

# COMPARAÇÃO DE ESPESSURA DE PELÍCULA E DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CIMENTOS VEDANTES DE IONÔMERO DE VIDRO CONVENCIONAL VERSUS REFORÇADO COM RESINA<sup>1</sup>

Gustavo Tedesco de Carvalho 2

Tsuneharu Ogasawara 3

## Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar, em cimentos utilizados exclusivamente para cimentação de trabalhos protéticos indiretos, as reais melhorias mecânicas dos ionômeros modificados com resina em relação aos ionômeros convencionais. Desenvolvimentos termodinâmicos foram realizados para melhor compreender os vidros componentes dos cimentos estudados, bem como melhor interpretar resultados experimentais. O trabalho experimental realizado com três cimentos (Ketac Cem – ESPE, Fuji Plus – GC e Vitremer – 3M) caracterizados como cimentantes, isto é, utilizados na cimentação de trabalhos odontológicos indiretos, consistiu em: caracterização do pó original dos cimentos através de microscopia eletrônica de varredura; determinação da espessura de película de cimentação; análise por microscopia ótica de seções de corte de amostras de cimento curado; e ensaios de resistência à compressão em amostras de cimento curado. Foram obtidos os resultados de análises estatísticas dos dados coletados sobre espessura de película de cimento vedante e da resistência à compressão do mesmo. Concluiu-se que a espessura de película do cimento Vitremer é significativamente menor do que aquela do cimento Ketac Cem, que por sua vez é significativamente menor do que a do cimento Fuji Plus; a resistência à compressão do cimento Fuji plus é significativamente maior do que aquela do cimento Vitremer, que é por sua vez significativamente maior do que aquela do cimento Ketac Cem.

**Palavras-chave:** Cimentos de ionômeros de vidro convencionais; Cimentos de ionômeros de vidro reforçado com resina; Espessura de película; Resistência à compressão.

## COMPARATIVE EVALUATION OF FILM THICKNESS AND COMPRESSIVE STRENGTH OF GLASS IONOMER LUTING CEMENTS, CONVENTIONAL VERSUS RESIN MODIFIED GLASS IONOMER

### Abstract

The objective of this work was to evaluate, in cements exclusively used for luting indirect prosthetic works, the effective mechanical improvements of resin modified glass-ionomer compared to those of conventional glass-ionomers. Thermodynamic developments were carried out in order to better understand the glass components making part of the glass ionomer cements. The experimental work performed with 3 luting cements (Ketac Cem – ESPE, Fuji Plus – GC and Vitremer – 3M) consisted of characterization of the original cement powders by SEM; determination of the thickness of the luting cement; optical microscopy analysis of the cross sections from cured cement samples; and compression strength tests on cured cement samples. From collected data, results of the statistical analyses on luting cement thickness and on compressive strength of the cements studied. The following conclusions were achieved: Vitremer cement thickness is significantly smaller than that of Ketac Cem cement, which in turn is significantly smaller than that of Fuji Plus; the compressive strength of the Fuji Plus cement is significantly higher than that of Vitremer cement, which in turn is significantly higher than that of Ketac Cem cement.

**Key words:** Conventional glass-ionomer cements; Glass-ionomer cements resin-modified; Luting thickness; Compression strength.

<sup>1</sup> Contribuição técnica apresentada na 61ª Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

<sup>2</sup> Dentista, M.Sc. em Eng. Metal. e de Materiais, Universidade Estácio de Sá

<sup>3</sup> D.Sc., Prof. Adjunto, PEMM/COPPE/UFRJ.

## 1 INTRODUÇÃO

Os cimentos de ionômero de vidro se tornaram disponíveis a partir dos estudos pioneiros de Wilson e Kent, <sup>(1)</sup> em Londres, no final da década de 1960, mas só vieram a ser comercializados por volta de 1975.

O presente trabalho é parte integrante da dissertação de mestrado de Carvalho<sup>(2)</sup> e teve por objetivo avaliar, em cimentos utilizados exclusivamente para cimentação as reais melhorias mecânicas dos ionômeros modificados com resina em relação aos ionômeros convencionais.

O pó do cimento ionomérico de vidro convencional é constituído por um vidro de alumino-silicato,<sup>(3-5)</sup> possuindo três constituintes essenciais: sílica, alumina e fluoreto de cálcio e composição básica:  $4,5\text{SiO}_2-3\text{Al}_2\text{O}_3-1,5\text{P}_2\text{O}_5-(5-z)\text{CaO}-z\text{CaF}_2$ .

O líquido do cimento ionomérico de vidro convencional é composto essencialmente de ácido poliacrílico e aditivos ácidos, como o ácido itacônico, que tem por função diminuir a viscosidade do líquido, e o ácido tartárico (5 a 10% <sup>(6)</sup>). Ionômeros anidros pós: de (vidro + ácido poliacrílico/aditivos seco).

Problemas inerentes aos cimentos de ionômero de vidro convencionais levaram ao desenvolvimento de cimento de ionômero de vidro reforçados por resina.<sup>(7-10)</sup> Ionômero de vidro modificado por resina é o nome dado àqueles materiais que consistem substancialmente de componentes de ionômero de vidro,<sup>(11)</sup> isto é, ácido polimérico solúvel em água, vidro de íons lixiviáveis e água, junto com monômeros orgânicos polimerizáveis e seu sistema de iniciação associado.<sup>(12-18)</sup> Todos os cimentos ionoméricos reforçados com resinas têm resistências de flexão/tração e tenacidade à fratura maiores do que os ionômeros de vidro convencionais.<sup>(19,20)</sup> A rigidez dos ionômeros de vidro modificados com resina tende a ser menor (menor módulo elástico) do que aquela dos compósitos.<sup>(21)</sup>

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Dois cimentos de ionômero de vidro modificados pela adição de polímeros resinosos, Fuji plus – GC e Vitremer (rely X luting cement) – 3M, foram estudados e avaliados comparativamente aos resultados do cimento ionomérico convencional Ketac Cem – ESPE, todos específicos para a cimentação de próteses dentárias.

Avaliações dos pós referentes aos três cimentos foram realizadas por meio de microscopia eletrônica de varredura (tamanho médio das partículas → efeito na espessura de película do cimento vedante), além da avaliação microscópica ótica da estrutura interna de corpos de prova idênticos àqueles dos ensaios de compressão.

Testes de compressão e espessura de película determinados pela ISO 9917, para avaliação de cimentos odontológicos à base de água foram escolhidos para comparação dos materiais estudados.

Três matrizes em resina acrílica, uma para cada um dos três cimentos estudados foram confeccionadas de forma a apresentarem internamente as mesmas dimensões dos corpos de prova utilizados nos ensaios de compressão (4mm de diâmetro por 6 mm de comprimento). Os ensaios para a avaliação da espessura da película apresentada pelos cimentos estudados basearam-se na norma ISO 9917 para cimentos à base de água. Doze ensaios foram realizados para cada tipo de cimento estudado, seguindo as orientações dos fabricantes, e pesados de maneira que em todos os testes a massa de cimento utilizado fosse igual a 1 grama.

Pares de placas de vidro com dimensões de 200mm x 200mm, e espessura de 5mm, foram separadas, unidas com fita adesiva externamente e tiveram a sua

espessura conjunta global avaliada por um micrômetro Mitutoyo – Digimatic Micrometer com acuidade de 1  $\mu\text{m}$ . As medidas iniciais foram anotadas nas fitas adesivas em cada uma das quatro arestas das placas, e a posição das placas cuidadosamente marcadas com caneta marcadora de retroprojektor de forma que após a colocação do cimento entre elas, a orientação relativa das placas entre si fosse mantida, coincidindo lados, arestas e cantos.

Depois da pesagem e manipulação (ao redor de 23°C), o cimento foi colocado sobre uma das placas do par, e pressionado pela outra por meio de um sistema onde uma força de 150N foi aplicada verticalmente sobre a placa horizontal superior. Decorridos dez minutos da aplicação da força sobre o cimento, a carga foi removida e a espessura das arestas foi medida novamente, com o mesmo micrômetro utilizado, entretanto com a presença do cimento entre as placas.

Testes de resistência à compressão de quinze corpos de prova de cada cimento estudado foram feitos no laboratório do IMAPEM-UFRJ, na máquina de ensaios Instron 4204, seguindo as normas ISO 9917 como descritas.

Cinco matrizes (5cm de diâmetro) em silicone de adição (Honigum-3M/ESPE) foram confeccionadas, por meio da duplicação de um cilindro plástico, de 6 mm de altura por 4 mm de diâmetro, com a finalidade de obtenção de corpos-de-prova cilíndricos nas mesmas dimensões, tendo-se o cuidado de utilizar o mesmo padrão plástico para a obtenção das cinco matrizes, evitando assim discrepâncias no padrão inicial. O material elástico foi manipulado rigorosamente seguindo as instruções do fabricante, e introduzido numa forma plástica pré-confeccionada, sobre uma placa de vidro. Anteriormente à catalisação do silicone, o padrão plástico com as dimensões de 4mm de diâmetro e 6mm de altura foi introduzido no centro da forma e pressionado por uma segunda placa de vidro. As placas de vidro limitadas por padrões de 6mm de altura foram utilizadas para manter um paralelismo entre as superfícies superior e inferior das matrizes, objetivando posterior obtenção dos corpos-de-prova com superfícies paralelas entre si.

A polimerização dos elastômeros foi feita com o dobro do tempo estipulado pelo fabricante para a presa final do material, a uma temperatura de 25°C, totalizando 20 minutos. Foram esperados 20 minutos após a remoção de cada corpo-de-prova para que o material polimérico voltasse às suas dimensões originais.

Os cimentos foram manipulados a 23°C, sob umidade relativa de 45 a 55%. Após a manipulação, o material foi introduzido nas matrizes com o auxílio de uma seringa (Centrix), a fim de minimizar bolhas de ar no interior dos corpos de prova. Imediatamente após o preenchimento das matrizes sobre uma placa de vidro, uma outra placa de vidro foi posicionada sobre as matrizes, limitada por batentes externos com altura exata de 6mm, procurando manter o paralelismo entre as placas, dando corpos-de-prova com superfícies paralelas entre si. Decorridos 60 minutos após a manipulação dos cimentos, os corpos-de-prova foram removidos de suas matrizes, imersos em saliva, e mantidos durante 23 horas a 37°C numa estufa, tendo-se o cuidado de identificar a matriz de origem dos padrões confeccionados.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados no laboratório do IMAPEM-UFRJ 24 horas após a mistura inicial, utilizando-se a máquina Instron 4204, com uma velocidade de 1,00 mm/minuto até a ruptura final das amostras.

### **3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Os três cimentos estudados revelaram-se microestruturalmente apropriados no quesito distribuição de tamanho de partículas, tendo partículas grandes de 15 $\mu\text{m}$ ,

partículas intermediárias e partículas finas de 1µm. A variabilidade granulométrica dá um empilhamento mais denso de partículas na película de cimento.

A American Dental Association<sup>(22)</sup> determina que as partículas do pó de vidro deveriam ser menores do que 45 µm para um cimento de preenchimento e menores do que 15µm para um cimento de fina granulação para cimentação. A Tabela 1 apresenta os resultados de espessura de película dos três cimentos ionoméricos estudados: o cimento Fuji Plus apresenta maior espessura de película, seguido de Ketac Cem, cabendo ao Vitremer a menor espessura.

**Tabela 1.** Ensaio de espessura de película (em µm)

Amostra	Ketac cem	Fuji plus	Vitremer
1	23	25	20
2	24	24	22
3	24	25	22
4	24	25	22
5	23	24	21
6	22	23	21
7	24	25	22
8	23	24	21
9	23	26	22
10	24	25	22
11	24	24	20
12	23	26	21
Média	23,42	24,67	21,33
Desvio Padrão	0,6686	0,8876	0,7785

A análise de mão única de variância (ANOVA) com o teste de múltipla faixa de Tukey (utilizada em trabalhos precursores<sup>(1,19,20,23-25)</sup>) foi usada para determinar a significância dos resultados obtidos, com um nível de precisão de 95% (alfa = 0,05). Os resultados foram inseridos no programa Primer of Biostatistics, que concluiu (Tabela 2) que as diferenças apresentadas entre os cimentos são significativas tanto entre Ketac Cem e Fuji Plus, como entre Fuji Plus e Vitremer; e Ketac Cem e Vitremer; o cimento Vitremer é melhor que o cimento Ketac Cem, que é melhor que o cimento Fuji Plus quanto à espessura de película dente-restauração.

A correlação entre espessura de película e o tamanho máximo da partícula do pó está evidente: as espessuras médias (25 µm) são superiores aos 15 µm. A espessura menor obtida com o cimento Vitremer está coerente com o menor tamanho médio de suas partículas.<sup>(2)</sup> A explicação para o melhor desempenho do cimento Ketac Cem em relação ao Fuji Plus vem do reforço da matriz polimérica com a resina (mais difícil o escoamento do compósito partículas vidro-polímero resinoso

As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam os resultados dos ensaios de compressão dos cilindros dos cimentos curados, Ketac Cem, Fuji Plus e Vitremer, fornecidos pelo programa do computador acoplado à máquina Instron 4204.

A tabela 6 compara os resultados de tensão máxima de compressão dos três cimentos pela análise de mão única da variância (ANOVA) com o teste de múltipla faixa de Tukey (usada em trabalhos precursores<sup>(19,23-26)</sup>) para determinar a real significância dos resultados obtidos, com um nível de precisão de 95% (alfa < 0,05), através do programa Primer of Bioestatics, onde se observa a existência de diferenças significativas dos mesmos entre si no que se refere a esta propriedade. O melhor resultado pertence ao Fuji Plus, enquanto que o Vitremer é o segundo

cimento mais resistente, o Ketac Cem na condição de cimento menos resistente; é importante o reforço da matriz polimérica com resina.<sup>(27)</sup>

**Tabela 2.** Análise estatística da espessura de película (ANOVA – Tukey).

Análise de Variância (ANOVA)						
Grupo	N	Média	DP	SEM		
1	12	23,42	0,6686	0,193		
2	12	24,67	0,8876	0,2562		
3	12	21,33	0,7785	0,2247		
Fonte de Variação		SS	DF	MS		
Entre grupos		10,97	11			
No grupo		77,33	24			
Tratamentos		68,06	2	34,03		
Resíduo		9,278	22	0,4217		
Total		88,31	36			
F = (MStrat/MSres) = (34,03/0,4217) = 80,689					P = 0,000	
Comparação múltipla – Tukey						
Comparação	diferenças médias		SE	p	q	P<0,05
2 versus 3	24,67 – 21,33 = 3,333		0,1875	3	17,781	Sim
2 versus 1	24,67 – 23,42 = 1,25		0,1875	3	6,668	Sim
1 versus 3	23,42 – 21,33 = 2,083		0,1875	3	11,113	Sim
Grau de liberdade = 22						

**Tabela 3.** Resultados dos ensaios de compressão em cilindros curados do cimento Ketac Cem.

Amostra	Carga Máx. (kN)	Desl. na Max. (mm)	Tensão Máx. (MPa)	% Deform. na Máx. (%)	Carga Escoamento (kN)	Desl. no escoamento (mm)	Tensão Escoamento (MPa)	% Deform. Escoamento	Módulo de Young
1	0,3595	0,1096	28,61	1,827	0,3550	0,1072	28,2500	1,787	2344,00
2	0,4368	0,1070	34,76	1,783	---	---	---	---	3158,00
3	0,3801	0,6218	30,25	10,360	0,0075	0,1580	0,5984	2,633	36,51
4	0,6196	0,1620	49,31	2,700	0,6105	0,1595	48,5800	2,658	3066,00
5	0,3618	0,6939	28,79	11,570	0,0103	0,0633	0,8229	1,055	128,30
6	0,2772	0,6222	22,06	10,370	0,0066	0,3346	0,5236	5,577	30,27
7	0,4498	0,0868	35,79	1,447	0,4426	0,0863	35,2200	1,438	2449,00
8	0,4673	0,1159	37,19	1,932	0,4599	0,1119	36,6000	1,866	2535,00
9	0,3510	0,6672	27,92	11,120	0,0066	0,3245	0,5236	5,408	20,56
10	0,5756	0,1042	45,81	1,737	---	---	---	---	2906,00
11	0,4090	0,0627	32,55	1,044	0,4090	0,0664	32,5500	1,106	2942,00
12	0,5455	0,5977	43,41	9,962	0,0105	0,1970	0,8332	3,284	67,70
13	0,5568	0,0819	44,31	1,365	0,5356	0,0746	42,6200	1,243	3424,00
14	0,4226	0,8994	33,56	14,990	0,0085	0,1505	0,6732	2,508	34,92
15	0,3611	0,1119	28,74	1,865	---	---	---	---	2723,00
Média	0,4382	0,3363	34,87	5,605	0,2385	0,2003	18,9829	2,325	1724,00
D.Padrão	0,0980	0,3018	7,80	5,030	---	---	18,91	1,494	1438,00
Média - 2DP	0,2423	---	19,28	-4,454	---	---	-15,376	-0,663	---
Média + 2DP	0,6341	0,9398	50,46	15,660	---	---	56,810	5,314	4601,00
Mínimo	0,2772	0,0627	22,06	1,044	---	---	---	---	20,56
Máximo	0,6196	0,8994	49,31	14,990	---	---	---	---	3424,00
Covar.	22,35	89,74	22,35	89,74	---	---	---	---	83,40

**Tabela 4.** Resultados dos ensaios de compressão em cilindros curados do cimento Fuji Plus.

Amostra	Carga Máx. (kN)	Desl. na Max. (mm)	Tensão Máx. (MPa)	% Deform. na Máx. (%)	Carga Escoamento (kN)	Desl. no escoamento (mm)	Tensão Escoamento (MPa)	% Deform. Escoamento	Módulo de Young
1	1,1320	0,3882	90,08	6,470	1,1320	0,3878	90,05	6,464	2169
2	0,9485	0,3379	75,48	5,631	0,9342	0,3270	74,35	5,449	2431
3	1,4580	0,3366	116,00	5,609	1,4570	0,3329	116,0	5,548	2604
4	1,2210	0,3052	97,17	5,087	1,2100	0,3031	96,30	5,052	2153
5	1,1150	0,2323	88,73	3,872	1,1030	0,2319	87,75	3,865	2961
6	1,5240	0,3528	121,30	5,881	1,5110	0,3469	120,20	5,782	2264
7	1,1500	0,4052	91,52	6,752	1,1420	0,4059	90,90	6,765	2083
8	1,3340	0,4470	106,20	7,450	1,3340	0,4444	106,20	7,406	2605
9	1,3140	0,4269	104,60	7,115	1,3130	0,4277	104,50	7,128	2948
10	1,0990	0,3241	87,46	5,402	1,0969	0,3264	87,22	5,440	2308
11	1,1560	0,4257	91,99	7,905	1,1540	0,3646	91,86	6,077	2791
12	0,8830	0,4832	70,27	8,054	0,8814	0,4791	70,14	7,986	1764
13	0,7984	0,2628	63,54	4,380	0,7984	0,2619	63,54	4,365	2245
14	1,4610	0,3671	106,30	6,119	1,4600	0,3629	116,20	6,049	3002
15	1,2720	0,3258	101,20	5,431	1,2700	0,3238	101,00	5,397	2067
Média	1,1910	0,3614	94,78	6,023	1,1860	0,3551	94,41	5,918	2426
D.Padrão	0,2116	0,0690	16,84	1,150	0,2116	0,0666	16,84	1,110	377
Média - 2DP	0,7680	0,2233	61,11	3,722	0,7631	0,2218	60,33	3,696	1673
Média + 2DP	1,6140	0,4994	128,50	8,342	1,6100	0,4883	128,10	8,139	3189
Mínimo	0,7984	0,2323	63,54	3,872	0,7984	0,2319	63,53	3,865	1764
Máximo	1,5420	0,4832	121,30	8,054	1,5110	0,5791	120,20	7,986	3002
Covar.	17,66	19,10	17,76	19,10	17,84	18,76	17,84	18,76	15,52

A maior resistência máxima do cimento Fuji Plus em relação ao Vitremer está coerente com a maior espessura de película do primeiro em relação ao segundo, o que confirma a visão de que o cimento Vitremer foi testado nas condições do presente trabalho em estado de cura parcial, portanto mais deformável que o cimento Fuji Plus, que se encontrava totalmente curado. Mesmo assim, observa-se que a resistência do cimento Vitremer supera a apresentada pelo Ketac Cem.

As Tabelas 3, 4 e 5 revelam que:

(a) A porcentagem de deformação na tensão máxima é bastante uniforme nos cimento Fuji Plus e Vitremer, com este último apresentando uma média maior que o cimento Fuji Plus (significado = o cimento Vitremer foi testado em condições de cura parcial, enquanto que o Fuji Plus foi totalmente curado).

(b) O cimento Ketac Cem apresenta uma porcentagem média de deformação na tensão máxima (5,605) menor que aquelas dos cimentos Fuji Plus (6,023) e Vitremer (13,29), mostrando que o cimento Ketac Cem é mais rígido que os outros dois, mas o desvio padrão do Ketac Cem (5,030) bem maior que os apresentados por Fuji Plus (1,50) e Vitremer (1,942) indica que o cimento Ketac Cem apresenta comportamento irregular quanto à deformação na tensão máxima (com 9 amostras apresentando deformação máxima na faixa de 1,044 a 2,700 e 5 amostras apresentando porcentagem de deformação na tensão máxima entre 10,360 e 14,990).

**Tabela 5.** Resultados dos ensaios de compressão em cilindros curados do cimento Vitremer.

Amostra	Carga Máx. (kN)	Desl. na Max. (mm)	Tensão Máx. (MPa)	% Deform. na Máx. (%)	Carga Escoamento (kN)	Desl. no escoamento (mm)	Tensão Escoamento (MPa)	% Deform. Escoamento	Módulo de Young
1	1,0720	0,8733	85,31	14,550	1,0720	0,8640	85,29	14,400	940,9
2	0,7898	0,7103	62,85	11,840	0,7898	0,7063	62,85	11,770	1001,0
3	0,8513	0,8527	67,75	14,210	0,8507	0,8456	67,70	14,090	980,4
4	0,8870	0,7780	70,59	12,970	0,8848	0,7707	70,41	12,840	919,5
5	1,1320	0,9564	90,08	15,940	1,1320	0,9542	90,05	15,900	1180,0
6	0,6282	0,6967	49,99	11,610	0,6274	0,6940	49,93	11,570	780,3
7	0,9409	0,7226	74,88	12,040	0,9407	0,7324	74,86	12,210	1135,0
8	0,9256	0,7221	73,66	12,030	0,9251	0,7147	73,62	11,910	1084,0
9	1,0210	0,9978	81,25	16,630	1,0210	0,9989	81,24	16,650	858,9
10	1,0400	0,8325	82,76	13,880	1,0390	0,8353	82,68	13,920	914,5
11	0,9785	0,8356	77,87	13,930	0,9779	0,8368	77,82	13,950	961,3
12	0,7928	0,8087	63,09	13,480	0,7922	0,8078	63,04	13,460	781,1
13	0,6639	0,5134	52,83	8,557	0,6634	0,5125	52,79	8,542	1207,0
14	1,0220	0,8051	81,33	14,420	1,0210	0,7942	81,24	13,240	1143,0
15	0,8352	0,8524	86,46	14,210	0,8338	0,8481	66,36	14,130	8856,6
Média	0,9053	0,7972	72,05	13,290	0,9047	0,7944	71,99	13,240	969,6
D.Padrão	0,1465	0,1165	11,66	1,942	0,1466	0,1163	11,66	1,939	149,1
Média - 2DP	0,6123	0,5641	48,73	9,401	0,6115	0,5617	48,66	9,362	671,4
Média + 2DP	1,1980	-----	95,37	17,170	1,1980	---	95,32	17,120	1268,0
Mínimo	0,6282	0,5134	49,99	8,557	0,6274	0,5125	49,93	8,542	780,3
Máximo	1,1320	0,9978	90,08	16,630	1,1320	0,9989	90,05	16,650	1207,0
Covar.	16,18	14,62	16,18	14,62	16,20	14,64	16,20	14,64	15,38

**Tabela 6.** Comparação dos resultados de tensão máxima de compressão dos três cimentos pela análise de variância (ANOVA) com teste de múltipla faixa de Tukey.

Análise de Variância (ANOVA)						
Grupo	N	Média	DP	SEM		
1	15	34,87	7,796	2,013		
2	15	94,79	16,84	4,348		
3	15	72,05	11,66	3,011		
Fonte de Variação		SS	DF	MS		
Entre grupos		1702	14			
No grupo		3,247E+04	30			
Tratamentos		2,745E+04	2	1,372E+04		
Resíduo		5023	28	179,4		
Total		3,417E+04	45			
F = (MStrat/MSres) = (1,372E+04/179,4) = 76,501					P = 0,000	
Comparação múltipla – Tukey						
Comparação	diferenças médias		SE	p	q	P<0,05
2 versus 1	94,79 - 34,87 = 59,92		3,458	3	17,326	Sim
2 versus 3	94,79 - 72,05 = 22,74		3,458	3	6,577	Sim
3 versus 1	72,05 - 34,87 = 37,17		3,458	3	10,750	Sim
Grau de liberdade = 28						

Os resultados contidos nas Tabelas 3, 4 e 5 mostram também que a maior homogeneidade dos módulos de Young dos cimentos Fuji Plus e Vitremer em relação ao cimento Ketac Cem (média de 1,724 e desvio padrão de 1,438); Fuji Plus (média de 2,426 e desvio padrão de 377) e Vitremer (média de 969,9 e desvio padrão de 149,1, mais homogêneo que Ketac Cem, porém menor rígido).

As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam também os resultados de tensão de escoamento e de porcentagem de deformação no escoamento dos cimentos:

(a) O cimento Fuji Plus apresenta uma maior tensão média de escoamento (94,41 MPa) que o cimento Vitremer (71,99 MPa), que por sua vez é bem mais resistente que o cimento Ketac Cem (18,98 MPa). O cimento Vitremer é mais homogêneo (DP 11,66 MPa) que o cimento Fuji Plus (DP 16,84MPa) que por sua vez é mais homogêneo que o cimento Ketac Cem (DP 18,91 MPa). A análise estatística mostra (2) que a tensão de escoamento do cimento Fuji Plus é significativamente maior que a do cimento Vitremer, quando testados nas condições do presente estudo.

(b) A tensão média de escoamento do cimento Ketac Cem apresenta uma distribuição bimodal, com 6 amostras apresentando valores entre 5,236 MPa e 0,8332 MPa, e 6 amostras com valores na faixa 28,25MPa a 42,62MPa, havendo correspondência direta destes altos valores com baixas porcentagens de deformação na tensão máxima; e os baixos valores na tensão de escoamento correspondendo a altos valores de porcentagem de deformação na tensão máxima.

(c) A porcentagem média de deformação no escoamento do cimento Vitremer (13,24) é maior do que a do Fuji Plus (5,918), que por sua vez é maior que a apresentada pelo cimento Ketac Cem (2,325), sendo os resultados de Fuji Plus mais homogêneos que o Vitremer (DP 1,939). A análise estatística mostra (2) que a porcentagem de deformação de escoamento do cimento Vitremer é significativamente maior do que a do cimento Fuji Plus (o cimento Vitremer foi testado parcialmente curado, e o Fuji Plus encontrava-se curado totalmente).

#### **4 CONCLUSÕES**

Nas condições experimentais do presente estudo:

(a) Houve uma significativamente espessura de película do cimento Vitremer em relação àquela do cimento Ketac Cem, e desta em relação àquela do Fuji Plus.

(b) A resistência à compressão do cimento Fuji Plus é significativamente maior do que a do cimento Vitremer, que por sua vez é maior do que a do Ketac Cem;

(e) O cimento Vitremer, nos ensaios de resistência à compressão, foi testado em estado parcial de cura, enquanto que o cimento Fuji Plus integralmente curado;

(f) os resultados de porcentagem de deformação na tensão máxima revelam que o cimento Ketac Cem tem um grau de escoamento maior que os outros dois cimentos, tendo ao mesmo tempo comportamento irregular bimodal.

(g) A tensão de escoamento do cimento Fuji Plus é significativamente maior do que a do cimento Vitremer;

(h) A porcentagem média de deformação no escoamento do cimento Vitremer é significativamente maior do que aquela apresentada pelo cimento Fuji Plus.

#### **Agradecimentos**

Ao CNPq, CAPES, FAPERJ e PRONEX pelo suporte financeiro, ao Vítor Pita (IMAPEM/UFRJ) pela ajuda nos ensaios mecânicos, a Ricardo Teles, Gustavo Teles, Cláudia Fialho, Lucas, Thiago e Márcia, pelo incentivo e colaboração.

## REFERÊNCIAS

- 1 Kent BE, Wilson AD, The properties of a glass-ionomer cement, *Br. Dent. J.*, 1973, 135:322-6.
- 2 Carvalho, G.T. Avaliação Comparativa da Espessura de Película e da Resistência à Compressão de Cimentos Vedantes de Ionômero de Vidro Convencional versus Reforçado com Resina, Dissert. Mestrado, PEMM/COPPE/UFRJ, março/2004.
- 3 Kent BE, Lewis BG, Wilson AD, Glass-ionomer formulations. I. The preparation of novel fluoroaluminosilicate glasses high in fluorine. *J. Dent. Res.*, 1979: 58, 1607-19.
- 4 Wilson AD, Crisp S, Prosser HJ, Lewis BG, Merson SA, Aluminosilicate glass for polyelectrolytic cements. *Ind. Eng. Chem. Prod. Res.*, 1980: 19, 263-70.
- 5 Zachariasen WH. The atomic arrangements in glass, *J.Am.Chem.Soc.*1932: 54, 3841-51.
- 6 Neve AD, Piddock V, Combe EC, The effect of glass heat treatment on the properties of a novel polyalkenoate cement, *Clin. Mater.* 1993: 12, 113-5.
- 7 Gasser O. Evolution of the glass systems. Proceedings of the Second International Symposium on Glass Ionomers, 1994, 23-31.
- 8 Mathis R, Ferracane IL, Properties of a new glass ionomer/composite resin hybrid restorative. *J. Dent. Res.* 1987: 66: 113 (Abstr.51).
- 9 Antonucci JM, McKinney JE, Stansbury JW, Resin modified glass-ionomer dental cement. U.S. Patent Application No. 160856, 1988.
- 10 Engelbrecht J., Polymerizable cement mixtures. European Patent N219058, 1994.
- 11 McLean JW, Nicholson JW, Wilson AD, Proposed nomenclature for glass-ionomer dental cements and related materials. *Quint. International* 1994: 25: 587-9.
- 12 Antonucci JM, McKinney JE, Strassbury RW, Resin modified glass ionomeric cement. US Patent application No. 160856, 1988.
- 13 Anstice HM, Nicholson JW. Studies in the setting of polyelectrolyte materials. 2: the effect of organic compounds on a glass polyalkenoated cement. *J. Mater. Sci. Mater. Med.* 1994: 5: 299-302.
- 14 Mitra SB, Adhesion in dentin and physical properties of a light-cured glass-ionomer liner/base. *J. Dent. Res.* 1991: 70: 72-4.
- 15 Mitra SB. In vitro fluoride release from a light-cured glass-ionomer line/base. *J. Dent. Res.* 1991: 70: 75-8.
- 16 Forss H. Release of fluoride and other elements from light-cured glass ionomers in neutral and acidic conditions. *J. Dent. Res.* 1993: 72: 1257-62.
- 17 Nicholson JW, Anstice HM, McLean JW, A preliminary report on effect storage in water on commercial light-cured glass-ionomer cements. *Br.Dent.J.*1992:173:98-101.
- 18 Anstice HM, Nicholson JW, Studies on the structure of light-cured glass-ionomer cements, *J. Mater. Sci. Mater. Med.* 1992:3:447-51.
- 19 Li JG, Vonbeetzen M, Sundstrom F, Strength and setting behaviour of resin-modified glass-ionomer cements. *Acta Odeont. Scand.* 1995:53: 311-17.
- 20 Li JG, Liu YJ, Liu Y, Soremark R, Sundstrom F, Flexure strength of resin-modified glass-ionomer cements and their bond strength to dental composites. *Acta Ocont. Scand.* 1996:54: 55-58.
- 21 Braem MJA, Lambrechts P, Gladys S, Banherle G, In vitro fatigue behaviour of restorative composites and glass ionomers, *Dent. Mater.* 1995:11: 137-41.
- 22 Wilson AD, The chemistry of dental cements, *Chem. Soc. Rev.* 1978: 7: 265-96.

- 23 Williams J.A. Billington RW, Increase in compressive strength glass-ionomer restorative materials for use posterior primary dentition. *J.Oral Rehab.*1989;16:475-9.
- 24 Williams JA, Billington RW, Changes in compressive strength of glass-ionomer restorative materials with respect to time periods of 24h to 4 months. *J. Oral Rehab.* 1991; 18: 163-8.
- 25 D. Xie, W. Brantley, B.M. Culbertson, G. Wang, Mechanical properties and microstructures of glass-ionomer cements, *Dental Materials* 16 (2000) 129-138.
- 26 Pearson GJ, Atkinson AS, Long-term flexural strength of glass ionomer cements. *Biomaterials*, 1991; 12: 685-60.
- 27 CA Mitchel, W.H. Douglas, Y.S. Cheng, Fracture toughness of conventional, resin-modified glass-ionomer and composite luting cements. *Dental Materials* 15 (1999) 7-13.