o estudo estatístico e a média dos Coeficientes de Desgaste (Ks), e o desvio padrão nas resinas estudadas.

Tabela 4.5 - Coeficiente de desgastes (Ks), análise estatística e desvio padrão das Resinas, em relação aos três tempos de fotoativação.

<i>Resina</i>	<i>Análise Estatística</i>		<i>Média ks</i> <i>( m<sup>3</sup>/N.m)</i>	<i>Desvio Padrão</i>
<b>A-20s</b>	<b>a</b>	<b>c</b>	<b>4,1188E-11</b>	<b>2,0744E-12</b>
<b>A-30s</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>3,5232E-11</b>	<b>1,0206E-12</b>
<b>A-40s</b>		<b>b c</b>	<b>2,7218E-11</b>	<b>1,3749E-12</b>
B-20s	a	c	2,0859E-11	5,8692E-12
B-30s	a	b	1,7457E-11	3,9471E-12
B-40s		b c	2,2009E-11	2,6342E-12
<b>C-20s</b>	<b>a</b>	<b>c</b>	<b>2,5215E-11</b>	<b>1,0431E-12</b>
<b>C-30s</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>6,4200E-11</b>	<b>5,9648E-12</b>
<b>C-40s</b>		<b>b c</b>	<b>1,8558E-11</b>	<b>7,4108E-12</b>
D-20s-	a		2,1763E-11	8,1386E-12
D-30s-		b c	2,0362E-11	3,4530E-12
D-40s-		b c	1,5213E-13	4,0417E-12

A Figura 4.6 apresenta o menor valores de Ks (1,5213E-13 m<sup>3</sup>/N.m) para o compósito D com o tempo de polimerização de 40s. Esta resina, em ensaios

posteriores como o grau de conversão, apresentou o maior valor entre as resinas estudadas. Segundo, Peutzfeudt, Asmussem (2005) citam em seus relatos que a porcentagem do grau de conversão tem influência direta sobre o desgaste dos compósitos, fato comprovado na resina D.

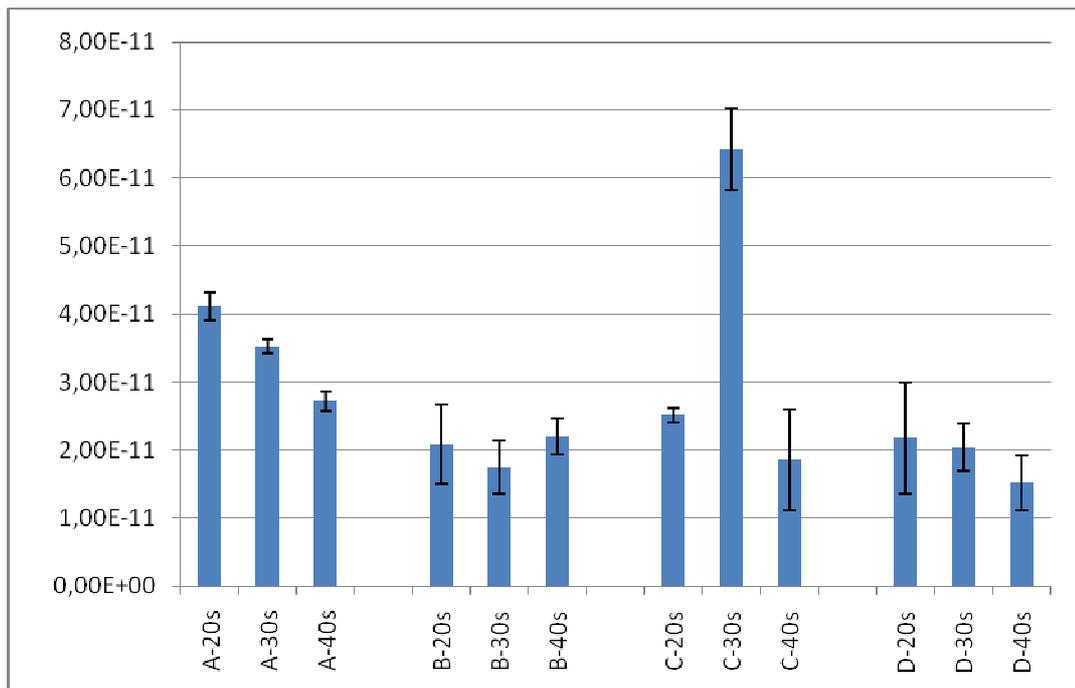


Figura 4.6 - Coeficiente de desgaste das resinas A, B, C e D em relação aos três tempos de fotopolimerização, utilizando talco como abrasivo

O compósito C 30s ( $6,4200E-11 \text{ m}^3/\text{N.m}$ ) tem o maior valor do coeficiente de desgaste e conseqüentemente a menor resistência. Observa-se para o compósito A, na medida que se aumentou o tempo de fotopolimerização, maior foi a resistência ao desgaste. Para o compósito B, o comportamento em relação ao desgaste foi quase homogêneo, apresentando semelhança estatística para os três tempos de fotoativação.

### 4.3 MICRODUREZA VICKERS

Usando o teste de Tukey foi possível comparar estatisticamente os valores de microdureza Vickers, entre os tempos nas resinas estudadas, conforme apresentado na tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Análise estatística e a média da Microdureza Vickers das Resinas estudadas.

<i>Amostra</i>	<i>Análise Estatística</i>		<i>Dureza (HV)</i>	<i>Desvio Padrão</i>
A-20s	a	b	54,67	3,11
A-30s		b	50,38	3,23
A-40s		b	48,30	8,30
B-20s	c		96,32	4,07
B-30s		a	107,52	7,78
B-40s			99,80	7,98
C-20s	c		69,48	7,29
C-30s		b	77,57	6,45
C-40s		b	82,37	4,08
D-20s	c	b	85,21	0,63
D-30s		b	91,32	9,02
D-40s			97,20	10,63

Os resultados obtidos das indentações das resinas compostas fotoativadas com os tempos de 20s, 30s e 40s, estão apresentados na Figura 4.13.

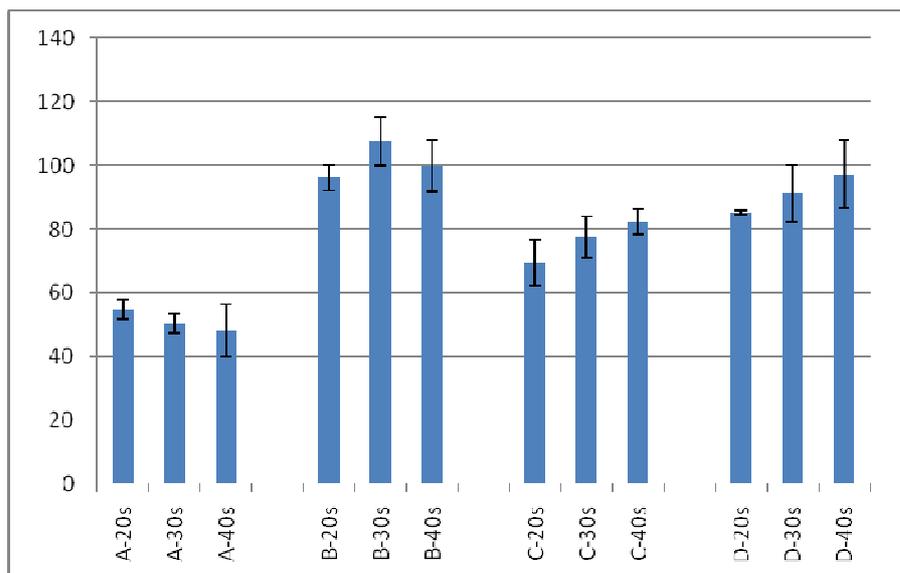


Figura 4.7 - Microdureza Vickers (Hv) das Resinas Fotopolimerizadas com diferentes tempos.

Na Figura 4.7, observa-se que para o tempo de fotoativação de 20s, a Resina A apresenta a menor microdureza entre as resinas em questão e valor maior deste grupo foi a Resina B. Já com o tempo de 30s, a resina B apresenta a maior microdureza e a Resina A, a menor dureza. Com o tempo de fotopolimerização de 40s, observa-se que a Resina C apresenta o maior valor deste grupo, enquanto a resina A apresenta o menor valor.

Para o compósito A, nota-se que a dureza maior foi com o tempo de 20s, diminuindo conforme se aumentava o tempo de fotopolimerização. O mesmo comportamento foi observado para os compósitos C e D. O compósito B alcançou os maiores valores de dureza entre as resinas estudadas, sendo seu maior valor de dureza quando esta resina foi fotoativada com o tempo de 30s. Com os tempos de 20s e 40s os valores ficaram na ordem de 96,32HV e 99,80HV, respectivamente.

### 4.3 RESULTADO DA ANÁLISE MICROSCÓPICA DA SUPERFÍCIE DESGASTADA

A Figura 4.8 apresenta a superfície do talco utilizado como abrasivo. Analisando a figura 4.8, nota-se que o abrasivo apresenta grãos com geometria não definida e arestas pontiagudas.

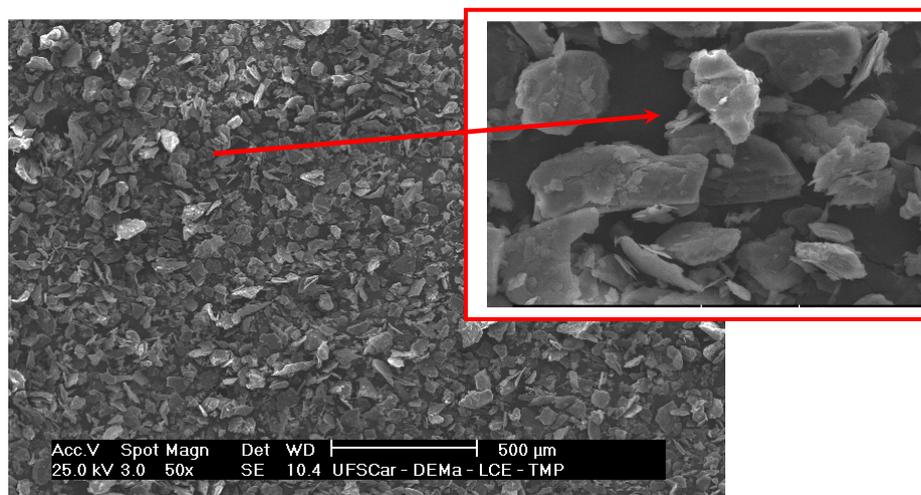
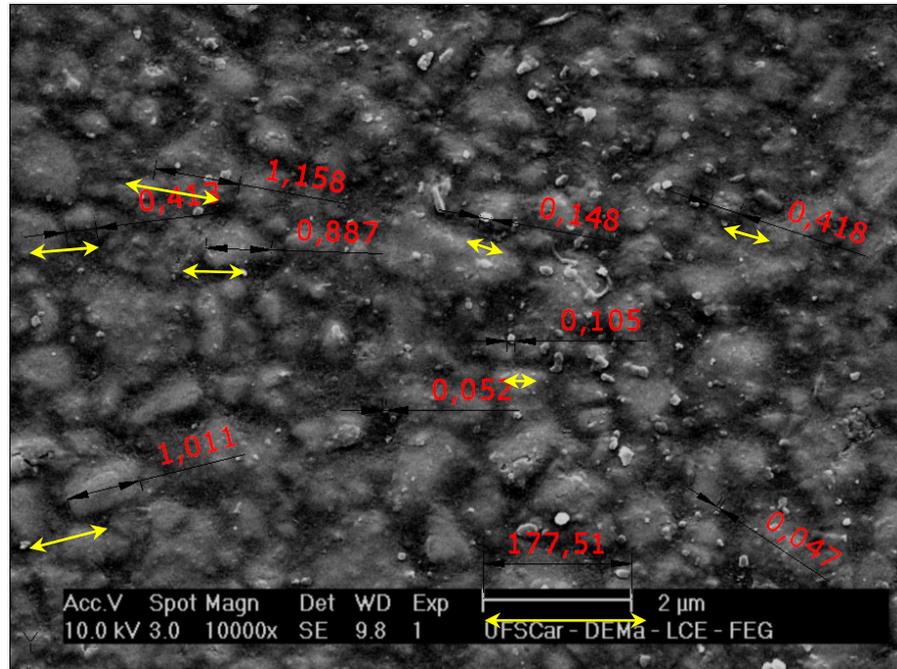
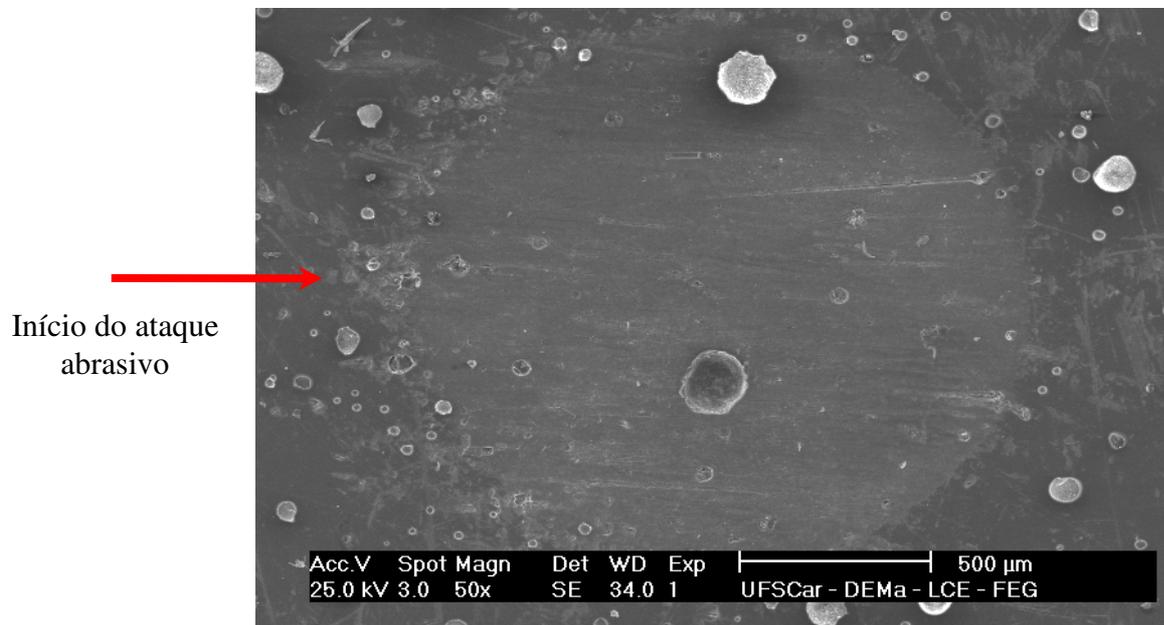


Figura 4.8 – Fotomicrografia do abrasivo, com ampliação de 50x, e detalhe dos grãos do abrasivo com ampliação de 500x .

A Figura 4.9(a) apresenta a superfície do compósito A antes do desgaste e a figura 4.9(b) depois de desgastada, para um tempo de fotopolimerização de 20s.



(a)



(b)

Figura 4.9 – (a) Fotomicrografia da superfície antes do desgaste (b)Fotomicrografia da superfície desgastada do compósito A, com ampliação de 50x., fotopolimerizada com o tempo de 20s.

A Figura 4.9(b) mostra a superfície desgastada da calota que foi formada pelo contato esfera/abrasivo/compósito. Observam-se ranhuras na direção do movimento da esfera, com formação de pequenos sulcos, caracterizando o mecanismo de deslizamento, o que está coerente com os relatos de Silva , Mello, 2006.

Nesta figura observa-se também, a dificuldade do abrasivo em começar o ataque abrasivo no corpo de prova. Pode-se notar que o início da borda não está bem definida, porém sua saída está com bordas bem definidas.

Para a mesma resina observou-se o desgaste da matriz polimérica com o destacamento da carga orgânica (Fig. 4.10, 4.11 e 4.12).

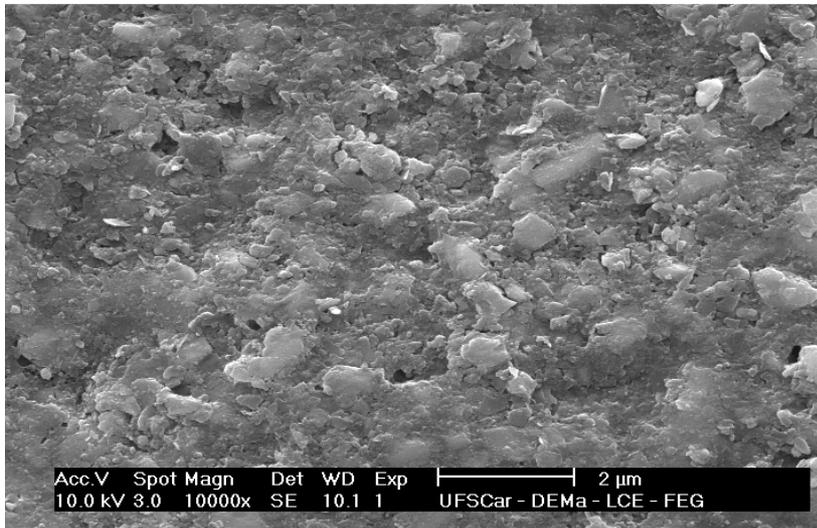


Figura 4.10 – Detalhe do desgaste ocorrido para a resina A após 20 s

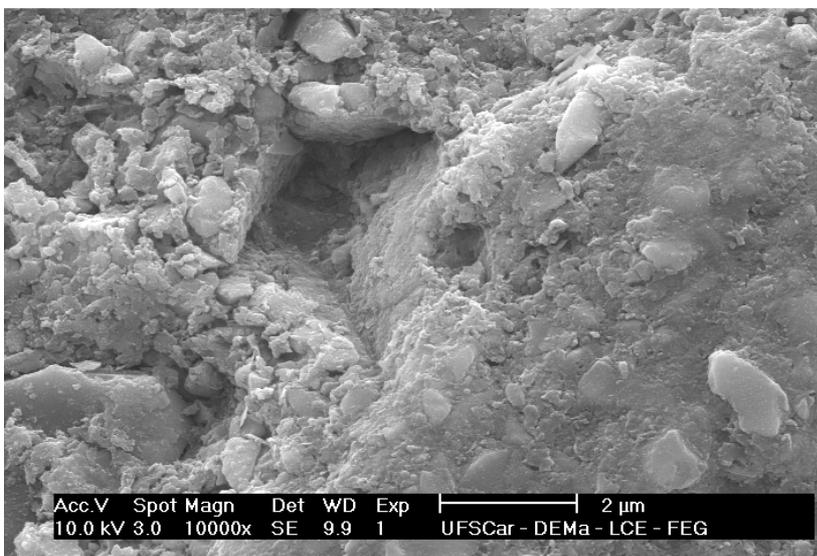


Figura 4.11 – Detalhe do desgaste ocorrido para a resina A após 30 s

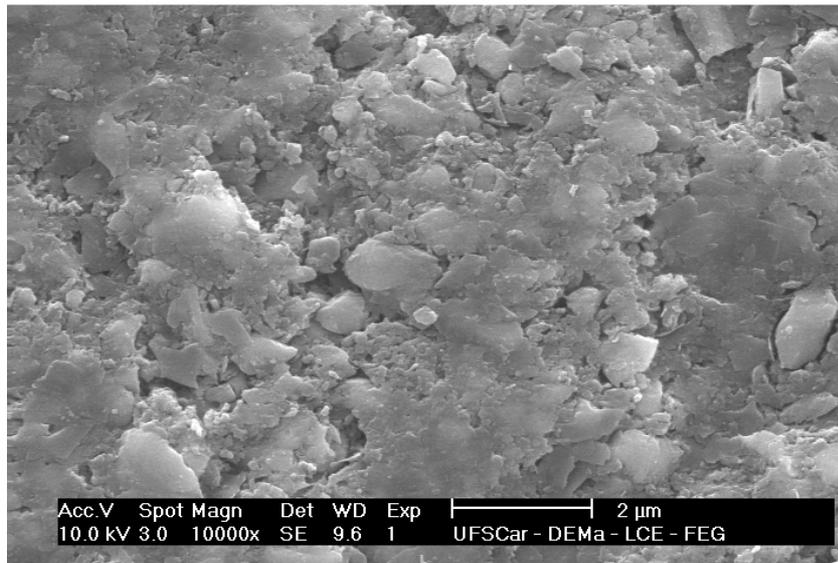
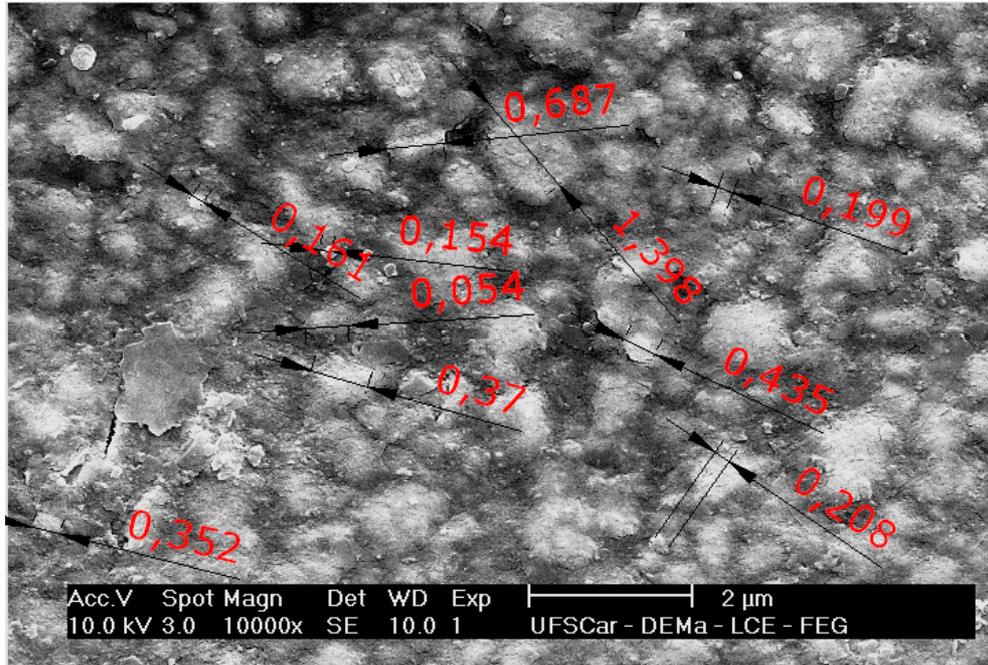


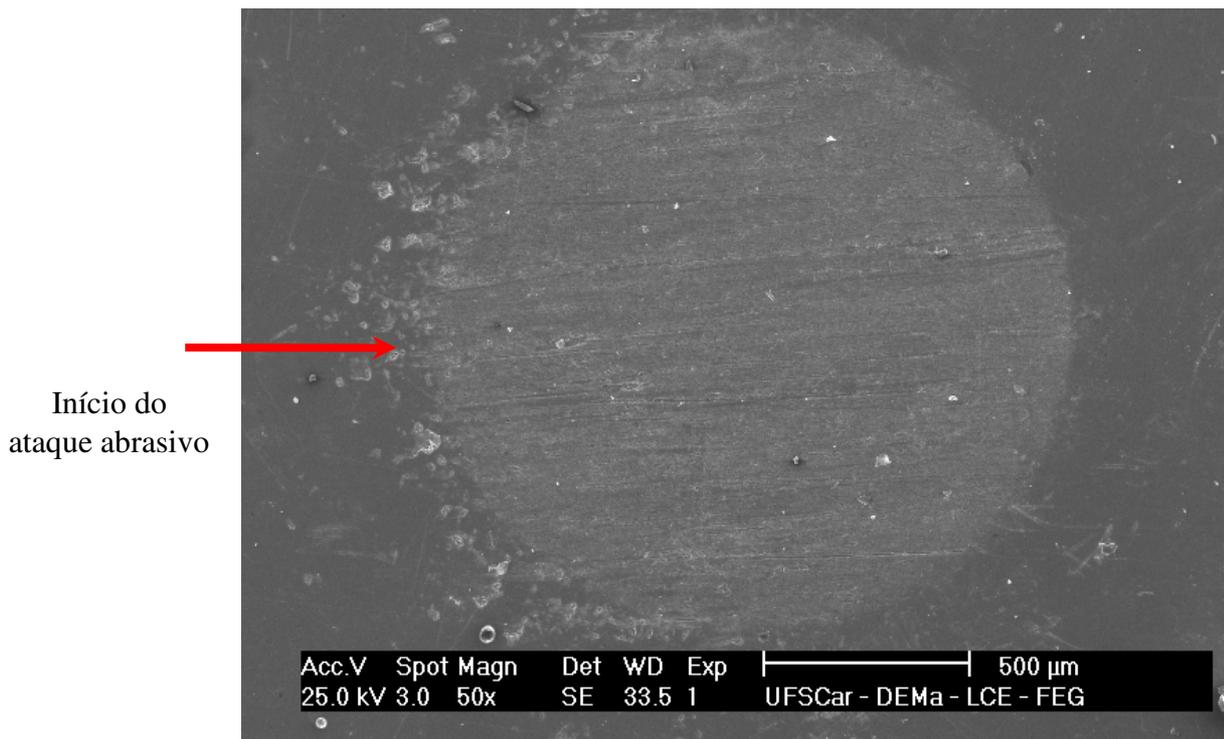
Figura 4.12 - Detalhe do desgaste ocorrido para a resina A após 40 s

Na Figura 4.9, com o compósito A, durante o teste de desgaste de microabrasão, ocorrer o desgaste preferencial na sua superfície, deixando as partículas salientes, assim como o deslocamento de partículas de vários tamanhos, com um aspecto escamoso. Pelas Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 observa-se a exposição de partículas de tamanhos e formatos variados, com aspecto semelhante para os três tempos diferentes de fotopolimerização.

A Figura 4.13 (a) e (b) apresenta a superfície do compósito B antes e depois de desgastada e fotopolimerizada com o tempo de 20s, evidenciando a superfície desgastada da calota.



(a)



(b)

Figura 4.13 – (a) Fotomicrografia da superfície antes do desgaste (b) Fotomicrografia da superfície desgastada do compósito B, com ampliação de 50x., fotopolimerizada com o tempo de 20s.

Na Figura 4.13(b), observa-se que ocorreu deslizamento de partículas, com os abrasivos presentes na interface esfera/corpo de prova riscando a superfície, removendo o material. O tamanho do grão abrasivo e a carga aplicada no ensaio favorecem, em princípio, o deslizamento dos abrasivos na interface do material estudado. Nas dez medições efetuadas (fig. 4.13 (a)), o menor tamanho de grão encontrado foi de 0,161 $\mu\text{m}$  e o maior de 1,398 $\mu\text{m}$ , divergindo das informações apresentadas na tabela 3.1. Observa-se também que na formação da cratera, a mesma não tem uma definição nítida de borda no começo do ataque abrasivo; na saída, nota-se borda bem nítida. Ocorreu, nesse caso, o desgaste da matriz orgânica e o desagregamento das partículas inorgânicas e estas foram usadas como partículas abrasivas.

As Figuras 4.14, 4.15 e 4.16 apresentam a superfície do compósito B depois do desgaste, fotopolimerizada com os tempos de 20s, 30s e 40s, observando-se o desgaste da matriz. Para o tempo de 20s (Figura 4.14) ocorreu um desgaste mais suave, sendo mais agressivo para um tempo de polimerização de 40 s (Figura 4.15), observando-se vales de pequenas dimensões descontínuas e cavidades de diversos tamanhos. Para esta resina pode ser confirmado, pelas fotomicrografias e pelos ensaios de dureza e coeficiente de desgaste, que quanto maior a dureza, menor o desgaste ocorrido, e o formato dos grãos são menores e menos pontiagudos.

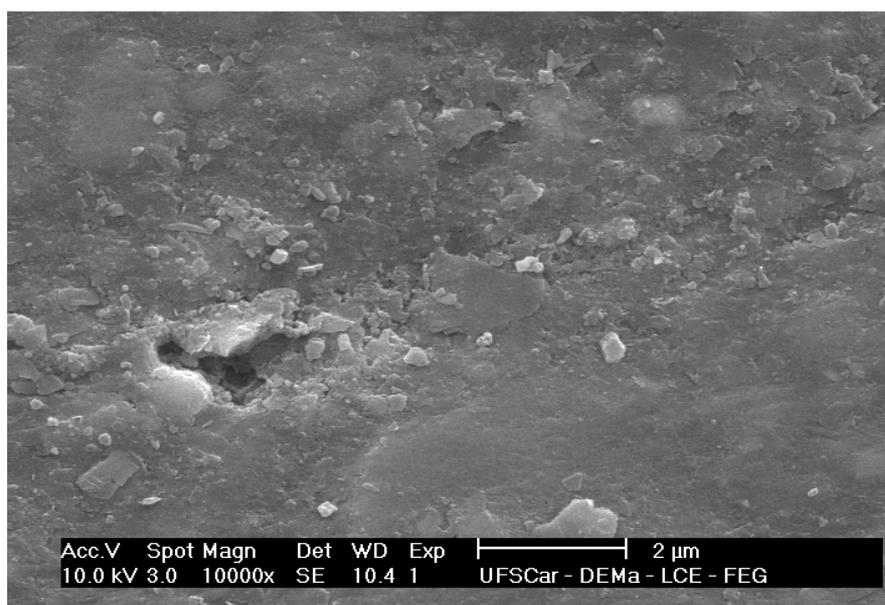


Figura 4.14 – Detalhe do desgaste ocorrido para a resina B após 20 s

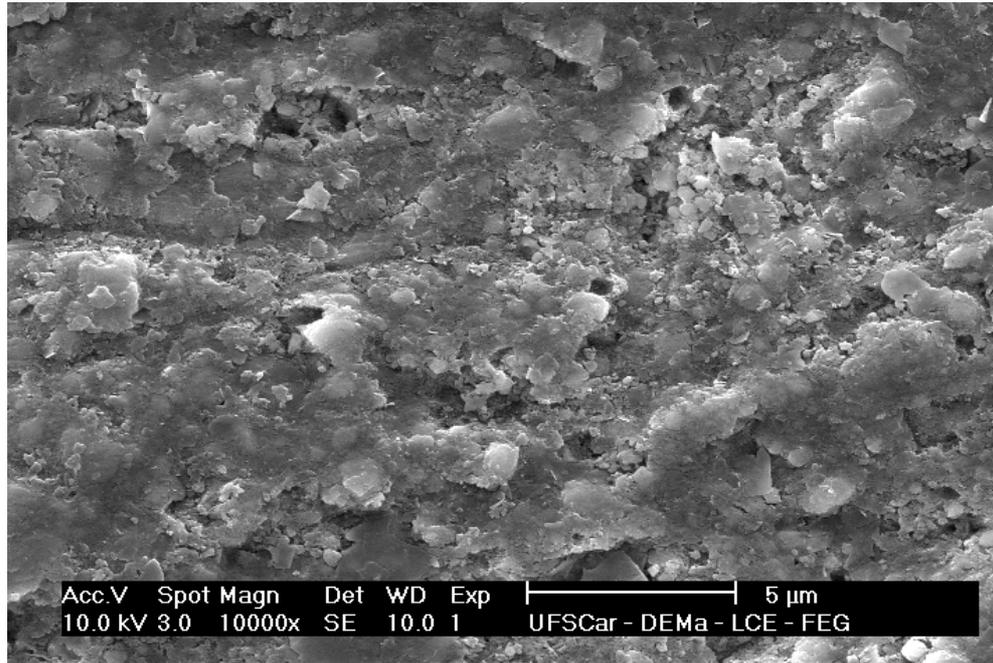


Figura 4.15 – Detalhe do desgaste ocorrido para a resina B após 30 s

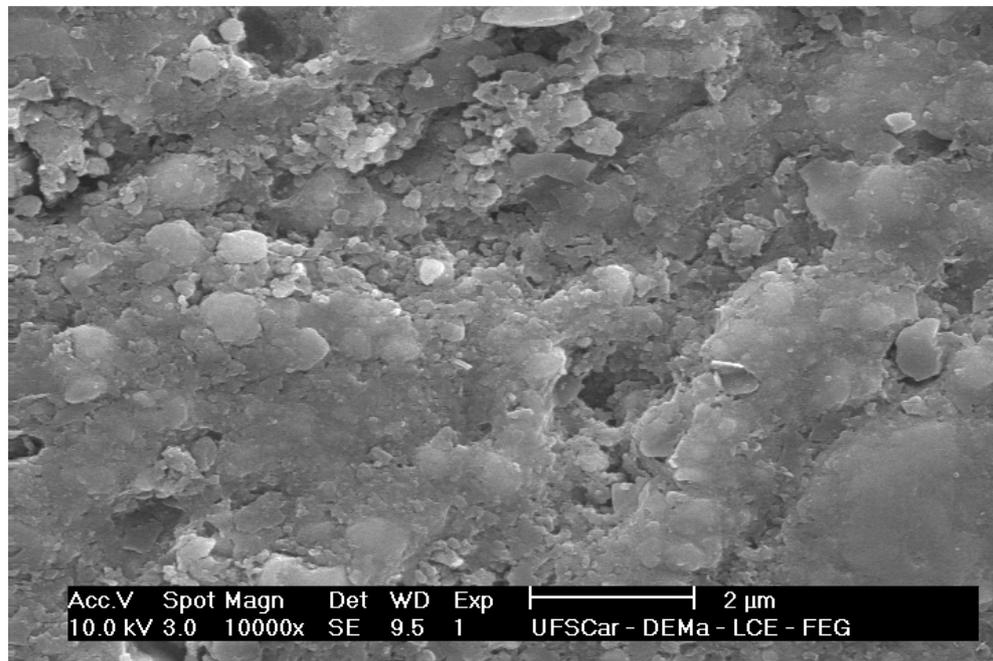


Figura 4.16 – Detalhe do desgaste ocorrido para a resina B após 40 s

A Figura 4.17(a) e (b) apresenta a superfície do compósito C antes e depois de desgastada, fotopolimerizada com o tempo de 20s, evidenciando a superfície polimerizada sem ser desgastada e a superfície desgastada da calota.

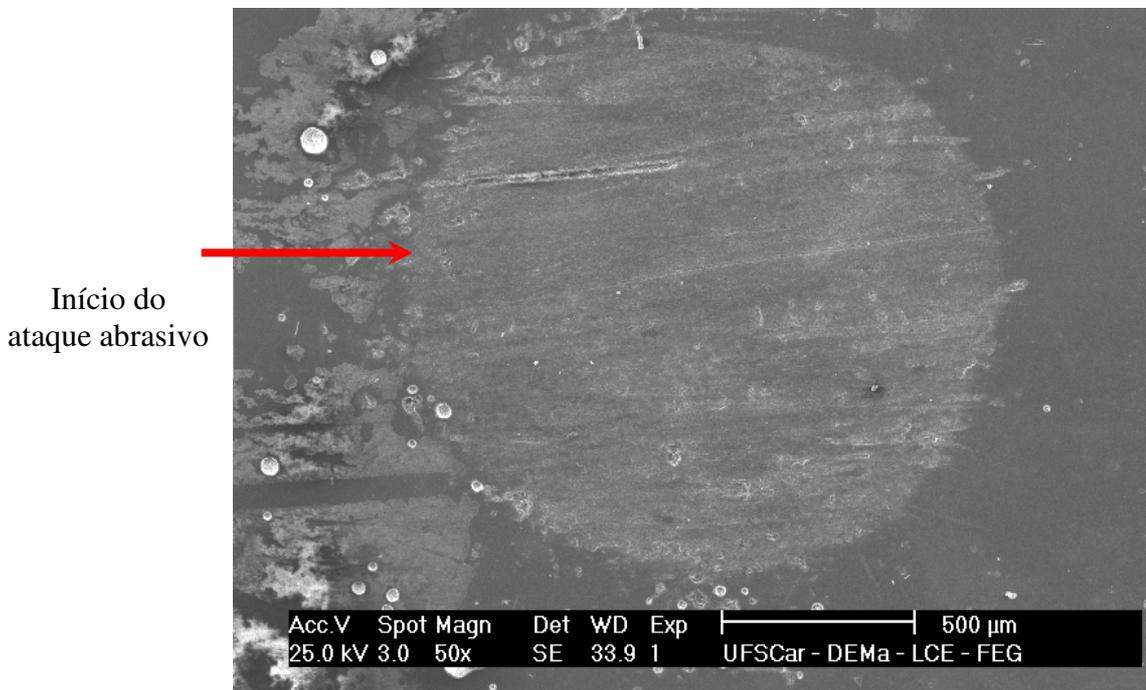
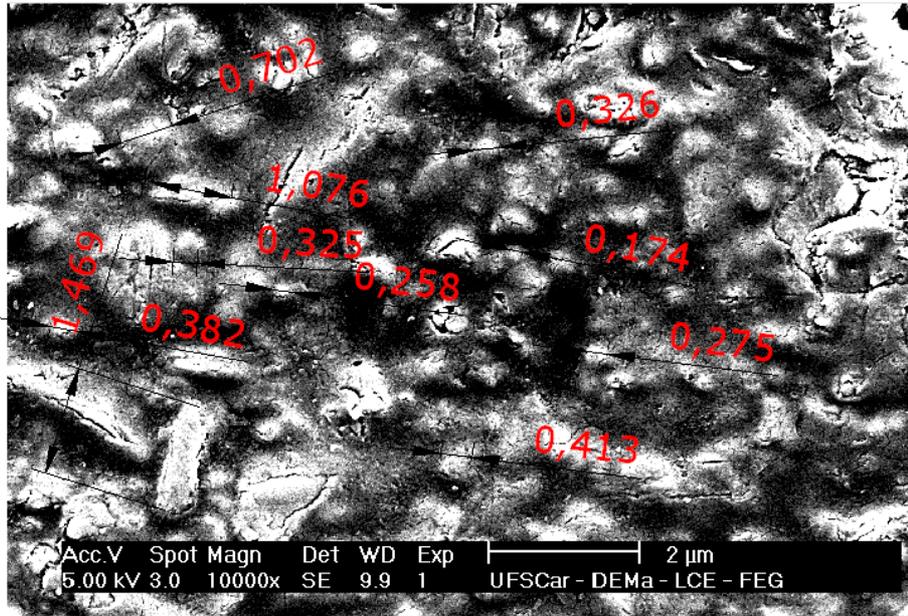


Figura 4.17 – (a) Fotomicrografia da superfície antes do desgaste (b)Fotomicrografia da superfície desgastada do compósito C, com ampliação de 50x, fotopolimerizada com o tempo de 20s.

Na Figura 4.17(b), observa-se uma cratera bem delineada e definida, caracterizada por apresentar riscos de pequenas dimensões descontínuas e cavidades de diversos tamanhos, produzindo indentações e apresentando na superfície o desgaste, por riscamento e por rolamento. Pela Figura 4.23(a), nas dez medições efetuadas, o menor tamanho de grão encontrado foi de 0,174  $\mu\text{m}$  e o maior de 1,476  $\mu\text{m}$ , divergindo das informações apresentadas na tabela 3.1, onde o fabricante informa que o tamanho médio das partículas é de 0,8 $\mu\text{m}$ . Neste caso, o abrasivo não teve muita dificuldade em começar o ataque. Na formação da cratera a mesma não tem uma definição nítida de borda no início do ataque abrasivo e nem no final. Ocorreu, nesse caso, o desgaste da matriz orgânica e o desagregamento das partículas inorgânicas e que foram usadas como partículas abrasivas.

As Figuras 4.18, 4.19 e 4.20, apresentam a superfície do compósito depois do desgaste, fotopolimerizada com os tempos de 20s, 30s e 40s.

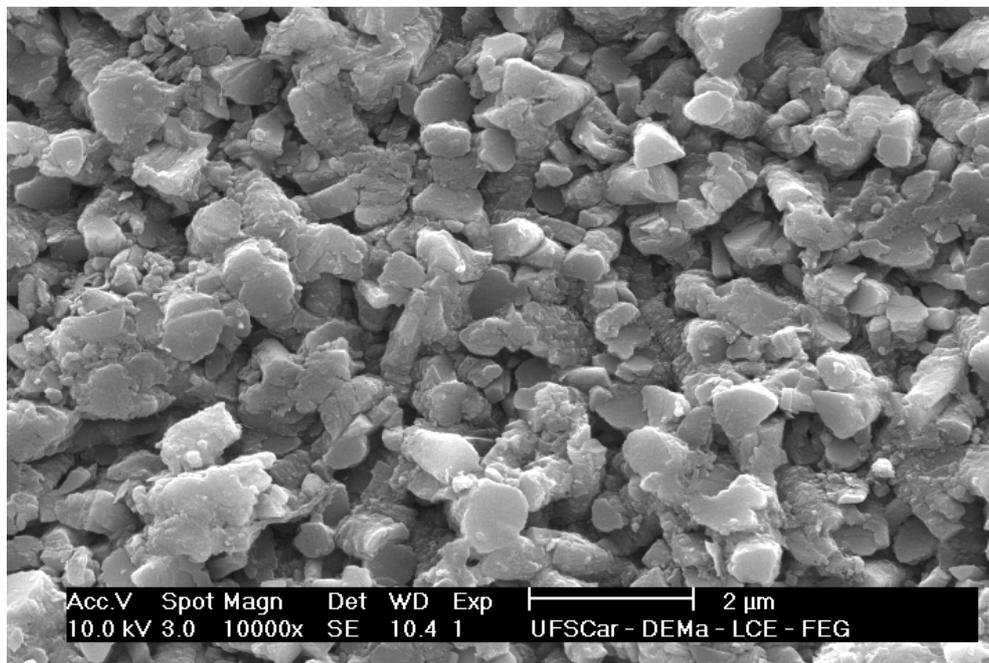


Figura 4.18 – Detalhe do desgaste ocorrido para a resina C após 20s.

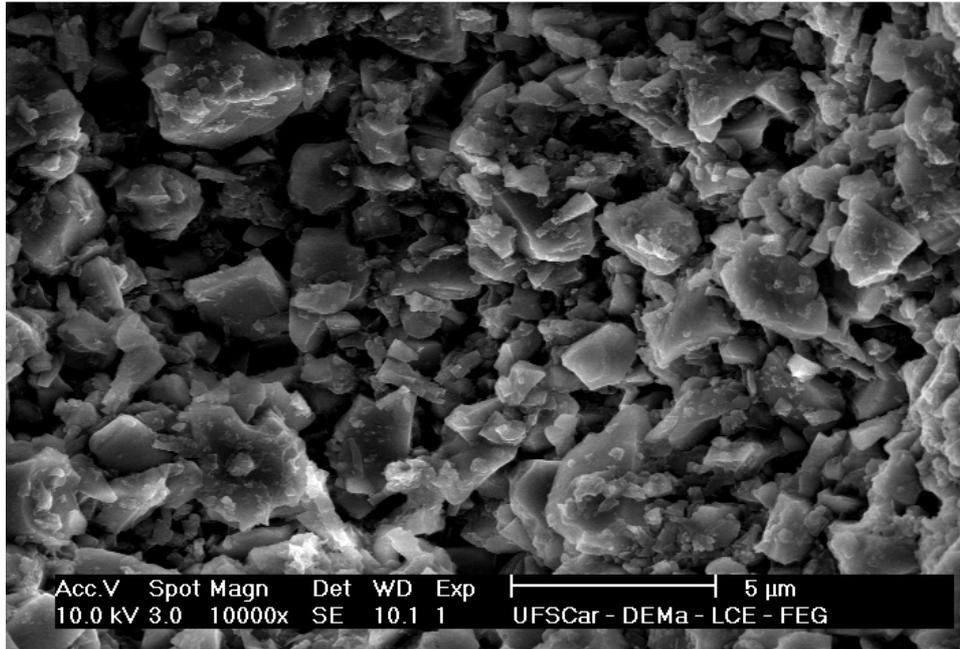


Figura 4.19 – Detalhe do desgaste ocorrido para a resina C após 30s.

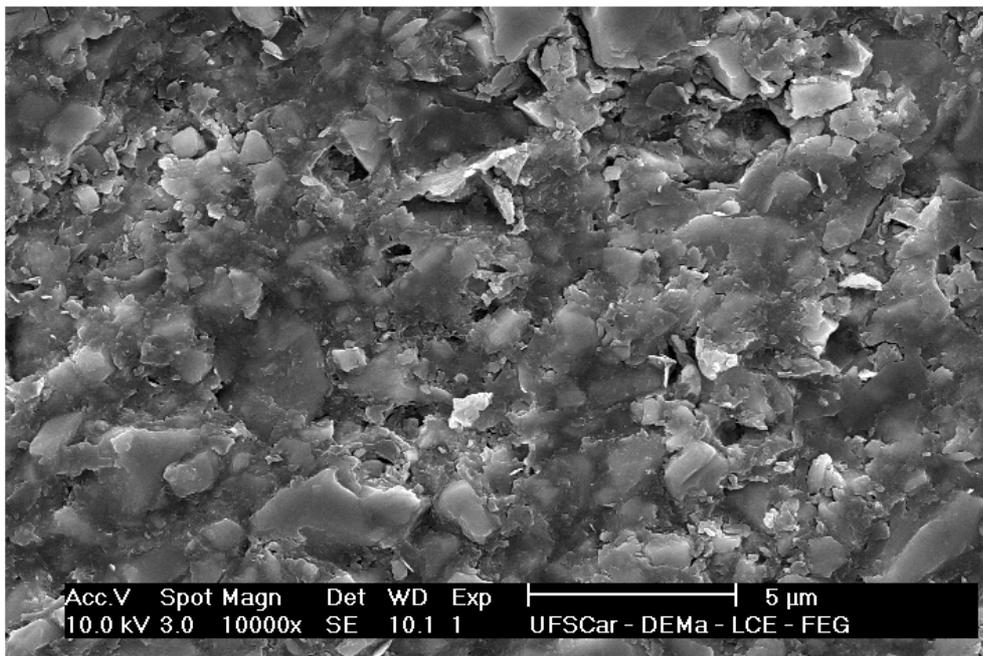


Figura 4.20 – Detalhe do desgaste ocorrido para a resina C após 30s.

Para o compósito C (Figs 4.18, 4.19 e 4.20) ocorreu o desgaste preferencial na superfície do compósito, deixando as partículas salientes. Observou-se o

deslocamento de partículas de vários tamanhos de forma uniforme sobre a superfície desgastada.

A Figura 4.21 (a) e (b) apresenta a superfície do compósito D antes e depois de desgastada e fotopolimerizada com o tempo de 20s.

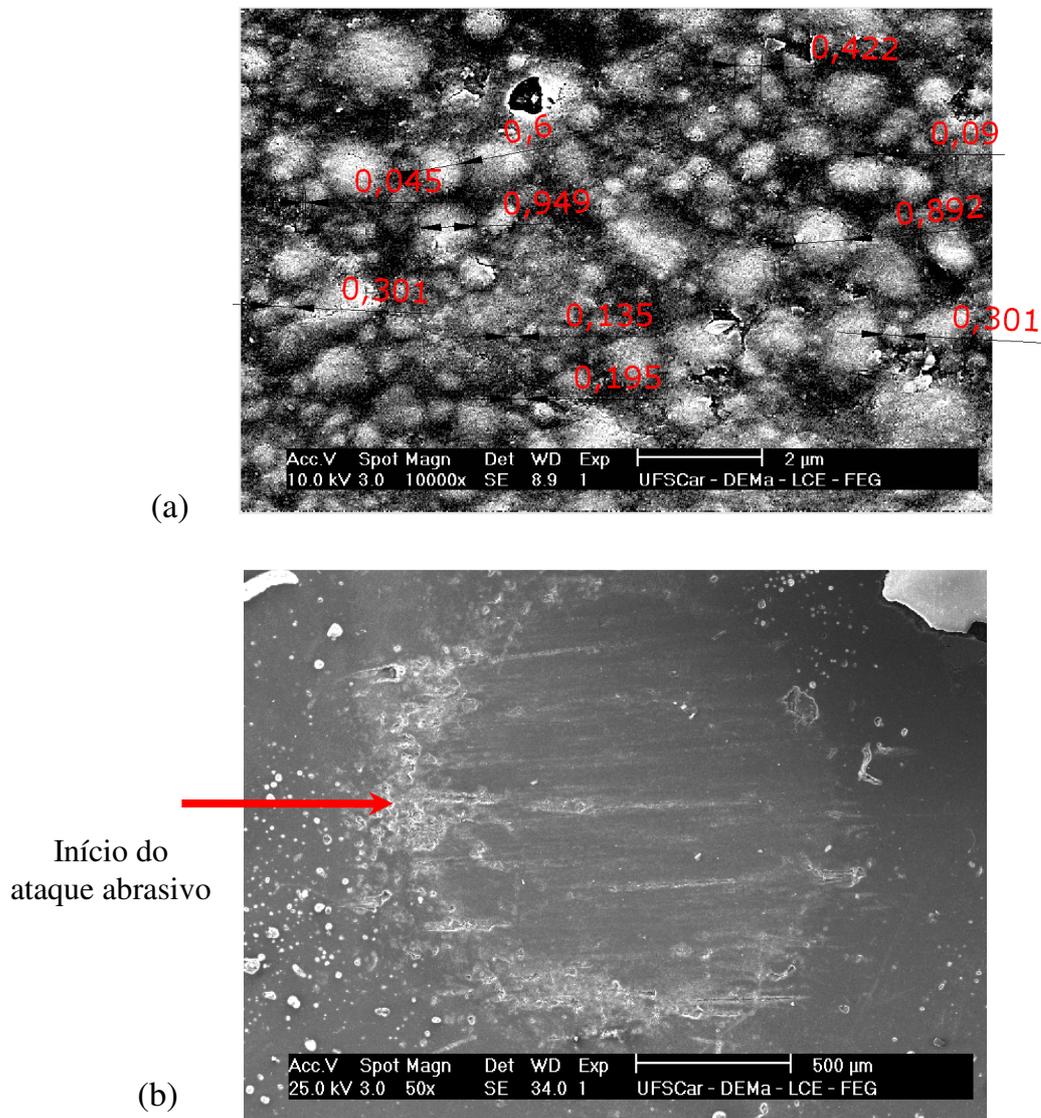


Figura 4.21 - (a) Fotomicrografia da superfície antes do desgaste (b) Fotomicrografia da superfície desgastada do compósito D, com ampliação de 50x., fotopolimerizada com o tempo de 20s.

É possível observar a formação de uma superfície desgastada, de aspecto desuniforme, ocorrendo o riscamento da superfície. Pela Figura 4.21(a), evidenciam-se

as partículas de geometria esférica (tabela 3.1), com tamanho de 0,045 a 0,90 $\mu$ m, não coincidindo com as informações apresentadas na tabela 3.1.

Devido ao seu alto valor do grau de conversão, nota-se que poucos grãos da matriz inorgânica se soltaram, assim poucas partículas abrasivas estiveram presentes, baixando a concentração da lama abrasiva (RAMALHO e ANTUNES 2005), conforme visto na cratera irregular formada no ensaio.

As Figuras 4.22, 4.23 e 4.24 apresentam a superfície do compósito B depois do desgaste. Fotopolimerização ocorrida com os tempos de 20s, 30s e 40s.

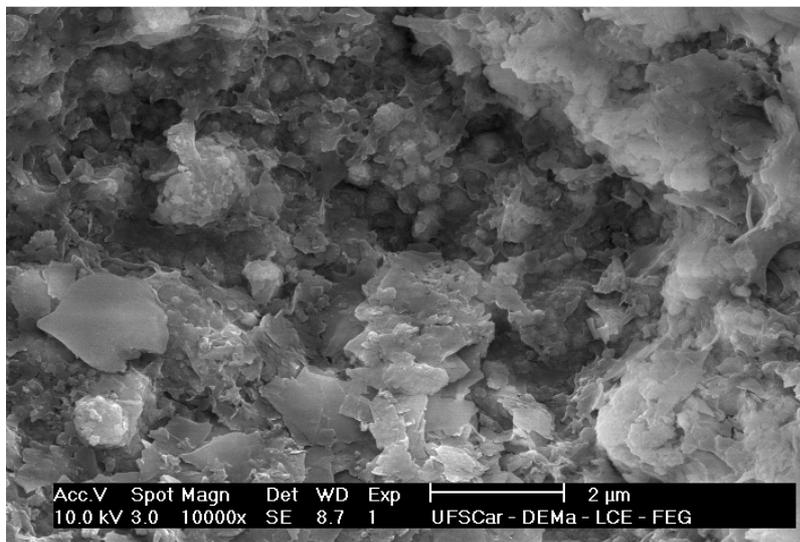


Figura 4.22 – Resina D, fotopolimerizada com 20s. ( Detalhe do desgaste ocorrido)



Figura 4.23 – Resina D, fotopolimerizada com 30s. Detalhe do desgaste ocorrido com ampliação de 10000x.

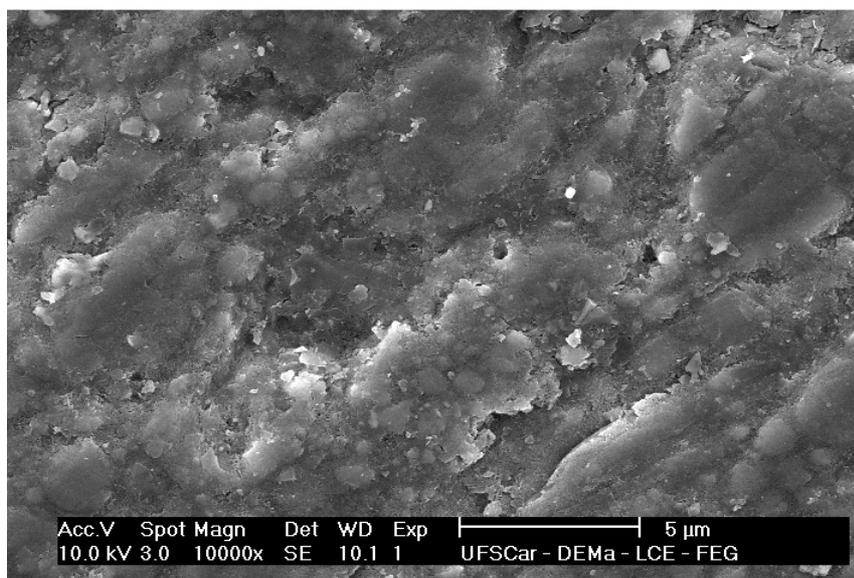


Figura 4.24 – Resina D, fotopolimerizada com 40s. Detalhe dos grãos da resina com ampliação de 10000x.

As Figuras 4.22, 4.23 e 4.24 mostram a superfície da amostra com a formação da borda, evidenciando-se uma estrutura áspera. A distribuição das partículas inorgânicas contidas na resina do corpo de prova ensaiado é aleatória e heterogênea, gerando uma estrutura complexa devido à característica da composição química deste composto. Na superfície predomina o aspecto de escamas, devido ao reforço contido no compósito, que mostra uma superfície com elevado deslocamento e exposição de partículas da matriz inorgânica. Esta resina apresentou os melhores valores de coeficiente de desgaste, É a única, das resinas estudadas, que apresenta partículas de tamanho nanométrico em sua matriz inorgânica, podendo ser visualizada nas figuras citadas.

#### **4.5 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO GRAU DE CONVERSÃO, SOBRE A DUREZA E O COEFICIENTE DE DESGASTE**

A Tabela 4.7 mostra a análise da influência do grau de conversão sobre a microdureza e o coeficiente de desgaste dos compósitos A, B, C e D, quando deverão

ser observados os menores valores de coeficiente de desgaste e os maiores valores de dureza e grau de conversão maiores valores de coeficiente de desgaste para os três tempos de fotopolimerização.

A Tabela 4.7 mostra os valores de microdureza e coeficiente de desgaste e grau de conversão de cada compósito estudado.

<i>Amostra</i>	<i>GC(%)</i>	<i>Micro-dureza (HV)</i>	<i>Ks(m<sup>3</sup>/N.m)</i>
<b>A-20s</b>	<b>65,19</b>	<b>54,67</b>	<b>4,12E-11</b>
<b>A-30s</b>	<b>72,78</b>	<b>50,38</b>	<b>3,52E-11</b>
<b>A-40s</b>	<b>71,72</b>	<b>48,30</b>	<b>2,72E-11</b>
B-20s	74,48	96,32	2,09E-11
B-30s	74,72	107,52	1,75E-11
B-40s	74,76	99,80	2,20E-11
<b>C-20s</b>	<b>60,53</b>	<b>69,48</b>	<b>2,52E-11</b>
<b>C-30s</b>	<b>59,80</b>	<b>77,57</b>	<b>6,42E-11</b>
<b>C-40s</b>	<b>59,59</b>	<b>82,37</b>	<b>1,86E-11</b>
D-20s	88,09	85,21	2,18E-11
D-30s	87,69	91,32	2,04E-11
D-40s	88,11	97,20	1,52E-11

A resina C mostrou os menores valores de grau de conversão e o maior valor de coeficiente de desgaste quando fotopolimerizada com 30s. Os resultados das resinas B e D foram os melhores para os três tempos de fotopolimerização, que mantiveram os melhores valores de grau de conversão, os maiores valores de microdureza e os menores resultados para o coeficiente de desgaste. O que influenciou os resultados foi a composição das partículas de enchimento, pois as resinas B e D contêm em sua composição zircônia e sílica, diferentemente das resinas A e C, que utilizam vidro de bário, alumínio e outros compostos que interferiram nos resultados finais. A resina D, apesar de ter a mesma composição da resina C, teve um melhor comportamento, devido utilização de partículas nanoesféricas e, na sua parte orgânica o acréscimo do

UDMA e o TEGDMA, tornando o material mais fluido, auxiliando uma melhor fotopolimerização e, conseqüentemente um melhor grau de conversão.

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com as metodologias empregadas e resultados obtidos, foi possível concluir-se que:

- a metodologia de micro abrasão por esfera rotativa pelo método de *Ball Cratering*, se mostrou bastante válida neste ensaio;
- a variação da taxa de desgaste entre os compósitos foi influenciada pela fração volumétrica, tipo e tamanho das partículas que constituem os compósitos;
- as resinas A e C, que contém em sua composição inorgânica vidro bário, apresentaram os menores valores de dureza em torno dos 72 HV, com os maiores valores de coeficiente de desgaste dentre os quatro compósitos estudados;
- para as resinas que contém zircônia e sílica em sua formulação (resinas C e D), estas apresentaram os maiores valores de dureza e os menores valores para o coeficiente de desgaste. Pode-se salientar que dentre estas duas resinas a D mostrou um melhor desempenho frente aos ensaios realizados, por conter partículas de zircônia e sílica de formatos nanoesféricos, que podem ser evidenciadas nas fotomicrografias, onde os melhores e maiores valores de grau de conversão (GC) foram obtidos (87,7%);
- a resistência ao desgaste microabrasivo, dos compósitos, depende não só da dureza das partículas de reforço, como também do tamanho destas partículas, da carga aplicada e do abrasivo utilizado;
- o aumento do tempo de fotopolimerização não exerceu grande influência sobre a dureza, desgaste abrasivo e no grau de conversão das resinas estudadas. O que interfere é o tipo e o formato das partículas de carga.

## **SUGESTÃO PARA FUTUROS TRABALHOS**

Usar o método de desgaste por *Ball Cratering* utilizando as pastas dentárias comerciais como abrasivo nas resinas nonoparticuladas.

## REFERÊNCIAS

ADACHI K. HUTCHING I.M. Sensitivity of wear rates in the micro-scale abrasion test to test conditions and material hardness - **Wear** 258 (2005) 318–321

AL-HIYASAT, A. S. DARMANI, H. MILHEM, M. N. Cytotoxicity evaluation of dental resin composites and their flowable derivatives. **Clinical Oral Investigations**, Berlin, Volume 9, Number 1 / March, 2005

AMIROUCHE-KORICHI A, MOUZALI M, WATTS D.C., Effects of monomer ratios and highly radiopaque fillers on degree of conversion and shrinkage-strain of dental resin composites. *Dent Mater.* 2009 Nov; 25(11):1411-8.

ANUSAVICE, J. K., Phillips' science of dental materials. 11ed. Pennsylvania: **W. B. Saunders Company**. (2005).

ATAI. M; YASSIMI. E.; WATTS. D.C. The effects of leucine-containing ceramics filler on the abrasive wear of dental composites, **WEAR**, (2006)

BRACKET, M.G. BIOULEGNET, S. LOCKWOOD, P.E. ROTEMBERG, S., LEWIS J.B. MESSER, R.L. WATAHA, J.C. In vitro cytotoxicity of dental composites based on new and traditional polymerization chemistries. **Journal Biomed Mater Res Part B**, 397-402, 2007

CONCEIÇÃO, E. M. Dentística: Saúde e estética. São Paulo: **Artes Médicas**, 2000.

COZZA, R. C. Estudo do comportamento do coeficiente de desgaste e dos modos de desgaste abrasivo em ensaios de desgaste micro-abrasivo. São Paulo, 2006. 192 p. Dissertação (Mestrado) – **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

DOGAN, C. P., HAWK, J. A. Microstructure and abrasive wear in silicon nitride ceramics. **Wear**, 250, 256 - 263, 2001.

EHRNFORD L. An abrasion test for composite resin. **JOURNAL DENTAL RESEARCH**, 1980.

FLOYD CJ, DICKENS SH. Network structure of Bis-GMA- and UDMA-based resin systems. **Dent Mater.** 2006 Dec;22(12):1143-9.

GARCIA A. H., LOZANO A.M., VILA J.C., ESCRIBENO A.B., GALVE P.F., Composite resins. A review of the materials and clinical indications **MED ORAL PATOL ORAL CIR BUCAL** 2006.

GEE, M. G., GANT, A. J., HUTTCHINGS, I. M., KUSANO, Y., SCHIFFMAN, K., VAN ACKER, K., POULAT, S., GACHON, Y., VON STEBUT, J., HATTO, P., PLINT, G. Results from an interlaboratory exercise to validate the micro-scale abrasion test. **Wear**, 259, 27 - 35, 2005.

HEINTZE S.D., ZAPPINI T; ROUSSON M. J, How to quality and validate wear simulation devices and methods . **DENTAL MATER** 2006).

HOFMANN N, SIEBRECHT C, HUGO B, KLAIBER B. Influence of curing methods and materials on the marginal seal of class V composite restorations in vitro. **Oper Dent** 2002;28:160–167.

HUTCHINGS, I. M. Tribology - Friction and Wear of Engineering Materials. 7th. edition. London: **Edward Arnold**, 1992.

IMAZATO S, McCABE J.F, TARUMI H, EHARA A, EBISU S. Degree of conversion of composites measured by DTA and TIR. **Dent Mater.** 2001;17:178-83.

KASSMAN, J. A, S. HEDENQVIST, P.; OLSSON, M., A new test method for the intrinsic abrasion resistance of thin coatings, **Surf. Coat. & Technol.**, 50 (1991)

KATO K, KAKUTA K, OGURA H. Effect of material and configuration of antagonist on combined wear. **Dent Mater J** 2005;24:368-76.

KRUSCHOV, M. M. Resistance of metals to wear by abrasion as related to hardness. In: Conference on lubrication and wear, London, 1957, **Proceedings, Institution of Mechanical Engineering**, p. 655 - 659.

KUSANO Y., HUTCHINGS, I. M. Sources of variability in the free-ball micro-scale abrasion test. **Wear**, 258, 313 - 317, 2005.

LAMBRECHT, P., GOOVAERTS, K., BHARADWAJ.D., DE MUNCK, J., BERGMANS, L., PEUMANS, M., B. VAN MEERBEEK, B. Degradation of tooth structure and restorative materials: A review . Department of Operative Dentistry and Dental Materials, **BIOMAT Research Cluster**, Katholieke Universiteit Leuven, U.Z. St. Rafaël, 3000 Leuven, Belgium.

LEROY C., SHCIFFMAN K.I., ACKER K.V., STEBUT. J.V. *Ball Cratering* an efficient toolfor 3 body microabrasion of coated system, **WEAR** 2005

MAIR L.H., Wear patterns in two amalgams am there posterior composites afther 5 yers **Clinical Service J Dental** 1996

MAYWORM C, CAMARGO S., BASTIANI F. Influence of artificial saliva on abrasive wear microhardness of dental composites fillers with nanoparticle. **SIENCE DIRECT** 2008;

LAMBRECHTS P., DEBELS E., LANDUYT K.V., PEUMANS M., MEERBEEK B.V., Simulate wear? Overview of existing methods. **DENTAL MATER** 2006.

MONDAL, D. P., et al., Abrasive wear of Al alloy- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle composite: a study on the combined effect of load and size of abrasive. **Wear abrasive**, nº 223, 1998, p.131-138.

NASCIMENTO F, PFEIFER J. M. G. A, AGUIAR K. M, GONÇALVES R.A - Resistência ao Desgaste de Materiais Odontológicos Comparados aos Esmaltes Dentário Humano e Bovino - **IBERTRIB 2005 – III CONGRESSO IBÉRICO DE TRIBOLOGIA Guimarães-PT.**

OBICI, A.C. et al. Degree of conversion and knoop hardness of Z-250 composite using different photo-activation methods. **Polymer testing**, n.24, p.814-818, 2005.

PEUTZFELDT, A. Resin composites in dentistry; The monomer systems. **Eur J. Oral Sci**, v. 105, n. 2, p. 97- 116, 1997.

PEUTZFELDT, A;SAHAFI, A; ASMUSSEN,E. Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. **Dent. Mater**; v.16, p.330-336,2000.

PEUTZFELDT A, ASMUSSEN. E. Investigations on polymer structure of dental resinous materials. **Trans Dent Mater**, v. 18, p. 81-104, 2004.

PINTAÚDE, G. Análise dos regimes moderado e severo de desgaste abrasivo utilizando ensaios instrumentados de dureza. São Paulo, 2002. **Tese de Doutorado - EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.**

RAMALHO, A;ANTUNES P. V; Influencia da cura de compósitos posteriores na dureza e micro abrasão. **Universidade de Coimbra – 2003.**

RAMALHO, A; ANTUNES P. V; Study of abrasive resistance of composites for dental restoration by ball-cratering – **WEAR** – 2005.

RUDELL D.E.; MALONEY M.M.; THOMPSON J.Y. Effect of novel filler particles on the mechanical and wear properties of dental composites. **Dental Materials**, Volume 18, Number 1, January 2002, pp. 72-80(9).

RUTHERFORD, K.L.; HUTCHINGS I.M. Theory and application of a micro-scale abrasive wear test. **Journal of Testing and Evaluation**, JTEVA, 25, 2, 250 - 260, 1997.

SARRET D.C, SÖDERHOLM K.J.M., BATICH C.D., Water and abrasive effects on three-body wear of composites. **JOURNAL OF DENTAL RESEARCH** , 1991

SGARBI, S. C. **Avaliação do grau de conversão de uma resina composta fotoativada por lâmpada halógena de LEDs, por meio de espectrometria no infravermelho e ultravioleta**, 2006. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, curso de Mestrado em Odontologia – área de Concentração em Clínica Integrada, Ponta Grossa. 2006.

SIDEROU. I. TSERKI. V. PAPANASTASIOU. G. Effect of chemical structure on degree of conversion in light-cured dimethacrylate-dental resin. **Elsevier** 1818-1829, 2002.

SILIKAS, N; ELIADES, G; WATTS, D.C. Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. **Dent. Mater.**, v.16, p.292-296, 2000.

SILVA JR. W.M - Efeito da pressão de compactação e tamanho do pó de ferro na micro-abrasão do ferro sinterizado oxidado a vapor. Uberlândia, 2003. **Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia**.

SILVA, W. M. DA, MELLO, J. D. B. DE, Simulação de Desgaste Abrasivo Via Eventos Múltiplos, **Ciência e Tecnologia dos Materiais**, vol. 18, nº 1/2, 2006.

SILVA, W. M., BINDER, R. E DE MELLO, J. D. B., Abrasive Wear of Steam Treated Sintered Iron. **WEAR**, v 258, p 166-177, 2005.

STACHOWIAK G.W., G.W., STACHOWIAK; Wear mechanism in *Ball Cratering* test with large abrasive particles, **WEAR**, 2001

STAHL et al. Light-emitting diode (LED) polymerisation of dental composites: flexural properties and polymerisation potential. *Biomaterials*, **Bristol**, v.21, n 3., p. 1379-1385, 2000.

TARLE, Z.; MENIGA, A.; KNEZEVIC, A.; SUTALO, J.; RISTIC, M.; PICHLER, G. Composite conversion and temperature rise using a conventional, plasma arc, and an experimental blue LED curing unit. **J. Oral. Rehabil.** v.29, p.662 - 667, 2002.

TESHIMA, W. et al. ESR study of camphorquinone/amine photoinitiator systems using blue light-emitting diodes. **Biomaterials**. v. 24, no. 12, p. 2097-2103, May 2003.

TOLOSA M.C. PAULILLO L.A. GIANNINI M. SANTOS A.J. DIAS C.T. Influence of composite restorative materials and light-curing units on diametrical tensile strength. **Braz Oral Res**. 2005 Apr-Jun;19(2):123-6. Epub 2005 Sep

TURSSI C.P, PURQUERIO B.M, SERRA M.C, Wear of Dental Resin Composites: Insights into Underlying Processes and Assessment Methods—A Review. Wiley Periodicals, Inc. **J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater** 65B: 280–285, 2003.

TURSSI C.P; FERRACANE J. L.; VOGEL. K.; Fillers fetures and their effects os wear and degree of conversion of particulate dental resin composites. **WEAR** 2005

VANDEWALLE, K.S, ROBERTS, H.W, ANDRUS, J.L, DUNN W.J. Effect of light dispersion of LED curing lights on resin composite polymerization. **J Esthet Rest Dent.** 2005; 17(4):244-54.

VINAGRE, A., RAMOS, J. C., CHAMBINO, A., FAUSTINO, A., **Diodos emissores de luz (LED) para fotopolimerização**, Departamento de Medicina Dentária, Estomatologia e Cirurgia Maxilo-Facial da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra 2004.

YAP, A. U. J. Occlusal contact area (OCA) wear of two new composite restoratives. **Journal of Oral Rehabilitation.** v.29 Issue 2, p. 194 – 200.

ZUM-GAHR, K. H. Microstructure and wear of materials. Siegen, Federal Republic of Germany, Institute of Materials Technology. **University of Siegen**, 1987. v. 10.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)