



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE ARARAQUARA



Eduardo Andrade de Oliva

*Influência do método de
processamento, sinterização
convencional ou injeção a vácuo, na
resistência à flexão e dureza de
porcelanas feldspáticas*

Araraquara

2006

Eduardo Andrade de Oliva

***Influência do método de processamento,
sinterização convencional ou injeção a vácuo,
na resistência à flexão e dureza de
porcelanas feldspáticas***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Reabilitação Oral – Área de Prótese, da Faculdade de Odontologia de Araraquara, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Reabilitação Oral - Área de Prótese.

Orientador:

Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos Cruz

Araraquara

2006

Oliva, Eduardo Andrade de

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas / Eduardo Andrade de Oliva. – Araraquara: [s.n.], 2006
107 f. ; 30 cm.

Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos Cruz

1. Materiais dentários 2. Porcelana dentária I. Título.

INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE PROCESSAMENTO,
SINTERIZAÇÃO CONVENCIONAL OU INJEÇÃO A VÁCUO,
NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO E DUREZA DE
PORCELANAS FELDSPÁTICAS

COMISSÃO JULGADORA

TESE PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR

Presidente e Orientado

Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos Cruz

2º Examinador

Prof. Dr. Sicknan Soares da Rocha

3º Examinador

Prof. Dr. André Ulisses Dantas Batista

4º Examinador

Prof^a. Dr^a. Renata Garcia Fonseca

5º Examinador

Prof^a. Dr^a. Andréia Affonso Barreto Montandon

Araraquara, 09 de março de 2006

DADOS CURRICULARES

Eduardo Andrade de Oliva

NASCIMENTO 16 de Janeiro de 1976

FILIAÇÃO Antonio Benedito Leite de Oliva
Tânia Maria Galvão Andrade

1994-1999 Curso de Graduação
Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS

1999-2000 Especialização em Prótese Dentária
Associação Brasileira de Odontologia Secção Sergipe
ABO - Se

2001-2003 Curso de Mestrado em Reabilitação Oral (Área de Prótese)
Faculdade de Odontologia de Araraquara
Universidade Estadual Paulista - UNESP

2003-2006 Curso de Doutorado em Reabilitação Oral (Área de Prótese)
Faculdade de Odontologia de Araraquara
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Dedicatória

A os meus pais, **Tânia e Beneu.**

*Pelo amor incondicional
Pela confiança e incentivo em meus desejos
Por acolher-me nos meus erros
Pelo cuidado mesmo depois de adulto
De seus filhos se tornassem realidade
Amo vocês.*

A os meus irmãos, **Marcos e Beatriz e Helena.**

*Pelo orgulho de tê-los como irmãos
Por entenderem minha ausência
Por saber que poderei contar com vocês
Estarei sempre olhando para cada um de vocês
Amo vocês.*

À **Carla Bouzas Trief.**

*Pelo amor, pelo carinho, pela amizade
Pela companhia nos maus e bons momentos
Por compreender meus erros e ajudar-me a melhorar
Por me fazer olhar a vida por um outro ângulo
Sua presença torna tudo mais fácil
Amo você.*

À Marina e Marcos Saldanha.

Por fazerem parte de minha família e ao apoio constante aos meus pais.

A gradecimentos Especiais

A o meu orientador, **Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos Cruz**.

Pela honra de ter sido seu orientado.

Por se mais do que orientador, um grande amigo.

Pelas inúmeras oportunidades, pela confiança que depositou em mim, pelo estímulo e pelos ensinamentos.

Por ser mais que orientador.

Pela liberdade de pensar e agir que sempre me proporcionou, por ter sempre me tratado de igual pra igual.

Serei eternamente agradecido.

A os amigos **André Ulisses, Jorge Noriega, Túlio Kalife, João Dantas, Alessandro Gonçalves e Sandro Isaías**.

Vocês são a família que encontrei em Araraquara.

Por se tornarem meus novos irmãos.

Pelos incontáveis bons momentos de convivência diária sob o mesmo teto, pela troca de experiências e compreensão.

Pela amizade e pelo companheirismo, pelo apoio durante a caminhada.

As lembranças da companhia de vocês irão sempre permanecer comigo

Deus colocou vocês no meu caminho, e serei eternamente grato.

**A os amigos M árcio Giampá, Paulo Rocha, Alan
A raújo, Luciano Castellucci, Rosa A moedo, Paulo
Feitosa, Eutímio Torres, Cássia Leite, Pedro Daniel,
Dariu M iranda.**

Pela troca de experiências e compreensão.

Pela amizade e pelo companheirismo, pelo apoio durante a caminhada.

A gradecimentos

À **Faculdade de Odontologia de Araraquara, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”** na pessoa de sua diretora, **Prof^a. Dr^a. Rosemary Adriana Chiérici Marcantonio**.

Pela oportunidade de participar desta instituição que aprendi a amar.

Ao **Prof. Dr. Gelson Luis Adabo**, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Reabilitação Oral, área de Prótese.

Pela seriedade com que sempre tratou dos interesses do Programa.

Pela compreensão e apoio constante.

Pela oportunidade de participar desta experiência de vida.

Pela confiança depositada em nós.

Ao **Prof. Dr. Francisco Guedes Pereira de Alencar Júnior**.

Pela amizade e pelos ensinamentos transmitidos.

Pelas inúmeras oportunidades que me proporcionou.

Pelo estímulo e pela confiança em mim.

Aos **Profs. Drs. José Cláudio Martins Segalla (Caco),**

Francisco de Assis Mollo Jr (Kiko) e João Arioli Neudenir.

*Pela amizade desde a minha chegada a Araraquara.
Por ser mais do que professores, amigos.
Pelos conselhos e pela ajuda, sempre que precisei.*

Ao **Prof. Dr. Luiz Geraldo Vaz.**

Pela amizade, presteza e colaboração na realização da parte experimental deste trabalho.

Aos **Profs. Drs. Jr, Sérgio Sualdini Nogueira, Marco Antonio Compagnoni, Renata Garcia Fonseca, Cinara Maria Camparis, Lígia A. Pereira Pinelli, Regina H. B. T. da Silva, Ivan Ribeiro de Farias, Norberto Catanzaro Guimarães, Carlos Eduardo Vergani, Ana Lúcia Machado, Eunice Teresinha Giampaolo e Ana Cláudia Pavarina,** do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese.

*Pelos ensinamentos transmitidos e pelo convívio sempre agradável.
Pela maneira cordial e profissional como sempre fui tratado.
Por tornarem este departamento a extensão do meu lar, a minha segunda casa em Araraquara.*

Aos demais Professores da Faculdade de Odontologia de Araraquara.

*Pela amizade e ajuda prestada quando de vocês precisei.
Pela oportunidade do convívio e troca de experiências.*

A todos os Professores do Departamento de Odontologia da Faculdade de Odontologia Unime - Bahia, especialmente às **Professoras Ana Isabel e Ana Carla Rios.**

Pelas oportunidades durante o curso de graduação.

Pelo apoio e ajuda quando de vocês precisei.

Pelos estímulos para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos colegas de Pós-Graduação em Reabilitação Oral, curso de Doutorado, **Alessandro, André Ulisses, Fabiana, Fabiano Perez, Janaína, Karin, Max, Nara, Polyanna, Raphael, Roberta, Rosângela, Sabrina, Sicknan, Suzana, Túlio, Vanessa e Weber,** e a todos os colegas do Mestrado, em especial **João Gustavo, Matheus e Zé Maurício.**

Pelo convívio e pela troca de experiências durante o curso.

Pela ajuda no meu crescimento pessoal e profissional.

Por me ensinarem a respeitar e admirar as diferenças.

Pelo companheirismo e por se tornarem parte da minha vida.

Por serem mais do que colegas, verdadeiros amigos.

A todos os colegas de Pós-Graduação de outras áreas.

Pela amizade, pelo convívio e pela troca de experiência.

Pela ajuda quando de vocês precisei.

A todos os amigos espalhados pelo Brasil e pelo mundo, em especial
**Pablo Ortiz, Domício Neto, Bruno Gurgel, Rodrigo Sousa, Zé
Carlos, Aderval do Nascimento, Mário Henry Neto, Gustavo
Terra, Alan Kalife, Adriana Beloti, Patrícia Jardim, Luciano
Pedrin, Prof. Paulo Henrique dos Santos (Paulinho), Flávia,
Elaine e Carlos, Miqueli.**

*Por fazerem parte da minha vida.
Pelos incontáveis bons momentos juntos.
Por saber que sempre posso contar com vocês.*

Aos alunos do curso de **Graduação** da Faculdade de Odontologia de
Araraquara, especialmente à **Mariana Novaes e Mariana
Matsumoto**, que tive o prazer de orientar durante os Estágios Docência
nas disciplinas de Prótese Total, Materiais Odontológicos, Prótese Fixa e
Oclusão.

*Espero ter atingido as expectativas de vocês.
Agradeço pelo respeito e cordialidade a mim sempre dispensados.
Saibam que vocês foram também grandes professores para mim.
Muito obrigado pelo carinho e pela experiência da docência.*

Aos Funcionários do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese,
Lúcia, Marta, Cida, Adelaidinha, Adelaide, Inês, Dulce, Maria
Lúcia (Malu), Sílvia, Moacir, Manoel, Zé Carlinhos, Ângela,
Cláudio Lunardi (Claudião), João Vítor e Júnior, e demais
funcionários da Faculdade de Odontologia de Araraquara, em especial à
Conceição.

Por estarem sempre por perto quando precisamos.

Pela atenção com que sempre me trataram.

Terei sempre um carinho especial por vocês.

Aos Funcionários da Pós-Graduação, **José Alexandre, Mara,**
Rosângela, Sílvia e Vera.

Pela disponibilidade e atenção na resolução dos problemas.

Por sempre estarem prontos a nos ajudar.

Aos Funcionários da Biblioteca, especialmente **Adriano, Cidinha,**
Ceres, Cristina, Eliane, Inês, Maria José, Maria Helena,
Marley, Dona Odete, Sandra e Sílvia.

Pela atenção e presteza quando de vocês precisamos.

À FAPESB (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia)

Pelo apoio financeiro concedido (bolsa de Doutorado), indispensável para a realização deste trabalho.

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo)

Pelo apoio financeiro concedido (auxílio pesquisa), indispensável para a realização deste trabalho.

À FUNDUNESP (Fundação para o Desenvolvimento da Unesp)

Pelo apoio financeiro concedido (auxílio pesquisa), indispensável para a realização deste trabalho.

À todos aqueles que de uma forma ou outra colaboraram para a realização deste trabalho.

MEU MUITO OBRIGADO

***Algo só é impossível até que alguém
duvide e acabe provando o contrário"***

Albert Einstein

Sumário

1	Introdução.....	15
2	Revisão da literatura.....	19
3	Proposição.....	48
4	Material e método.....	50
5	Resultado.....	73
6	Discussão.....	86
7	Conclusão.....	93
8	Referências.....	95
	RESUMO.....	103
	ABSTRACT.....	106

1 Introdução

A indicação da cerâmica para uso odontológico iniciou-se há cerca de 200 anos, quando Alexis Duchateau, preocupado com a estética das próteses confeccionadas com dentes de animais, os substituiu por dentes cerâmicos; pouco tempo depois, em 1838, John Murphy obteve a primeira restauração em cerâmica, desenvolvendo a técnica de sinterização sobre lâmina de platina (CHAIN et al.⁹, 2000). Entretanto, a aceitação mundial das próteses em cerâmica só foi obtida no início da década de 1960, com a introdução do primeiro sistema metalocerâmico realizado com sucesso (VAN NOORT³³, 1994; ANUSAVICE², 1998).

Novas perspectivas surgiram a partir da introdução da técnica de condicionamento ácido do esmalte, em 1955, e dos subseqüentes avanços obtidos com os sistemas adesivos, que permitiram a fixação de restaurações estéticas confeccionadas apenas em cerâmica diretamente à estrutura dental. Tal fato tem estimulado o desenvolvimento de novos sistemas cerâmicos, que possam apresentar resistência mecânica satisfatória mesmo sem a utilização de metal.

Essa evolução teve como marco, em 1968, a comercialização da cerâmica Dicor-Dentsply, feldspática, reforçada por cristais de fluormica tetrasílica ($K_2Mg_5SiO_2F_4$). Esse material, com resistência à flexão variando

entre 127MPa e 239MPa (OILO²¹, 1988; CAMPBELL⁵, 1989; SEGHI et al.²⁹, 1990; SEGHI e SORENSEN²⁸, 1995), apresentou também novo tipo de processamento, em que a massa cerâmica é aquecida em forno até atingir estágio plastificado, sendo, então, por força centrífuga, injetada dentro de um molde de revestimento, obtido pela técnica da cera perdida. Segundo Rocha²⁶, 1997, essa nova técnica de obtenção de restaurações estéticas indiretas trouxe, como vantagem adicional, melhor adaptação marginal.

Em 1991, foi desenvolvido, como reforço, a dispersão de cristais de leucita. Este material, denominado comercialmente IPS Empress, possui resistência à flexão comparável à das cerâmicas reforçadas por alumina, com média de 130MPa (PROBSTER²³, 1992; UCTALASI et al.³², 1996; WAGNER e CHU³⁴, 1996; CATTELL et al.⁶, 1997; PROBSTER et al.²³, 1997; ZENG³⁶ et al., 1998; CATTELL et al.⁸, 1999; DRUMMOND et al.¹², 2000; MCLEAN¹⁷, 2001). É fornecido sob a forma de pequenas pastilhas, que também são processadas por injeção, sob pressão a vácuo, em moldes obtidos pela técnica da cera perdida. Para Dong et al.¹¹, 1992, a injeção não é apenas um método de processamento responsável em definir melhor forma, contorno e adaptação das restaurações, mas também uma técnica capaz de influenciar a resistência mecânica do material.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Os sistemas cerâmicos reforçados, ainda em franca evolução (Sistema Procera, IPS-Empress 2, In-Ceram e outros), permitiram a ampliação da utilização clínica das cerâmicas odontológicas, pois devido ao aumento da resistência mecânica, puderam ser indicados não só para a confecção de restaurações *inlays/onlays* e coroas totais, mas também para infra-estruturas de próteses parciais fixas (MYERS et al.¹⁹, 1994; SEGHI et al.³⁰, 1995; MIRANDA et al.¹⁸, 1998; HOLAND et al.¹⁶, 2000), em substituição ao metal. Apresentam, entretanto, custo relativamente elevado e, a cada lançamento, sofisticado equipamento laboratorial.

Por outro lado, o surgimento de novos métodos de processamento para os materiais cerâmicos cria a possibilidade de se obter melhores resultados clínicos e mecânicos também para as cerâmicas feldspáticas convencionais. Dentre eles, o processamento por injeção, em moldes obtidos a partir da técnica da cera perdida, pode permitir a obtenção de restaurações indiretas mecanicamente mais resistentes, economicamente mais acessíveis e com adaptação marginal superior.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

2 Revisão da literatura

Em 1988, Oilo²¹ avaliou a resistência à flexão e os defeitos internos das porcelanas odontológicas Biodent e Ceramco (feldspáticas, para cobertura de infra-estruturas metálicas), NBK 1000, Vitadur N e Vita Hi-Ceram (reforçadas com alumina), Cerestore (reforçada com óxidos de alumínio e magnésio) e Dicor (reforçada com cristais de fluormica tetrasílica). O autor cita que a presença destes defeitos representa uma grande influência na resistência dos materiais cerâmicos, já que podem agir como iniciadores de fratura. Cinco corpos-de-prova de cada material, em forma de barra, foram confeccionados nas dimensões de 20mm x 5mm x 1mm, de acordo com as normas da ISO 6872-1984. Os espécimes das cerâmicas Biodent (Dentsply), Ceramco (Dentsply), NBK1000 (Dentsply), Vitadur N (Vita) e Hi-Ceram (Vita) foram obtidos a partir de uma matriz metálica, com medidas proporcionalmente maiores aos espécimes para compensar a contração do material durante o processamento técnico, na qual a cerâmica misturada à água era aplicada e, depois de um processo de secagem, era submetida ao ciclo de cocção recomendado pelo fabricante. Das marcas citadas acima, os espécimes da Hi-Ceram foram confeccionados somente com o material para infra-estrutura (*coping*), enquanto as demais tiveram seus espécimes divididos em cerâmicas para infra-estrutura, dentina e

esmalte. Os corpos-de-prova das cerâmicas Cerestore/Johnson & Johnson (injeção a vácuo) e Dicor/Dentsply (injeção por centrifugação) foram obtidos por meio do processo de cera perdida, de acordo com as recomendações dos fabricantes. O ensaio de resistência à flexão, em três pontos, foi realizado com velocidade de 0,1mm/minuto. Fragmentos de cada corpo fraturado foram submetidos à microscopia, com o objetivo de se verificar o número e o tamanho dos defeitos internos dos materiais. A maior resistência à flexão foi encontrada no Dicor (239MPa), seguido pela Hi-Ceram (155MPa), Cerestore (145MPa), e as demais porcelanas (Biodent, Ceramco, NBK 1000 e Vitadur N), numa média de 116MPa. Não houve diferenças estatísticas na resistência mecânica para as cerâmicas de infra-estrutura, dentina e esmalte, dentro de uma mesma marca comercial. A menor quantidade de poros por área foi observada na cerâmica Biodent (36,5 poros/mm²), enquanto a maior foi para a cerâmica Cerestore (4367 poros/mm²). A média de tamanho dos poros foi de 10µm para todas as cerâmicas, com exceção do Dicor, o qual apresentou média de 1µm. Com a análise dos resultados, o autor concluiu que não houve correlação entre resistência à flexão e porosidade.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Seghi et al.²⁹, em 1990, compararam a resistência à flexão das cerâmicas Excelco (Excelco), Ceramco2 (Ceramco), Vitadur D (Vita), VMK 68 (Vita), Vitadur N (Vita), Hi-Ceram (Vita), Dicor (Dentsply), Mirage (Myron), Cerinate (Den-Mat) e Optec HSP (Jeneric). Os quatro primeiros materiais citados acima consistem em porcelanas feldspáticas sem reforço; as cerâmicas Vitadur N e Hi-Ceram são reforçadas com alumina; o Dicor apresenta o reforço da fluormica tetrasílica; a porcelana Mirage é reforçada com óxido de zircônio; a composição da cerâmica Cerinate não é fornecida e a Optec HSP é reforçada com leucita. Os corpos-de-prova destes materiais foram obtidos por meio do preenchimento de um molde de polivinil-siloxano e submetidos ao processamento recomendado pelo fabricante. Os espécimes da cerâmica Dicor foram obtidos por meio de padrões de resina acrílica, os quais foram incluídos e, após eliminação da resina, foi formado um molde para injeção desta cerâmica fundida. As dimensões finais dos corpos-de-prova foram: 20mm x 6mm x 1mm, na forma de barra. Os espécimes foram submetidos ao teste de resistência à flexão, em três pontos, com velocidade de 0,025mm/minuto. Os valores de resistência à flexão foram, em ordem decrescente: Hi-Ceram (139,30MPa), Dicor (127,71MPa), Vitadur N

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

(123,49MPa), Optec (103,84MPa), Cerinate (94,80MPa), Mirage (70,25MPa), VMK 68 (65,54MPa), Vitadur D (62,49MPa), Ceramco2 (61,37MPa) e Excelco (55,18MPa). Para os autores, existem alguns fatores que influenciam na resistência dos materiais cerâmicos, tais como: composição, presença de defeitos internos, espessura do material e método de processamento. De uma forma geral, todos os materiais avaliados são compostos por uma matriz vítrea com variadas quantidades de fase cristalina dispersa. Esta fase vítrea é responsável pelos mecanismos de falha nos materiais cerâmicos e apresenta uma resistência 100 vezes menor em relação ao material como um todo. A inclusão de partículas de alumina nos materiais Vitadur e Hi-Ceram eleva o módulo de elasticidade e, conseqüentemente, aumenta a resistência à flexão dos mesmos. Quanto aos defeitos internos, quanto maior a quantidade de fendas e porosidades em materiais de mesma composição e processamento técnico, menor é a resistência à flexão do mesmo. Um outro fator de grande influência na resistência é a espessura da cerâmica, ou seja, mesmo utilizando materiais reforçados com cristais de alumina ou leucita, porém em espessuras inferiores ao mínimo recomendado, estes podem apresentar resultados de resistência semelhantes em relação às porcelanas

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

feldspáticas sem reforço que apresentam uma espessura suficiente. Finalmente, dentro do método de processamento, a utilização de uma cristalização controlada promove aumento na resistência da cerâmica. Pelo menos dois materiais utilizados neste estudo (Dicor e Optec) utilizam este processamento. Os autores concluíram que os materiais cerâmicos reforçados produziram valores de resistência à flexão significativamente maiores em relação às porcelanas feldspáticas sem reforço.

Dong et al.¹¹, em 1992, afirmaram que a presença de porosidades pode iniciar a propagação de fendas, levando a uma falha precoce da restauração. Muitos sistemas cerâmicos processados por injeção foram desenvolvidos, como o sistema Dicor/Dentsply, nos quais as porosidades foram bastante reduzidas. Neste estudo, os autores avaliaram a influência da injeção e do tratamento térmico, simulando queimas, na resistência à flexão da cerâmica IPS-Empress/Ivoclar, feldspática, sendo a parte cristalina constituída por cristais de leucita, e indicada para coroas unitárias e *inlays/onlays*. Corpos de prova, em forma de barra, com dimensões de 14mm X 4mm X 2mm, foram distribuídos em 8 grupos (n=15): nos grupos de 1 a 3,

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

as pastilhas de IPS-Empress foram desgastadas com ponta diamantada e polidas com disco abrasivo de granulação 320; nos demais grupos, os corpos-de-prova foram obtidos pelo processo de injeção. Cada grupo recebeu um tratamento diferenciado: grupo 1, apenas desgastado; grupo 2, desgastado, com simulação da temperatura de injeção; grupo 3, desgastado, com simulação das temperaturas de injeção e de queima das camadas estratificadas; grupo 4, apenas injetado; grupo 5, injetado, com simulação da temperatura de queima das camadas estratificadas; grupo 6, injetado, com simulação da temperatura de queima das camadas estratificadas e do glaze; grupo 7, injetado, com simulação da temperatura de queima das camadas de caracterização extrínseca e do glaze; grupo 8, injetado, com simulação da temperatura de queima das camadas estratificadas, da caracterização extrínseca e do glaze. O ensaio de resistência à flexão foi realizado com velocidade de 0,5mm/minuto. Os valores médios encontrados foram, respectivamente: 1- 74MPa; 2- 91MPa; 3- 82MPa; 4- 126MPa; 5- 182MPa; 6- 175MPa; 7- 159MPa; 8- 171MPa. Os resultados mostraram que não houve diferenças estatísticas entre os grupos 1, 2 e 3, comprovando que o tratamento térmico antes da injeção não promove nenhuma diferença na

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

resistência à flexão. No grupo 4, os autores notaram que o processo de injeção aumentou a resistência, assim como o tratamento térmico após a injeção melhorou a resistência à flexão nos grupos 5, 6, 7 e 8. Esse estudo indicou que a injeção da cerâmica não é apenas um método de processamento, já que tem uma influência sobre a resistência à flexão desse material. A avaliação por meio da microscopia eletrônica de varredura das pastilhas de IPS-Empress mostrou que os cristais de leucita estão agrupados antes da injeção. Em contraste, depois de injetada, apresentam-se distribuídos de forma mais homogênea. Uma possível explicação para a diferença de disposição dos cristais foi que, durante o processo de injeção, os cristais agrupados se chocam nas paredes do conduto de alimentação e se dispersam na fase vítrea de forma mais homogênea, melhorando a resistência à flexão. Um outro fator que pode ter influenciado na resistência à flexão foi a diferença entre o coeficiente de expansão térmica entre os cristais e a fase vítrea. Durante cada resfriamento da cerâmica, após a injeção ou após as simulações das queimas, essa diferença de coeficiente permitiu o surgimento de estresses residuais de compressão, melhorando a resistência mecânica. Os autores concluíram que: (1) o processo de injeção

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

aumentou a resistência da cerâmica; (2) tratamentos térmicos subsequentes também aumentaram a resistência à flexão; (3) tratamentos térmicos antes da injeção não influenciaram a resistência da cerâmica.

Uctalasi et al.³², em 1996, estudaram a resistência à flexão biaxial do material IPS-Empress (Ivoclar), sob diferentes condições de processamento técnico e simulação de possíveis queimas após a injeção. Os espécimes (n=10), em forma de disco, com dimensões de 16mm x 2mm ou 16mm x 1mm, foram divididos nos seguintes grupos: 1- 2mm de porcelana de estrutura, sem tratamento após o processamento; 2- 2mm de porcelana de estrutura, recebendo a técnica da caracterização extrínseca (3 vezes, seguidas de queima) e glazeamento; 3- 2mm de porcelana de estrutura, submetida à técnica estratificada (aplicação de 0,4mm de porcelana feldspática) e glazeamento; 4- 1mm de porcelana de estrutura, submetida à técnica estratificada (aplicação de 1mm de porcelana feldspática) e glazeamento; 5- idem ao grupo 4, porém com a camada de cobertura de porcelana feldspática voltada para baixo durante o teste mecânico; 6- 2mm de porcelana incisal, processada pela técnica estratificada; 7. idem ao grupo

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

6, porém com a superfície glazeada voltada para baixo durante o teste mecânico. Observou-se que o grupo 4 apresentou o maior valor de resistência à flexão (167MPa), enquanto o grupo 5 apresentou o menor valor (81MPa). Isto se explica pela característica do material que é submetido à tensão de tração (superfície voltada para baixo) durante o teste, ou seja, o grupo 4 apresenta o material de estrutura recebendo esta tensão, enquanto no grupo 5, o material teoricamente menos resistente (porcelana feldspática) é submetido à mesma. Não houve diferenças estatísticas entre os grupos 1, 2, 3 e 4 (142MPa, 160MPa, 144MPa e 167MPa, respectivamente), entretanto estes foram superiores em relação aos grupos 6 e 7 (99MPa e 93MPa, respectivamente). Os autores concluíram que as técnicas de caracterização extrínseca ou estratificada não interferem na resistência do material depois de injetado.

Cattell et al.⁷, em 1997, avaliaram a resistência à flexão, em três pontos, e a composição da cerâmica IPS-Empress (reforçada por leucita – Ivoclar), em comparação com as porcelanas Cerinate (reforçada por leucita – Den. Mat.), Corum (reforçada por leucita – Ivoclar) e Vita Alpha (feldspática –

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Vita). Foram confeccionados 20 corpos-de-prova para cada material, em forma de barra, com dimensões de 27mm x 7mm x 2mm. Os espécimes da cerâmica IPS-Empress foram produzidos pelo método da cera perdida, com a plastificação e injeção sob pressão no molde refratário. Os demais materiais foram preparados pela compactação do pó num molde metálico, seguida pela cocção de acordo com os ciclos indicados pelos fabricantes. Após acabamento e glazeamento, as barras foram testadas com célula de carga de 500N e velocidade de 0,05mm/minuto. A análise estatística indicou diferenças significantes entre os materiais: respectivamente, 117,3MPa e 118,2MPa para as cerâmicas IPS-Empress e Cerinate, iguais entre si, 92MPa para o Corum e 60,9MPa para a Vita Alpha. Entretanto, pela análise de regressão de Weibull, a cerâmica Cerinate apresentou o maior valor de confiabilidade para a resistência ($m=14,4$), contra $m=7,2$ (Corum), 5,26 (Vita Alpha) e $m=4,13$ (IPS-Empress). As imagens ao microscópio eletrônico revelaram menor porosidade para as cerâmicas Cerinate e Corum (0,4% e 0,2%, respectivamente). A cerâmica Vita Alpha apresentou fratura da matriz vítrea, com evidência de elevada porosidade (7,1%). O padrão de fratura do IPS-Empress foi intergranular, com mínima evidência de porosidade (0,02%).

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

No mesmo ano, Cattell et al.⁶ publicaram a segunda parte do estudo, utilizando estas mesmas cerâmicas, porém, com o teste de resistência à flexão biaxial *piston-on-three ball*. Vinte corpos de prova para cada material, em forma de disco, nas dimensões de 14mm x 2mm, foram confeccionados de acordo com as recomendações do fabricante e testados com célula de carga de 500N e velocidade de 0,15mm/minuto. Verificou-se não haver diferenças entre o IPS-Empress (133,5MPa) e o Corum (119,8MPa), e entre o Corum e Cerinate (109,1MPa). O menor valor foi para a Vita Alpha (68,2MPa). Assim, os resultados mostraram maiores valores de resistência à flexão para as porcelanas reforçadas com leucita em relação à porcelana feldspática. Pela análise de regressão de Weibull, a cerâmica Cerinate apresentou o maior valor de confiabilidade para a resistência ($m=10,2$), contra $m=6,93$ (Vita Alpha), $m=6,6$ (IPS-Empress) e $m=5,27$ (Corum). Os autores concluíram que o IPS-Empress não tem vantagens na resistência, comparados aos demais materiais enriquecidos com leucita, testados neste trabalho.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Pröbster et al.²⁴, em 1997, avaliaram a resistência à flexão (biaxial, três pontos e quatro pontos), a resistência à compressão, a resistência à tração diametral, a dureza e a resistência à fratura da cerâmica IPS-Empress (Ivoclar). Segundo os pesquisadores, esta cerâmica é basicamente feldspática, reforçada com cristais de leucita, apresentando a seguinte composição, em massa: 63% SiO₂; 17,7% Al₂O₃; 11,2% K₂O; 4,2% Na₂O; 1,6% CaO; 0,7% BaO; 0,6% B₂O₃; 0,4% CeO₂; 0,2% TiO₂. Os corpos-de-prova foram obtidos pelo método da cera perdida e injeção sob pressão (0,5MPa) a 1150°C por 1 hora, de acordo com duas técnicas distintas: 1- caracterização extrínseca, na qual os espécimes injetados recebiam duas camadas de porcelana, seguidas de glazeamento, e 2- estratificada, na qual os mesmos eram envolvidos com porcelana de cobertura, seguida de glazeamento. As formas e dimensões foram de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 - Forma e dimensões (mm) dos espécimes estudados

Teste	Forma dos espécimes	Dimensões
Flexão biaxial	disco	16 x 2
Flexão-3 pontos	barra	25 x 5 x 2
Flexão-4 pontos	barra	30 x 5 x 3

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Compressão	cilindro	6 x 6
Tração diametral	cilindro	6 x 6
Dureza Vickers	fragmentos de barra	-
Fratura	barra	25 x 5 x 2

Neste estudo, foi analisada também a resistência à fratura de coroas unitárias de IPS-Empress, confeccionadas sobre um incisivo central de um modelo de cobalto-cromo, de acordo as duas técnicas já citadas. As coroas foram cimentadas com cimento de fosfato de zinco Harvard (Richter) e submetidas ao teste mecânico, simulando uma situação clínica. Todos estes testes foram realizados com velocidade de 0,1mm/minuto. Os resultados estão no Quadro 2.

Quadro 2 - Resistência mecânica do IPS-Empress

Teste	Técnica da pintura	Técnica estratificada
Flexão – biaxial (MPa)	160,2 $\pm$ 33,9	136,0 $\pm$ 19,8
Flexão – 3 pontos (MPa)	115,1 $\pm$ 25,8	85,1 $\pm$ 13,2
Flexão – 4 pontos (MPa)	90,1 $\pm$ 10,4	100,3 $\pm$ 69,6
Compressão (MPa)	162,9 $\pm$ 34,4	163,7 $\pm$ 30,8

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Tração diametral (MPa)	48,8 $\pm$ 9,8	44,3 $\pm$ 7,7
Dureza Vickers	504,0 $\pm$ 11,0	508,0 $\pm$ 10,0
Fratura (MPa)	1,4 $\pm$ 0,1	1,8 $\pm$ 0,1
Compressão das coroas (N)	814,1 $\pm$ 349,8	750,6 $\pm$ 245,3

A análise estatística mostrou diferenças significativas entre os materiais processados nas duas diferentes técnicas, para os testes de resistência à flexão, dureza e resistência à fratura, porém não houve diferenças para os testes de resistência à tração diametral, à compressão e à fratura das coroas.

Zeng et al.³⁶, em 1998, avaliaram a resistência à flexão biaxial *ring-on-ring* das cerâmicas Procera (Nobel Biocare), In-Ceram Alumina (Vita), AllCeram (Ducera), Vitadur-N (Vita) e Vitadur-Alpha (Vita). Corpos-de-prova, em forma de disco, foram confeccionados de acordo com as recomendações do fabricante, em número e dimensões caracterizados no Quadro 3.

Quadro 3 - Número e dimensões dos espécimes das cerâmicas estudadas

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Material	Número	Dimensões médias
Procera	10	16,32 x 2,10
In-Ceram	10	15,63 x 2,00
AllCeram	13	15,46 x 1,92
Vitadur-N	10	16,06 x 1,89
Vitadur-Alpha	11	15,74 x 1,94

Os espécimes foram testados com velocidade de 0,5mm/minuto e diâmetros do anel de carga e do anel de suporte de 1,41mm e 10,0mm, respectivamente. A comparação entre os materiais foi realizada pela estatística de Weibull. Os resultados estão listados no Quadro 4.

Quadro 4 - Resistência à flexão (MPa) e módulo de Weibull (m) das cerâmicas de infraestrutura estudadas

Materiais	Resistência à flexão	Módulo de Weibull
Procera	1- 469,0 $\pm$ 48,2	11
	2- 669,4 $\pm$ 70,8	11
In-Ceram	1- 301,1 $\pm$ 80,7	4

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

	2- 450,1 $\pm$ 120,4	4
AllCeram	1- 72,3 $\pm$ 11,8	6
	2-108,7 $\pm$ 17,9	6
Vitadur-N	1- 76,8 $\pm$ 16,3	4
	2- 116,8 $\pm$ 24,7	4
Vitadur-Alpha	1- 65,6 $\pm$ 11,1	7
	2- 98,8 $\pm$ 16,82	7

A resistência à flexão e o módulo de Weibull da cerâmica Procera foram significativamente maiores em relação ao In-Ceram, indicando uma melhor distribuição de defeitos internos e estresse pelo corpo-de-prova. Não houve diferenças estatísticas entre as porcelanas AllCeram, Vitadur-N e Vitadur-Alpha.

Chen et al.¹⁰, em 1999, determinaram a resistência à fratura das cerâmicas Vita Mark II (Vita, feldspática processada pela usinagem do bloco cerâmico por uma máquina controlada por computador – Cerec II) e ProCad (Vident, reforçada com leucita e processada pelo mesmo método da cerâmica anterior), e do sistema IPS-Empress (Ivoclar, reforçada com leucita e processada pelo método de injeção sob pressão, em dois diferentes

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

laboratórios de prótese). Oitenta coroas foram confeccionadas para cada cerâmica, de acordo com as recomendações dos fabricantes (Quadro 5).

Quadro 5 – Materiais utilizados, métodos de processamento e polimento

Material	Método de Processamento	Polimento
Vita Mark II	Cerec 2	Polimento com pontas diamantadas (Dia-finish N° 40, Renfert GmbH, Hilzingen, Germany)
ProCAD	Cerec 2	Polimento com pontas diamantadas (Dia-finish N° 40, Renfert GmbH, Hilzingen, Germany)
IPS Empress	Injeção à vácuo – Laboratório 1	Glaze
IPS Empress	Injeção à vácuo – Laboratório 2	Glaze

Em seguida, foram fixadas com o cimento resinoso Variolink II (Vivadent) e divididas em quatro grupos: 1. 20 coroas de cada cerâmica submetidas diretamente ao teste de resistência à fratura, sem polimento, glaze ou ciclagem mecânica prévia; 2. idem ao grupo anterior, porém os corpos-de-prova receberam processo de polimento (Vita MarkII e ProCad) ou glazeamento (ProCad e IPS-Empress); 3. idem ao grupo 1, sem polimento ou glaze, porém com ciclagem mecânica prévia de 200N, 50.000 ciclos e

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

frequência de 1Hz; 4. idem ao grupo 3, com ciclagem mecânica, porém os espécimes receberam polimento ou glazeamento. A carga de fratura para as coroas ProCad polidas que não foram submetidas ao ciclo prévio de carga foi de $2120N \pm 23N$, significativamente maior em relação às coroas Vita MarkII polidas ($1905 \pm 235N$), mas não significativamente diferente das coroas IPS-Empress confeccionadas nos dois laboratórios ($2103N \pm 460N$ no laboratório 1 e $2669 \pm 411N$ no laboratório 2). O polimento das coroas ProCad melhorou significativamente a resistência à fratura (acima de $2254N \pm 186N$). Os ciclos prévios de carga foram responsáveis pela redução da resistência à fratura das coroas testadas, mas esta foi menor para as coroas processadas pelo método Cerec II - ($1358N \pm 279N$ para Vita Mark II e $1613N \pm 296N$ para ProCad) em relação às coroas processadas à vácuo (IPS-Empress - $1369N \pm 406N$ no laboratório 1 e $1055N \pm 345N$ no laboratório 2). Os autores concluíram que as coroas Cerec ProCad apresentam resistência à fratura maior em relação às coroas Cerec Vita Mark II e menor probabilidade de fratura, em ciclos de carga que simulam condições bucais, em relação às coroas IPS-Empress.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Gorman et al.¹⁵, em 2000, afirmaram que a evolução dos métodos de processamento das cerâmicas odontológicas sofreu forte influência da demanda por tratamentos mais estéticos, que necessitava de melhores propriedades mecânicas e restaurações mais bem adaptadas à estrutura dental. Os autores compararam o método de processamento por injeção com a sinterização convencional, destacando as vantagens do primeiro sobre o segundo: menor porosidade, aumento da resistência à flexão e excelente adaptação marginal. Outra vantagem do sistema é que o forno para injeção pode ser utilizado para o ciclo de sinterização convencional. O objetivo do trabalho foi avaliar a composição e a estrutura das cerâmicas OPC e IPS-Empress, antes e após o processamento por injeção. Foram também avaliadas a resistência à flexão e a dureza Vickers, após a injeção. A resistência à flexão biaxial foi testada utilizando-se espécimes em forma de disco, com 20mm de diâmetro e 1,5mm de espessura. Os espécimes para avaliação da dureza Vickers foram os fragmentos resultantes do teste de flexão. Os autores concluíram que: (1) a micro-estrutura do IPS-Empress não se modifica após o método de processamento; (2) A OPC apresenta alteração na sua microestrutura após o método de processamento; (3) a

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

resistência à flexão biaxial e a dureza Vickers não apresentaram diferenças estatísticas entre os materiais: IPS-Empress (134,4MPa / 6,94GPa) e OPC (153,6MPa / 7,28GPa).

Drummond et al.¹², em 2000, avaliaram a composição e a resistência à flexão em três pontos das cerâmicas processadas por injeção sob pressão das cerâmicas OPC (Jeneric/Pentron), IPS-Empress (Ivoclar), Finesse (Dentsply) e uma cerâmica experimental à base de dissilicato de lítio. Para os testes mecânicos, foram produzidos, no mínimo, dez corpos-de-prova para cada material, em forma de barra, e dimensões de 20mm x 5mm x 2mm, de acordo com as recomendações dos fabricantes. A resistência à flexão foi obtida com velocidade de 2mm/minuto, em duas situações distintas: 1- espécimes testados imediatamente após confecção e 2- espécimes testados após 3 meses de armazenagem em água. Além disso, um outro grupo de espécimes destes materiais foi submetido à ciclagem mecânica previamente aos testes mecânicos mencionados. Cargas entre 10N e 40N foram aplicadas até atingir 1000 ciclos, nas duas situações descritas acima. Os

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

métodos de processamento empregados e os resultados obtidos estão listados no Quadro 6.

Quadro 6 - Resistência à flexão (MPa) em função de processamento, armazenagem em água e ciclagem mecânica

Materiais	R. Flexão	R. Flexão após ciclagem
Finesse sinterizada	79,16	38,84
Finesse sinterizada após imersão	74,79	37,53
Finesse injetada	93,98	70,28
Finesse injetada após imersão	83,31	62,46
IPS-Empress	92,75	69,81
IPS-Empress após imersão	108,58	70,04
OPC	98,76	55,83
OPC após imersão	89,92	75,67
Cerâmica experimental	204,75	153,81
Cerâmica experimental após imersão	193,42	122,34

A cerâmica experimental mostrou maior resistência à flexão em relação às outras cerâmicas e não houve diferenças significantes entre os materiais IPS-Empress, OPC e Finesse injetada, porém estas foram superiores em relação à Finesse processada pelo método convencional de cocção. A armazenagem em água diminuiu em 15% a resistência à flexão. A

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

ciclagem mecânica reduziu significativamente a resistência à flexão dos espécimes (15% a 60%). A imagem por microscopia eletrônica revelou uma distribuição mais uniforme da fase cristalina das cerâmicas injetadas em relação ao processamento convencional. Além disso, na cerâmica experimental, observou-se a dispersão de pequenas partículas de dissilicato de lítio e uma menor quantidade de matriz vítrea. Os autores concluíram que a melhora na resistência mecânica das cerâmicas não depende somente da mudança na composição, mas também, do tamanho e da distribuição dos cristais na matriz vítrea.

Tinschert et al.³¹, em 2000, estudaram a resistência à flexão, em quatro pontos, das cerâmicas Cerec Vita Mark II (porcelana feldspática, Vita), Dicor (fluormica tetrasílica, Dentsply), In-Ceram Alumina (óxido de alumínio, Vita), IPS-Empress (leucita, Ivoclar), Vitadur Alpha para infra-estrutura (feldspática reforçada com alumina, Vita), Vitadur Alpha para cobertura (feldspática, Vita), VMK 68 (feldspática, Vita) e Zirconia-TZP (95% de óxido de zircônio, Metoxit AG). Trinta corpos-de-prova, em forma de barra e dimensões médias de 30mm x 3mm x 1,5mm, foram confeccionados de

Influência do método de processamento, sinterização
convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão
e dureza de porcelanas feldspáticas

acordo com as recomendações dos fabricantes e submetidos ao teste de resistência à flexão. Os resultados mostraram que a maior resistência foi obtida pelo material Zirconia-TZP (913MPa), seguido pelo In-Ceram Alumina (429,3MPa) e Vitadur Alpha para infra-estrutura (131MPa). Não houve diferenças estatísticas entre as demais cerâmicas estudadas (86,3MPa - Cerec Vita Mark II; 70,3MPa - Dicor; 83,9MPa - IPS-Empress; 60,7MPa - Vitadur Alpha para cobertura; 82,7MPa - VMK 68).

Apholt et al.³, em 2001, estudaram a resistência à flexão, em três pontos, das cerâmicas In-Ceram Alumina (Vita) e In-Ceram Zirconia (Vita), processadas de maneira convencional ou pelo sistema Cerec II. Quinze corpos-de-prova, em forma de barra e dimensões de 13mm x 4mm x 3mm, foram produzidos para cada um dos seguintes grupos: 1 – bloco de In-Ceram Alumina, processado pelo sistema Cerec II; 2 - In-Ceram Alumina processado de forma convencional (compactação do pó e dupla sinterização); 3 - bloco de In-Ceram Alumina, cortado nas dimensões especificadas por meio de disco diamantado; 4 – bloco de In-Ceram Zirconia processado pelo sistema Cerec II. O teste mecânico foi realizado com

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

velocidade de 0,5mm/minuto. Verificou-se que os maiores valores de resistência foram obtidos nos grupos 3 (630MPa) e 4 (624MPa), semelhantes estatisticamente entre si. Não houve diferenças estatísticas entre os grupos 1 (511MPa) e 2 (498MPa), entretanto o coeficiente de variação do segundo foi 100% maior em relação ao primeiro. Em relação à variação do método de processamento para o mesmo material observou-se maior resistência para o grupo 3 -Bloco de In-Ceram Alumina cortado nas dimensões especificadas com disco diamantado em relação aos grupos 2- processado pelo método convencional ou 1- utilizando o Cerec. Ainda em relação a In-Ceram Alumina, uma maior quantidade de porosidades foi observada nos espécimes fraturados do grupo 2- método convencional.

Blatz⁴, em 2001, realizou revisão da literatura sobre o sucesso clínico a longo prazo das restaurações totalmente cerâmicas em dentes posteriores. Para as restaurações *inlay*, o autor mostrou os seguintes valores de índice de sucesso para os diferentes sistemas cerâmicos analisados: 1- porcelanas feldspáticas (92 a 95%, em seis anos de acompanhamento); 2- sistema Dicor (90%, em 127 restaurações analisadas após seis anos de

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

acompanhamento); 3- cerâmicas processadas pelo sistema Cerec (entre 91 e 100%, em período de sete anos de acompanhamento); 4- sistema IPS-Empress (93%, em seis anos de acompanhamento). O índice de sucesso observado para coroas totais dos mesmos materiais citados anteriormente foram: 1- 84,8 a 97,9%, em sete anos; 2- 87%, em quatorze anos; e 4- 88,4%, em 168 coroas analisadas em seis anos. Coroas confeccionadas com o sistema Procera apresentaram um índice de sucesso entre 93% e 100%, em cinco anos de acompanhamento.

Rizkalla e Jones²⁵, em 2004, avaliaram a resistência flexural e a dureza Knoop das cerâmicas Vitadur (esmalte e dentina), Vitadur N, Hi-Ceram, Vita In-Ceram alumina, Dicor (Injetada e usinada). Para o teste de resistência à flexão foram confeccionados espécimes em forma de barra (n=5), com secção transversal com medidas de 5mm X 1mm e distância entre os apoios de 11,5mm. O teste foi realizado, com velocidade de 0,5mm/minuto. Para o ensaio de dureza Knoop os espécimes foram incluídos em resina acrílica e polidos, sendo realizadas seis leituras por espécime. Para resistência à flexão, os autores encontraram igualdade estatística para

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

a Vitadur e Hi-Ceram. Os valores de dureza Knoop encontrados variaram de 3,38GPa para Dicor usinada até 10,79GPa para Vita In-Ceram Alumina. Os autores concluíram que as propriedades mecânicas da Vita In-Ceram alumina são estatisticamente superiores aos outros materiais avaliados e não há diferença estatística para as propriedades mecânicas entre a Dicor , injetada e usinada, e entre Vitadur, esmalte ou dentina.

Albakry et al.¹, em 2003, avaliaram a resistência flexural biaxial e possíveis alterações na fase cristalina após processamento por injeção das cerâmicas IPS-Empress, IPS-Empress 2 e uma cerâmica experimental. Para o teste de resistência flexural biaxial, *piston on three-ball*, 20 espécimes de cada material foram confeccionados, em forma de disco (14mm X 1,1mm), e ensaiados com velocidade de 0,5mm/minuto. A análise por difração de raios-X foi realizada em cada material estudado, divididos em três grupos: (1) antes do processo de injeção, (2) após injeção e (3) após injeção e tratamento térmico. Os autores encontraram valores de resistência flexural de 175MPa para o IPS-Empress, sendo estatisticamente inferior aos valores de 407MPa para o IPS-Empress 2 e de 440MPa para a cerâmica

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

experimental, que não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Para os três materiais não foi observada nenhuma alteração de composição, contudo, após processamento por injeção, observou-se distribuição mais homogênea dos cristais.

Zhang et al.³⁷, em 2004, afirmaram que o método de processamento de cerâmicas por sinterização convencional é uma técnica sensível, dependente da experiência do técnico de laboratório, e que resultados variados são inevitáveis quando manipulados por profissionais diferentes. Por esse motivo, os autores avaliaram a influência da proporção pó/líquido na quantidade de porosidade e na translucidez das cerâmicas Duceram LFC e IPS-Eris para massa dentina e incisal. Para tanto, foram confeccionados espécimes em forma de disco, com 16mm de diâmetro e 2,5 mm de espessura. Para cada material variou-se a proporção pó/líquido (baixa, média e alta) e foi utilizado o ciclo de sinterização recomendado pelo fabricante (Quadro 7).

Quadro 7 – Materiais utilizados, proporção pó/líquido e temperaturas de sinterização

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Materiais	Proporção pó/líquido (g/ml)			Temperatura final de sinterização
	Baixa	Média	Alta	
Duceram LFC dentina	2,64	2,86	3,14	660°C
Duceram LFC incisal	2,85	3,07	3,35	690°C
IPS-Eris dentina	2,7	2,92	3,2	815°C
IPS-Eris incisal	2,56	2,78	3,06	815°C

Os autores observaram menor quantidade de porosidade para ambas as cerâmicas massa dentina, na menor proporção pó/líquido utilizada; para a massa incisal, na proporção média. Os autores acreditam que a porosidade pode afetar as propriedades mecânicas, promovendo um decréscimo da resistência à flexão.

Goldin et al.¹⁴, em 2005, afirmaram que a adaptação marginal de coroas totais é importante para a longevidade do tratamento. A fenda formada entre a restauração e o remanescente dental é potencial nicho para acúmulo de placa bacteriana, que resulta em um tecido periodontal inflamado, cárie, e subsequente falha do tratamento protético. Segundo os autores, uma fenda de 40µm a 120µm pode ser considerada aceitável. A

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

contração da cerâmica, inerente ao método de processamento por sinterização, é um fator que segundo os autores pode comprometer a adaptação marginal das coroas, e sugerem utilizar o método de injeção para evitar esse problema. Neste método de processamento é confecciona uma restauração em cera, e incluída em revestimento, no qual a cerâmica será injetada. Esse método é mais simples e rápido que o método de sinterização convencional que requer múltiplos ciclos de queima. Neste trabalho, foi avaliada a adaptação marginal de restaurações sem metal, processadas por injeção (grupo 1), e de coroas metalocerâmicas, com ombro totalmente cerâmico, processado por injeção (grupo 2) ou por sinterização (grupo 3). Para que cada grupo atingisse 15 espécimes que não ultrapassasse 120 μm , foram confeccionadas 62 coroas. Das coroas rejeitadas, 3 foram do grupo de coroas sem metal e 14 metalocerâmicas, sendo 3 do grupo da cerâmica processada por injeção e 11 da cerâmica processada por sinterização. A adaptação marginal foi avaliada em quatro pontos, no centro de cada face livre, sendo 3 imagens por região, totalizando 12 imagens por espécime. Os resultados evidenciaram que não houve diferenças significantes entre os três grupos, sendo encontrado como valores de desadaptação $94 \pm 41 \mu\text{m}$ (grupo

Influência do método de processamento, sinterização
convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão
e dureza de porcelanas feldspáticas

1), $88 \pm 29 \mu\text{m}$ (grupo 2) e $81 \pm 25 \mu\text{m}$ (grupo 3). Os autores concluíram que não houve diferença quanto à adaptação marginal entre os três grupos, contudo a técnica por injeção de cerâmica mostrou-se menos sensível em relação à sinterização devido ao número de repetições necessária nesta última.

Influência do método de processamento, sinterização
convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão
e dureza de porcelanas feldspáticas

3 Proposição

Foi objetivo deste trabalho, por meio de ensaios de resistência à flexão em três pontos e de dureza Vickers, avaliar o comportamento mecânico das porcelanas feldspáticas convencionais (DuceraGold, Duceram Plus, Excelsior, Omega 900, Symbio, VMK e Vitadur Alpha), submetidas a dois métodos de processamento laboratorial: sinterização convencional e injeção a vácuo.

4 Material e método

4.1 Materiais investigados

Os materiais investigados neste estudo são listados no quadro 8, que apresenta, também, as composições básicas, indicadas pelos fabricantes, e os métodos de processamento empregados. Todos os produtos apresentam-se na forma de pó, aglutinado com água destilada. O método de sinterização convencional é a indicação de cada fornecedor. O método de injeção é experimental para estes materiais.

Quadro 8 - Materiais cerâmicos utilizados neste estudo: fabricante, composição básica e métodos de processamento

MATERIAIS / FABRICANTE	COMPOSIÇÃO BÁSICA	MÉTODO DE PROCESSAMENTO
Duceragold / Degudent	Feldspato	Sinterização convencional
		Injeção a vácuo
Duceram Plus / Degudent	Feldspato	Sinterização convencional
		Injeção a vácuo
Excelsior / Degudent	Feldspato	Sinterização convencional
		Injeção a vácuo
Omega 900 / Vita	Feldspato	Sinterização convencional
		Injeção a vácuo
Symbio / Degudent	Feldspato	Sinterização convencional
		Injeção a vácuo
VMK 95 / Vita	Feldspato	Sinterização convencional
		Injeção a vácuo
Vitadur Alpha / Vita	Feldspato, reforçado com óxido de alumínio	Sinterização convencional
		Injeção a vácuo

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

4.2 Dimensionamento dos corpos-de-prova

4.2.1 Ensaio de resistência à flexão

Para o ensaio de resistência à flexão em três pontos ($n=10$), foram confeccionados corpos-de-prova em forma de barra, com 25mm de comprimento, 5mm de largura e 2mm de espessura (norma ISO 6872).

Os espécimes de cada material, nas dimensões acima, foram obtidos a partir de uma matriz metálica, com base retangular em alumínio e espaço para o encaixe de lâmina de aço inoxidável, bipartida (Figura 1). O método de obtenção, para cada condição experimental, será descrito no item 4.3, a seguir.



(a)

(b)

FIGURA 1 – Matriz metálica com dimensões preconizadas pela norma ISO 6872; (a) matriz montada; (b) matriz desmontada.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Para o ensaio mecânico de resistência à flexão em três pontos, foram utilizados dois dispositivos, compostos por uma mesa com dois apoios na porção inferior, cilíndricos (1,6mm de diâmetro) e distantes 20mm entre si, e um dispositivo para aplicação da força no centro do corpo-de-prova, na porção superior, com ponta ativa na forma cilíndrica (Figura 2).

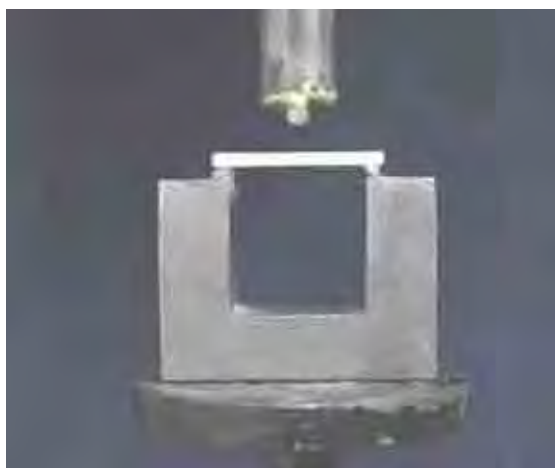


FIGURA 2 – Dispositivo com corpo-de-prova para realização do ensaio de flexão.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

O carregamento foi realizado em equipamento MTS-810 (Material Test System, EUA), com célula de carga de 10kN, gerenciado por programa Test Star II (IBM, EUA) (Figura 3).



FIGURA 3 - Equipamento MTS-810 (Material Test System, EUA), gerenciado por programa Test Star II (IBM, EUA).

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Os seguintes parâmetros foram inseridos no sistema para o cálculo da resistência à flexão:

a) Média das dimensões dos corpos-de-prova de cada material, medidas individualmente, por meio do paquímetro digital Mitutoyo 500-143B, com precisão de 0,01mm. Para cada medida foram realizadas 3 medições (2 nas extremidades e no centro do corpo de prova) (Figura 4);



FIGURA 4 – Corpo de prova sendo medido por meio do paquímetro digital Mitutoyo 500-143B.

- b) velocidade de aplicação da carga de 0,5 mm/min;
- c) unidade de medida em MPa;

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

d) distância entre os apoios de suporte em 20mm.

A resistência à flexão foi calculada a partir da seguinte expressão:

$$\sigma = \frac{3FL}{2wh^2}$$

onde:

σ = resistência à flexão em três pontos (MPa),

F= força máxima na fratura (N),

L= distância dos apoios de suporte (mm),

w= largura do espécime (mm),

h= espessura do espécime (mm).

4.2.2 Ensaio de dureza Vickers

Para o ensaio de dureza (n=5), cinco fragmentos de cada cerâmica, obtidos após o teste de resistência à flexão, foram incluídos em resina

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

acrílica ativada quimicamente JET (Artigos Odontológicos Clássico, Brasil). Como consequência do ensaio de flexão, o corpo-de-prova em forma de barra foi seccionado em dois, sendo incluído apenas um desses fragmentos (Figura 5). A superfície destinada às leituras de dureza correspondeu às regiões da barra distantes aproximadamente 5mm dos pontos de carregamento (local da fratura e apoios).



FIGURA 5 – (a) Fragmentos dos espécimes do ensaio de resistência à flexão; (b) fragmento do espécime incluído em resina acrílica para o ensaio de dureza.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Para os ensaios de dureza, na escala Vickers, após a inclusão em resina acrílica, os espécimes receberam acabamento e polimento mecânico em politriz Metaserv Grinder/Polisher 2000 (Buehler, EUA), com lixas de granulação decrescente (3M, Brasil, na seguinte numeração: 200, 400, 600, 1200 e 2000) e pasta diamantada (Metadi Diamont Suspension, Buehler, EUA, 3 μ m). Em seguida, foram submetidos ao ensaio de dureza, em durômetro Buehler (Lake Bluff, EUA), com diamante Vickers e força de 300gf por 30 segundos (Figura 6). Durante o ensaio de dureza, a ponta ativa do aparelho, o diamante Vickers, pirâmide de base quadrangular, causa uma impressão ou marca na superfície do corpo-de-prova, na qual são medidas as duas diagonais. A média destas diagonais, relacionada com a carga aplicada, é então convertida em número de dureza, na escala Vickers. A superfície de cada corpo de prova foi dividida em quadrantes, em cada qual foi realizada uma demarcação. O valor de dureza por corpo-de-prova foi obtido por meio da média dos quatro valores registrados.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas



FIGURA 6 – (a)Ensaio de dureza Vickers em durômetro Buehler; (b) ponta ativa do durômetro Buehler; (C) Imagem da base da pirâmide formada pelo diamante do durômetro Buehler no espécime submetido ao ensaio de dureza Vickers.

4.3 Obtenção dos corpos-de-prova

4.3.1 Processamento por sinterização

Para a confecção dos corpos-de-prova, quatro padrões em resina acrílica Duralay (Reliance, Manufacturing Co., EUA) foram obtidos diretamente a partir da matriz metálica. A seguir, considerando-se a contração média de 15% das cerâmicas, ocorrido durante o ciclo de

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

sinterização e calculada no ensaio piloto, cada padrão de resina teve suas dimensões aumentadas, por meio da técnica do pincel, desgastes com lixa Soflex (3M Dental Products, St. Paul, MN, EUA) e controle com paquímetro digital (Mitutoyo, São Paulo, Brasil). Os padrões estendidos foram moldados com polivinilsiloxano Stern Tek (Stern Gold, EUA) resultando em matrizes elásticas, que tiveram por finalidade evitar a fratura durante a retirada dos espécimes (Figura 7).



a)

(b)

FIGURA 7 – (a) Padrão em resina acrílica, com dimensões 15% maiores, em relação à norma ISO; (b) matriz de silicone.

A massa cerâmica para aplicação no molde e produção dos espécimes foi formada pela mistura, por saturação, do pó com água destilada. Pequenas porções desta massa foram aplicadas e condensadas

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

com espátula de teflon nº 1 (Duflex, S. S. White Artigos Dentários Ltda., Juiz de Fora, Brasil), até completar todo o molde. Após a remoção do excesso com papel absorvente e do alisamento da superfície externa com espátula nº 36 (Duflex, S. S. White Artigos Dentários Ltda., Juiz de Fora, Brasil), cada espécime foi retirado da matriz elástica e levado para a sinterização no forno Aluminipress (EDG Equipamentos e Controles, São Carlos, Brasil) (Figura 8).



(a)

(b)

FIGURA 8 – (a) Espécimes posicionados no forno Aluminipress para processo de sinterização; (b) corpo de prova antes e após sinterização, evidenciando a contração volumétrica média de 15% da cerâmica durante a sinterização.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

O ciclo de cocção a vácuo seguiu as recomendações dos fabricantes. Os ciclos empregados para a sinterização de cada material são descritos no Quadro 9.

Quadro 9 – Ciclos de sinterização

MATERIAIS	CICLO DE SINTERIZAÇÃO				
	Temperatura inicial	Tempo de secagem	velocidade	Temperatura Final	Tempo de queima
Duceragold	450°C	1 minuto	60°C/minuto	800°C	1 minuto
Duceram Plus	575°C	1 minuto	60°C/minuto	910°C	1 minuto
Excelsior	500°C	1 minuto	60°C/minuto	935°C	1 minuto
Omega 900	600°C	1 minuto	60°C/minuto	900°C	1 minuto
Symbio	575°C	1 minuto	60°C/minuto	810°C	1 minuto
VMK 95	600°C	1 minuto	60°C/minuto	955°C	1 minuto
Vitadur Alpha	600°C	1 minuto	60°C/minuto	960°C	1 minuto

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Após o resfriamento, por quinze minutos, os corpos-de-prova sinterizados foram armazenados em recipientes secos, por 48 horas, para posteriormente, serem submetidos aos ensaios mecânicos.

4.3.2 - Processamento por injeção

A obtenção dos corpos-de-prova por injeção das cerâmicas em estudo iniciou-se pela produção de padrões, utilizando-se cera Plastodent (Degussa, Alemanha). Esta cera foi levada ao plastificador Dippy-Pró (Yeti Dental, Alemanha), que a mantinha fundida à temperatura constante de 65°C.

A cera liquefeita foi então aplicada com gotejador no molde da matriz metálica, preenchendo todo o espaço interno. A porção superior foi nivelada com o auxílio de espátula 36 (S.S. White Duflex, Brasil). Os padrões receberam condutos de alimentação, sendo posteriormente retirados da matriz metálica, sendo quatro padrões fixados na base do anel fornecido pelo fabricante (Figura 9).

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas



FIGURA 9 – Padrões em cera fixados na base do anel.

Para a inclusão (Figura 10), foi utilizado revestimento fosfatado Cergofit (relação pó/líquido de 100g/25ml), manipulado por 30 segundos, a 450RPM, em espatulador mecânico a vácuo Turbomix (EDG Equipamentos e Controles, São Carlos, Brasil).



FIGURA 10 – Padrões em cera, incluídos com o revestimento Cergofit.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Após 60 minutos, necessários para a presa do revestimento, o conjunto foi levado ao forno EDG 3000 (EDGCOM 3P, Brasil), com o objetivo de eliminar a cera e obter a expansão do molde, além do pré-aquecimento do êmbolo cerâmico (Figura 11).



FIGURA 11 – Eliminação de cera no forno EDG 3000 e pré-aquecimento do êmbolo cerâmico.

A temperatura foi elevada com velocidade de 5°C por minuto até atingir 250°C, permanecendo nesta temperatura durante 30 minutos. Em seguida, a temperatura foi aumentada, na mesma velocidade, até atingir 850°C, permanecendo por mais uma hora nesta condição.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Para que os pós cerâmicos pudessem ser injetados nos moldes obtidos pela técnica da cera perdida (método experimental), foi necessária compactação prévia, por meio da acomodação da massa cerâmica (pó e água destilada), misturados por saturação dentro de seringa hipodérmica (Plastipak Becton Dickinson), adaptada pela remoção do encaixe para agulha, paralelamente à sua secção circular (Figuras 12 e 13).



FIGURA 12 – Massa cerâmica aglutinada e seringa hipodérmica adaptada.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas



FIGURA 13 – Acomodação da massa cerâmica no interior da seringa hipodérmica.

A ação da extremidade plana do êmbolo contra uma folha de papel absorvente (Figura 14) proporcionou a formação de massa compacta, em forma de cilindro, com aproximadamente 1,4g de material (Figura 15).



FIGURA 14 – Remoção do excesso de água e compactação, por meio de papel absorvente.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas



FIGURA 15 – Cilindro cerâmico compactado, removido da seringa hipodérmica.

Um cilindro compactado de cerâmica foi posicionado na entrada do conduto de alimentação do molde de revestimento, seguido do êmbolo cerâmico, que acompanha o sistema (Figura 16).



FIGURA 16 – Posicionamento do cilindro cerâmico; observa-se ao fundo o êmbolo cerâmico colocado a seguir no molde de revestimento.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

O molde de revestimento foi então transferido do forno de aquecimento inicial para o forno de injeção Aluminipress (EDG Equipamentos e Controles, São Carlos, Brasil), equipado com programas de injeção automática. O conjunto foi aquecido, com velocidade de 60°C por minuto, da uma temperatura inicial até atingir a temperatura de injeção (Quadro 10), permanecendo nesta por mais 20 minutos. As temperaturas empregadas no método experimental foram as mesmas indicadas para a sinterização convencional.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Quadro 10 – Temperaturas de injeção empregados neste estudo

MATERIAIS	CICLO DE INJEÇÃO				
	Temperatura inicial	Tempo de secagem	velocidade	Temperatura Final	Tempo aquecimento antes da injeção
Duceragold	450°C	1 minuto	60°C/minuto	800°C	20 minutos
Duceram Plus	575°C	1 minuto	60°C/minuto	910°C	20 minutos
Excelsior	500°C	1 minuto	60°C/minuto	935°C	20 minutos
Omega 900	600°C	1 minuto	60°C/minuto	900°C	20 minutos
Symbio	575°C	1 minuto	60°C/minuto	810°C	20 minutos
VMK 95	600°C	1 minuto	60°C/minuto	955°C	20 minutos
Vitadur Alpha	600°C	1 minuto	60°C/minuto	960°C	20 minutos

Ao final do ciclo de aquecimento, com a cerâmica já plastificada, foi iniciada a etapa de injeção, pela ação do êmbolo, que comprimiu a cerâmica (4,5Bar) para dentro do molde de revestimento. Imediatamente após a injeção, o conjunto foi removido do forno e resfriando lentamente até a

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

temperatura ambiente. Os corpos-de-prova foram então desincluídos e submetidos a jateamento com óxido de alumínio (100 μ m), em aparelho Biojato Master (Bioart).

A remoção final dos resíduos de revestimento, segundo orientações do fabricante, foi obtida pela imersão dos espécimes em solução de ácido fluorídrico a 1%, por 10 minutos, em aparelho de ultrassom (Ultrasonic, Odontobrás Ind. e Com. de Equipamentos Médicos e Odontológicos Ltda.).

4.5 Delineamento estatístico

Neste trabalho, para a avaliação da propriedade mecânica de resistência à flexão, as cerâmicas estudadas foram agrupadas, por marca comercial, dentro de cada método de processamento; análises de variância, a um critério fixo, dentro de cada método, foram empregadas. Para avaliação do efeito do método de processamento sobre a resistência à flexão das cerâmicas estudadas, cada material foi analisado isoladamente; testes não paramétricos de Mann-Whitney foram empregados.

Para a avaliação da dureza dos materiais estudados e do efeito do método de processamento sobre esta propriedade foi empregada análise de

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

variância a dois critérios fixos. Para todas as comparações, quando necessário, testes complementares de Tukey foram empregados.

Para todos os testes estatísticos, adotou-se, como regra de decisão, o nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

5 Resultado

5.1 Resistência à flexão

Os valores obtidos nos testes de resistência à flexão, em MPa, são descritos nas Tabelas 1 e 2, a seguir, respectivamente para os métodos de sinterização convencional, indicado pelos fabricantes, e por injeção a vácuo, experimental. Médias, desvios-padrão (DP) e coeficientes de variação (CV) são também apresentados, por material.

Tabela 1 – Resistência à flexão para as cerâmicas processadas por sinterização (MPa)

	Ducragold	Duceram	Excelsior	Omega	Symbio	VMK	Vitadur
		Plus		900		95	Alpha
cp 1	59,76	55,74	39,23	50,49	51,36	44,93	46,67
cp 2	81,15	43,42	48,52	61,78	41,17	44,69	40,49
cp 3	51,28	53,18	43,99	39,10	38,70	47,86	41,10
cp 4	64,34	57,61	31,76	45,11	48,23	42,48	50,01
cp 5	45,61	57,15	38,19	65,60	58,55	45,82	46,62
cp 6	66,90	65,47	42,92	54,88	48,55	55,67	40,94
cp 7	38,06	46,32	54,01	56,35	47,00	53,71	42,33
cp 8	65,85	47,81	39,47	43,46	61,77	50,24	46,74
cp 9	67,41	65,51	50,80	55,33	45,32	49,92	45,29
cp 10	57,12	54,79	38,91	59,25	49,47	36,19	48,19
Média	59,75	54,70	42,78	53,13	49,01	47,15	44,84
DP	12,27	7,42	6,72	8,48	6,68	5,66	3,38
CV	20,54%	13,57%	15,70%	15,96%	13,65%	12,00%	7,53%

Tabela 2 – Resistência à flexão para as cerâmicas processadas por injeção (MPa)

	Ducera ^{gold}	Ducera ^{ram}	Excelsior	Omega	Symbio	VMK	Vitadur
		Plus		900		95	Alpha
cp 1	55,94	68,33	60,66	74,44	49,33	84,00	44,62
cp 2	62,85	72,33	62,24	94,14	64,96	75,56	51,53
cp 3	54,29	69,77	74,40	99,70	61,58	85,79	46,99
cp 4	64,92	60,12	74,19	65,43	61,73	67,12	41,54
cp 5	53,40	78,80	73,20	70,80	64,52	59,14	47,54
cp 6	46,99	59,18	68,31	80,22	74,57	88,05	41,34
cp 7	58,25	80,23	71,77	67,39	67,04	67,79	50,61
cp 8	53,33	72,48	79,52	94,21	60,02	77,61	36,64
cp 9	64,36	70,46	65,39	85,31	51,39	75,53	40,92
cp 10	66,80	69,63	72,12	89,14	60,26	93,51	47,42
Média	58,11	70,13	70,18	82,08	61,54	77,41	44,91
DP	6,42	6,76	5,93	12,23	7,28	10,67	4,74
CV	11,05%	9,64%	8,45%	14,89%	11,83%	13,79%	10,56%

Aos dados da Tabela 1 foi aplicada análise de variância, a um critério fixo, com o objetivo de comparar, inicialmente, os materiais processados de acordo com as instruções dos fabricantes, por sinterização. A Tabela 3 apresenta o resumo desta análise.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Tabela 3 – Resumo da análise de variância para as cerâmicas processadas por sinterização

Fator de variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F
Material	2145,4353	6	357,5726	5,99 *
Resíduo	3760,8722	63	59,6964	
Total	5906,3075	69		

* significante a 5%.

A Tabela 4, a seguir, apresenta médias, erro-padrão e valor crítico, pelo teste de Tukey, em nível de 5%. Médias estatisticamente semelhantes são indicadas por letras iguais.

Tabela 4 – Médias, erro-padrão e valor crítico para o processamento por sinterização (MPa)

Material	Média	Semelhança estatística
DuceraGold	59,75	A
Duceram Plus	54,70	A B
Omega 900	53,13	A B C
Symbio	49,01	B C
VMK 95	47,15	B C
Vitadur Alpha	44,84	B C
Excelsior	42,78	C

Valor crítico = 10,514

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Observa-se, pela Tabela 4, dentro das técnicas de sinterização preconizadas pelos fabricantes, maior resistência à flexão para as cerâmicas Duceragold , Duceram Plus e Omega 900. A seguir, com valores estatisticamente semelhantes aos materiais Duceram Plus e Omega 900, mas inferiores ao material Duceragold , figuram as cerâmicas Symbio, VMK 95 e Vitadur Alpha. Finaliza a série, com valor estatisticamente semelhante aos materiais Omega 900, Symbio, VMK 95 e Vitadur Alpha, mas inferior aos materiais Duceragold e Duceram Plus, a cerâmica Excelsior.

Aos dados da Tabela 2 foi aplicada análise de variância, a um critério fixo, com o objetivo de comparar os materiais processados por injeção, experimental. A Tabela 5 apresenta o resumo desta análise.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para as cerâmicas processadas por injeção

Fator de variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F
Material	9491,1488	6	1581,8581	24,02 *
Resíduo	4149,2480	63	65,8611	
Total	13640,3968	69		

* significativa a 5%.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

A Tabela 6, a seguir, apresenta médias, erro-padrão e valor crítico, pelo teste de Tukey, em nível de 5%. Médias estatisticamente semelhantes são indicadas por letras iguais.

Tabela 6 – Médias, erro-padrão e valor crítico para o processamento por injeção (MPa)

Material	Média	Semelhança estatística
Omega 900	82,08	A
VMK 95	77,41	A B
Excelsior	70,18	B C
Duceram Plus	70,13	B C
Symbio	61,54	C D
Duceragold	58,11	D
Vitadur Alpha	44,91	E

Valor crítico = 11,069

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Observa-se, pela Tabela 6, dentro da técnica de injeção, proposta neste trabalho, maior resistência à flexão para as cerâmicas Omega 900 e VMK 95. A seguir, com valores estatisticamente semelhantes ao material VMK 95, mas inferiores ao material Omega 900, figuram as cerâmicas Excelsior e Duceram Plus. Em sequência, com valor estatisticamente semelhante ao material Duceram Plus e Excelsior, figura a cerâmica Symbio. Finalizam a série, com valor estatisticamente semelhante ao material Symbio, mas inferior aos materiais Duceram Plus e Excelsior, a cerâmica Duceragold e, com valor estatisticamente inferior a todos os demais materiais, a cerâmica Vitadur Alpha.

Com o objetivo de melhor detectar o efeito dos dois métodos de processamento empregados, cada material foi comparado isoladamente, quanto à resistência à flexão. As Tabelas 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13 mostram valores médios, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) para cada condição de processamento. Mostram, também, o resumo da análise estatística, pelo teste de Mann-Whitney, para cada material. O nível de decisão adotado foi 5%.

Tabela 7 – Resistência à flexão para a cerâmica Duceragold (MPa)

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

	Sinterização	Injeção
Média	59,75 (a)	58,11 (a)
DP	12,27	6,42
CV	20,54%	11,05%
Valor de U	43	57
Probabilidade H0 = 29,84%		

Tabela 8 – Resistência à flexão para a cerâmica Duceram Plus (MPa)

	Sinterização	Injeção
Média	54,70 (b)	70,13 (a)
DP	7,42	6,76
CV	13,57%	9,64%
Valor de U	96	4
Probabilidade H0 = 0,03%		

Tabela 9 – Resistência à flexão para a cerâmica Excelsior (MPa)

	Sinterização	Injeção
Média	42,78 (b)	70,18 (a)
DP	6,72	5,93
CV	15,70%	8,45%
Valor de U	100	0
Probabilidade H0 = 0,01%		

Tabela 10 – Resistência à flexão para a cerâmica Omega 900 (MPa)

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

	Sinterização	Injeção
Média	53,13 (b)	82,02 (a)
DP	8,48	12,23
CV	15,96%	14,89%
Valor de U	99	1
Probabilidade H0 = 0,01%		

Tabela 11 – Resistência à flexão para a cerâmica Symbio (MPa)

	Sinterização	Injeção
Média	49,01 (b)	61,54 (a)
DP	6,68	7,28
CV	13,65%	11,83%
Valor de U	90	10
Probabilidade H0 = 0,13%		

Tabela 12 – Resistência à flexão para a cerâmica VMK 95 (MPa)

	Sinterização	Injeção
Média	47,15 (b)	77,41 (a)
DP	5,66	10,67
CV	12,00%	13,79%
Valor de U	100	0
Probabilidade H0 = 0,01%		

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Tabela 13 – Resistência à flexão para a cerâmica Vitadur Alpha (MPa)

	Sinterização	Injeção
Média	44,84 (a)	44,91 (a)
DP	3,38	4,74
CV	7,53%	10,56%
Valor de U	55	45
Probabilidade H0 = 35,27%		

As Tabelas 7 e 13 apontam igualdade estatística entre os dois métodos empregados. Desta forma, para a cerâmica Duceragold e Vitadur Alpha, o método experimental de injeção não alterou a propriedade mecânica de resistência à flexão. As Tabelas 8, 9, 10, 11 e 12 apontam superioridade estatística para o método de injeção. Desta forma, para as cerâmicas Duceram Plus, Excelsior, Omega 900, Symbio e VMK 95, o método experimental de injeção proporcionou valores maiores de resistência à flexão.

5.2 Dureza

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Os valores obtidos nos testes de dureza, na escala Vickers, são descritos nas Tabelas 14 e 15, a seguir, respectivamente para os métodos de sinterização convencional, indicados pelos fabricantes, e por injeção a vácuo, experimental. Médias, desvios-padrão e coeficientes de variação são também apresentados, por material.

Tabela 14 – Dureza, na escala Vickers, das cerâmicas processadas por sinterização (VHN)

	Duceragold	Duceram	Excelsior	Omega	Symbio	VMK	Vitadur
		Plus		900		95	Alpha
Cp 1	429,7	434,2	445,7	481,2	427,9	465,8	473,5
Cp 2	427,5	427,4	451,4	458,9	431,2	456,8	479,1
Cp 3	419,7	450,1	456,9	469,6	437,3	481,9	473,8
Cp 4	424,8	446,5	470,5	461,4	437,3	481,7	492,3
Cp 5	446,0	438,7	449,9	483,4	430,7	461,5	461,3
Média	429,6	439,4	454,9	470,9	432,9	469,5	476,0
DP	9,9	9,2	9,6	11,1	4,2	11,6	11,2
CV	2,3%	2,1%	2,1%	2,4%	1,0%	2,5%	2,4%

Tabela 15 – Dureza, na escala Vickers, das cerâmicas processadas por injeção (VHN)

	Duceragold	Duceram	Excelsior	Omega	Symbio	VMK	Vitadur
		Plus		900		95	Alpha

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Cp 1	403,1	440,8	437,9	455,3	418,3	474,7	453,5
Cp 2	423,1	442,8	441,9	469,1	420,0	455,7	467,7
Cp 3	405,7	440,0	438,6	476,4	427,9	478,6	469,4
Cp 4	430,1	447,3	433,7	473,0	418,0	481,0	461,8
Cp 5	430,0	457,9	439,9	481,6	427,7	472,5	456,0
Média	418,,4	445,8	438,4	471,1	422,4	472,5	461,7
DP	13,1	7,4	3,0	9,9	5,0	10,0	7,0
CV	3,1%	1,6%	0,7%	2,1%	1,2%	2,1%	1,5%

Aos dados das Tabelas 14 e 15 foi aplicada análise de variância, a dois critérios fixos. A Tabela 16 apresenta o resumo desta análise.

Tabela 16 – Resumo da análise de variância para o ensaio de dureza das cerâmicas estudadas

Fator de variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F
Processamento	657,042266	1	657,042266	7,75 *
Material	24814,080000	6	4135,680000	48,81 *
Proces.. X Mat.	1243,501719	6	207,250293	2,45 *
Resíduo	4745,215938	56	84,735996	
Total	31459,840000	69		

* significativa a 5%.

As Tabelas 17 e 18, a seguir, apresentam médias, erros-padrão e valores críticos, pelo teste de Tukey, em nível de 5%, respectivamente para

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

método de processamento e material cerâmico. Médias estatisticamente semelhantes são indicadas por letras iguais, apenas no sentido vertical.

Tabela 17 – Dureza (Vickers) das cerâmicas processadas por sinterização e por injeção (VHN).

	Duceragold	Duceram	Excelsior	Omega	Symbio	VMK	Vitadur
		Plus		900		95	Alpha
Sinterização	429,6 (a)	439,4 (a)	454,9 (a)	470,9 (a)	432,9 (a)	469,5 (a)	476,0 (a)
Injeção	418,4 (a)	445,8 (a)	438,4 (a)	471,1 (a)	422,4 (a)	472,5 (a)	461,7 (a)
Erro-padrão = 4,11							
Valor crítico = 20,29							

A Tabela 17 aponta, para cada material individualmente, médias estatisticamente semelhantes de dureza entre as duas técnicas de processamento empregadas. Desta forma, o processo de injeção a vácuo não alterou a dureza de nenhum dos materiais estudados.

Tabela 18 – Dureza (Vickers) das cerâmicas estudadas (VHN)

Material	
VMK 95	471,02 (a)
Omega 900	470,99 (a)
Vitadur Alpha	468,84 (a)
Excelsior	447,04 (b)

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

Duceram Plus	442,57	(b)
Symbio	427,63	(c)
Duceragold	423,97	(c)

Valor crítico = 12,52

A Tabela 18 aponta maior valor de dureza para as cerâmicas VMK 95, Omega 900 e Vitadur Alpha, semelhantes entre si. A seguir, figuram as cerâmicas Excelsior e Duceram Plus, também semelhantes entre si. Finalizam a série, também com igualdade estatística entre si, as cerâmicas Symbio e Duceragold .

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

6 Discussão

Neste trabalho, foram estudadas as cerâmicas feldspáticas Duceragold, Duceram Plus, Excelsior, Omega 900, Symbio e VMK 95, materiais que apresentam, segundo os fabricantes, composições semelhantes entre si, à base de feldspato (SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O e K_2O), variando-se apenas o percentual de cada óxido e, conseqüentemente, as relações estabelecidas entre as fases vítrea e cristalina (VAN NOORT³³, 1994; ROSEMBLUM e SCHULMAN²⁷, 1997). Além destes materiais, foi também avaliada a cerâmica Vitadur Alpha, segundo o fabricante, reforçada por alumina. No entanto, como aponta o quadro 8 do capítulo Material e Método, as composições detalhadas com as corretas proporções de cada produto, principalmente as da cerâmica reforçada, não são fornecidas pelo fabricante, dificultando comparações.

Os resultados de resistência à flexão deste estudo mostraram diferenças estatisticamente significantes entre os materiais estudados, entretanto, tais resultados mantiveram-se na faixa de valores encontrada na literatura para cerâmicas feldspáticas convencionais, que apresentam entre 5% e 15% de fase cristalina, em relação à fase vítrea, aglutinante (Ceramco

2, 61,37MPa, Excelco, 55,18MPa, VMK-68, 65,54MPa e 69,74MPa, e Vitadur D, 62,49MPa (SEGHI et al.²⁹, 1990; GIORDANO et al.¹³, 1995).

Até mesmo o material Vitadur Alpha, comercializado como reforçado, apresentou resistência à flexão semelhante às porcelanas tradicionais (44,84MPa). Confirmam esta observação, os valores obtidos na literatura para cerâmicas modificadas ou reforçadas (Hi-Ceram, óxido de alumínio, 155MPa e 139,0MPa; Dicor, fluormica tetrasilica, 239,00MPa e 127,71MPa; Cerestore, leucita, 145,00MPa; Optec, leucita, 103,84MPa; IPS-Empress, leucita, 112MPa; IPS-Empress II, disilicato de lítio, 400MPa) (OILO²¹, 1988; SEGHI et al.²⁹, 1990; HÖLAND et al.¹⁶, 2000). Desta forma, o material Vitadur Alpha parece não possuir qualquer tipo de reforço cristalino adicional, evidenciando, via ensaio mecânico, sua provável composição convencional. A mudança de composição de um material cerâmico, com aumento da fase cristalina, pode determinar a melhoria de suas propriedades mecânicas, detectada pela elevação do módulo de elasticidade, consequência da limitação na propagação de fraturas (YOSHINARI e DÉRAND³⁵, 1994; ROSEMBLUM e SCHULMAN²⁷, 1997; TINSCHERT et al.³¹, 2000; ALBAKRY et al.¹, 2003).

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

O método de processamento de cada sistema cerâmico interfere também na resistência dos materiais (SEGHI et al.²⁹, 1990). A presença de porosidades internas, inerentes ao processamento, pode ser fator iniciador da propagação de fendas, levando as restaurações cerâmicas a falhas precoces (CHEN et al.¹⁰, 1999; DONG et al.¹¹, 1992, ALBAKRY et al.¹, 2003). Neste estudo, cerâmicas feldspáticas processadas convencionalmente por sinterização, foram processadas de forma experimental por injeção sob pressão à vácuo. O principal objetivo desta opção foi verificar se os espécimes processados por esta técnica são mecanicamente superiores em relação aos processados pela técnica convencional.

Segundo Catell et al.⁷ (1997) e Catell et al.⁸ (1999), a técnica de injeção permitiu a formação de menor quantidade de porosidades internas (0,02%), quando avaliadas para o sistema IPS-Empress. Da mesma forma, Drummond et al.¹², 2000, encontraram maior resistência à flexão para a cerâmica feldspática Finesse processada por injeção (93,98MPa) em comparação com o mesmo material processado por sinterização convencional (79,16MPa). Dong et al.¹¹ (1992) verificou o efeito do método de injeção, encontrando uma melhora na resistência a flexão para a

Influência do método de processamento, sinterização
convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão
e dureza de porcelanas feldspáticas

cerâmica IPS-Empress. Segundo Gorman et al.¹⁵ (2000) e Albakry et al.¹ (2003), o método de injeção para os sistemas IPS-Empress e IPS-Empress 2 não interfere no conteúdo cristalino. Estes autores observaram apenas maior uniformidade na distribuição dos cristais nos grupos processados por injeção.

As cerâmicas Duceram Plus, Excelsior, Omega 900, Symbio e VMK 95 apresentaram maior resistência à flexão quando processadas por injeção. Os materiais Ducera Gold e Vitadur Alpha não sofreram qualquer influência do método de processamento. Estes achados indicam que nem todas as composições são sensíveis a modificações ou variações de manipulação durante a sinterização. Porém, do ponto de vista clínico, é interessante o ganho em resistência mecânica para as restaurações estéticas indiretas.

A dureza é considerada uma importante propriedade mecânica para avaliação de materiais restauradores. Sua importância clínica está, também, relacionada à abrasividade dos materiais restauradores, em relação aos dentes naturais. Neste estudo os valores de dureza não acompanharam a mesma ordem dos valores de resistência à flexão, evidenciando que a relação entre as duas propriedades mecânicas não é a mesma para os sete materiais. Esta realidade foi também observada em estudos anteriores,

Influência do método de processamento, sinterização
convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão
e dureza de porcelanas feldspáticas

quando foram comparadas resistências à flexão, à tração diametral e à fratura de sistemas totalmente cerâmicos (SEGHI et al.²⁸, 1995; WAGNER e CHU³⁴, 1996; BLATZ⁴, 2001; OLIVA²², 2003). Desse modo, fica claro que a decisão pela indicação de um material não pode ser baseada em apenas uma propriedade mecânica.

Por outro lado, nenhuma diferença estatística foi encontrada quando foram comparados os métodos de sinterização convencional e de injeção. Para todos os materiais estudados, o método de injeção não se mostrou capaz de alterar esta propriedade. É possível, portanto, que as alterações verificadas com as cerâmicas Duceram Plus, Excelsior, Omega 900, Symbio e VMK 95, que mostraram aumento na resistência à flexão, sejam de natureza interna, estrutural, e não superficiais (menor percentual de porosidade ou distribuição mais uniforme e homogênea dos cristais na fase vítrea) (DONG et al.¹¹, 1992).

Em virtude da complexa composição e estrutura dos materiais cerâmicos e da escassez de informações técnicas por parte dos fabricantes, estudos complementares por meio de análises cristalográficas, fractográficas e porosimétricas, particularmente em materiais ou técnicas experimentais,

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

são absolutamente indicados. Adicionalmente, avaliações que simulem as condições dinâmicas dos esforços mastigatórios, como a utilização de ciclagem mecânica e testes de resistência à fadiga (MYERS et al.¹⁹, 1994; OHYAMA et al.²⁰, 1999), devem ser realizadas. Finalmente, estudos clínicos longitudinais devem ser conduzidos, oferecendo informações mais seguras e evidências para a correta tomada de decisões.

Influência do método de processamento, sinterização
convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão
e dureza de porcelanas feldspáticas

7 Conclusão

1 – Em relação à sinterização convencional, o método experimental de injeção a vácuo proporcionou aumento nos valores de resistência à flexão das cerâmicas Duceram Plus (54,70MPa x 70,13MPa), Excelsior (42,78MPa x 70,18MPa), Omega 900 (53,13MPa x 82,08MPa), Symbio (49,01MPa x 61,54MPa) e VMK 95 (47,15MPa x 77,41MPa). O método experimental de injeção a vácuo não alterou a resistência à flexão das cerâmicas Ducera Gold (59,75MPa x 58,11MPa) e Vitadur Alpha (44,84MPa x 44,91MPa).

2– Independentemente da técnica de processamento empregada, houve maior dureza para as cerâmicas VMK 95 (471,02VHN), Omega 900 (470,99VHN) e Vitadur Alpha (468,84VHN), semelhantes entre si. A seguir, figuraram as cerâmicas Excelsior (447,04VHN) e Duceram Plus (442,57VHN), também semelhantes entre si. Finalizaram a série, também com igualdade estatística entre si, as cerâmicas Symbio (427,63VHN) e Ducera Gold (423,97VHN).

3 - O processo de injeção a vácuo, experimental, não alterou a dureza dos materiais estudados.

8. Referências*

1. ALBAKRY, M.; GUAZZATO, M.; SWAIN, M.V. Biaxial flexural strength, elastic moduli, and x-ray diffraction characterization of three pressable all-ceramic materials. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.89, n.4, p.374-80, Apr. 2003.
2. ANUSAVICE, K.J. **Materiais dentários**. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.
3. APHOLT, W. et al. Flexural strength of Cerec 2 machined and jointed In-Ceram-Alumina and In-Ceram-Zirconia bars. **Dent. Mater.**, Copenhagen, v.17, n.3, p.260-267, May 2001.
4. BLATZ, M.B. Long-term clinical success of all-ceramic posterior restorations. **Quintessence Dent. Technol.**, Chicago, v.24, p.41-55, Feb. 2001.

*ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24 p.

5. CAMPBELL, S.D. A comparative strength study of metal ceramic and all-ceramic esthetic materials: modulus of rupture. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.62, n.4, p.476-479, Oct. 1989.
6. CATTELL, M.J. et al. The biaxial flexural strength and reliability of four dental ceramics – part II. **J. Dent.**, Bristol, v.25, n.5, p. 409-414, Sept. 1997.
7. CATTELL, M.J. et al. The transverse strength, reliability and microstructural features of four dental ceramics – part I. **J. Dent.**, Bristol, v.25, n.5, p. 399-407, Sept. 1997.
8. CATTELL, M.J. et al. The biaxial flexural strength of two pressable ceramic systems. **J. Dent.**, Bristol, v.27, n.3, p.183-196, Mar. 1999.
9. CHAIN, M.C. et al. Restaurações cerâmicas estéticas e próteses livres de metal. **RGO**, Porto Alegre, v.48, n.2, p.67-70, abr./jun. 2000.
10. CHEN, H.Y. et al. Effects of surface finish and fatigue testing on the fracture strength of CAD-CAM and pressed-ceramic crowns. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.82, n.4, p.468-475, Oct. 1999.

- 11.DONG, J.K. et al. Heat-pressed ceramics: technology and strength. **Int. J. Prosthodont.**, Lombard, v.5, n.1, p.9-16, Jan./Feb. 1992.
- 12.DRUMMOND, J.L. et al. Mechanical property evaluation of pressable restorative ceramics. **Dent. Mater.**, Copenhagen, v.16, n.3, p.226-233, May 2000.
- 13.GIORDANO, R.A. et al. Flexural strength of an infused ceramic, glass-ceramic and feldspathic porcelain. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.73, n.5, p.411-418, May 1995.
- 14.GOLDIN, E.B. et al. Margin fit of leucite-glass pressable ceramic restorations and ceramic-pressed-to-metal restorations. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.93, n.2, p.143-147, Feb. 2005.
- 15.GORMAN, C.M.; McDEVITT, E.E.; HILL, R.G. Comparison of two heat-pressed all-ceramic dental materials. **Dent. Mater.**, Copenhagen v.16,n.6 p.389-395, Nov. 2000.
- 16.HÖLAND, W. et al. A comparison of the microstructure and properties of the IPS-Empress 2 and the IPS-Empress glass-ceramics. **J. Biomed. Mater. Res.**, Hoboken, v.53, n.4, p.297-303, Mar. 2000.

17. McLEAN, J.W. Evolution of dental ceramics in the twentieth century. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.85, n.1, p.61-66, Jan. 2001.
18. MIRANDA, C.C. et al. Sistema In-Ceram Alumina. **PCL: Revista Brasileira de Prótese Clínica & Laboratorial**, Curitiba, v. 1, n.2, p.163-172, 1999.
19. MYERS, M.L. et al. Fatigue failure parameters of IPS-Empress porcelain. **Int. J. Prosthodont.**, Lombard, v.7, n.6, p.549-553, May/June 1994.
20. OHYAMA, T. et al. Effects of cyclic loading on the strength of all-ceramic materials. **Int. J. Prosthodont.**, Lombard, v.12, n.1, p.28-37, Jan./Feb. 1999.
21. OILO, G. Flexural strength and internal defects of some dental porcelains. **Acta Odontol. Scand.**, Stockholm, v.46, n.5, p.313-322, Oct. 1988.
22. OLIVA, E.A. **Influencia do método de processamento na resistência à flexão, tração diametral e dureza de sistemas cerâmicos**. 2003. 126f. Dissertação (Mestrado em Reabilitação Oral –

Prótese) – Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2003.

23. PRÖBSTER, L. Compressive strength of two modern all-ceramic crowns. **Int. J. Prosthodont.**, Lombard, v.5, n.5, p.409-414, Sept./Oct. 1992.
24. PRÖBSTER, L. et al. In vitro evaluation of a glass-ceramic restorative material. **J. Oral Rehabil.**, Oxford, v.24, n.9, p.636-645, Sept. 1997.
25. RIZKALLA, A.S.; JONES, D.W. Mechanical properties of commercial high strength ceramic core materials. **Dent. Mater.**, Copenhagen, v.20, n.2, p.207-212, Feb. 2004.
26. ROCHA, P.V.B. **Avaliação *in vitro* da fenda e da infiltração marginal de restaurações *inlays* de cerâmicas puras.** 1997. 206f. Tese (Doutorado em Reabilitação Oral – Prótese) – Faculdade de Odontologia, Universidade de São Paulo, Bauru, 1997.
27. ROSEMBLUM, M.A.; SCHULMAN, A. A review of all-ceramic restorations. **J. Am. Dent. Assoc.**, Chicago, v.128, n. 3, p.298-307, Mar. 1997.

28. SEGHI, R.R.; SORENSEN, J.A. Relative flexural strength of six new ceramic materials. **Int. J. Prosthodont.**, Lombard, v.8, n.3, p.239-246, May/June 1995.
29. SEGHI, R.R. et al. Relative flexural strength of dental restorative ceramics. **Dent. Mater.**, Copenhagen v.6, n.3, p.181-184, July 1990.
30. SEGHI, R.R. et al. Relative fracture toughness and hardness of new dental ceramics. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.74, n.2, p.145-150, Aug. 1995.
31. TINSCHERT, J. et al. Structural reliability of alumina, feldspar, leucite, mica and zirconia-based ceramics. **J. Dent.**, Bristol, v.28, n.7, p.529-535, Sept. 2000.
32. UCTALASI, S. et al. The strength of a heat-pressed all-ceramic restorative material. **J. Oral Rehabil.**, Oxford, v.23, n.4, p.257-261, Apr. 1996.
33. VAN NOORT, R. **Dental materials**. London: Mosby, 1994.

34. WAGNER, W.C.; CHU, T.M. Biaxial flexural strength and indentation fracture toughness of three new dental core ceramics. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.76, n.2, p.140-44, Aug. 1996.
35. YOSHINARI, M.; DÉRAND, T. Fracture strength of all-ceramic crowns. **Int. J. Prosthodont.**, Lombard, v.7, n.4, p.329-338, July/Aug. 1994.
36. ZENG, K. et al. Evaluation of mechanical properties of dental ceramic core materials in combination with porcelains. **Int. J. Prosthodont.**, Lombard, v.11, n.2, p.183-189, Mar./Apr. 1998.
37. ZHANG, Y.; GRIGGS, J.A.; BENHAM, A.W. Influence of power/liquid mixing ration on porosity and translucency of dental porcelains. **J. Prosthet. Dent.**, St. Louis, v.91, n.2, p.128-135, Feb. 2004.

OLIVA, E.A. **Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas.** 2006. 107f. Tese (Doutorado em Reabilitação Oral – Área de Prótese) – Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2006.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de ensaios de resistência à flexão, em três pontos, e de dureza, o comportamento mecânico das porcelanas feldspáticas Duceram Plus, Excelsior, Duceragold, Symbio, VMK, Omega 900 e Vitadur Alpha, submetidas a dois métodos de processamento laboratorial: sinterização convencional (fabricantes) e por injeção a vácuo (experimental). Foram confeccionadas dez amostras de cada grupo experimental para o ensaio de resistência à flexão (em forma de barra, 25mm de comprimento, 5mm de largura, 2mm de espessura - ISO 6872). Os testes foram realizados em equipamento MTS 810 (Material Test System, EUA), com célula de carga de 10kN e velocidade de 0,5mm/minuto, gerenciado por programa *Test Star II* (IBM, EUA). Para o ensaio de dureza, na escala *Vickers*, cinco fragmentos de cada grupo foram incluídos em resina acrílica autopolimerizável, polidos e submetidos ao teste em durômetro Buheler (EUA), com carga de 300gf, por 30 segundos. As cerâmicas Duceram Plus, Excelsior, Omega 900, Symbio e VMK 95 apresentaram maior resistência à

flexão quando processadas por injeção. Os materiais Ducera Gold e Vitadur Alpha não sofreram qualquer influência deste método de processamento. O processo de injeção a vácuo, experimental, não alterou a dureza dos materiais estudados.

Palavras-chave: Porcelana dentária; materiais dentários; dureza.

Influência do método de processamento, sinterização convencional ou injeção a vácuo, na resistência à flexão e dureza de porcelanas feldspáticas

OLIVA, E.A. **Effects of processing method on flexural strength, and hardness of feldspatic ceramics.** 2006. 107f. Tese (Doutorado em Reabilitação Oral – Área de Prótese) – Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2006.

ABSTRACT

The aim of this study was to compare the flexural strength and hardness of seven feldspatic ceramics (Duceram Plus, Excelsior, Duceragold, Symbio, VMK, Omega 900 and Vitadur Alpha) processed by conventional fusing and heat-pressing. Ten specimens were made for flexural test (25mm length; 5mm width; 2mm thick - ISO 6872). The tests were realized in a MTS 810 machine (Material Test System - USA), with a 10kN load cell and crosshead-speed of 0.5mm/minute, managed by Test Star II software (IBM, USA). Five samples of each ceramic were included in autocured resin JET (Artigos odontológicos Clássico, Brazil), polished and submitted to Vickers hardness test in durometer Buheler (USA), with load of 300gf, for 30 seconds. Results showed that the ceramics Duceram Plus, Excelsior, Omega 900, Symbio and VMK 95 presented higher flexural strengths values when heat-pressed. Ducera Gold and Vitadur Alpha flexural strengths values weren't affected by the processing method. Processing method (conventional fusing and heat-pressed) did not influenced the hardness of materials evaluated.

Keywords: Dental ceramic; dental materials; hardness.

Autorizo a reprodução deste trabalho

Araraquara, 26 de abril de 2006

Eduardo Andrade de Oliva