

Resistência à flexão em porcelana feldspática: efeito da ciclagem mecânica e limite de fadiga pelo método escada

Flexural strength of feldspathic porcelain: effect of mechanical cycling and fatigue limit by the staircase method

Max Von Schalch

Doutor em Reabilitação Oral do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese da FO de Araraquara/Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Carolina de Andrade Lima Chaves

Flávia Regina Machado de Medeiros

Antonio Alves de Almeida-Júnior

Filipe de Oliveira Abi-Rached

Doutorandos em Reabilitação Oral do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese da FO de Araraquara/Unesp

Carlos Alberto dos Santos Cruz

Professor Adjunto do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese da FO de Araraquara/Unesp

RESUMO

Este estudo avaliou o limite de fadiga (LF), determinado pelo método escada, e o efeito da ciclagem mecânica sobre a resistência à flexão (RF) da porcelana feldspática Duceragold. Corpos de prova (25 x 5 x 2 mm) foram confeccionados de acordo com as instruções do fabricante e submetidos ao ensaio de RF (n = 10), em três pontos. Para determinação do LF (n = 30), foram utilizados carregamento inicial de 60% da RF, tensão incremental de 3% da RF, 10.000 ciclos e 2 Hz. Os dados foram submetidos à Anova e teste de Tukey (p < 0,05). Embora os ciclos propostos não tenham reduzido estatisticamente a RF, análises fractográficas evidenciaram estrias, sinais característicos de fadiga mecânica.

Palavras-chave: materiais dentários; porcelana dentária; resistência de materiais; fadiga.

ABSTRACT

This study evaluated the fatigue limit (FL) by the staircase method and the effect of mechanical cycling on the flexural strength (FS) of Duceragold feldspathic porcelain. Specimens (25 x 5 x 2 mm) were made according to manufacturer's directions and submitted to three-point flexural strength test (n = 10). To determine FL (n = 30; 10,000 cycles; 2 Hz), an initial loading of 60% of the FS and an incremental loading (step) of 3% of the FS were used. Data were analyzed by Anova and Tukey's test (p < 0.05). Although the proposed cycles have not reduced FS significantly, fractography analysis showed striation, characteristic signs of mechanical fatigue.

Keywords: dental materials; dental porcelain; material resistance; fatigue.

Introdução

A resistência mecânica é importante fator relacionado ao sucesso clínico das restaurações dentárias. Para estimar os estresses de tração, compressão e cisalhamento, frequentemente induzidos durante a mastigação, podem ser empregados, rotineiramente, testes laboratoriais. Dentre esses, o ensaio de resistência à flexão traduz propriedade muito significativa, particularmente, na avaliação do potencial de falha de materiais frágeis, quando defeitos críticos superficiais estão presentes (18, 21, 27, 30).

Diversos estudos têm avaliado a resistência à flexão das cerâmicas odontológicas (3, 4, 5, 9, 15, 17, 18, 21, 22, 27, 30). Entretanto, este ensaio possui limitações práticas, pois é estático e determina apenas os valores de resistência máxima, obtidos imediatamente após a aplicação da carga. Assim, não deve ser utilizado isoladamente para prever o sucesso em longo prazo desses materiais (7, 12). Ensaio de resistência à flexão têm sido frequentemente associados à distribuição estatística de Weibull, que permite, adicionalmente, o cálculo da probabilidade de falha e confiabilidade do material sob diferentes tensões (2, 8, 13).

Baseados nesta evidência e no fato de que o carregamento cíclico degrada os materiais ao longo do tempo, reduzindo sua resistência mecânica por meio de danos estruturais localizados e progressivos (19), estudos recentes têm abordado ensaios laboratoriais dinâmicos (8, 19, 23, 24, 25, 26). Estes ensaios têm sido realizados para estimar, de maneira mais segura, os limites de resistência mecânica dos diferentes materiais cerâmicos utilizados atualmente.

Dois modelos metodológicos podem ser empregados nos ensaios laboratoriais dinâmicos, utilizando-se estresses com tensões inferiores à tensão máxima registrada. No primeiro, os espécimes são submetidos a ciclos finitos e pré-determinados, que simulam as condições mastigatórias. Embora possam variar os valores de tensão, a frequência e o número de ciclos, o objetivo desta ciclagem não é a fratura dos espécimes, mas apenas seu envelhecimento mecânico, sendo tal efeito comparativamente observado, após o ensaio estático dos espécimes mecanicamente envelhecidos (1). No segundo modelo, por outro lado, os espécimes são submetidos à ciclagem até a fratura. Os valores de tensão adotados, a frequência e o número máximo de ciclos ao qual o material resistirá antes da fratura determinarão a tensão limite de resistência à fadiga. Conceitualmente, abaixo desse valor de tensão, o material poderia ser submetido a infinito número de ciclos sem falhar (20).

Além do método contínuo, citado anteriormente, o limite de resistência à fadiga pode também ser calculado a partir de ensaios estáticos, efetuados com diferentes velocidades de carregamento (parâmetros de fadiga), ou pelo método escada, onde os espécimes são submetidos a tensões progressivamente crescentes ou decrescentes, dentro de um número fixo e pré-determinado de ciclos (5, 15). No sentido de reduzir o número de espécimes empregados nos ensaios estáticos e o tempo requerido pelo método contínuo, alternativamente, o método escada, denominado descontínuo, tem sido sugerido (5, 29).

Considerando, ainda, que pesquisas clínicas demandam maior custo, tem-



po e grande esforço para o correto delineamento experimental e execução, seria interessante validar ensaios ou protocolos mecânicos laboratoriais que proporcionassem adequada previsão do desempenho clínico dos diferentes materiais restauradores (1, 8). Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento mecânico de uma porcelana feldspática, sob flexão, determinando-se a resistência máxima, após carregamento estático, o limite de resistência à fadiga, pelo método escada, e os efeitos da ciclagem mecânica sobre esta propriedade.

Material e Método

Os espécimes foram confeccionados em porcelana feldspática Duceragold (Degudent GmbH, Hanau-Wolfgang, Alemanha), por meio de mistura pó/água destilada e condensação em molde elástico de polivinilsiloxano cerca de 20% maior que as dimensões finais para compensar a contração de sinterização da porcelana. Após a remoção do excesso de líquido, cada espécime foi retirado do molde e levado para sinterização em forno Aluminipress (EDG, São Carlos, SP, Brasil). O ciclo de sinterização consistiu em taxa de aquecimento de 55°C/min, entre 450°C e 800°C, mantendo-se a temperatura final por 6 segundos adicionais. Após acabamento e polimento com lixas de carbetto de silício, em politriz mecânica (Metaserv 2000; Buehler UK Ltd, Coventry, Inglaterra), os espécimes apresentavam dimensões de 25 x 5 x 2 mm (10).

Os ensaios mecânicos foram realizados em máquina MTS 810 (MTS Systems Corp, Eden Prairie, MN, EUA), com célula de carga de 10 kN e velocidade de 0,5 mm/min. Os valores de resistência à flexão em três pontos (RF; n = 10) foram determinados, em MPa, a partir da seguinte equação:

$$RF = \frac{3Fd}{2lh^2}$$

onde: F é a força máxima na fratura (N), d é a distância entre os apoios de suporte (*span*; 20 mm), l é a largura e h é a espessura do espécime (mm)

O limite de resistência à fadiga (LF; n = 30) foi determinado pelo método escada, com carregamento inicial de 60% e tensão incremental (degrau) de 3%, em relação à tensão máxima registrada no ensaio estático de resistência à flexão (5). Foram aplicados 10 mil ciclos, com frequência de 2 Hz (11). Ocorrendo fratura antes de completados os 10 mil ciclos, novo espécime foi ensaiado na tensão imediatamente inferior; não ocorrendo fratura após 10 mil ciclos, novo espécime foi ensaiado na tensão imediatamente superior. A série pôde ser finalizada após a estabilização dos eventos (fratura ou não fratura) ao redor de determinado patamar de tensão (Figura 1).

Para o cálculo da resistência limite à fadiga, pelo método escada, deve ser considerado o evento que ocorreu em menor número de vezes, eliminando-se, desta forma, da expressão matemática, os espécimes da rampa inicial. Dos corpos de

prova ensaiados, 19 foram fraturados e 11 sobreviveram ao ciclo mecânico adotado. Os dados referentes a estes últimos espécimes estão indicados na Tabela I. Na coluna da esquerda, em ordem crescente, estão os valores de tensão nos quais ocorreu o evento selecionado; “i” representa o número de ordem de cada tensão ensaiada, iniciando-se com i = 0, para o primeiro valor registrado; “n” representa a quantidade de corpos de prova ensaiados em cada tensão. Nas colunas da direita, estão os produtos entre “i”, “i²” e “n” e, na linha final, os somatórios de “n”, “i x n” e “i² x n”.

O limite de fadiga (LF) e o respectivo desvio-padrão (DP) foram calculados a partir das seguintes formulações:

$$1- \quad LF = T_{i_0} + d [(A/N) \pm 0,5]$$

$$2- \quad DP = 1,62 d \{[(NB - A^2)/N^2] + 0,029\},$$

onde: T_{i₀} é o valor da tensão para i = 0 (28,01 MPa); d é o incremento fixo, adotado como degrau da escada (2,79 MPa); N, A e B são calculados a partir da distribuição dos espécimes (Tabela I). Ao final da expressão 1 (± 0,5), o sinal (-) foi empregado, pois o evento selecionado foi a “não fratura” do corpo de prova.

Para a avaliação dos efeitos da ciclagem mecânica (10 mil ciclos; 2 Hz) sobre a resistência à flexão da porcelana feldspática estudada, foram constituídos, a partir de observações e parâmetros obtidos no ensaio dinâmico, três novos grupos experimentais (n = 10). Nestes grupos, foram associados dois valores referenciais de tensão (início da rampa e limite de resistência à fadiga) a dois modos de carregamento axial (compressivo e flexural): Ciclo 1 – limite de resistência à fadiga (LF), sem apoio na base do espécime (carregamento em flexão); Ciclo 2 – limite de resistência à fadiga (LF) e apoio na base do espécime (carregamento em compressão); Ciclo 3 – 60% da tensão máxima (início da rampa) e apoio na base do espécime (carregamento em compressão). Ao final de cada ciclo, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio estático de resistência à flexão.

Os dados obtidos foram avaliados, estatisticamente, por meio de Anova e teste de Tukey (p < 0,05). Avaliações fractográficas das superfícies fraturadas foram efetuadas, complementarmente, por meio de microscopia eletrônica de varredura (Jeol Co., Tokyo, Japão), com aumento de 500 vezes.

Resultados

Os valores médios de resistência à flexão, limite de resistência à fadiga flexural e resistência à flexão após ciclagem mecânica, com respectivos desvios-padrão e valor crítico, calculado pelo teste de Tukey (p < 0,05), são apresentados na Tabela II. O limite de resistência à fadiga da porcelana feldspática Duceragold, obtido pelo método escada, foi estatisticamente inferior (p = 0,00) à média de resistência à flexão, com redução de, aproximadamente, 68%, em relação ao valor observado inicialmente no ensaio estático. Não houve

diferença estatisticamente significativa ($p = 0,44$) entre os grupos com ciclagem prévia e os valores iniciais de resistência à flexão. Os ciclos propostos não se mostraram capazes de reduzir, estatisticamente, a resistência à flexão da porcelana estudada.

A Figura 2 representa os grupos fraturados em flexão após ciclagem mecânica e evidencia a presença de estrias, sinais fractográficos da ação de ciclos mecânicos sobre o material. Não foram observadas estrias nos corpos de prova representativos do grupo estático de resistência à flexão, assim como naqueles que se fraturaram durante o ensaio pelo método escada.

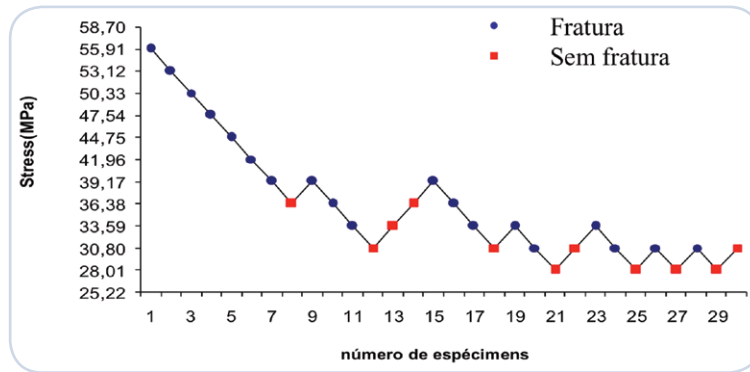


Figura 1. Método escada – repetições

Figuras 2A. Estrias (seta) presentes em corpos de prova do Ciclo 1 (LF, em flexão; 10 mil ciclos, 2 Hz). Aumento de 500x; 2B. estrias (seta) presentes em corpos de prova do Ciclo 2 (LF, em compressão; 10 mil ciclos, 2 Hz). Aumento de 500x; 2C. estrias (seta) presentes em corpos de prova do Ciclo 3 (60%RF, em compressão; 10 mil ciclos, 2 Hz). Aumento de 500x.

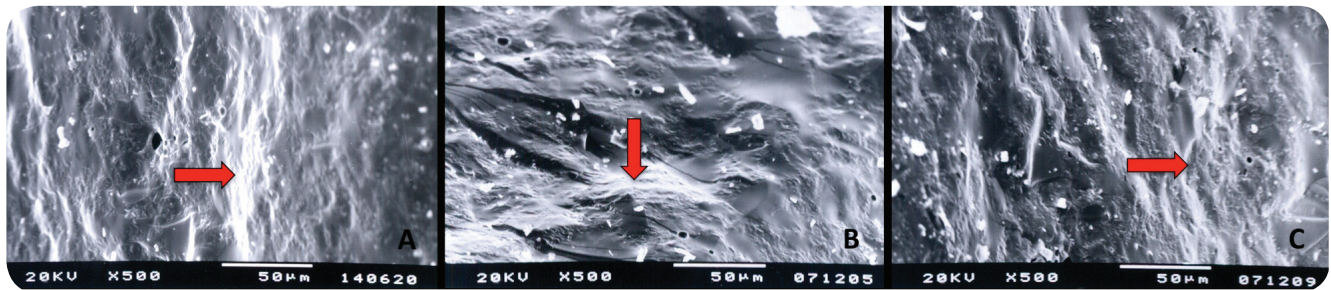


Tabela I. Dados utilizados para o cálculo da resistência limite à fadiga por flexão pelo método escada - espécimes não fraturados

tensão (MPa)	i	n	i x n	i ² x n
28,01	0	4	0	0
30,80	1	4	4	4
33,59	2	1	2	4
36,38	3	2	6	18
	N=11	A=12	B=26	

Tabela II. Médias, desvios-padrão e valor crítico, calculado pelo teste de Tukey, para os ensaios realizados (MPa, $p < 0,05$)

	Média
Resistência à Flexão (RF)	93,19 (a)
Limite de Fadiga (LF)	29,65 (b)
Ciclo 1 - LF, em flexão (10 mil ciclos, 2 Hz)	87,53 (a)
Ciclo 2 - LF, em compressão (10 mil ciclos, 2 Hz)	95,32 (a)
Ciclo 3 - 60%RF, em compressão (10 mil ciclos, 2 Hz)	97,30 (a)

valor crítico = 16,68

Discussão

A literatura pesquisada apresenta grande variação nos valores de resistência à flexão, em três pontos, para porcelanas feldspáticas, convencionais (entre 50 MPa e 116 MPa) ou reforçadas (entre 123 MPa e 400 MPa) (9, 19, 18, 21, 25). Entretanto, tais variações ocorrem, primordialmente, em função das diferentes composições e proporções das fases vítrea e cristalina destes materiais. Embora possuam matriz aglutinante à base de feldspato (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O e K_2O), variações no percentual de cada óxido ou adição de outros, pelo fabricante, podem resultar em diferentes valores de resistência à flexão. Além disso, o reforço com cristais de fluormica tetrasilica, leucita, dissilicato de lítio, óxido de alumínio e óxido de zircônio tem melhorado, consideravelmente, esta propriedade mecânica, em relação às porcelanas feldspáticas convencionais (4, 9, 18, 21, 25).

O método de processamento pode, também, influenciar a resistência à flexão das porcelanas feldspáticas. DRUMMOND *et al.* (6) observaram que a resistência à flexão em três pontos da porcelana Finesse processada pela técnica de injeção (93,98

MPa) foi estatisticamente superior à do mesmo produto processado pela técnica da sinterização convencional (79,16 MPa). Este aumento é possível, em função da menor quantidade de defeitos internos e distribuição mais uniforme da fase cristalina, diminuindo a velocidade de propagação de fendas no material (6).

Complementarmente, embora se tenha como referência a norma ISO 6872 (10), fatores relacionados ao dimensionamento do ensaio, como largura e espessura dos corpos de prova, distância entre os pontos de suporte (*span*), sensibilidade da célula de carga e velocidade do atuador durante o carregamento devem ser considerados na avaliação dos valores de resistência à flexão (7, 16, 27).

O limite de resistência à fadiga flexural da porcelana Duceragold obtido pelo método escada (29,65 MPa) foi 68,19% inferior em relação ao valor médio de resistência à flexão (93,19 MPa). Resultados semelhantes são descritos por DRUMMOND *et al.* (6) e LOHBAUER *et al.* (14), porém, com percentuais diferentes de redução: 51% e 64%, respectivamente, para as porcelanas feldspáticas Finesse e Mark II. Tais valores refletem perdas em relação à resistência máxima do material e ocorrem em função do aumento na formação e na velocidade de propagação de fendas internas, crescimento subcrítico, causado pelo caráter repetitivo dos estresses mecânicos no decorrer do ensaio ou, clinicamente, durante a mastigação (28). Fatores químicos, representados basicamente pela água, atuam de forma sinérgica (7) ou complementar (28). Para porcelanas reforçadas, os percentuais observados de perda são menores (entre 25% e 42%), evidenciando prognóstico mais favorável para materiais cerâmicos com maior quantidade de reforço cristalino (6, 7, 19, 16).

Alguns autores têm empregado o método escada na determinação da resistência à fadiga (15, 29), particularmente, pela utilização de menor quantidade de corpos de prova. McCABE *et al.* (15) compararam os métodos contínuo e escada e relataram que este apresenta maior rapidez na execução e menor influência dos defeitos internos nos resultados.

Os ciclos mecânicos propostos, elaborados a partir do ensaio de fadiga, não se mostraram capazes de reduzir estatisticamente a resistência à flexão em três pontos da porcelana estudada. Situação semelhante foi observada no trabalho de OHYAMA *et al.* (17), porém em testes biaxiais e de resistência à fratura. Por outro lado, nos demais trabalhos pesquisados, houve redução entre 11% e 37% na resistência mecânica após ciclagem (11, 28). Para WHITE (28), a redução da resistência mecânica depende da magnitude das tensões, da frequência e do número de ciclos empregados. Parâmetros mais severos tendem a proporcionar maior grau de redução. Os ciclos mecânicos devem ter por objetivo induzir o envelhecimento, simulando em laboratório, condições de uso prolongado.

Avaliações fractográficas fornecem informações qualitativas e quantitativas relativas aos mecanismos que levaram à falha. São previstos dois modos de fratura: dúctil e frágil. O primeiro é observado em materiais que apresentam alguma deformação plástica, como metais e polímeros; o segun-

do ocorre em materiais que apresentam pouca ou nenhuma deformação plástica, como as cerâmicas. O processo frágil caracteriza-se pela formação e propagação de trincas perpendicularmente às tensões de tração, que resultam em superfície de fratura relativamente plana. A fratura por fadiga é de natureza frágil e, além das características anteriormente descritas, exibe a presença de estrias, resultantes da lenta propagação.

Nos corpos de prova representativos dos grupos com ciclagem mecânica prévia, foram observadas estrias (Figura 2), contrariamente àqueles submetidos apenas ao ensaio de resistência à flexão. Embora não tenham afetado estatisticamente os valores numéricos, os ciclos propostos mostraram-se capazes de imprimir sinais de fadiga na estrutura do material. É possível, portanto, que maior número de ciclos, frequência ou carga aplicada possam proporcionar redução mensurável de resistência à flexão.


Os corpos de prova fraturados durante a aplicação do método escada não apresentaram estrias, que seriam esperadas, uma vez que o referido teste possui características dinâmicas e emprega ciclos de tensões. Todavia, tais espécimes falharam logo no início do carregamento, suportando não mais que 50 ciclos, dos 10 mil programados. Provavelmente por este motivo apresentaram superfície de fratura semelhante àquela encontrada no ensaio estático de resistência à flexão. Nenhum corpo de prova remanescente intacto do ensaio de resistência à fadiga foi posteriormente fraturado e submetido à análise fractográfica. Contudo, as condições de carregamento destes espécimes foram semelhantes às dos grupos experimentais com prévia ciclagem mecânica.

O limite de resistência à fadiga flexural, obtido no presente estudo, não pode ser utilizado isoladamente para prever o desempenho clínico da porcelana feldspática Duceragold. O mesmo ocorre com os valores de resistência à flexão, obtidos após os ciclos mecânicos. Entretanto, suas relações com a resistência máxima inicial, aliadas às análises fractográficas, podem permitir maior leque de comparações e fundamentar melhor prognósticos ou expectativas quanto à longevidade das restaurações.

Os ensaios laboratoriais, estáticos e dinâmicos, embora não reflitam prontamente o comportamento clínico de materiais restauradores, permitem avaliações comparativas entre os mesmos e fornecem subsídios para o estudo e o aperfeiçoamento de suas propriedades. Além disso, geram informações imprescindíveis para o estabelecimento de protocolos de avaliação clínica, dos quais, obrigatoriamente, são precursores.

Conclusão

O limite de resistência à fadiga, obtido pelo método escada, foi estatisticamente inferior à média de resistência à flexão, com redução de aproximadamente 68%, em relação ao valor inicial.

Os ciclos mecânicos propostos não reduziram, estatisticamente, a resistência à flexão da porcelana estudada, todavia, mostraram-se capazes de imprimir estrias na estrutura do material, sinais fractográficos do processo de fadiga mecânica. 

Referências Bibliográficas

1. ATTIA, A., KERN, M. Influence of cyclic loading and luting agents on the fracture load of two all-ceramic crown systems. *J. Prosthet. Dent.* 2004; 92 (6): 551-6.
2. BONA, A. D., ANUSAVICE, K. J., DEHOFF, P. H. Weibull analysis and flexural strength of hot-pressed core and veneered ceramic structures. *Dent Mater.* 2003; 19 (7): 662-9.
3. BOTTINO, M. A., SALAZAR-MAROCHO, S. M., LEITE, F. P. *et al.* Flexural strength of glass-infiltrated zirconia/alumina-based ceramics and feldspathic veneering porcelains. *J. Prosthodont.* 2009; 18 (5): 417-20.
4. CAMPBELL, S. D. A comparative strength study of metal ceramic and all-ceramic esthetic materials: modulus of rupture. *J. Prosthet. Dent.* 1989; 62 (4): 476-9.
5. DIXON, W. J., MOOD, A. M. A method for obtaining and analyzing sensitivity data. *J. Am. Stat. Assoc.* 1948; 43 (241): 109-26 apud Dixon WJ. The up-and-down method for small samples. *J. Am. Stat. Assoc.* 1965; 60 (312): 967-78.
6. DRUMMOND, J. L., KING, T. J., BAPNA, M. S. *et al.* Mechanical property evaluation of pressable restorative ceramics. *Dent Mater.* 2000; 16 (3): 226-33.
7. FAIRHURST, C. W., LOCKWOOD, P. E., RINGLE, R. D. *et al.* Dynamic fatigue of feldspathic porcelain. *Dent Mater.* 1993; 9 (4): 269-73.
8. HEINTZE, S. D., CAVALLERI, A., ZELLWEGER, G. *et al.* Fracture frequency of all-ceramic crowns during dynamic loading in a chewing simulator using different loading and luting protocols. *Dent Mater.* 2008; 24 (10): 1352-61.
9. HÖLAND, W., SCHWEIGER, M., FRANK, M. *et al.* A comparison of the microstructure and properties of the IPS-Empress 2 and the IPS-Empress glass-ceramics. *J. Biomed Mater Res.* 2000; 53 (4): 297-303.
10. International Organization for Standardization. ISO 6872:1995 (E): Dental ceramic. Geneva, Switzerland: ISO, 2. ed., 1995. Available at: <http://www.iso.org/iso/ch/iso/prods-services/isostore/store.html>
11. JUNG, Y. G., PETERSON, I. M., KIM, D. K. *et al.* Lifetime-limiting strength degradation from contact fatigue in dental ceramics. *J. Dent. Res.* 2000; 79 (2): 722-31.
12. KELLY, J. R. Clinically relevant approach to failure testing of all-ceramic restorations. *J. Prosthet. Dent.* 1999; 81 (6): 652-61.
13. KOSMAC, T., OBLAK, C., JEVNIKAR, P. *et al.* The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dent Mater.* 1999; 15 (6): 426-33.
14. LOHBAUER, U., PETSCHL, A., GREIL, P. Lifetime prediction of CAD/CAM dental ceramics. *J. Biomed Mater Res.* 2002; 63 (6): 780-5.
15. McCABE, J. F., CARRICK, T. E., CHADWICK, R. G. *et al.* Alternative approaches to evaluating the fatigue characteristics of materials. *Dent Mater.* 1990; 6 (1): 24-8.
16. MYERS, M. L., ERGLE, J. W., FAIRHURST, C. W. *et al.* Fatigue characteristics of a high-strength porcelain. *Int. J. Prosthodont.* 1994; 7 (3): 253-7.
17. OHYAMA, T., YOSHINARI, M., ODA, Y. Effects of cyclic loading on the strength of all-ceramic materials. *Int. J. Prosthodont.* 1999; 12 (1): 28-37.
18. OILO, G. Flexural strength and internal defects of some dental porcelains. *Acta Odontol. Scand.* 1988; 46 (5): 313-22.
19. SALAZAR MAROCHO, S. M., STUDART, A. R., BOTTINO, M. A. *et al.* Mechanical strength and subcritical crack growth under wet cyclic loading of glass-infiltrated dental ceramics. *Dent Mater.* 2010; 26 (5): 483-90.
20. SAUNDERS, W. P. The effect of fatigue impact forces upon the retention of various designs of resin-retained bridgework. *Dent Mater.* 1987; 3 (2): 85-9.
21. SEGHI, R. R., DAHER, T., CAPUTO, A. Relative flexural strength of dental restorative ceramics. *Dent Mater.* 1990; 6 (3): 181-4.
22. SEGHI, R. R., SORENSEN, J. A. Relative flexural strength of six new ceramic materials. *Int. J. Prosthodont.* 1995; 8 (3): 239-46.
23. STUDART, A. R., FILSER, F., KOCHER, P. *et al.* In vitro lifetime of dental ceramics under cyclic loading in water. *Biomaterials.* 2007; 28 (17): 2695-705.
24. STUDART, A. R., FILSER, F., KOCHER, P. *et al.* Cyclic fatigue in water of veneer-framework composites for all-ceramic dental bridges. *Dent Mater.* 2007; 23 (2): 177-85.
25. TEIXEIRA, E. C., PIASCIK, J. R., STONER, B. R. *et al.* Dynamic fatigue and strength characterization of three ceramic materials. *J. Mater. Sci. Mater. Med.* 2007; 18 (6): 1219-24.
26. TEIXEIRA, E. C., PIASCIK, J. R., STONER, B. R. *et al.* Dynamic fatigue behavior of dental porcelain modified by surface deposition of a YSZ thin film. *J. Prosthodont.* 2008; 17 (7): 527-31.
27. TWIGGS, S. W., FAIRHURST, C. W., LOCKWOOD, P. E. *et al.* Cyclic fatigue of a model feldspathic porcelain. *Dent Mater.* 1995; 11 (4): 273-6.
28. WHITE, S. N. Mechanical fatigue of a feldspathic dental porcelain. *Dent Mater.* 1993; 9 (4): 260-4.
29. YAMAMOTO, M., TAKAHASHI, H. Tensile fatigue strength of light cure composite resins for posterior teeth. *Dent Mater J.* 1995; 14 (2): 175-84.
30. ZENG, K., ODÉN, A., ROWCLIFFE, D. Flexure tests on dental ceramics. *Int. J. Prosthodont.* 1996; 9 (5): 434-9.

Recebido em: 21/03/2013 / Aprovado em: 22/04/2013

Carlos Alberto dos Santos Cruz

Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese

Faculdade de Odontologia de Araraquara – Unesp

Rua Humaitá, 1680 – Araraquara

São Paulo/SP, Brasil – CEP: 14801-903

E-mail: cruz@foar.unesp.br