

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA**

CHRISTIANE MARTINS DE LANNA SALLES CARVALHO
CIRURGIÃ-DENTISTA

**RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DA PORCELANA SOB
INFLUÊNCIA DE MATERIAIS CIMENTANTES**

Tese apresentada à Faculdade de
Odontologia de Piracicaba, da
Universidade
Estadual de Campinas, para a obtenção do
TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS
ÁREA DE MATERIAIS DENTÁRIOS.

*Este exemplar
foi devidamente
corrigido, conforme
resolução CCG/036/93*

25-09-97

[Assinatura]

Piracicaba
1997

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA**

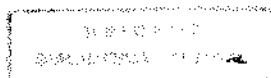
CHRISTIANE MARTINS DE LANNA SALLES CARVALHO
CIRURGIÃ-DENTISTA

**RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DA PORCELANA SOB
INFLUÊNCIA DE MATERIAIS CIMENTANTES**

Tese apresentada à Faculdade de
Odontologia de Piracicaba, da Universidade
Estadual de Campinas, para obtenção do
TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS
ÁREA DE MATERIAIS DENTÁRIOS.

Orientador: **Prof. Dr. MARIO FERNANDO DE GOES**

Piracicaba
1997



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	UNICAMP
	C253r
V.	Ex.
TOMOD BC/	32226
PROC.	281197
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$11,00
DATA	25/11/97
N.º CPD	

CM-00103009-2

Ficha Catalográfica Elaborada pela Biblioteca da FOP/UNICAMP

C253r

Carvalho, Christiane Martins de Lanna Salles.

Resistência à tração da porcelana sob influência de materiais cimentantes / Christiane Martins de Lanna Salles Carvalho. - Piracicaba : [s.n.], 1997.

114f. : il.

Orientador : Mario Fernando de Goes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Cerâmica odontológica. 2. Resistência dos materiais. 3. Flexão. 4. Cimentos dentários I. Goes, Mario Fernando de. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

19.CDD - 617.695

- 620.11

- 620.11244

Índices para o Catálogo Sistemático

1. Materiais dentários	617.695
2. Engenharia de materiais	620.11
3. Flexão	620.11244



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de **Mestrado**, em sessão pública realizada em 08/09/97, considerou o candidato aprovado.

1. Mário Fernando de Goes

2. Simonides Consani

3. Dionísio Vinhas

Dedico este trabalho

Aos meus pais, Henrique e Marília pelo amor e dedicação com que me apoiaram durante os momentos decisivos de minha formação.

Ao meu irmão Paulo Henrique, pelo companheirismo e amizade com os quais me acompanhou.

A Deus, por me proporcionar oportunidades e escolhas através das quais pude alcançar meus ideais.

Ao Prof. Doutor **MARIO FERNANDO DE GOES**

Livre Docente da Área de Materiais
Dentários da Faculdade de Odontologia de
Piracicaba, da Universidade Estadual de
Campinas, pela dedicação a minha
formação científica e pelo papel
predominante na determinação de minha
auto-confiança.

Ao Prof. Doutor **SIMONIDES CONSANI**

Titular da Área de Materiais
Dentários, da Faculdade de Odontologia
de Piracicaba, da Universidade Estadual de
Campinas, pelo exemplo de competência,
objetividade e seriedade no
desenvolvimento do espírito
crítico em seus alunos.

AGRADECIMENTOS

À Direção da Faculdade de Odontologia da Universidade Estadual de Campinas, na pessoa do seu Diretor Prof. Dr. JOSÉ RANALI.

Aos Profs. Da Área de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - UNICAMP - Dr. LUIZ ANTONIO RUHNKE, DR. WOLNEY LUIZ STOLF, DR. LOURENÇO CORRER SOBRINHO e MARIO ALEXANDRE COELHO SIGNHORETTI.

Ao Prof. Dr. ITAMAR FERREIRA do departamento de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, pelo auxílio na elaboração da análise estatística.

Ao Prof. Dr. ELLIOT WATANABE KITAJIMA, coordenador do Núcleo de Apoio à Pesquisa (NAP) em Microscopia Eletrônica da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- USP; pela orientação quanto ao uso do referido núcleo na obtenção de ilustrações utilizadas neste estudo.

À bibliotecária SUELI DUARTE DE OLIVEIRA SOLIANI, da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - UNICAMP, pela orientação nas referências bibliográficas.

A JORGE ALCARDE, técnico em prótese dentária pelas instruções quanto à confecção dos corpos de prova utilizados na realização deste trabalho.

Ao técnico especializado da Área de Materiais Dentários da FOP, UNICAMP, Engenheiro MARCOS BLANCO CANGIANI, pela amizade, competência e disposição em colaborar na realização dos trabalhos executados durante o curso.

À Sra. SELMA A. B. DE SOUZA, técnica e secretária da Área de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - UNICAMP, pela amizade e atenção prestada.

À Srta. FABIANA D'AGOSTINO COLOMBINI, estagiária da Área de Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - UNICAMP, pelo constante interesse e ajuda.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação, cujo convívio se tornou fonte de aprendizado e companheirismo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de estudos que nos permitiu realizar o Curso de Pós - Graduação.

E a todos que direta ou indiretamente auxiliaram na elaboração deste trabalho.

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS.

Para ser grande

Ricardo Reis

Para ser grande, sê inteiro. Nada

Teu exagera ou exclui.

Sê todo em cada coisa. Põe quanto és

No mínimo que fazes.

Assim em cada lago a lua toda

Brilha, porque alta vive.

Fernando Pessoa

SUMÁRIO

1 – LISTA	01
2 – RESUMO	07
3 – INTRODUÇÃO	09
4 - REVISÃO DA LITERATURA	13
5 – PROPOSIÇÃO	54
6 - MATERIAIS E MÉTODO	56
6.1. Análise Estatística	68
6.2. Microscopia Eletrônica de Varredura	71
7 – RESULTADOS	72
7.1. Microscopia Eletrônica de Varredura	77
8 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	83
9 – CONCLUSÃO	90
10 – SUMMARY	92
11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
12 – APÊNDICE	101

LISTA

1. LISTAS

1.1. LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Divisão dos grupos e condições de tratamento.	58
Tabela 2	Materiais cimentantes.	59
Tabela 3	Valores de tensão de fratura característica (θ) em MPa.	71
Tabela 4	Resultados obtidos através da Distribuição de Weibull.	74
Tabela 5	Valores médios de espessura de película dos materiais cimentantes utilizados nos grupos experimentais.	100
Tabela 6	Valores numéricos de grau de resistência para os grupos que receberam uma camada de cimento.	101
Tabela 7	Valores numéricos de tensão de fratura para os grupos sem aplicação de cimento.	102
Tabela 8	Valores numéricos de tensão de fratura para os grupos com aplicação de cimento.	103
Tabela 9	Cálculo dos dados estatísticos levados ao gráfico da reta para o grupo A.	104
Tabela 10	Cálculo dos dados estatísticos levados ao gráfico da reta para o grupo B.	104
Tabela 11	Cálculo dos dados estatísticos levados ao gráfico da reta para o grupo C.	105
Tabela 12	Cálculo dos dados estatísticos levados ao gráfico da reta para o grupo D.	105
Tabela 13	Cálculo dos dados estatísticos levados ao gráfico da reta para o grupo E.	106
Tabela 14	Cálculo dos dados estatísticos levados ao gráfico da reta para o grupo F.	106

1.2.LISTA DAS EQUAÇÕES

Equação 1	Equação e valores determinantes da configuração da reta do gráfico da análise estatística para o grupo A.	107
Equação 2	Equação e valores determinantes da configuração da reta do gráfico da análise estatística para o grupo B.	107
Equação 3	Equação e valores determinantes da configuração da reta do gráfico da análise estatística para o grupo C.	107
Equação 4	Equação e valores determinantes da configuração da reta do gráfico da análise estatística para o grupo D.	108
Equação 5	Equação e valores determinantes da configuração da reta do gráfico da análise estatística para o grupo E.	108
Equação 6	Equação e valores determinantes da configuração da reta do gráfico da análise estatística para o grupo F.	108

1.3.LISTA DE FIGURAS.

Figura 1	Matriz metálica utilizada na confecção das amostras de porcelana.	56
Figura 2	Esquema de montagem da matriz metálica.	57
Figura 3	Suporte Metálico Circular.	61
Figura 4	Ilustração esquemática do teste mecânico Biaxial.	61
Figura 5	Gráfico de Barras dos valores de Tensão de Fratura Característica em MPa para os grupos experimentais .	72
Figura 6	Aspecto morfológico da superfície da porcelana condicionada.	76
Figura 7	Aspecto morfológico da interface porcelana/cimento resinoso.	77
Figura 8	Aspecto morfológico da interface porcelana/cimento de fosfato de zinco	78
Figura 9	Distribuição de Weibull para os grupos sem aplicação de cimento.	79
Figura 10	Distribuição de Weibull para os grupos com aplicação de cimentos	80
Figura 11	Distribuição de Weibull para o grupo A.	109
Figura 12	Distribuição de Weibull para o grupo B.	110
Figura 13	Distribuição de Weibull para o grupo C	111
Figura 14	Distribuição de Weibull para o grupo D.	112
Figura 15	Distribuição de Weibull para o grupo E.	113
Figura 16	Distribuição de Weibull para o grupo F.	114

1.4. LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas.
MPa	Megapascal.
EDTA	Ácido Etil-diamino-tetracético.
LAC	Light Activated Cure.
BIS-GMA	bisfenol - A glicidil metacrilato.
ISO	International Standard Organization.
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura.
et al.	e outros.
In	em.
OH	hidroxila.

1.5. LISTA DE NOTAÇÕES

%	- por cento.
μm	micrometros.
$^{\circ}\text{C}$	graus Celsius.
Mm	milímetro.
Cm	centímetro.
ml	mililitro.
=	igual.
x	vezes.
&	e.
n ^o	número.
Seg	segundos.
Mm/min	milímetro por minuto.

N/Min	Newton por minuto.
Lib/Min	Libras por minuto.
P	carga.
E	Módulo de Young.
Ea	Módulo de Young da porcelana.
Eb	Módulo de Young do cimento.
t	espessura do disco.
Ta	espessura da porcelana.
Tb	espessura do cimento.
A	raio do círculo suporte.
b	raio da carga uniforme no centro do disco de porcelana.
R	raio do disco.
ν	Grau de Poisson (0,25).
π	3,1416.
M	momento fletor.
K_{2P}	constante utilizada para o cálculo do valor de tensão de fratura.
σ	tensão de fratura.
θ	tensão de fratura característica.
F	teor das partes que falharam.
j	número da ordem o corpo de prova.
N	número de repetições ou ciclos.
M ou b	Coefficiente angular de Weibull ou Módulo de Weibull.

RESUMO

2.RESUMO

A resistência à tração da porcelana sob influência de materiais cimentantes foi avaliada em 48 discos cerâmicos (Duceram - Degussa) de 20,75 mm de diâmetro por 1,28 mm de espessura. As amostras foram divididas em 6 grupos: A - Amostras sem tratamento de superfície ou aplicação de material cimentante; B- A superfície não glazeada da amostra foi condicionada com ácido fluorídrico a 10% por 4 minutos; C - Procedimento similar ao do grupo B, seguido da aplicação do silano, adesivo e de cimento resinoso Choice Porcelain (Bisco); D - Procedimento similar ao grupo C, e aplicação do cimento resinoso (Resin Cement-3M); E - Superfície não condicionada e utilização de cimento de fosfato de zinco(S.S.White); F- Superfície não condicionada e aplicação do Vitremer para cimentação (3M). Os corpos de prova foram armazenados por 24 horas a 37° C e 100% de umidade relativa. A seguir, foram posicionados na máquina MTS para a realização do ensaio de flexão através do teste biaxial, à velocidade de 2mm/min. Os valores obtidos foram submetidos à Distribuição de Weibull. Os valores médios de resistência à fratura foram: Grupo A=13,20 MPa; B=10,19 MPa; C=178,26 MPa; D=154,96 MPa; E=125,59 MPa; F=128,13 MPa. A resistência à tração da porcelana variou de acordo com o material cimentante e foi maior quando utilizada a associação condicionamento ácido/sistema adesivo/cimento resinoso.

Unitermos: porcelana - resistência à tração - cimentos

INTRODUÇÃO

3. INTRODUÇÃO

A busca de uma solução estética para restaurações indiretas de dentes anteriores e posteriores incentivou o uso de restaurações de porcelana pura. Propriedades como dureza, lisura superficial e cor potencializaram seu uso como material de escolha nos procedimentos de reabilitação oral (Anusavice¹, 1996; Lacy²¹, 1977). Entretanto, a natureza friável da porcelana e sua baixa resistência à fratura limitaram a longevidade das restaurações em uso clínico (Mc Lean²⁵, 1983).

A causa das falhas está relacionada a fatores como espessura da porcelana, desenho do preparo cavitário, orientação dos esforços mastigatórios e seleção do material cimentante (Scherrer, et al.⁴¹, 1994). A seleção de materiais para fixação de restaurações cerâmicas deve levar em conta as características inerentes do material cimentante, como módulo de elasticidade, resiliência, solubilidade, escoamento, adesão às estruturas do dente e cor. Inicialmente, os cimentos de fosfato de zinco e ionômero de vidro foram utilizados como materiais cimentantes de restaurações de porcelana (Anusavice¹, 1996). Entretanto, a friabilidade desses materiais influenciou negativamente os valores de resistência à fratura da restauração e limitou a longevidade clínica (Scherrer et al.⁴¹, 1994).

No caso de dentes naturais, as forças aplicadas ao esmalte são transferidas à dentina através da junção amelo-dentinária (Grossman et al.¹³, 1992; van Noort⁴⁸, 1994; Grossman e

Nelson¹⁴,1997). Da mesma forma, o tratamento da superfície interna da porcelana associado a aplicação de silano, adesivo polimérico e cimento tem sido relatado como mecanismo responsável pelo aumento da resistência de restaurações de porcelana unidas à estrutura dental (McCormick et al.²⁴, 1989). Nessa forma de união, as forças de compressão são transferidas através da combinação porcelana-cimento resinoso para a estrutura dental, sem produzir fratura no corpo da porcelana. Além disso, outros fatores contribuem para o aumento da resistência da porcelana (Eden et al.¹⁰, 1987). Dentre eles estão a indução de tensões residuais de compressão sobre a porcelana, resultantes da ligeira flexão causada pela contração de polimerização da resina cimentante e da mudança no tamanho e forma da falha de Griffith, pelo processo de condicionamento ácido da superfície interna da porcelana (Yamamoto⁵³,1988)

O advento dos sistemas adesivos hidrofílicos motivou a utilização de agentes de cimentação, à base de resina, para estabelecer a retenção de restaurações cerâmicas. No entanto, essa indicação parece estar mais relacionada à resistência ao desgaste, tipo e conteúdo do material de reforço (Peutzfeld³²,1995) do que à espessura do cimento, cuja variação pode influenciar os níveis de resistência à fratura da porcelana.

Recentemente, o teste de flexão bi-axial tem sido usado para determinar a tensão de fratura de materiais friáveis. A confiabilidade deste teste está relacionada com a concentração de tensões máximas de tração na área oposta à da aplicação de força, eliminando, no resultado final, o efeito de possíveis falhas nas

margens das amostras (Ban e Anusavice⁶, 1990; Rosenstiel; Gupta e Van Der Sluys³⁸, 1993).

Assim sendo, o propósito deste estudo foi avaliar a resistência à tração da porcelana sob influência de materiais cimentantes, utilizando o teste bi-axial.

REVISÃO DA
LITERATURA

4- REVISÃO DA LITERATURA

No estudo da resistência à tração das porcelanas dentárias é relevante citar:

LACY ²¹ , em 1977, relacionou a necessidade de conhecimento técnico e químico para fornecer o entendimento do desempenho clínico da porcelana. O autor classificou as porcelanas quanto a sua temperatura de sinterização e dissertou sobre a sua composição. A porcelana é basicamente formada por minerais como óxido de sódio e de potássio que reagem com óxido de alumínio e sílica para produzir um vidro líquido durante o processo de sinterização. Os componentes se dissolvem por reações químicas, mostrando uma micro-estrutura homogênea de vidro amorfo. São adicionados ainda o óxido de ferro para conferir cor e o óxido de zircônio e de titânio para fornecer opacidade. Estes óxidos insolúveis interrompem a propagação de luz e podem criar cores semelhantes às do dente humano sem alterar as propriedades da porcelana. Assim, a porcelana foi dividida de acordo com a aplicação e indicação: opaco, corpo, glaze e pigmentos. De acordo com o autor, em 1965, McLean postulou uma nova porcelana de baixa fusão à qual foi adicionada óxido de alumínio (alumina) na porcentagem de 40-50% em volume. Na nova porcelana, o óxido de alumínio é levemente solúvel em porcelana de baixa fusão o que permite uma continuidade entre as duas fases por união atômica. Além disso, os valores do coeficiente de expansão térmica do óxido de alumínio e da porcelana de baixa fusão são semelhantes e estruturalmente, as duas fases são compatíveis. Este novo material resultou em uma porcelana com

altos valores de resistência à fratura, no entanto sua alta opacidade limitou a indicação para confecção de núcleos e sub-estrutura para coroa de porcelana.

RADFORD & LANGE³⁵, em 1977, compararam os ensaios de flexão usados para a análise do comportamento mecânico da porcelana e verificaram a dependência do fator carregamento no módulo de Weibull. Segundo estes autores, as dimensões das amostras sujeitas ao teste influenciaram esta dependência de maneira significativa, enquanto pouca diferença foi encontrada entre o teste de 3 pontos e o teste biaxial. No entanto, o teste biaxial supera algumas das deficiências encontradas nos testes de flexão de 3 e 4 pontos.

McLEAN²⁵, em 1983, determinou a composição básica da porcelana e do líquido aglutinante utilizado na confecção de restaurações em porcelana, bem como suas propriedades de alta friabilidade, resistência ao desgaste e resistência à degradação química. O autor discutiu o efeito da porosidade sobre a resistência e da umidade sobre a propagação das falhas iniciadoras de fratura na superfície da porcelana, conhecida como fadiga estática. Descreveu o mecanismo de fratura da porcelana e a compatibilidade de dados de pesquisas *in vitro* com a realidade clínica.

EDEN & KACICZ¹⁰, em 1987, realizaram um estudo com a finalidade de comprovar a necessidade da união da restauração de porcelana ao dente na transferência e distribuição de tensões mecânicas e a eficiência desta união na obtenção de maiores valores de resistência mecânica. Neste estudo, coroas cerâmicas (Dicor) foram cimentadas sobre troquéis metálicos submetidos ou

não ao condicionamento. As coroas foram condicionadas e silanizadas, com exceção do grupo controle, composto de coroas cerâmicas não silanizadas. Os sistemas de cimentação utilizados foram: cimento resinoso Dicor LA (ativado por luz visível) Cor YG, cimento resinoso Dicor LA transparente, cimento de fosfato de zinco Dicor cor Y e cimento de ionômero de vidro Aqua Cem. Sobre as coroas cimentadas foi aplicada uma força axial compressiva de 1 lb/min até a ocorrência da fratura. Em média, as coroas condicionadas e unidas com o cimento resinoso Dicor LA tiveram o dobro da resistência das coroas do grupo controle cimentadas com cimento de fosfato de zinco. As coroas unidas com cimento resinoso resultaram em valores de resistência de 3 a 4 vezes maiores que os valores encontrados no uso do mesmo cimento aplicado sem os procedimentos usuais utilizados para promover união.

GROSSMAN & NELSON ¹⁴, em 1987, formularam um trabalho onde foi estudado o conceito de que as forças aplicadas sobre o esmalte são transferidas para dentina através de uma união íntima entre o esmalte e a dentina de suporte. Foram cimentadas 50 coroas de porcelana Dicor em dentes molares humanos extraídos e preparados. As coroas foram divididas aleatoriamente em 5 categorias de acordo com o sistema de cimentação e condição de tratamento de superfície empregado: 1. Cimento de Fosfato de Zinco, 2. Cimento Resinoso Dicor ativado por Luz (LAC), 3. Cimento Resinoso Dicor ativado por Luz (LAC) mais um agente adesivo à dentina, 4. Cimento Resinoso Dicor ativado por Luz (LAC) mais um agente de adesivo à dentina sobre dentina condicionada com ácido poliacrílico a 10%, 5. Resina Fluida à base de Bis-GMA. Em dois

dos cinco grupos, as coroas de porcelana foram condicionadas com ácido e silanizadas. Após sete dias de armazenagem as amostras foram sujeitas ao teste de resistência à compressão. Em média, as coroas unidas por cimento resinoso foram 66% mais resistentes que aquelas que utilizaram outro meio de cimentação.

BAILEY & BENNETT ⁵, em 1988, estudaram a influência dos diversos tratamentos de superfície sobre a união da porcelana ao dente. Para tal foram confeccionadas barras retangulares de porcelana divididas em grupos de acordo com o tratamento de superfície: Bifluoreto de Amônio a 10%, Hidróxido de Sódio e EDTA a 1% e Ácido Clorídrico a 5%. À superfície condicionada de todas as amostras foi aplicado silano, sendo que metade delas foi aquecida a 100°C por 5 minutos. O cimento resinoso dual DICOR LA foi utilizado para complementar a simulação de uma cimentação. As amostras foram submetidas ao ensaio de cisalhamento em Máquina de Ensaio Universal Instron sob velocidade de 5mm/min. Os autores concluíram que a combinação do condicionamento com bifluoreto de amônio e aplicação de silano tratado termicamente mais cimento resinoso alcançou os maiores valores de resistência ao cisalhamento.

OILO³⁰, em 1988, compara, em seu trabalho, a resistência à flexão e algumas com respeito ao tipo e quantidade de defeitos em diferentes porcelanas dentais. Amostras confeccionadas conforme a especificação da ISO, foram sujeitas ao teste de resistência à flexão de 3 pontos em Máquina para Ensaio Universal Otto Wolpert Werke sob força constante de 0,3 N/min. As amostras foram polidas e sujeitas à análise de imagem por computador, onde foram avaliados o número, tamanho, forma e área seccional ocupada

pelos defeitos. O autor observou que a viscosidade da fase vítrea da porcelana é um fator que influencia a quantidade, forma e tamanho dos poros. A partir dos seus resultados o autor concluiu que não há correlação entre a resistência à flexão e a frequência de poros. No entanto, uma razão para a maior resistência à flexão da porcelana Dicor pode ser devido ao menor tamanho dos poros encontrados neste material.

SHETH, JENSEN & TOLLIVER ⁴³, em 1988, realizaram um trabalho com o propósito de avaliar o efeito de vários tratamentos de superfície na resistência de união ao cisalhamento da interface porcelana/cimento resinoso/esmalte, objetivando verificar a contribuição da retenção fornecida pelo condicionamento ácido e a união química com o uso de silano. Também foi avaliado o efeito do uso de uma silicona adicionada entre a superfície condicionada do material e estrutura dental para verificar a adaptação da restauração de porcelana. Rodas de porcelana foram confeccionadas e cimentadas sobre superfícies planas de esmalte de dentes hígidos recém-extraídos. Os dentes foram condicionados com ácido ortofosfórico 37% por 30 segundos, e após o procedimento de lavagem com água foi aplicado o adesivo e a porcelana foi cimentada com cimento resinoso Mirage. As amostras foram divididas em 5 grupos, tratadas da seguinte forma: 1. Condicionamento ácido por 90 segundos e assentamento da porcelana com cimento resinoso; 2. Condicionamento ácido, aplicação do silano e assentamento com cimento resinoso; 3. Condicionamento ácido e subsequente aplicação de uma película de silicona de adição, adaptação da porcelana sobre a silicona, remoção da película de silicona e assentamento da restauração

com cimento resinoso; 4. Condicionamento ácido e aplicação de agente de união, aplicação de sílica de adição, adaptação da porcelana sobre a sílica, remoção da película de sílica, tratamento ácido da superfície da porcelana, aplicação do adesivo e assentamento da restauração com cimento resinoso; 5, a porcelana foi glazeada e sua superfície não recebeu tratamento ácido, seguido da aplicação de adesivo e assentamento da restauração com cimento resinoso sobre esmalte condicionado. Metade das amostras de cada grupo foi armazenadas em água destilada por 24 horas a 37°C e a outra parte foi termociclada a 5°C e 55°C por 600 ciclos. Após a termociclagem, as amostras foram montadas em um dispositivo na Máquina de Teste Universal Instron e as porcelanas foram desunidas do dente sob força de cisalhamento a uma velocidade axial de 0,05 mm/min. Os autores verificaram que o grupo que utilizou sílica para verificar adaptação da porcelana ao dente obteve os menores valores de resistência de união quando comparado com o grupo que não utilizou este material e que seguiu a técnica padrão de aplicação de cimento resinoso. Concluiu-se que ocorre uma alteração química da superfície condicionada da porcelana em contato com a sílica. O aumento de resistência nas amostras condicionadas, silanizadas, tratadas com adesivo e uma camada de cimento resinoso pode ser devido à ação química do silano que aumentou a energia de superfície da porcelana condicionada.

VRIJHOEF, SPANAUF & RENGGLI ⁴⁹, em 1988, estudaram a resistência à compressão de coroas molares de três sistemas de substrato metálico (folhas de platina) para porcelana e duas porcelanas puras (Cerestore e Dicor). As coroas de porcelana

foram cimentadas com cimento de policarboxilato de zinco, selecionado devido ao seu constante uso clínico e cimento de fosfato de zinco de acordo com as instruções do fabricante. Após armazenagem a temperatura ambiente por 2 dias, todas as amostras cimentadas foram submetidas ao ensaio de compressão na direção axial ao longo eixo do dente restaurado em Máquina de Teste Universal Instron em combinação com o Instrumento Eletrônico de Controle da Medida do Circuito a uma velocidade transversal de 0,5mm/min. As curvas de carregamento foram registradas graficamente e a falha foi definida como a primeira iniciação detectada com o método eletrônico/gráfico. Os resultados demonstraram que a carga de fratura parece depender da espessura da amostra. Ainda, as coroas com substrato metálico falharam após a aplicação 60% da carga necessária para fraturar uma coroa de porcelana fundida com subestrutura metálica, enquanto que a porcelana Dicor fraturou com 30% deste valor máximo. O baixo resultado de Dicor foi devido às porosidades encontradas na superfície interna. Com isso os autores concluíram que o material cimentante desempenha papel importante na resistência à fratura deste tipo de material. Os autores sugerem também que os sistemas adesivos são responsáveis pelo aumento de resistência da porcelana.

YAMAMOTO⁵³, em 1988, postulou que as diferenças entre os valores teóricos de resistência da porcelana e os dados práticos de pesquisas se deve à presença de micro-rachaduras na estrutura da porcelana, o que fornece valores de resistência diversificados. O autor introduziu o conceito de que as Falhas de Griffith, resultantes da tensão de tração produzida na região superficial da

porcelana pela diferença de contração térmica entre a superfície e as camadas internas da porcelana influem no comportamento mecânico deste material . Esta estrutura, quando sujeita a um carregamento dinâmico, tem estas falhas propagadas, o que resulta em fratura da porcelana. O autor sugeriu métodos para tornar a porcelana mais resistente e explica o mecanismo da distribuição de forças durante o teste de flexão. Durante a aplicação de forças compressivas oriundas da mastigação, ocorre a ligeira flexão da porcelana produzindo tensões de tração na região superficial da face voltada para o dente e tensões de compressão na superfície que recebe a aplicação da força, é na face que está sujeita às tensões de tração que ocorre a propagação da falha e consequente fratura da porcelana.

HOPKINS¹⁷, em 1989, realizou um estudo examinando a possível influência da espessura de amostras confeccionadas em porcelana na resistência de porcelanas utilizadas na confecção de núcleo e dentina e a combinação dos dois. Foram confeccionados discos cerâmicos que variavam entre si de acordo com a técnica de aplicação da porcelana empregada, em incrementos com ciclo de queima entre os incrementos ou pelo método usual de aplicação única da porcelana. Estas amostras foram submetidas à aplicação da força com uma haste de ponta circular sobre o centro da amostra suportada sobre um base circular. O autor observou que a resistência da porcelana foi afetada pela sua espessura sendo que os valores são diretamente proporcionais. Além disso, a união da porcelana à folha de platina aumenta a sua resistência de maneira significativa. Para melhorar o comportamento da porcelana utilizada como dentina (que não é reforçada com alumina) o autor sugeriu a

confeção de camadas mais finas, em incrementos e com queimas intermediárias, para aumentar a resistência.

McCORMICK et al.²⁴, em 1989, avaliou a resistência à compressão de dois tipos de coroas totais cerâmicas sob o efeito de materiais cimentantes. Foram preparados dentes pré-molares hígidos e sobre eles foram cimentadas coroas de porcelana pura das marcas Hi-ceram e Dicor. As coroas cerâmicas foram analisadas quanto à integridade marginal. Os materiais cimentantes utilizados foram: cimento de fosfato de zinco, cimento de ionômero de vidro e cimento resinoso. As amostras foram divididas em grupos: A: dentes não restaurados; B: Porcelana Dicor cimentada com os cimentos acima citados; C: Porcelana Hi-Ceram cimentada com os materiais acima citados. As amostras foram submetidas ao ensaio de resistência à fratura através da compressão coronária em Máquina de Ensaio Universal Instron. De acordo com os resultados obtidos, os autores chegaram às seguintes conclusões: Os dentes que foram restaurados com as porcelanas utilizadas neste estudo foram, pelo menos tão resistentes quanto o dente natural. A porcelana Dicor foi a mais resistente de todas.

LEINFELDER, ISENBERG & ESSIG²², em 1989, descreveram os procedimentos operacionais do novo sistema CAD-CAM para incrustações de porcelana. Os autores analisaram o desempenho clínico de 150 restaurações e dos agentes cimentantes utilizados para promover a união entre porcelana e elemento dental. Neste artigo, os autores sugerem um valor máximo para a espessura de película do cimento resinoso na ordem de 100µm, margens maiores que estas irão determinar desgaste extensivo do agente cimentante com conseqüente manchamento interfacial, microinfiltração, cáries

secundárias e fratura marginal. De acordo com os resultados da avaliação clínica, o sistema CAD-CAM gera uma fenda de, no máximo 50µm, o que melhora sua adaptação e, em decorrência, favorece a longevidade da restauração.

BAN & ANUSAVICE⁶, em 1990, compararam a influência de três testes utilizados para obtenção dos valores de tensão de fratura de materiais friáveis e sua ação sobre a variação dos valores obtidos. Foram analisados tipo de material, geometria da amostra e sua estrutura nos referidos testes: Teste de Flexão Biaxial, Teste de Tração de 4 Pontos e Teste de Tração Diametral. O Teste Biaxial foi considerado o mais simples e aquele que fornece uma simulação clínica mais relevante, uma vez que o tamanho da amostra e o preparo da mesma são fatores semelhantes aos fornecidos nas condições clínicas. O teste de flexão tem a vantagem de estabelecer um estado de tração pura em uma das faces da amostra. Os diferentes resultados alcançados utilizando-se os mesmos materiais em métodos diferentes são devidos aos seguintes fatores: paralelismo entre a superfície da amostra e a ponta aplicadora da carga, espessura da amostra, constituição dos materiais e quantidade de falhas na superfície sujeita à tração.

FEILZER et al.¹², em 1990, estudou o grau de relaxamento de tensão pela expansão higroscópica de resinas compostas. Resina composta foi aplicada sobre placas de vidro e sua contração de polimerização observada através da flexão induzida na lâmina de vidro. As lâminas de vidro foram desgastadas com pó de carboneto de silício para promover o aparecimento de rugosidade superficiais, silanizadas e esta face recebeu uma

camada de resina, cada grupo com diferentes resinas de diferentes composições. As amostras foram armazenadas em água à 37°C enquanto o grupo controle foi mantido em ambiente seco e sua curvatura medida periodicamente por dois meses com um perfilômetro de contato para a determinação da deflexão em μm . O autor concluiu que o grau de alívio de tensão de cisalhamento higroscópico depende do volume de resina e sua susceptibilidade à água. A natureza hidrofóbica mais saturada das resinas atuais permitiu pouco alívio higroscópico, além disso, é sabido que a compensação da tensão de contração não implica que a contração volumétrica foi compensada, pois uma parte desta contração é aliviada pelo escoamento do material resinoso. Os autores também observaram que em se tratando de resinas compostas utilizadas como cimento resinoso, a superfície exposta aos fluidos orais é extremamente pequena, enquanto a via de acesso destes fluidos é extremamente longa, portanto, esta situação deve ser menos severa se não for possível através da ação dos fluidos dentinários.

ANUSAVICE, GRAY & SHEN ², em 1991, testaram a hipótese de que a efetividade da tensão de têmpera diminui com o aumento do tamanho da falha superficial inicial. Discos cerâmicos foram confeccionados e receberam tratamento térmico (têmpera) por resfriamento rápido. O grupo controle não recebeu têmpera. Foram induzidas rachaduras na superfície da porcelana pelo penetrador Vickers. Os grupos de quatro amostras foram compostos da seguinte forma: A, amostras sujeitas a dez diferentes cargas de penetração e medidas em seis diferentes períodos; B, amostras sujeitas à vinte diferentes cargas de penetração. No grupo controle a medida foi feita imediatamente (38seg). Os

resultados indicaram que a tensão de têmpera inibe o tamanho inicial das falhas com profundidades de pelo menos 100 μ m, no entanto, o crescimento das falhas foi insensível a tensão de compressão produzida pela têmpera. Resumindo, o principal efeito da têmpera é a inibição da formação da falha e não o crescimento.

ANUSAVICE & HOJJATIE ³, em 1991, estudaram novamente a tensão de têmpera associada a níveis variados de contração. Foram confeccionados discos em porcelana feldspática (16mm de diâmetro por 2mm de espessura) em duas camadas: porcelana opaca e porcelana de corpo. Para se alcançar as dimensões acima citadas, os discos foram desgastados por abrasivos de carboneto de silício. Durante os processo de sinterização, os corpos-de-prova foram sujeitos a três diferentes procedimentos de resfriamento, resfriamento lento pelo desligamento do forno, resfriamento rápido pela retirada imediata da amostra do forno para temperatura ambiente e ainda outro resfriamento rápido através da aplicação de jato de ar comprimido sobre a amostra. Após estes tratamentos térmicos, as amostras foram sujeitas a teste de dureza e de flexão biaxial. A principal conclusão deste estudo foi que a resistência da superfície da porcelana à iniciação da falha pode ser aumentada pela têmpera, no entanto, as variações nos dados mostraram que este aumento é sensível à técnica. Os autores também concluíram que o tamanho da falha pode ser reduzido significativamente pela têmpera, mas que a efetividade da técnica depende de fatores como a discrepância entre os valores de contração térmica, temperatura inicial de resfriamento, coeficiente de transferência de calor, dimensões da amostra e característica da falha.

DRUMMOND, NOVICKAS E LENKE ⁹, em 1991, utilizaram dois métodos diferentes para obtenção de valores de coeficiente de corrosão por tensão e determinaram o módulo de ruptura em porcelana restauradora após envelhecimento em ar e em água destilada. Para tal foram confeccionadas barras de porcelana, desgastadas e envelhecidas em recipientes com água a 37°C por 12 meses ou em meio ambiente a 37°C e posteriormente sujeitas a estudo de fadiga dinâmica para avaliar mudanças no módulo de ruptura. Foi utilizado o teste de flexão de 4 pontos com três diferentes velocidades axiais, 0,05; 0,5 e 5,0 mm/min em uma Máquina de Ensaio Universal Instron. As amostras ensaiadas em água mostraram padrões de resistência menores que as experimentadas em ar, resultado este confirmado pela análise de Weibull. Conclui-se que existe um efeito claro da água na redução do módulo de ruptura, embora a diferença entre os grupos não seja significativa segundo a distribuição de Weibull.

McLEAN ²⁶, em 1991, publicou um artigo com o propósito de dissertar sobre os processos utilizados para tornar a porcelana mais resistente e os avanços tecnológicos na sua confecção. O autor descreve novos materiais e suas propriedades. Segundo o autor, toda porcelana tende a falhar em tensões críticas na ordem de 0,1%, e qualquer aumento na resistência somente pode ser alcançado pelo aumento do módulo de elasticidade ou pela eliminação de falhas superficiais na porcelana. Este aspecto foi melhorado com o aparecimento da porcelana alumínica pois neste material, a inserção de cristais de alumina, com maiores valores de dureza do que os cristais feldspáticos, interrompe a propagação de falhas. A resistência à flexão da porcelana está intimamente ligada

ao tamanho da partícula de alumina, quanto menor o tamanho do cristal, maior sua resistência e opacidade. Entre os materiais e métodos utilizados para aumentar a resistência da porcelana estão: substrato metálico, dispersão de cristais, In Ceram, Cerestore, Dicor, Folha de platina e Laminados.

QUINN & MORRELL ³⁴, em 1991, revisaram a utilidade dos dados do teste de flexão e seus problemas para propósitos de planejamento de restaurações indiretas com porcelana. Após um breve histórico do teste de flexão, os autores discutiram as variáveis que fazem com que este tipo de teste obtenha os resultados o mais próximo do confiável. Foi sugerido o uso do Modelo de Dispersão de Weibull para análise estatística de materiais frágeis sob teste mecânico e foram fornecidas bases que determinam a possibilidade de uso do referido teste. Entre elas foram citadas a homogeneidade do material, a constância da quantidade de falhas mantidas através da padronização do tamanho e formato da amostra, a invariabilidade da população de falhas com o tempo, a distribuição ao acaso das falhas e seu tamanho relativamente pequeno em comparação ao tamanho da amostra e o uso de somente um mecanismo de fratura. O modelo de Weibull propõe uma resistência local associada com cada elemento em um único material. O modelo não leva em conta os aspectos micro-mecânicos específicos dos defeitos e sua extensão. Assim, tal modelo é bem versátil e pode permitir a análise do material com variações de valores de resistência.

SORENSEN, KANG & AVERA ⁴⁵, em 1991, avaliaram o efeito de vários tratamentos de superfície na microinfiltração da interface porcelana/compósito. Segundo os autores, a percolação marginal

decorrente de uma diferença de coeficiente de expansão térmica entre a estrutura dentária e o material restaurador pode ser indicativa de falha na interface de união da restauração. Com esta finalidade discos cerâmicos foram confeccionados e abrasionados com óxido de alumínio para conferir uma superfície uniforme. Estes discos confeccionados em diversas marcas foram divididos em quatro grupos; 1, Controle; 2, Discos cerâmicos silanizados; 3, Discos cerâmicos condicionados com ácido fluorídrico a 20%; 4, Discos cerâmicos condicionados e silanizados. Sobre estas amostras foi aplicado cimento resinoso fotopolimerizável. As amostras foram armazenadas em água a 37°C e termocicladas 1000 vezes entre 5°C e 50°C. O grau de microinfiltração interfacial foi determinado pela penetração de corante à base de nitrato de prata. Os resultados mostraram que o tratamento da superfície com silano não reduziu a microinfiltração, mas a combinação deste com o condicionamento ácido reduziu a microinfiltração significativamente, a despeito da armazenagem em água ou da termociclagem. Portanto, a associação condicionamento ácido/silano aumenta a confiabilidade da união entre porcelana e compósito durante a ciclagem térmica.

FAIRHUST, et al.¹¹, em 1992, avaliaram a hipótese de aumento da resistência à fratura da porcelana após glazeamento. Assim, foram confeccionados discos cerâmicos de maneira usual, estes discos tiveram suas superfícies desgastadas e foram divididos em grupos de acordo com o uso ou não de glazeamento, sozinho ou associado a polimento. Todas as amostras foram imersas em água corrente a 37°C durante o experimento e sujeitas ao teste biaxial em Máquina de Ensaio Mecânico Instron. Os

resultados foram submetidos ao teste estatístico de Weibull para análise de probabilidade de fratura e sugeriram que uma única queima dos discos cerâmicos fornece 8% de resistência a mais que quando a porcelana é sinterizada duas vezes. No entanto, não existem evidências de que a redução do dano superficial através do glazeamento seja responsável pela alteração da resistência. O glazeamento por si só não aumenta a resistência da porcelana, mas a manutenção do corpo-de-prova na temperatura de glazeamento por um minuto fornece tempo para a obtenção do vedamento (selamento) das falhas superficiais.. O polimento produz uma superfície com tenacidade à fratura maior do que a encontrada no glazeamento, enquanto que a resistência é afetada pelo acabamento de superfície, número de queimas, duração das queimas e temperatura de queima.

GROSSMAN et al.¹³, em 1992, discutiram os ensaios de risco para a previsão do comportamento da porcelana. Foi utilizada uma análise do risco em dois grupos de dados clínicos compostos por coroas de porcelana DICOR cimentadas com cimento resinoso, cimento de fosfato de zinco e cimento de ionômero de vidro, por quatro e sete anos respectivamente. Os resultados mostraram maior Grau de Falha para o grupos que receberam cimentos de fosfato de zinco e de ionômero de vidro do que para o grupo composto por porcelana cimentada com cimento resinoso. Os autores concluíram que as melhores análises foram desempenhadas pela distribuição de Weibull.

HAYAKAWA et al.¹⁵, em 1992, estudaram a influência do condicionamento da superfície de porcelana e da aplicação de agentes silano na adesão entre a resina e a porcelana . Com esta

finalidade, foram confeccionados discos cerâmicos e posteriormente fixados em resina acrílica. A superfície exposta da porcelana foi tratada com três processos: polimento, condicionamento com ácido fosfórico (60 seg.) e condicionamento com ácido fluorídrico (60 seg.), ambos após polimento. Foi feita a aplicação de agente de união sem carga e resina composta. O grupo sem silano foi considerado o controle. As amostras foram imersas em água a 37°C por um dia e a resistência de união ao cisalhamento foi avaliada em Máquina de Ensaio Universal a uma velocidade transversal de 2.0mm/min. Após o polimento e condicionamento com ácido fosfórico ou fluorídrico, cada superfície de porcelana foi observada em microscopia eletrônica de varredura. A observação em microscopia eletrônica mostrou que a superfície da amostra polida apresentou-se plana, enquanto o efeito do ácido fosfórico como modificador de superfície foi fraco e o aspecto morfológico foi semelhante ao da porcelana polida. A superfície tratada com ácido fluorídrico apresentou a maior rugosidade de superfície. Os resultados demonstraram que, das amostras preparadas sem silano, aquelas condicionadas com ácido fluorídrico produziram a mais alta resistência de união ao cisalhamento. A utilização de silano associado ao condicionamento ácido forneceu os maiores valores de resistência de união ao cisalhamento. Os autores concluíram que a utilização do silano em estado ativo pode não somente aumentar o umedecimento da superfície de porcelana bem como a formação de união química. Portanto, segundo os autores, não há necessidade de condicionamento ácido se o silano está em estado ativo e é capaz de reagir com os grupamentos OH da superfície da porcelana.

MALAMENT & GROSSMAN ²³, em 1992, compararam o sucesso clínico de coroas cimentadas com cimento resinoso em relação as que utilizaram cimento de fosfato de zinco e cimento de ionômero de vidro. Um total de 985 coroas foram cimentadas em 301 pacientes com retornos freqüentes para exame. Os dados revelaram 18 falhas de 616 coroas unidas com cimento resinoso com idade de 4 anos e 50 falhas de 369 coroas fixadas com outros cimentos com idade de 7 anos. A velocidade de falha em coroas cimentadas a dentes molares é maior do que coroas anteriores ou em pré-molares quando o cimento de fosfato de zinco ou de ionômero de vidro foi empregado. Em contraste, a baixa taxa de fratura (2,9%) para coroas unidas por cimento resinoso foi uniforme, independente da localização do dente.

ROSENSTIEL et al.⁴¹, em 1992, elaboraram um estudo no qual testaram a hipótese de que a umidade ambiente afeta as propriedades que determinam a fratura da porcelana. Assim, eles classificaram o coeficiente de susceptibilidade de corrosão por tensão de uma variedade de cerâmicas. Também compararam a ação do líquido inerte sobre a resistência de amostras envelhecidas após armazenamento em água para conferir propagação das fraturas ou a ocorrência de liberação de tensão. Discos cerâmicos foram confeccionados com porcelanas de várias marcas comerciais e submetidos à penetração Knoop com uma carga calculada para fornecer uma fenda de 100µm. Os discos foram testados sobre um anel de bolas no teste biaxial a uma velocidade axial de 0,5mm/min após armazenamento em água a 37°C por uma semana. Os resultados indicaram que a tensão de corrosão pode ter papel

significante na falha destas porcelanas. No entanto, o envelhecimento não produziu aumento significativo na resistência.

DENRY & ROSENSTIEL⁸, em 1993, realizaram um estudo com o propósito de determinar a natureza da camada superficial criada durante a fundição da porcelana Dicor. Ainda, promover a formação de uma camada com propriedades diferentes com o objetivo de avaliar a tenacidade à fratura e resistência à flexão da porcelana Dicor. Modificações da camada superficial foram feitas pela incorporação de fluoreto de lítio a 2,5% e a porcelana foi sinterizada em várias temperaturas. A difração de Raios X foi utilizada para determinar a natureza cristalina da camada superficial formada. As tensões máximas do teste biaxial foram calculadas após a fratura das amostras imersas em água e suportadas por anel de bolas a uma velocidade axial de 0,5mm/min. De acordo com os resultados, a incorporação de fluoreto de lítio a 2,5% e a sinterização a uma maior temperatura (1000°C), houve um aumento significativo na resistência flexural desta porcelana.

ROSENSTIEL et al.³⁸, em 1993, desenvolveram um trabalho com o objetivo de determinar se os tratamento de superfície e as camadas de cimento sobre a superfície iniciadora de fratura afetam a tensão de fratura de discos cerâmicos. Foram confeccionados 46 discos de porcelana fundida (Dicor, Dentsply) pela técnica da cera perdida, com dimensões de 1,3mm de espessura por 16mm de diâmetro. Os discos foram divididos em 5 grupos: A - discos sem tratamento, B- discos com a aplicação de ionômero de vidro, C - discos condicionados, D - discos condicionados, silanizados e com aplicação de uma camada de cimento resinoso, E - discos condicionados, silanizados, com uma camada de cimento resinoso

envelhecido por 5 dias. Cada amostra foi sujeita ao teste de flexão em uma Máquina de Ensaio Universal Instron apoiada sobre suporte metálico em anel de bolas. As amostras foram colocadas de forma que a superfície condicionada e/ou com aplicação de cimento ficasse sob tração. A velocidade axial de aplicação da força utilizada foi de 2mm/min. A medida da resistência da porcelana depende da taxa de tensão usada no teste, para tanto foram aplicadas algumas fórmulas relacionando as dimensões da amostra, do suporte metálico e da ponta utilizada na inserção da carga, espessura da camada de cimento aplicado sobre a porcelana, força necessária para promover a fratura do corpo de prova, velocidade de aplicação desta força e o Módulo de Young dos referidos materiais (porcelana dentária e material cimentante). Os dados fornecidos por estas fórmulas foram sujeitos ao teste estatístico de Tukey e à distribuição de Weibull, um teste bi-paramétrico que é freqüentemente referido como o teste de probabilidade de fratura para materiais frágeis e representada graficamente. Os resultados mostraram que o condicionamento ácido reduz a resistência à tração da porcelana. A aplicação de agentes de cimentação (cimento de ionômero de vidro e cimento resinoso) aumenta o valor de resistência à fratura da porcelana. Os valores de resistência à fratura foram maiores quando foi utilizado o cimento resinoso. A imersão em água não alterou os valores de resistência à fratura.

STOKES & HOOD ⁴⁶, em 1993, fizeram um estudo para determinar os padrões de fratura e energia de fratura por impacto de incisivos humanos intactos extraídos e restaurados com coroas cerâmicas totais e laminados. O grupo controle foi composto por

dentes hígidos, enquanto a outra metade das amostras foi composta de diversos tipos de coroas. Os cimentos utilizados foram: cimento de fosfato de zinco e cimento resinoso. Os dentes preparados foram divididos em 6 grupos distintos: A, Dentes hígidos, grupo controle; B, Coroas totais cerâmicas (Vita Dur N) cimentadas com cimento de fosfato de zinco; C, coroas confeccionadas com Vita Hi Ceram e cimentadas com cimento resinoso; D, Coroas Dicor cimentadas com cimento de fosfato de zinco; E, Coroas confeccionadas com ouro Tipo III; F, coroas totais de porcelana cimentadas com um cimento resinoso de polimerização "dual" ao esmalte condicionado. Cada dente foi montado em um bloco de resina acrílica com uma borracha simulando a membrana periodontal. Os blocos foram montados na base de um dispositivo de impacto, cuja ponta ativa atingia o terço médio vestibular do dente. Quando o pêndulo atingia o dente, foram medidas a massa de impacto e o comprimento do pêndulo, além da sua trajetória através de um sistema de registro por computador. Estes dados associados à aplicação de uma fórmula matemática, possibilitaram a obtenção dos valores de energia de fratura. Segundo os autores, a energia absorvida na fratura é um reflexo da resistência relativa de todo o sistema em relação à força de impacto. A porcelana Dicor apresentou os menores valores de energia de fratura, provavelmente devido à propagação de micro-rachaduras associada à flexão da coroa de porcelana sobre a subestrutura dentinária. O grupo que apresentou valores de energia de fratura semelhante ao do dente íntacto é o composto por coroas cerâmicas unidas ao dente por meio de cimento resinoso, comportamento atribuído à união forte entre a porcelana e o

esmalte subjacente, o que fornece à porcelana uma limitação das forças de tração. Sob teste de resistência à fratura por impacto, os dentes hígidos mostraram um padrão de fratura oblíquo, na direção apical, as porcelanas sofreram padrões específicos de fratura para cada tipo de porcelana utilizada. O dente restaurado por meio de coroas totais cerâmicas unidas por condicionamento ácido teve o padrão de fratura mais variável, ou seja, todas as coroas permaneceram unidas ao esmalte e em metade das amostras a porcelana não fraturou. Este tipo de união se mostrou resistente à fratura por impacto e com a porcelana firmemente unida ao esmalte condicionado e desta forma os padrões de fratura mostraram-se semelhantes aos dos dentes intactos. Concluiu-se que coroas totais de porcelana unidas por associação do condicionamento ácido e cimento resinoso têm a média de energia de fratura mais próxima da dos dentes intactos. Estes resultados são atribuídos a união forte entre a porcelana e o substrato esmalte e dentina, o que fornece uma ação limitante às forças de tração.

TAM & PILLIAR ⁴⁷, em 1993, fizeram um trabalho com o objetivo de medir a tenacidade de fratura de interfaces de dentina/resina composta. Foram seccionados discos de dentina de dente bovino sobre os quais foi realizado condicionamento ácido e aplicado o silano, adesivo e cimento resinoso. As amostras foram divididas em grupos, de acordo com o teste: tenacidade ou resistência à tração realizados em Máquina de Ensaio Universal Instron, após o envelhecimento das amostras por 24 horas em água destilada a 37°C. Foram utilizados três marcas comerciais de adesivo (All Bond 2, Scotchbond Multi Purpose, Scotchbond 2). Segundo os resultados, os valores de resistência de união à tração

e de tenacidade à fratura foram maiores para o sistema adesivo All Bond 2, mediado pelo Scotchbond Multi Purpose e por último o Scotchbond 2. A análise das amostras fraturadas analisadas em Microscopia Eletrônica de Varredura confirmou que a propagação da rachadura ocorreu ao longo da interface de união dente./cimento resinoso durante o teste de tenacidade à fratura.

KARLSSON, MOLIN & MYRVOLD ¹⁸, em 1994, realizaram um estudo com o propósito de investigar a influência da aplicação de uma camada fina de metal (100-200 μ m) sobre a porcelana na sua resistência à flexão. Para a confecção dos corpos de prova foram utilizadas duas porcelanas: Vita Omega e Vita Omega 800 , uma de alta fusão e outra de baixa fusão, respectivamente. As amostras foram confeccionadas seguindo o padrão estipulado pela ISO6872 em forma de barras retangulares e divididas em 2 grupos. O grupo controle não recebeu aplicação de camada metálica, enquanto que o outro grupo recebeu a deposição de uma camada de ouro. Foi realizado o ensaio de flexão através de 3 pontos em uma Máquina de Ensaio Universal Instron a uma velocidade transversal de 1mm/min. Um valor de resistência à flexão maior foi registrado para as amostras com substrato metálico, em especial quando aplicado sobre a superfície oposta àquela que recebia o esforço de compressão, sujeita à tração durante o teste de flexão. Através destes resultados os autores concluíram que a influência dos defeitos estruturais como iniciadores de fratura diminuiu quando foram cobertos por uma camada de metal.

MESAROS, EVANS & SCHWARTZ ²⁹, em 1994, realizaram um estudo para avaliar o efeito de um agente de união dentinário na resistência à fratura de porcelana unida à dentina. Foram

utilizados dentes bovinos para fornecer amostras de dentina às quais foram cimentadas placas de porcelana Dicor previamente condicionadas por 1 minuto com ácido bifluoreto de amônia e tratadas com silano. Os tipos de cimentos utilizados determinaram a divisão aleatória dos corpos de prova em 3 grupos: 1, grupo controle composto por placas de porcelana Dicor; 2, Amostras cerâmicas Dicor cimentadas com cimento resinoso de polimerização dual Dicor LA(ativado por luz visível); 3, Amostras cerâmicas Dicor unidas com agente de união do sistema Prisma Universal Bond e cimentadas com cimento resinoso Dicor LA. Todas as amostras foram armazenadas a temperatura ambiente em água de torneira por 1 semana e posteriormente termocicladas em água de torneira de 10°C a 50°C, por 200 ciclos a 1 minuto cada ciclo. Foi realizado o teste de resistência à flexão de 3 pontos em Máquina de Ensaio Universal Instron a uma velocidade axial de 1,0mm/min. De acordo com a observação do padrão de fratura das amostras, 86,6% das amostras cimentadas ao dente sem a combinação silano/adesivo falharam na interface resina/dentina. Nas amostras tratadas com silano e adesivo, a fratura foi contínua no ponto da carga, sugerindo maior transferência de tensão para a dentina subjacente. Conclui-se que o aumento na resistência de união entre a dentina e o material cerâmico, alcançado com o uso de silano/agente adesivo/ cimento resinoso, levou a uma maior resistência do conjunto.

SCHERRER et al.⁴¹, em 1994, postularam um estudo com o objetivo de verificar se a espessura de película do cimento influenciava a resistência à fratura por compressão em coroas totais de porcelana. Placas cerâmicas foram cimentadas a blocos

de resina composta utilizando-se cimento de fosfato de zinco e cimento resinoso. A espessura de película do cimento variou de 30 - 130 μ m. Estas mudanças em espessura de película foram conseguidas pela utilização de diferentes quantidades de cimento e de pressão aplicada. As amostras foram sujeitas a uma carga de compressão em Máquina de Ensaio Universal Instron a uma velocidade transversal de 0,5mm/min. Para análise dos resultados foi utilizada a Distribuição de Weibull por ser este o modelo estatístico considerado próprio para a descrição da resistência de materiais frágeis. Sendo esta uma distribuição bi-paramétrica, fornece os valores de probabilidade cumulativa de falhas. Os resultados mostraram que para o cimento de fosfato de zinco, as mudanças na resistência à fratura da porcelana devido à variação da espessura de película, não são estatisticamente significantes. Para o cimento resinoso, uma significância estatística pequena foi achada entre os dois grupos extremos de espessura. Não há, portanto, correlação entre a carga de fratura e a espessura do cimento para o fosfato de zinco, mas qualquer variação na espessura da porcelana tem uma influência perceptível na resistência à fratura.

van NOORT ⁴⁸, em 1994, discutiu a inter-relação desempenho clínico/dados de testes laboratoriais, com o objetivo de identificar meios pelos quais esta relação pode ser estabelecida. Segundo o autor, para materiais frágeis, o teste mais apropriado é o teste de resistência à flexão biaxial que dá informação sobre a resistência à tração em carregamento de caráter compressivo. O autor ainda analisa o conceito de se procurar materiais restauradores com características e propriedades semelhantes às do dente e discute

a sua viabilidade. No seu conceito, é impossível dissociar o comportamento mecânico do esmalte da sua unidade estrutural pois uma característica importante do esmalte é sua estreita união à dentina subjacente, portanto, o autor considera infrutífera a comparação de dados de resistência entre a porcelana e o esmalte. Mas, uma vez que se alcança a união da coroa cerâmica à estrutura dentária, as chances de fratura da restauração são reduzidas pela eliminação das falhas superficiais iniciadoras de fratura. Além disso, a natureza anisotrópica do sistema estrutural de resistência do esmalte determina um mecanismo diferente de distribuição de forças. A direção perpendicular dos prismas de esmalte em relação à superfície tem como consequência a distribuição da força na direção da estrutura que confere resistência à superfície, assim, a tensão é distribuída de maneira mais uniforme para todo o dente. Não existe material restaurador que se comporte desta maneira, portanto, não se trata apenas de se buscar as mesmas propriedades mecânicas do esmalte e dentina, e sim de encontrar um material restaurador com as mesmas características estruturais da estrutura à qual será unido.

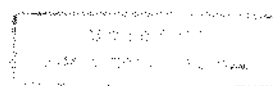
KELLY ¹⁹, em 1995, questionou a validade clínica da determinação da resistência mecânica *in vitro* de materiais cerâmicos. O autor se baseia nas observações de Griffith segundo as quais as falhas microscópicas controlam a resistência dos materiais frágeis devido à concentração de tensões que ocorrem nestas falhas. A propagação destas falhas ocorre quando a energia elástica armazenada (energia mecânica) liberada durante a extensão excede a energia necessária para formar novas superfícies (energia de superfície). Baseado nestes conceitos, o

autor promove uma discussão sobre a viabilidade de se utilizar valores de resistência na determinação das propriedades intrínsecas do material, pois qualquer alteração quanto ao tamanho, orientação ou distribuição das falhas afetará a medida da resistência de um material frível. Os procedimentos de desgaste e abrasão aos quais a porcelana está sujeita durante a sua confecção, podem determinar o tamanho e número de falhas superficiais extrínsecas, levando a uma larga variação de valores de resistência. No entanto, sob condições menos severas, o desgaste e o polimento de vidros cerâmicos pode introduzir uma camada de tensão de compressão, o que irá tornar o material mais resistente. Além disso, a remoção de uma camada de porcelana promovida por tais procedimentos elimina as falhas próprias da superfície. Portanto, devido a esta série de considerações, o autor afirma que os valores de resistência não são suficientes para prever a falha estrutural, e sim uma visão da tensão que o material é capaz de suportar para uma dada distribuição de falhas. Por esta razão, é grande a aceitabilidade da análise de Weibull para predição de risco de ruptura de materiais fríveis. Segundo as conclusões do autor a extrapolação clínica dos resultados laboratoriais depende da semelhança entre as falhas críticas, a reprodução de influências ambientais em laboratório, parâmetros de falhas que descrevam seu tamanho, distribuição do crescimento da falha e distribuição de tensão em estrutura clínica.

KERN & THOMPSON ²⁰, em 1995, avaliaram os métodos adesivos para unir a porcelana alumínica utilizada para fabricação de núcleo à coroa de porcelana feldspática. A estabilidade de união foi verificada após envelhecimento à longo prazo. Discos cerâmicos

(6mm de diâmetro por 4mm de espessura) foram fabricados, desgastados, jateados com óxido de alumínio (110 μ m) e limpos através de banho em ultrassom imersos em etil-acetato por 3 minutos. As amostras foram distribuídas em 6 grupos de acordo com o tipo de tratamento de superfície e cimento resinoso utilizado: 1, resina composta à base de BIS-GMA; 2, aplicação de silano e resina composta à base de BIS-GMA; 3, aplicação de uma camada de sílica, silano e resina composta à base de BIS-GMA; 4, aplicação térmica de sílica, aplicação de silano e da resina composta à base de BIS-GMA; 5, Resina modificada por um monômero à base de fosfato (Panavia EX); 6, resina composta experimental modificada por um monômero à base de fosfato (Panavia TPN-S autopolimerizável). Após tratamento com diferentes números de ciclos de termociclagem, foi realizado o teste de resistência de união à tração em aparelho para ensaio de tração modelo 65TM a uma velocidade de 2mm/min. De acordo com a análise dos resultados, a ciclagem térmica acelerou a degradação da união para sistemas de união instáveis, embora não tenha afetado sistemas mais estáveis como Panavia-Ex e cimento resinoso. O sistema de aplicação sílica/silano/cimento resinoso mostrou ser o mais resistente devido ao fato de a aplicação da sílica ter fornecido ao silano substrato para ligações químicas entre a porcelana e o silano e cimento resinoso. Na porcelana alumínica, as ligações químicas não ocorrem exatamente pela falta de sílica na superfície.

MELCHOLSKY²⁷, em 1995, analisou através da fractografia a mecânica da fratura. O autor descreve os padrões de fratura e sua correlação com as forças aplicadas. Existem três regiões



características circundando a área de origem da fratura de materiais friáveis: espelho, pontilhado e áspero (em forma de entalhe). Segundo o autor, as tensões residuais resultantes de tratamentos térmicos ou químicos podem influenciar a formação da fratura em espelho. Além disso, tensões de compressão afetam a direção de propagação da rachadura. Em uma amostra sujeita ao teste de flexão, a propagação da rachadura será em direção à região de compressão. Isso é visualizado aspecto torcido do entalhe, possibilitando a distinção entre as regiões comprimidas e tracionadas. O autor também observou que quando o cisalhamento contribui para a falha, a propagação da rachadura é afetada, ou seja, a carga que leva à falha é maior que a esperada para aquele tamanho de rachadura, além de intervir no ângulo de propagação da mesma.

MELCHOLSKY ²⁸, em 1995, descreveu as equações a serem utilizadas na análise de falha e mecanismos de fratura, além de definir tenacidade, resistência e respectivos testes. Tenacidade é definida como a resistência do material à propagação rápida da rachadura e é caracterizada pelo parâmetro K_{IC} . Por outro lado, a resistência do material depende do tamanho da falha iniciadora de fratura presente na amostra que é limitada pelos defeitos e rachaduras inseridos durante a confecção e manuseio da amostra.

PEUTZFELDT ³², em 1995, determinou, através do seu estudo, o desgaste oclusal *in vitro*, a quantidade de duplas ligações remanescentes e o conteúdo de carga de 8 cimentos resinosos do tipo dual. O desgaste foi realizado em um máquina que simula o desgaste oclusal clínico. Foram utilizadas dez amostras em cada grupo, armazenadas em água a 37°C por uma semana, sujeitas ao

ensaio de desgaste e os valores expressos em micrometros. A quantidade de duplas ligações foram avaliadas em espectrofotômetro de luz infra-vermelha. O volume de carga foi determinado pelo método pycnométrico. O conteúdo de carga variou entre 31 e 66% em volume. O desgaste variou entre 30 e 65 μm e a quantidade de duplas ligações remanescentes variou entre 19 e 38% quando os cimentos resinoso foram polimerizados químicamente e ativados por luz. Quando a polimerização por luz não foi usada, o desgaste variou entre 36 e 74 μm e a quantidade de duplas ligações remanescente, entre 25 e 56 %. A utilização de luz visível na polimerização de cimentos resinosos melhorou a resistência ao desgaste e reduziu a quantidade de duplas ligações remanescentes. Segundo a autora, existe uma correlação negativa estatisticamente significativa entre resistência à compressão e desgaste do cimento. Há também uma correlação linear entre desgaste e quantidade de duplas ligações remanescentes.

PACHECO³¹, em 1995, estudou o efeito da aplicação do silano e a influência do condicionamento com ácido fluorídrico a 10% na resistência ao cisalhamento de três sistemas adesivos indicados para reparo de restaurações de porcelana. Discos cerâmicos condicionados foram cimentados, sendo que metade das amostras recebeu uma camada de silano. A seguir, as amostras foram submetidas a ensaio de cisalhamento em Máquina de Ensaio Universal. O autor concluiu que a aplicação de silano aumentou significativamente a resistência de união da interface porcelana/resina composta. Os maiores valores de resistência de união foram obtidos com a associação dos agentes cimentantes ao condicionamento ácido com ácido fluorídrico a 10%.

RITTER ³⁶, em 1995, determinou em seu estudo de resistência à fratura que a longevidade do material depende da distribuição da força e do fator tempo. O autor faz uma análise dos testes de resistência e do ambiente no qual eles se desenvolvem e concluiu que o teste de flexão biaxial é o ideal. Neste teste, as extremidades de uma amostra circular são apoiadas no suporte metálico circular composto por esferas equidistantes e portanto não estando sujeitas à tensão de cisalhamento. As tensões decorrentes do esforço de compressão são direcionadas para o centro do corpo de prova, promovendo uma fratura por tração pura. Em outros testes de flexão, as extremidades das amostras são apoiadas em dois pontos. Por isso, a aplicação de forças produz compressão no centro da amostra e cisalhamento nos pontos de apoio. Assim, as fraturas ocorrem pela presença de falhas ou defeitos estruturais sob influência de tensões de cisalhamento. Ainda avaliou a análise estatística pela Distribuição de Weibull como o melhor procedimento no cálculo dos valores de resistência à fratura de materiais frágeis .

RITTER ³⁷, em 1995, escreveu um artigo com o propósito de fornecer bases para se alcançar confiabilidade mecânica de materiais frágeis sob testes de resistência à tração. O autor disserta sobre a ocorrência de falhas e sobre a variabilidade da resistência em função da distribuição dos tamanhos das falhas. Além disso, relata a respeito da característica tempo-dependente da resistência, resultante do crescimento lento das falhas que culminam na fratura da porcelana. Foram discutidas as diferenças de resultados de acordo com o teste utilizado e com as dimensões do corpo de prova, além do processo de tensão por corrosão. A

Distribuição de Weibull é indicada para predizer, através do coeficiente de Weibull (m), o desempenho do material. Foram postuladas algumas normas para maximizar a confiabilidade do teste, entre elas o uso de técnicas que minimizem a formação de falhas, a opção por carregamento por área e não pontual, procedimentos que evitem áreas de concentração de tensão e a minimização da severidade do impacto.

PHOENIX & SHEN³³, em 1995, formularam um estudo com o objetivo de determinar os efeitos dos tratamentos de superfície de uma porcelana feldspática usando a análise do ângulo de contato dinâmico. Foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura para fornecer mais informações a respeito das características da superfície das amostras tratadas. Amostras padronizadas foram confeccionadas e divididas em 5 grupos: 1. Controle (sem tratamento), 2. Abrasão por jateamento de partículas de óxido de alumínio, 3. Condicionamento com bifluoreto de amônio por 1 minuto, 4. Condicionamento de flúor fosfato acidulado por 10 minutos, 5. Condicionamento de ácido fluorídrico a 9,5% por 4 minutos. Os resultados indicaram que a superfície de porcelana polida exibe bom umedecimento e que o mesmo pode ser aumentado pela rugosidade da superfície. Neste caso, a superfície condicionada tem maior área total de superfície com maior energia. Os menores ângulos de contato foram encontrados nas superfícies condicionadas com ácido fluorídrico, cujo uso se limita ao laboratório. Em caso de aplicação em meio oral, o condicionamento com flúor fosfato acidulado fornece superfícies com baixo ângulo de contato, tornando sua aplicação mais indicadas para áreas próximas a tecidos vivos.

ROULET, SÖDERHOLM & LONGMATE⁴⁰, em 1995, testaram a hipótese de que combinações de tratamento de superfície afetam a resistência de união ao cisalhamento da interface cerâmica /compósito, e identificaram as variáveis que tiveram maior impacto na resistência de união ao cisalhamento. Foram confeccionadas amostras em três tipos diferentes de porcelana que receberam três tipos de tratamentos: 1- Desgaste com abrasivo de carboneto de silício, 2- Jateamento com óxido de alumínio por 3 segundos e 3- Condicionamento com bifluoreto de amônio a 10% por 90 segundos. Os silanos aplicados receberam diferentes tratamentos de acordo com sua polimerização química ou térmica. As amostras foram sujeitas ao teste de cisalhamento em Máquina de Ensaio Universal Instron e as faces fraturadas analisadas em Microscópio Eletrônico de Varredura para análise do tipo de fratura. Segundo os resultados relatados, o condicionamento ácido foi o procedimento mais efetivo para aumentar a integridade da união. O jateamento não forneceu altos valores de resistência e além disso, prejudicou a adaptação da restauração. O efeito da textura de superfície na resistência à fratura sugere que a retenção mecânica devido a infiltração da resina nas cavidades superficiais é um fator chave no procedimento de união de materiais cerâmicos. O tratamento térmico após a aplicação do silano produziu melhora significativa na resistência de união ao cisalhamento pela eliminação de água, responsável pela indução de tensões de corrosão sobre a superfície da porcelana, e outros contaminantes da superfície tratada por silano, o que aumentou o número de locais de união disponíveis para a reação.

SJÖGREN⁴⁴, em 1995, efetuou um trabalho com o propósito de determinar a adaptação interna e marginal após a cimentação *in vitro* de inlays de porcelana fabricadas com quatro técnicas diferentes. Foram preparadas cavidades MOD em 50 pré-molares humanos sadios, em 10 deles foram feitos preparos para restaurações Cerec com bixel nas caixas proximais e outras dez com preparos proximais em forma de U. Os 30 dentes remanescente foram preparados de acordo com o conceito padrão de preparos para cavidades do tipo classe 2. Em 20 cavidades, as inlays Cerec foram confeccionadas pela técnica CAD-CAM. Nos outros 30 preparos, 10 receberam inlay do sistema Empress, 10 com sistema Vita In-Ceram e as outras 10 pelo sistema Celay. Todas as restaurações em cerâmica foram condicionados com ácido fluorídrico a 4,9%, com exceção do sistema Vita In-Ceram, que recebeu jateamento com óxido de alumínio com tamanho médio de partícula de 25µm. Todas as restaurações foram silanizadas e cimentadas com o sistema Porcelite Dual (Kerr). Segundo os seus resultados, o autor concluiu que a espessura da camada de cimento resinoso, avaliada pela mensuração da fenda entre a restauração cerâmica e o dente, parece influenciar clinicamente as propriedades relativas ao procedimento de adaptação dos cimento. O autor ainda enfatiza a importância da adaptação da restauração cerâmica após a cimentação como fator relevante no desempenho clínico e na longevidade destas restaurações.

BAHARAV et al.⁴, em 1996, realizaram uma pesquisa na qual se examinou o efeito de diferentes velocidades de resfriamento na tenacidade à fratura e dureza Vickers de uma porcelana reforçada

por alumina. Foram confeccionados 45 discos de porcelana, reforçados com 2% de óxido de alumínio nas dimensões de 8mm de diâmetro por 0,6mm de espessura e posteriormente divididos em três grupos: 1, resfriamento rápido pela descida imediata da plataforma de apoio da porcelana do forno e posterior remoção da amostra do forno logo após a sinterização para a temperatura ambiente; 2, resfriamento médio pela descida da plataforma de porcelana do forno em velocidade constante interrompida por alguns minutos de inércia da plataforma e posterior remoção da amostra para a temperatura ambiente; 3, resfriamento lento pelo posicionamento da plataforma a 2 cm da entrada do forno durante 12 minutos e posterior remoção da amostra para a temperatura ambiente. Uma fina camada de ouro foi aplicada à porcelana para facilitar a medida de dureza Vickers e posteriormente foram feitas penetrações com penetrômetro Vickers usando carga de 1 kg por 20 segundos. As leituras foram feitas com o objetivo de medir o diâmetro radial das rachaduras que emanavam da penetração Vickers e aos resultados foi aplicada uma fórmula matemática para a obtenção dos valores de tenacidade (K_{IC}). Os resultados demonstraram que a porcelana com resfriamento mais rápido teve maiores valores de tenacidade à fratura, e estes valores são maiores na porcelana alumínica do que na feldspática. Este comportamento pode ser explicado pela observação das amostras em microscópio eletrônico de varredura onde se observa a aposição direta dos cristais de alumina, enquanto que os cristais feldspáticos são defletidos da leucita. O tratamento térmico rápido na porcelana sugere a ocorrência de formação de tensão residual, ou seja, a temperatura da camada interna da porcelana é maior do

que a da externa pois é a última camada a se resfriar. Esta diferença causa tensões residuais de compressão que compensam a tensão de tração à qual a superfície externa estará sujeita. Durante o resfriamento rápido, a superfície externa se torna rígida e não pode se ajustar às mudanças do interior do material, a situação se inverte com o acúmulo de tensão de compressão na superfície interna e tensões de tração na externa. Assim, o resfriamento rápido é responsável pela menor propagação de falha.

HEYMANN et al.¹⁶, em 1996, conduziram um estudo clínico de longo prazo com 59 restaurações inlays em 28 pacientes. As coroas foram confeccionadas com porcelana CEREC utilizando o sistema CAD-CAM e foram cimentadas sobre preparos do tipo classe II. A estas coroas foi aplicado o ácido bifluoreto de amônio por 30 segundos, lavadas por 20 segundos e secas com ar comprimido. Foram seguidos os procedimentos usuais de condicionamento ácido e aplicação do sistema adesivo sobre esmalte e dentina. Às superfícies condicionadas da porcelana foi aplicado cimento resinoso micro-particulado de polimerização dupla (Ivoclar-Vivadent) e a coroa assentada sobre o preparo. Após quatro anos de uso clínico, as inlays foram sujeitas à exame clínico quanto ao manchamento interfacial, cáries secundárias, manutenção de contorno anatômico, adaptação marginal, textura superficial e sensibilidade pós-operatória. Foi analisada também a perda de cimento nas margens oclusais. Segundo os autores, o desgaste do cimento formando fendas não criou sinais clínicos, mas suas consequências são desconhecidas. Também observou-se que materiais restauradores com baixo módulo de elasticidade

permitem uma maior flexão das cúspides, promovendo maior proteção para as interfaces unidas.

CURTIS⁷, em 1996, em uma revisão de literatura dissertou sobre a fratura como sendo o modo predominante de falha dos materiais cerâmicos. A fratura se origina de falhas e vazios do material quando sob efeito de uma força, no momento em que a tensão sobre a estrutura excede um nível maior do que o fator de intensidade crítica de tensão. O autor também cita alguns trabalhos que compararam valores de fratura entre coroas metalo - cerâmicas e coroas de porcelana pura e concluiu que, para algumas marcas de porcelana, estes valores se aproximam muito dos necessários para fraturar uma restauração de porcelana fundida ao metal.

WAGNER et al.⁵⁰, em 1996, avaliaram as propriedades mecânicas de três materiais cerâmicos através de dois testes: o teste biaxial de resistência à flexão e o teste de tenacidade através da fratura por penetração. Foram comparadas porcelanas feldspáticas e alumínicas. A confecção dos corpos de amostras para teste de flexão biaxial segue as especificações de ISO 6872 com amostras em forma de disco com dimensões de 16mm de diâmetro e 2mm de espessura. O carregamento foi realizado em Máquina de Teste Universal Instron a uma velocidade de 1mm/min. Os dados de carga de fratura foram registrados e aplicados em fórmula matemática para obtenção dos valores de resistência. O teste de tenacidade à fratura por penetração foi realizado sobre as amostras com penetrômetro Vickers adaptado a uma Máquina de ensaio de dureza Tukon. As cargas utilizadas variam de 9.8 a 196 N. As leituras do comprimento da rachadura desde o centro da penetração são registradas e aplicadas em fórmula matemática

para a obtenção de valores de tenacidade. O teste biaxial elimina a concentração de tensões sobre as bordas das amostras (região onde as falhas irão iniciar a fratura), portanto, recomenda-se o uso deste teste quando a confecção de amostras livres de falhas se mostra impossível. O teste de flexão por penetração também têm a mesma indicação, embora seja mais preciso para materiais homogêneos. Em ambos os testes as porcelanas alumínicas se mostraram mais resistentes que a feldspática. Para cálculos estatísticos, foram realizados os testes ANOVA e Scheffé, além da Distribuição de Weibull que fornece, através dos valores do módulo de Weibull a variabilidade em resistência do material. Assim, o material Procera All Ceram indicou ser um material uniforme com resistência confiável. As observações das amostras em microscópio eletrônico de varredura possibilitaram concluir que a porcelana alumínica Procera AllCeram apresentou um padrão intergranular de fratura por se tratar de um material de fase única. No entanto, In Ceram mostrou uma estrutura distinta de duas fases com uma matriz vítrea e uma fase de alumina. Neste material, as rachaduras se propagaram através da fase alumínica. Este padrão pode explicar o comportamento destes materiais diante dos valores de resistência e tenacidade. Um valor maior de tenacidade à fratura ocorre com maior frequência em materiais de duas fases do que em materiais de fase única, provavelmente a segunda fase torne a propagação da falha mais difícil e contribua para o maior valor de tenacidade do material.

WOOD ⁵², em 1996, em trabalho de revisão de literatura formulou procedimentos para se alterar a resistência de restaurações em porcelana pura. Entre os mecanismos

postulados, a união da porcelana ao dente por meio de cimentação com cimento resinoso é tida como o ideal para a porcelana feldspática. O autor cita trabalhos que postularam um aumento de resistência de união com o uso da associação de tratamento de superfície e aplicação de silano na técnica de união por meio de cimento resinoso.

SHARIFA⁴², em 1996, estudou a influência da camada de porcelana estética sobre a porcelana de corpo na resistência da mesma. Com esta finalidade, foram confeccionados discos com e sem cobertura de porcelana feldspática. Estes discos foram divididos em cinco grupos de acordo com a marca da porcelana: 1, Dicor; 2, Vitadur; 3, Dicor Plus; 4, Dicor com aplicação de Vitadur N; 5, Dicor com aplicação de Dicor Plus. Estes discos foram desgastados com papel de óxido de alumínio, jateados com pó de óxido de alumínio e limpos em ultrassom imersos em água destilada. Posteriormente, foram armazenados em uma câmara de umidade e temperatura controladas por 10 dias a 37°C a 97% de umidade relativa. Os discos foram então submetidos ao teste de flexão biaxial em Máquina de Ensaio Universal Instron a uma velocidade de 0,2mm/min. Os resultados obtidos por meio deste ensaio foram sujeitos às fórmulas matemáticas para a obtenção de valores de resistência. Foi analisado o padrão de fratura por meio de microscópio eletrônico de varredura. Através desta análise foi possível observar um trajeto tortuoso da rachadura nas porcelanas alumínicas em comparação com a porcelana feldspática. Isso se explica pelo fato de a porcelana feldspática (Vitadur N) ter uma menor porcentagem de fase cristalina dispersa e uma maior porcentagem de matriz vítrea, enquanto que, na porcelana

alumínica (Dicor), os cristais parecem bloquear o movimento da rachadura. O autor concluiu que a natureza e o grau da cristalização influenciam a resistência à flexão da porcelana, além disso, a espessura da subestrutura da porcelana pode ser reduzida até 1 mm sem redução substancial na sua resistência à flexão. Também se concluiu que a maior resistência registrada foi atribuída à boa adaptação interfacial entre as porcelanas (corpo e estética) e a combinação dos seus coeficientes de expansão térmica.

PROPOSIÇÃO

5 – PROPOSIÇÃO

A natureza friável da porcelana, associada à sua baixa resistência à tração, determinam baixos valores de tensão de fratura para este material. Entretanto, diferentes tratamentos de superfície associados à aplicação de material cimentante produzem alteração nos valores de resistência à tração.

Assim sendo, o propósito deste estudo foi avaliar a resistência à tração da porcelana sob influência dos materiais cimentantes: cimento de fosfato de zinco, cimento de ionômero de vidro e cimento resinoso, utilizando o teste de flexão biaxial.

MATERIAIS E
MÉTODO

6 - MATERIAIS E MÉTODO

Foram confeccionadas 48 amostras utilizando porcelana comercial de alta e baixa fusão (Duceram - Degussa, Dental - Gesellschaft - Germany). Para a confecção das amostras foi utilizada uma matriz metálica (Fig. 1 e 2), medindo 30 mm de diâmetro interno e 44,61mm de altura, na qual foram adaptados internamente dois anéis metálicos, medindo 24,84mm de diâmetro interno, 7,86 mm e 29.81 mm de altura, respectivamente. Em seguida, foi adaptado um pistilo de mesmo diâmetro, medindo 10 mm de altura. Nesse momento, o pó cerâmico de alta fusão aglutinado com água deionizada foi inserido nesse conjunto. Sobre a porção de porcelana inserida na matriz foi adaptado outro pistilo (24.83 mm de diâmetro e 46,1 mm de altura), sobre o qual foi aplicada uma força de compressão de 4 toneladas, utilizando a máquina de ensaio universal Losenhausenwerk. O disco de porcelana obtido sob compressão foi removido da matriz e levado ao forno (EDG – mod. FV-I – São Carlos – Brasil) para o procedimento de sinterização, conforme as instruções do fabricante. Após resfriamento natural, processo conhecido como têmpera(Anusavice e Hojjatie ³, 1991; Baharav et al.⁴, 1996 e Anusavice et al. ²,1991), o disco cerâmico foi desgastado de 0,50 a 0,60 mm com pontas diamantadas para peça de mão (KG Sorensen, mod. PM 21, em forma de roda) e pontas montadas de óxido de alumínio para o acabamento da superfície.

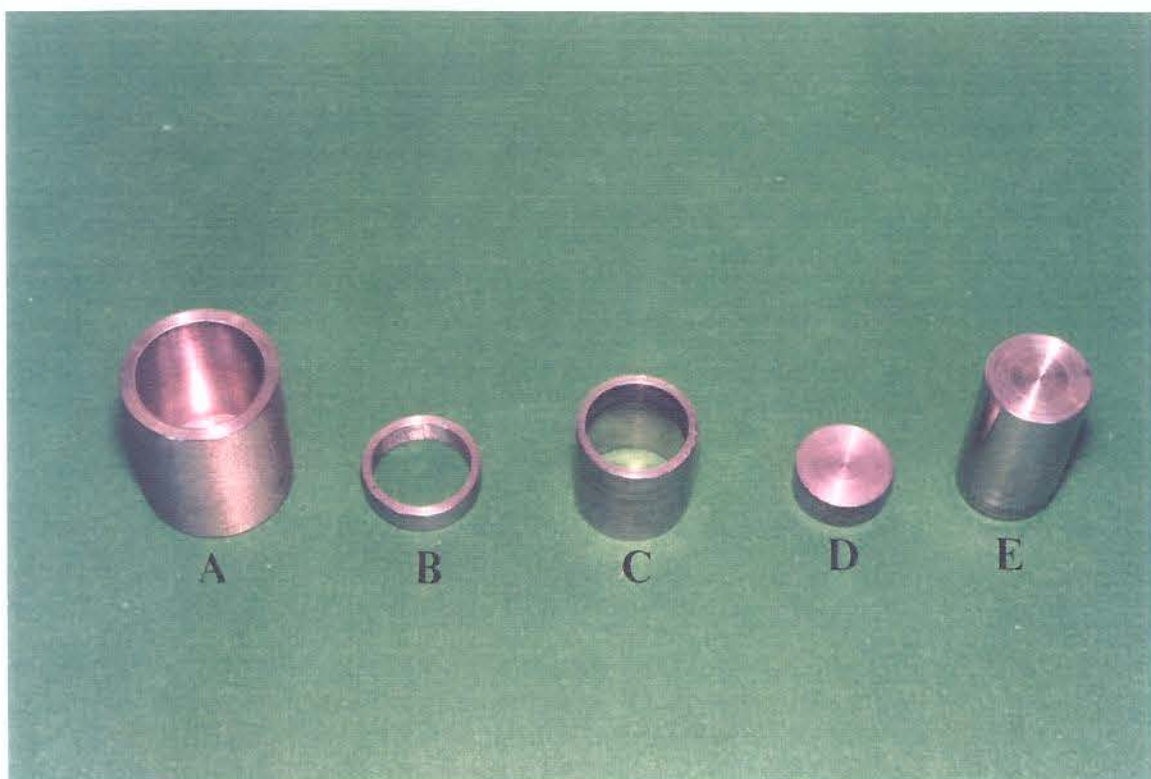


Fig.1:Componentes do dispositivo usado na confecção dos corpos-de-prova. A) Matriz Metálica, B) anel menor, C) anel maior, D) base e E) pistilo maior.

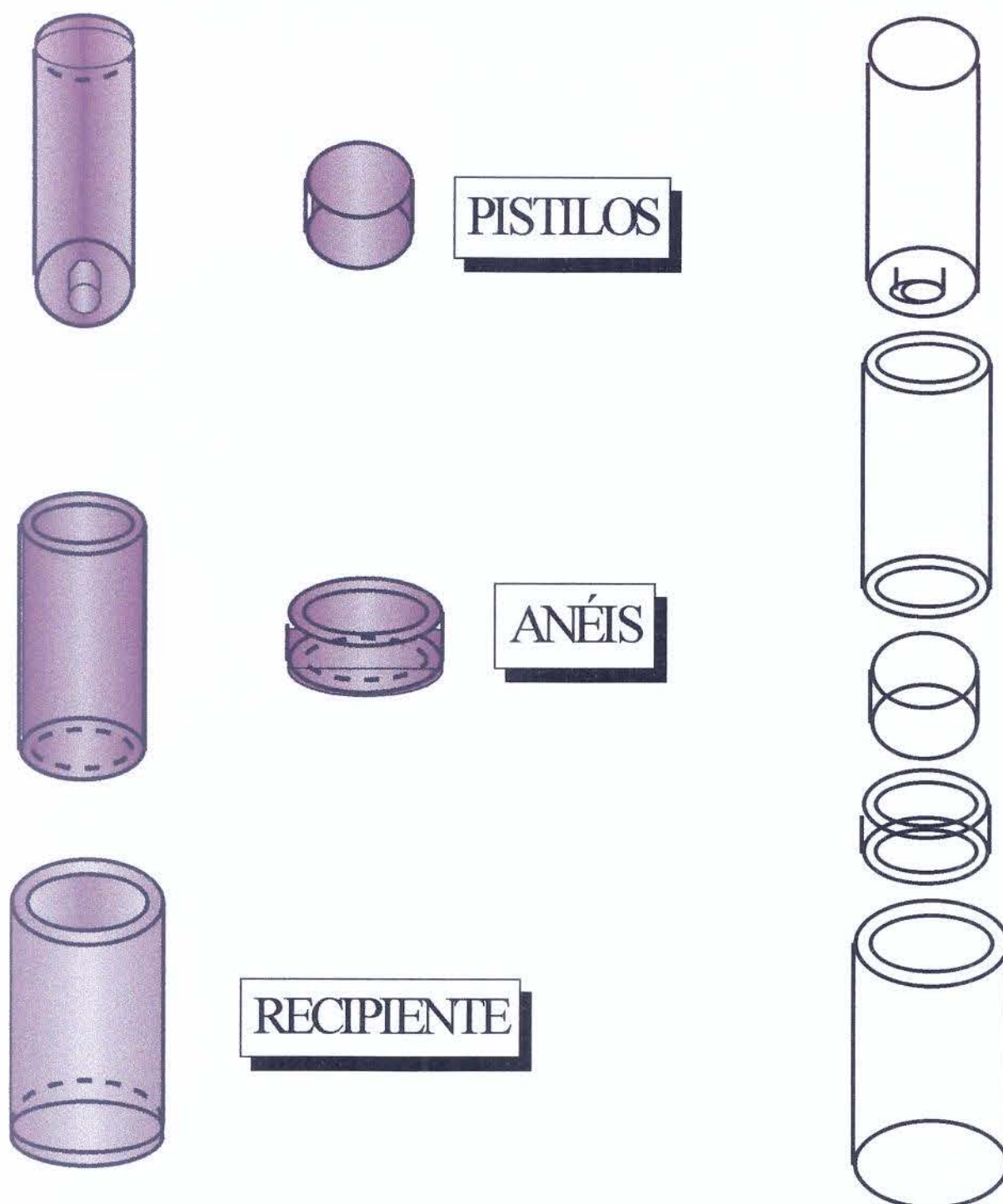


Fig 2 . Esquema de seqüência de montagem da matriz metálica.

Em seguida, o pó de porcelana de baixa fusão (Duceram LFC) foi aglutinado ao líquido fornecido pelo fabricante (Degussa) e aplicado sobre a superfície desgastada do disco cerâmico com o auxílio de espátula e pincéis. O disco formado pela porcelana de alta e baixa fusão foi levado ao forno para o processo de sinterização e posteriormente resfriado naturalmente. Posteriormente foi realizado o auto-glaze. Os discos cerâmicos receberam três ciclos de sinterização desde o início do procedimento de confecção até o “glazeamento”. Nenhum desgaste ou ajuste foi feito após a aplicação do “glaze” e a medida final dos corpos-de-prova foi de $20,75 \pm 0,2$ mm de diâmetro e $1,28 \pm 0,2$ mm de espessura. Medidas estas realizadas com Paquímetro Digital (Starret - Brasil) e especímetro (Bioart - Brasil).

Os 48 discos cerâmicos foram divididos aleatoriamente em 6 grupos contendo 8 amostras cada um e a especificidade do tratamento efetuado em cada grupo está descriminada na Tabela 1.

Tabela 1: Divisão dos grupos e condições de tratamento.

GRUPOS	NÚMERO DE AMOSTRAS	TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE	MATERIAL CIMENTANTE
A	8	Nenhum	nenhum
B	8	ácido fluorídrico a 10% por 4 minutos.	nenhum
C	8	ácido fluorídrico a 10% por 4 minutos. Silano	Cimento resinoso Choice porcelain Bisco
D	8	Ácido fluorídrico a 10% por 4 minutos. Silano	Cimento resinoso Resin Cement 3M
E	8	Nenhum	Cimento de fosfato de zinco
F	8	nenhum	Cimento de ionômero de vidro

No grupo A, a superfície dos discos cerâmicos não recebeu nenhum tipo de tratamento superficial ou aplicação de agente cimentante. No grupo B, a superfície do disco cerâmico que não foi exposta ao glazeamento foi condicionada com ácido fluorídrico a 10%, por 4 minutos. No grupo C, as superfícies dos discos cerâmicos foram condicionadas com ácido fluorídrico a 10%, por 4 minutos e, após lavagem e secagem, receberam aplicação do silano e adesivo do sistema Scotchbond Multi-Purpose (3M Dental) e do cimento resinoso Choice porcelain (Bisco). No grupo D, foi realizado tratamento similar ao grupo C, com exceção do tipo de cimento resinoso, que foi o Resin Cement (3M).

No grupo E, a superfície do disco cerâmico não recebeu nenhum tipo de tratamento ácido e foi utilizado o cimento de fosfato de zinco (S.S. White). Da mesma forma, no grupo G, foi utilizado cimento de ionômero de vidro para cimentação Vitremer (3M). As características dos materiais utilizados para cimentação estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Materiais cimentantes.

MATERIAL CIMENTANTE	MARCA COMERCIAL	SISTEMA ATIVAÇÃO	DE
Cimento de Fosfato de zinco	S.S.White	Reação Química	
Cimento de Ionômero de Vidro	Vitremer - 3M	Reação Química	
Cimento Resinoso	Choice-Porcelain Bisco	Dupla - Física/Química	
Cimento Resinoso	Resin Cement 3M	Dupla - Física/Química	

Os materiais cimentantes foram manipulados de acordo com as instruções dos respectivos fabricantes e aplicados sobre a superfície do disco cerâmico que não foi exposta ao glazeamento (Denry e Rosenstiel⁸, 1993). Sobre o cimento recém-aplicado foi colocado uma folha de polietileno e uma lamínula de vidro. O conjunto disco cerâmico-cimento-folha de polietileno-lamínula foi posicionado em uma prensa hidráulica e comprimido por quatro minutos com uma carga de 500 gramas. A polimerização dos dois cimentos resinosos foi complementada pela exposição das margens do corpo-de-prova à luz visível emitida durante 30 segundos (Visilux 2-3M) enquanto sob compressão, em três áreas distintas. Todos os corpos-de-prova foram armazenados em estufa a 37°C e 100% de umidade relativa, durante 24 horas.

Em seguida, os corpos-de-prova foram posicionados sobre um suporte metálico circular (23,78 mm de diâmetro e 5mm de altura), fig. 3, apoiado na base da máquina MTS (Materials Testing System) modelo 810 de 10 toneladas - USA, para a realização do ensaio de flexão através do teste bi-axial (Rosenstiel; Gupta e Van Der Sluys³⁸, 1993; Sharifa; Mohammed e Wilson⁴², 1996; Wagner e Chu⁵⁰, 1996; Quinn e Morrell³⁴, 1991; Radford e Lange³⁵, 1977; Ritter³⁸, 1995), cuja ilustração esquemática se encontra na Fig. 4.



Fig.3. Suporte Metálico Circular.

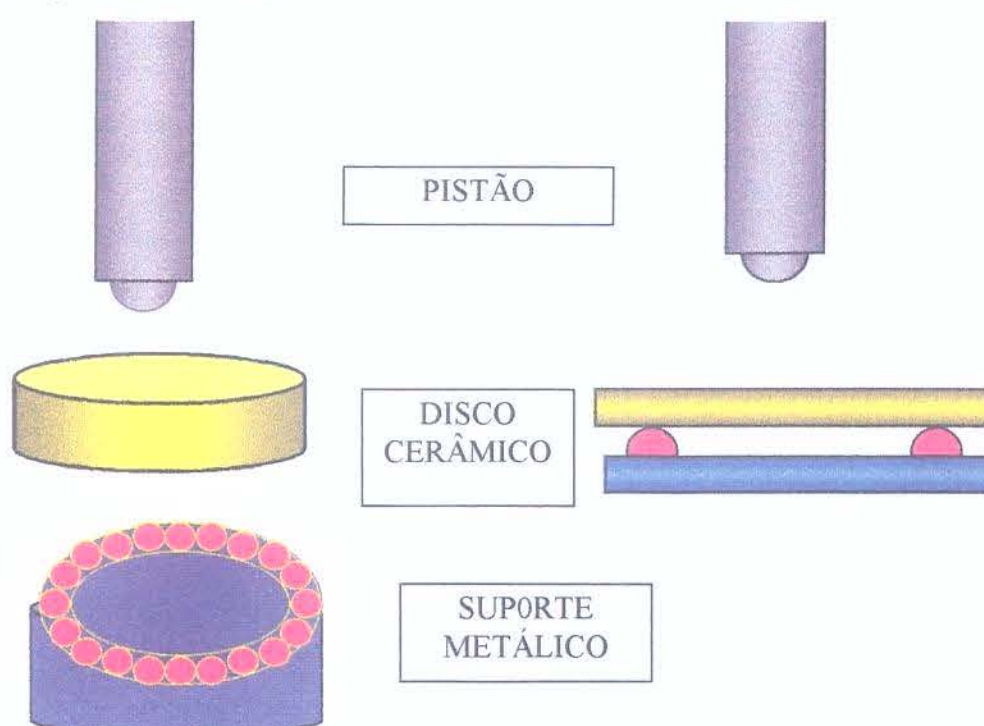


Fig. 4 - Ilustração esquemática do teste mecânico Biaxial.

O suporte metálico circular continha esferas metálicas de mesmo diâmetro, posicionadas equidistantemente e unidas entre si por um anel metálico, que permitiam movimentos rotatórios livres no interior do anel (Fairhurst et al.¹¹, 1992). As características desse apoio utilizado para o ensaio de flexão são semelhantes às de um rolamento automobilístico.

O corpo-de-prova foi posicionado no suporte metálico circular de tal forma que a superfície condicionada e/ou cimentada sofresse tensão de tração, durante os esforços de compressão efetuados no centro do disco cerâmico com o auxílio de uma esfera de 5 mm de diâmetro, com movimento rotacional livre (Fairhurst, et al.¹¹, 1992), posicionada na base inferior de uma haste metálica presa ao mordente superior da máquina de ensaio MTS, sob velocidade axial de 2mm/min (Fig.4). As amostras fraturadas foram observadas em microscópio comparador para mensuração da espessura de película do material cimentante, estes valores se encontram nas tabelas 5, 6 e 7.

Os valores obtidos no ensaio de flexão foram submetidos à formulações matemáticas específicas para a obtenção do valor da resistência à tração de cada material, nas seguintes equações (Rosenstiel; Gupta e Van Der Sluys³⁸, 1993, Mecholsky²⁸, 1995):

(1) Grau de Resistência

$$E = \frac{V t_a}{a^2} \left[1 - \frac{E_b t_b (1 + t_b/t_a)}{E_a t_a + E_b t_b} \right]$$

t = espessura do disco

t_a = camada superior - porcelana.

t_b = camada inferior - cimento.

a = raio do círculo de suporte.

E = Módulo de Young.

E_a = camada superior - porcelana.

E_b = camada inferior - cimento.

(2) - Para os discos sem cimento (grupo A,B,E) - tensões radiais e tangenciais máximas para disco homogêneo.

(3)

$$\sigma_m = \frac{3P(1+\nu)}{4 \pi t} \left[1 + 2 \ln \left(a/b \right) + \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)} \left[1 - \frac{b^2}{2a^2} \right] \frac{a^2}{R^2} \right]$$

P = carga.

t = espessura do disco.

a = raio do círculo de suporte.

b = raio da carga uniforme no centro.

R = raio do disco.

ν = Coeficiente de Poisson (0,25).

Tensão de fratura das amostras cimentadas com cimento resinoso.

(3)

$$\sigma_f = \left[\frac{t_b}{t_a + t_b} \right] \sigma_{sup} + \frac{E_a}{E_b} \left[\frac{t_a}{t_a + t_b} \right] \sigma_{inf}$$

(4)

$$\sigma_{sup} = \frac{-6M}{t_a^2 K_{2p}} \left[1 + \frac{E_b t_b (1 + t_b/t_a)}{(E_a t_a + E_b t_b)} \right]$$

(5)

$$\sigma_{inf} = \frac{6M}{t_a^2 K_{2p}} \left[\frac{E_b t_b}{E_a t_a} + \frac{E_b (t_a + t_b)}{(E_a t_a + E_b t_b)} \right]$$

Nas equações 4 e 5 a constante K_{2p} é:

(6)

$$K_{2p} = 1 + \frac{E_b t_b}{E_a t_a^2} + \frac{3 E_b t_b (1 + t_b/t_a)^2}{E_a t_a + E_b t_b}$$

E o momento fletor:

(7)

$$M = \frac{p}{8\pi} \left[(1+\nu) + 2(1+\nu) \ln \frac{a}{b} + (1-\nu) \left[1 - \frac{b^2}{2a^2} \right] \frac{a^2}{R^2} \right]$$

P = carga

t = espessura do disco

t_a = camada superior - porcelana.

t_b = camada inferior - cimento.

a = raio do disco suporte.

b = raio da carga uniforme no centro.

R = raio do disco.

ν = Coeficiente de Poisson.

E = Módulo de Young.

E_a = camada superior - porcelana.

E_b = camada inferior - cimento.

6.1. DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA DE WEIBULL

Após a obtenção dos valores de tensão de fratura para cada corpo de prova, foi aplicado o teste estatístico de acordo com a Análise de Weibull para materiais frágeis (Norma da ABNT⁵¹, 1987; Ritter ³⁷, 1995). Os valores de tensão de fratura de cada grupo foram listados em ordem crescente e a cada um foi aplicada uma fórmula matemática para cálculo de teor de falha, expresso em porcentagem, sob um determinado número de ciclos. A fórmula utilizada foi:

$$F = \frac{j-1/2}{n}$$

Onde F é o teor das partes que falharam, n é o número de repetições ou ciclos e j é o número da ordem do corpo de prova do qual se deseja calcular o teor de falha.

Considerando que cada grupo experimental utilizado neste trabalho continha oito amostra, o valor de n é 8. Uma vez ordenados estes valores em tabela, a eles é aplicada uma expressão matemática:

$$\ln \left(\ln \frac{1}{1-F} \right) = m \cdot \ln N - m \ln \theta$$

Onde:

$\ln$ = logaritmo neperiano na base de e.

$\ln N = \ln \sigma$ (tensão de fratura).

F = teor de falhas expresso em porcentagem.

m = Coeficiente angular de Weibull. Valor que confere inclinação à reta do gráfico, também chamado de inclinação de Weibull.

θ = Tensão de fratura característica ou durabilidade característica. Quando o valor de $N = \theta$, obtém-se a porcentagem de falhas de 63,2%. O valor de θ representa o número de ciclos de vida para os quais 63,2% das amostras falharão.

Se considerarmos a expressão linear:

$$y = bx + c$$

Onde:

$$y = \ln \left(\ln \frac{1}{1-F} \right)$$

$$x = \ln (\sigma)$$

b = módulo de Weibull

$$c = - b \ln (\theta)$$

Pode-se efetuar a representação gráfica da porcentagem de falhas em função da durabilidade, onde toda amostra ensaiada que apresentou falha gera um ponto no gráfico. A união dos pontos assinalados no gráfico gera uma reta indicativa de durabilidade da população.

Para efeitos de cálculos, os valores de F em porcentagem foram transformados em valores absolutos.

Uma vez traçado o gráfico, obtém-se os valores de m e θ através da equação da reta já citada. Por exemplo, para o grupo A, obteve-se

$$y = 15.6 x + (-40,26)$$

Onde:

$$m = 15,6$$

$$y = \ln \left(\ln \frac{1}{1-F} \right)$$

$$x = \ln(\sigma)$$

Para se obter o valor de θ , faz-se $m \cdot \ln(\theta) = 40,26$

$$\ln(\theta) = \frac{40,26}{15,6}$$

$$15,6$$

$$\ln(\theta) = 2,58$$

$$\theta = e^{2,58}, \text{ onde } e = 2,71$$

$$\theta = 13,19 \text{ MPa}$$

Assim, temos que no grupo A, 63,2% das amostras falharam com uma tensão de fratura igual a 13,2 MPa.

O valor de m já referido indica a uniformidade de comportamento esperado do material, pois um módulo de Weibull mais alto significa um comportamento mais uniforme do material ensaiado. Este valor é expresso no gráfico pela angulação da reta em relação ao eixo das abcissas. Ainda deve-se considerar o valor de coeficiente de determinação. Ele indica a quantidade de dispersão dos pontos em torno da reta. Quanto mais próximo de 1 for este valor, menor a dispersão dos pontos, mais próximos da reta estarão os pontos, este valor é dado pela aplicação da mesma fórmula utilizada anteriormente.

6.2. ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Após o ensaio de resistência à flexão as secções das amostras fraturadas foram imersas em água e submetidas à limpeza por aparelho de ultra-som por 10 minutos. Em seguida, a região seccionada da amostra referente à interface porcelana cimento foi revestidas com liga de ouro-paládio sob alto vácuo em um Aparelho Metalizador MED010 Balzers Union para observação e documentação em um Microscópio Eletrônico de Varredura DSM940A (Carl Zeiss).

RESULTADOS

7 - RESULTADOS

Os valores originais de tensão de fratura resultantes do teste de flexão biaxial estão discriminados nas Tabelas 6, 7 e 8 (Apêndice). Os valores de tensão de fratura característica (θ) para os grupos A, B, C, D, E, e F estão registrados na Tabela 3 e ilustrados por gráfico de barras (Figura 4).

Comparando-se os dados mostrados nos grupos A e B, oriundos do teste Biaxial (Tabela 3), nota-se uma redução no valor da tensão de fratura no grupo B, provavelmente devido ao condicionamento ácido. Por outro lado, os grupos C e D mostraram um valor aumentado da tensão de fratura, quando comparados com os demais grupos, supostamente devido à camada de película de cimento resinoso. Os grupos E e F, com valores reduzidos em relação aos grupos C e D, mostraram uma pequena diferença numérica nos valores de tensão de fratura, mas sem diferença estatística significativa.

Tabela 3: Valores de tensão de fratura característica (θ) em MPa.

GRUPO TENSÃO DE FRATURA	
CARACTERÍSTICA(MPa)	
A	13.2
B	10.19
C	178.26
D	154.96
E	125.59
F	128.13

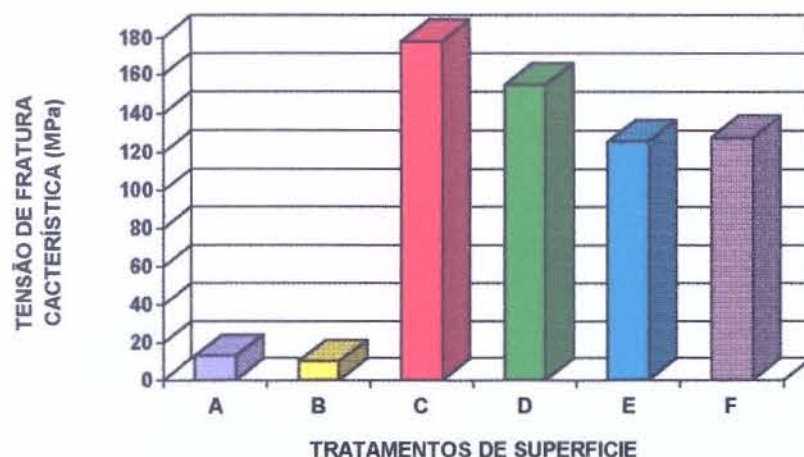


Fig.5: Gráfico de Barras dos valores de Tensão de Fratura Característica (θ) em MPa para os grupos experimentais.

As representações gráficas dos valores de tensão de fratura submetidos à Distribuição de Weibull (Norma da ABNT⁵¹, 1987) estão expostas nas Figuras 9 e 10.

A Figura 9 mostra a Distribuição de Weibull para os grupos que não foram submetidos à aplicação de cimentos. Assim, no gráfico cartesiano, o eixo das abcissas representa os valores da tensão da fratura (MPa) e o eixo das ordenadas, os valores da probabilidade de falha. A letra A indica a reta traçada com base nos valores de tensão de fratura característica (θ), correspondente a 63.2% do valor total da dispersão dos valores de resistência à tração do grupo controle (sem tratamento). A letra B representa as mesmas condições para os valores de resistência à tração das amostras submetidas ao condicionamento ácido.

O comportamento do material em teste, neste caso resistência à tração, será mais previsível (maior homogeneidade dos resultados) quanto maior for a tendência das retas (valor $m =$

coeficiente de Weibull) em manter paralelismo com o eixo das ordenadas. Da mesma forma, quando a inclinação se aproxima do eixo das abscissas, significa que a previsão do comportamento do material torna-se mais difícil (menor precisão na avaliação do comportamento). O coeficiente de determinação prediz a dispersão dos pontos em torno da reta, quanto mais próximo de 1, menor a dispersão, melhor o comportamento do grupo. Os valores de m e do coeficiente de determinação estão listados na Tabela 4.

Na Figura 10 está exposta a Distribuição de Weibull para os grupos com aplicação de cimentos. A letra C representa o grupo tratado com condicionamento ácido/silano/sistema adesivo/cimento resinoso (Bisco); A letra D representa o grupo tratado com condicionamento ácido/silano/sistema adesivo/cimento resinoso (3M); A letra E representa o grupo que recebeu a aplicação de cimento de fosfato de zinco; e, a letra F o grupo com cimento de ionômero de vidro.

Nessas condições de interpretação, os grupos A e F mostram melhor homogeneidade na previsão dos resultados, quando comparado aos demais grupos.

Para o cálculo dos valores utilizados na distribuição de Weibull foram utilizadas as fórmulas para porcentagem de falha:

$$F = \frac{j - 1/2}{n}$$

Uma vez ordenados estes dados, chega-se à uma expressão linear que determina uma representação gráfica entre a porcentagem de falha e tensão de fratura:

$$\ln \left(\ln \frac{1}{1-F} \right) = m \ln N - \ln \theta$$

Onde:

$\ln$ =logaritmo neperiano na base de $e = 2.718$.

$\ln N = \ln \sigma$ (tensão de fratura).

F = porcentagem de falhas

m = coeficiente angular de Weibull, que determina a indicação da reta no gráfico.

θ = Tensão de Fratura Característica. Quando os valores de tensão de fratura (σ) são iguais aos valores de θ , obtem-se a porcentagem de falhas em 63,2%, ou seja, o θ representa o valor de tensão de fratura no qual 63,2% das amostras falharão. Estes dados estão expostos na Tabela 3.

Tabela 4: Resultados obtidos através da Distribuição de Weibull.

	Módulo de Weibull - m	Coeficiente de determinação
GRUPO A	15,64	0,95
GRUPO B	8,12	0,93
GRUPO C	5,29	0,95
GRUPO D	8,23	0,83
GRUPO E	5,68	0,97
GRUPO F	13,74	0,96

7.1. ANÁLISE EM MICROSCOPIA DE VARREDURA

A fig. 6 elucida que a morfologia da superfície da porcelana apresentou uma topografia completamente irregular devido à remoção simultânea da fase vítrea e cristalina. A porosidade aumentou em quantidade, profundidade e largura e essa configuração morfológica tem uma distribuição uniforme por toda a superfície.

A fig 7 mostra o comportamento do cimento na interface com a porcelana. Pode ser observado que uma combinação do sistema adesivo e cimento resinoso preenche todas as irregularidades decorrentes do condicionamento com o ácido fluorídrico.

Na fig 8 pode-se observar que o cimento de fosfato de zinco se justapõe à superfície da porcelana sem, no entanto, preencher as rugosidades inerentes do processo de confecção da porcelana.

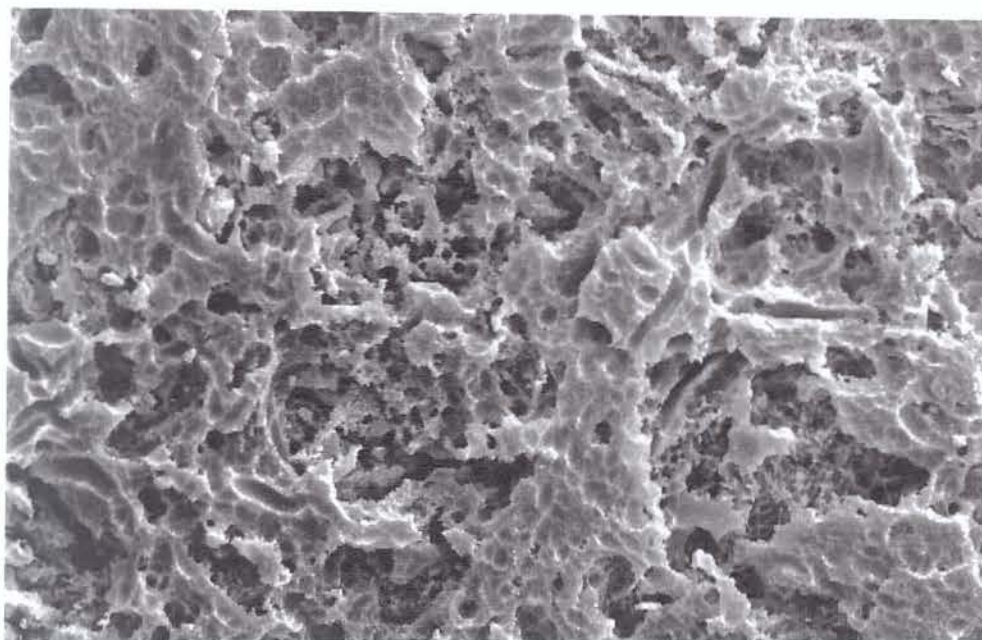


Fig.6 - Aspecto morfológico da superfície da porcelana condicionada durante 4 minutos com ácido fluorídrico a 10% (500x).

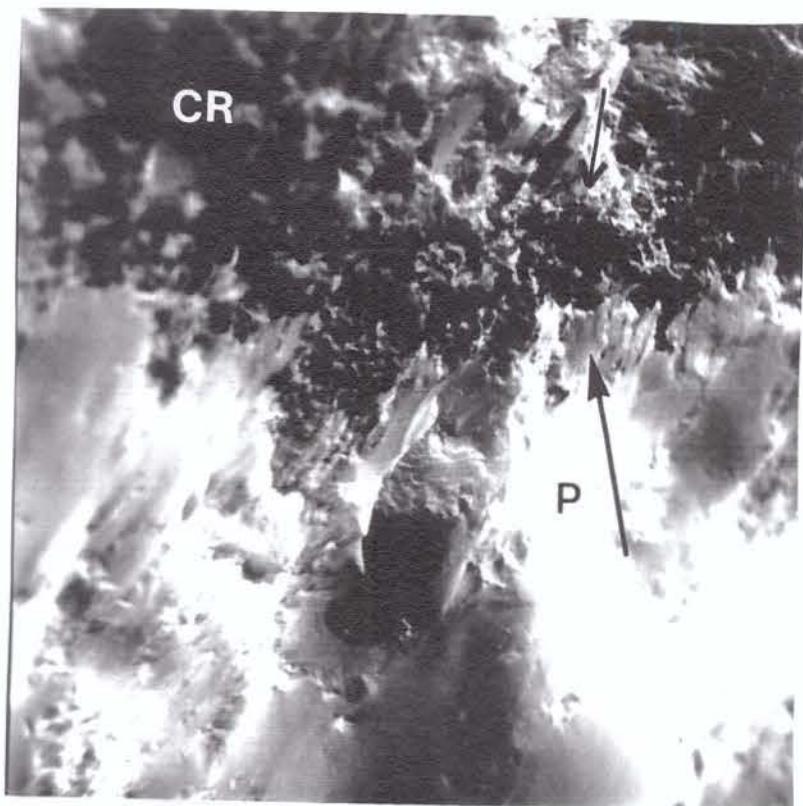


Fig. 7 - Aspecto morfológico da zona de união entre a porcelana/cimento resinoso. (1000X) P: porcelana; CR: cimento resinoso. Combinação sistema adesivo/cimento resinoso (seta).

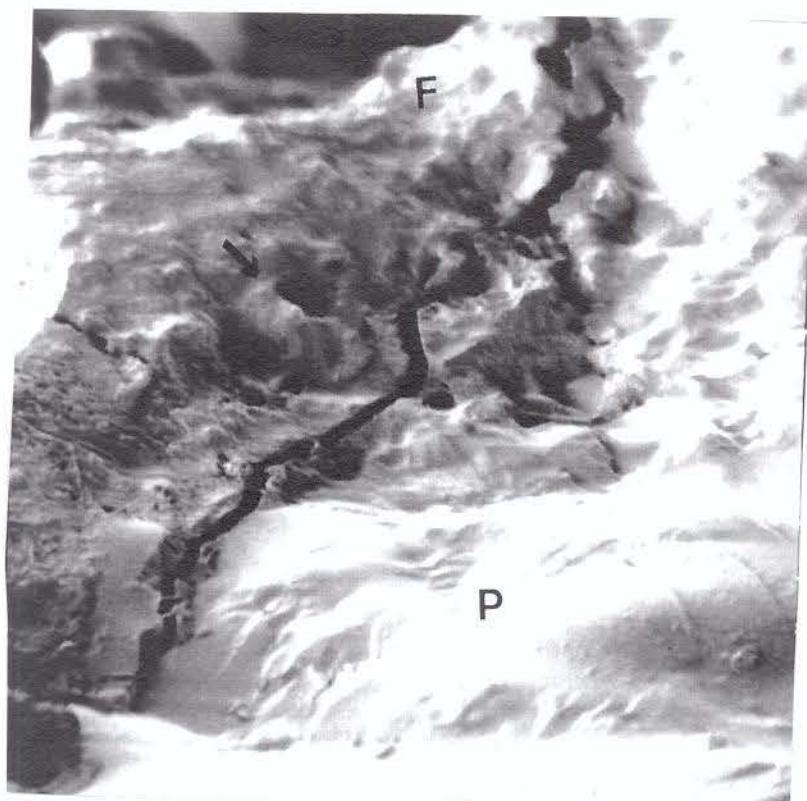


Fig. 8 - Aspecto morfológico da interface porcelana/cimento de fosfato de zinco. (2500x) P: porcelana; F: fosfato de zinco. Porosidades (seta).

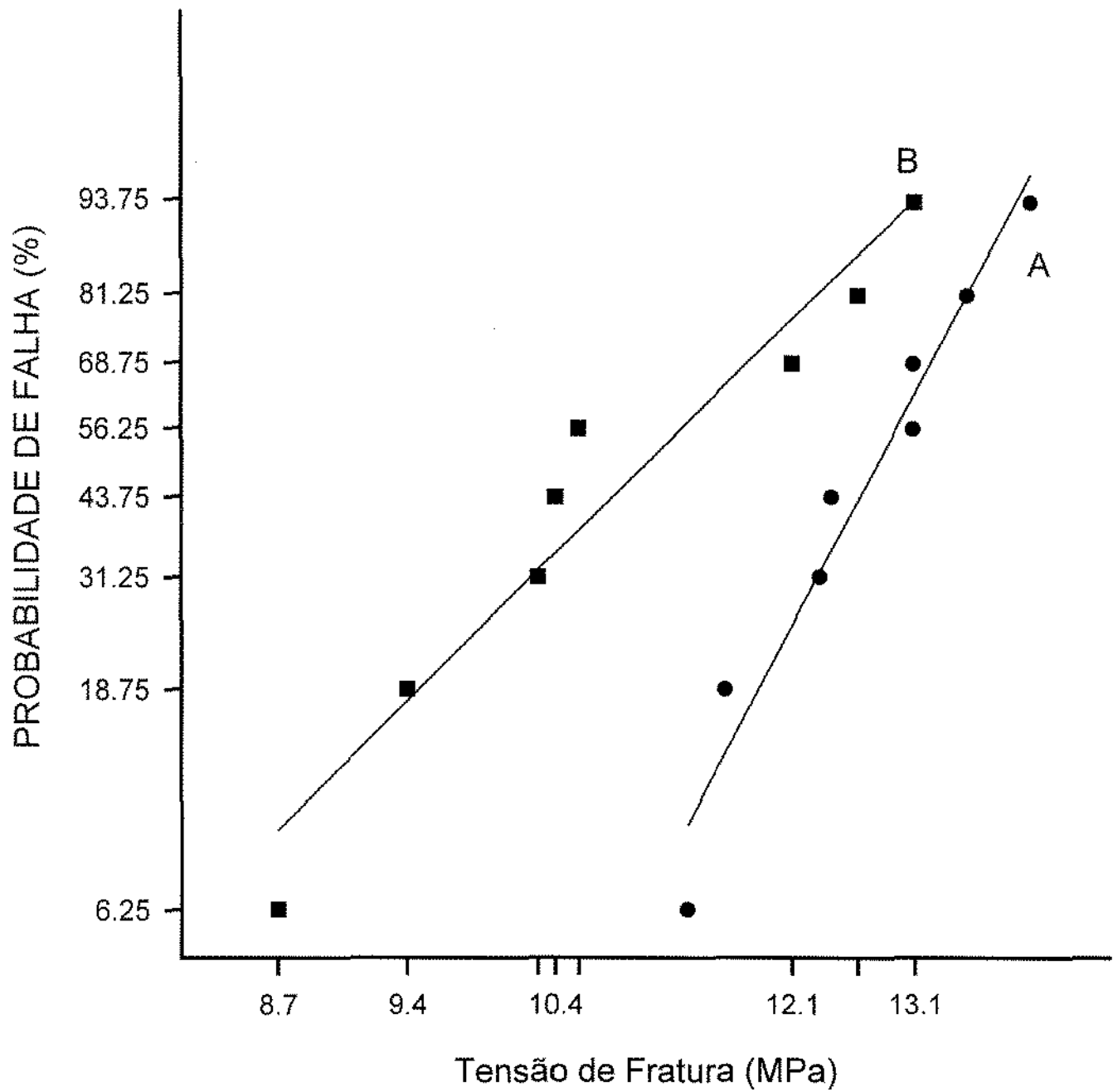


Fig. 9 - Distribuição de Weibull para os grupos sem aplicação de cimentos; A) Grupo A; e B) Grupo B.

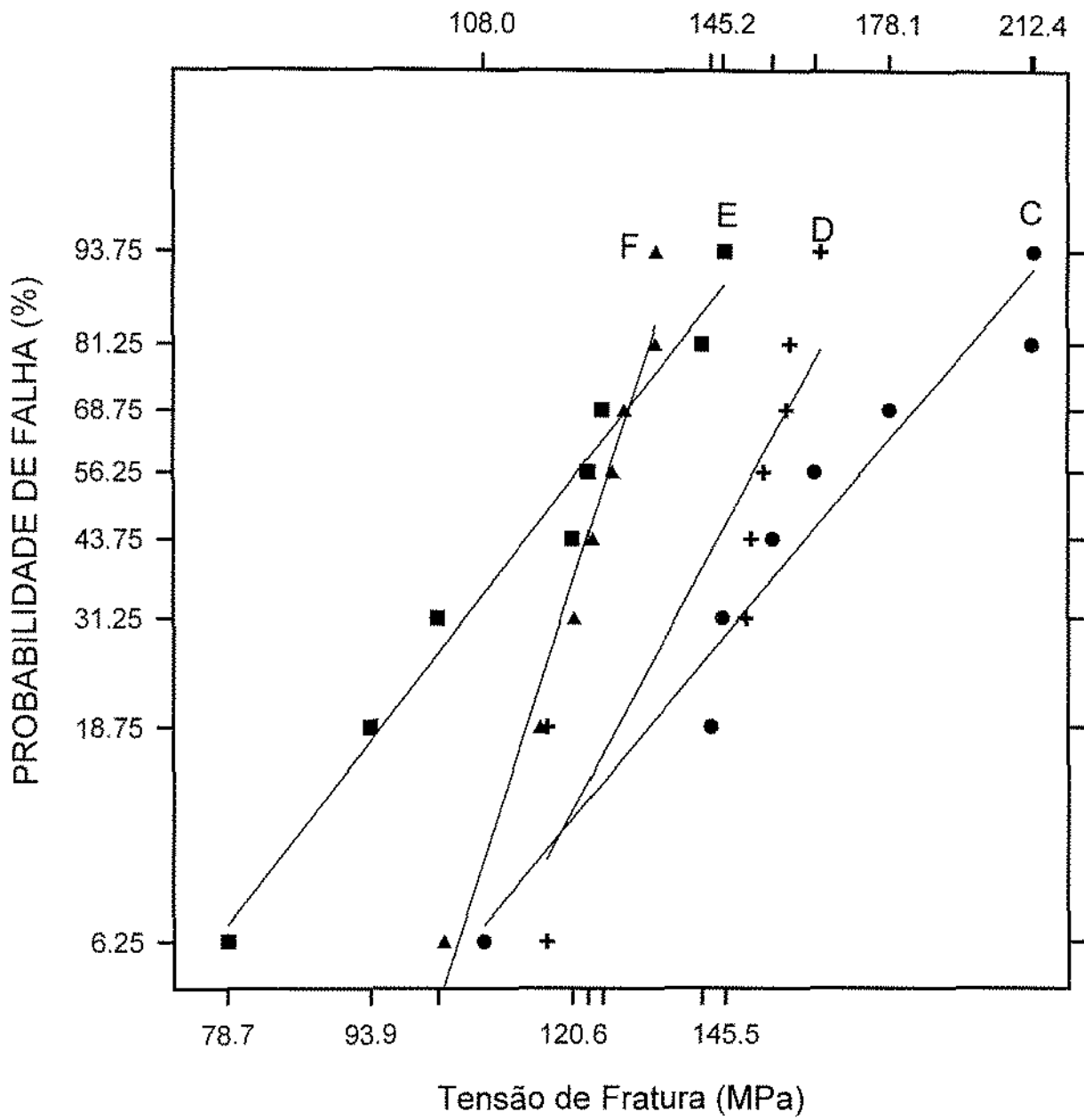


Fig. 10 - Distribuição de Weibull para os grupos com aplicação de cimentos: C) Grupo C; D) Grupo D; E) Grupo E; e F) Grupo F.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

8 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.

A análise dos resultados mostra a que o comportamento da porcelana com relação à resistência à tração se deve a diversos fatores, além da transferência de carga para o substrato, como afirmam alguns autores (Malament e Grossman²³, 1992 e Grossman et al.¹⁴, 1987). Dentre os fatores, McLean²⁵(1983) relata a friabilidade da porcelana como propriedade inerente ao material. Oilo³⁰(1988) e Karlsson et al.¹⁸(1994) também afirmam que as propriedades mecânicas da porcelana estão intimamente ligadas à presença de porosidades no seu interior e às falhas na superfície da porcelana. Para Curtis⁷(1996) e Mecholsky²⁷ (1995), a fratura é o modo predominante de falha de materiais cerâmicos, isso ocorre sempre que a tensão sobre a estrutura excede o fator de intensidade de tensão crítica (K_{IC}).

As falhas superficiais de Griffith formadas durante o resfriamento da porcelana sinterizada são consideradas responsáveis pela diminuição da resistência da porcelana (Yamamoto⁵³,1985; Stokes e Hood⁴⁶,1993; Vrijhoef et al.⁴⁹,1988). Estas falhas, também chamadas de falhas iniciadoras de fratura, são pontos de acúmulo e intensificação de tensões cuja propagação leva à fratura da porcelana (Drummond, Novickas e Lenke⁹,1991; Wood⁵²,1996). Ainda, segundo Roulet, Söderholm, e Longmate⁴⁰(1995) a inserção de uma restauração no meio bucal pode colocar a superfície que contém as falhas em contato direto com a umidade, que pode reagir com os íons hidrogênio da porcelana e o processo corrosivo formado leva à propagação lenta da falha, conhecida como fadiga estática (Rosenstiel et al.³⁹,1992).

Segundo alguns autores, o condicionamento da superfície com o ácido fluorídrico diminui ou remove as fendas de Griffith, aumentando a resistência à tração da porcelana (Rosenstiel; Gupta e Van Der Sluys³⁸, 1993; McLean²⁶, 1991).

Ao contrário destes autores, os nossos resultados não mostraram uma recuperação da resistência da porcelana após o condicionamento ácido. Neste caso, o condicionamento substituiu as fendas de Griffith pelas micro-porosidades deixadas pelo ataque ácido, também consideradas locais de concentração de esforços. Os discos condicionados mostraram valores de resistência diminuídos, provavelmente devido a dois principais fatores: perda de estrutura da porcelana, alterando a espessura do disco, fenômeno já observado por Hopkins¹⁷ (1989) e Kelly¹⁹ (1995); e, formação de novas irregularidades superficiais responsáveis também pela concentração de esforços, locais de origem da propagação das fraturas(Phoenix e Shen³³, 1995). A fig 6 mostra a superfície da porcelana condicionada com ácido fluorídrico a 10% durante quatro minutos, na qual pode se observar a remoção da fase vítrea e parte da fase cristalina, deixando micro-porosidades e micro-canais na superfície da porcelana.

Por outro lado, o condicionamento ácido associado à aplicação do cimento resinoso aumentou consideravelmente a resistência dos discos cerâmicos pelo fato de que as micro-retenções foram preenchidas pelo material resinoso, o que impediu, desta forma, a concentração de tensões. Assim, a criação de micro-retenções mecânicas aumenta a união mecânica do cimento à porcelana através do imbricamento mecânico (Bailey e Bennett⁵, 1988, Sheth; Jensen e Tolliver⁴³, 1988). Além disso, ocorre

uma reação química entre a porcelana condicionada e o silano, um agente modificador da superfície da porcelana (Hayakawa et al.¹⁵, 1992; Mesaros et al.²⁹, 1994;), que parece ser o responsável pelo aumento da resistência de união ao cisalhamento (Pacheco³¹, 1995; Tam e Pilliar⁴⁷, 1993). Esta combinação, também é responsável pela redução da microinfiltração entre restaurações cerâmicas e estrutura dental (Sorensen, Kang e Avera⁴⁵, 1991; Heymann¹⁶, 1996).

Outro fator que pode ser considerado responsável pelo aumento da resistência à tração da porcelana é o fato de que o cimento resinoso penetrando nas irregularidades superficiais promove o travamento das fendas, induzido pela contração de polimerização do cimento resinoso (Rosenstiel, Gupta e Van Der Sluys³⁸, 1993; Feilzer¹², 1990). Desta forma, a contração de polimerização, que pode ser da ordem de 0.40% (Kern e Thompson²¹, 1995), ao bloquear a irregularidade ou porosidade, dificulta a concentração de esforços e posterior propagação das fendas. A penetração dos cimentos pode ser observado na fotomicrografia ilustrada na fig 7, na qual a combinação silano/sistema adesivo/ cimento resinoso preenche as irregularidades da superfície da cerâmica. Assim, a associação porcelana-substrato resinoso aumenta até 69% a resistência à fratura da porcelana (Scherrer et al.⁴¹, 1994). Esses resultados também foram observados em nosso trabalho, quando verificamos que o adesivo resinoso recuperou a resistência à tração dos discos de porcelana condicionados com ácido fluorídrico.

Outra variável que pode ter influenciado na obtenção de diferentes valores de resistência à tração da porcelana com o uso

de cimentos adesivos é a espessura da película do material cimentante (Leinfelder et al. 23, 1989; Sjögren ⁴⁴,1995). Como mostrado na Tabela 3, os grupos C e D foram tratados com cimentos resinosos e mostraram resultados estatisticamente diferentes. O material resinoso da 3M resultou em película de menor espessura quando comparado com o material da Bisco (Tabela 5,apêndice), provavelmente por ser um material composto de partículas pequenas (média de 0.6 μ m), as quais, por possuírem um percentual de volume semelhante, sofrem menores tensões de cisalhamento durante o escoamento, resultando em um material com menor viscosidade. Já, o produto da Bisco, composto de partículas híbridas, apresenta maior viscosidade resultando numa película de maior espessura. Os nossos resultados parecem comprovar a afirmativa de Scherrer et al.⁴¹ (1994) de que a espessura de película dos cimento resinosos é um fator crítico. Quando a espessura de película possui aproximadamente 100 μ m, além da desadaptação da restauração cerâmica à estrutura do dente, a porcelana se torna mais susceptível à fratura pela dificuldade na efetivação da distribuição homogênea das tensões (Sjögren ⁴⁴,1995). No nosso estudo, observou-se que além do limite máximo de espessura de película para cimentos resinosos, existe também um limite mínimo de espessura suficiente para conferir resistência necessária ao conjunto dente/material cimentante/restauração sob cargas oclusais de mastigação. A Distribuição de Weibull (Grossman et al.¹³, 1992) demonstra que o comportamento mecânico do conjunto porcelana/cimento cujos valores estão distribuídos no grupos C e D variou conforme a espessura de película do cimento. Na fig 10 a reta D (Resin

Cement - 3M), está localizada em um intervalo cujos valores de tensões de fratura são menores do que a reta C (Choice - Bisco), além disso, o valor do coeficiente de determinação da reta C ficou próximo de 1 e no grupo D o valor foi 0,83 (Tabela 4), o que mostra maior dispersão dos valores em torno da reta representativa da tensão de fratura característica (θ) para o grupo D. Isso significa que a resistência à tração é maior no grupo representado pela reta C, embora seu comportamento mecânico seja menos uniforme o que o encontrado na reta D. Estas hipóteses foram determinadas pelos valores do módulo de Weibull para cada grupo, sendo 5,29 e 8,23 (Tabela 4, Equações 5 e 6) respectivamente para o Choice (Grupo C) e Resin cement (Grupo D) expressos no gráfico pela inclinação das retas (Fig 10).

A mesma forma de análise foi feita para o cimento de fosfato de zinco e cimento de ionômero de vidro. As retas representativas dos grupos E e F localizam-se em intervalos de tensão de fratura menores do que o dos outros grupos, o que determinou a sua menor resistência à tração. A proximidade dos valores de coeficiente de determinação obtidos para o cimento de fosfato de zinco e ionômero de vidro caracterizou a baixa dispersão dos resultados em relação ao valor característico de fratura (θ). Isso significa que os materiais têm comportamento com características homogêneas. Além disso, o cimento de fosfato de zinco proporcionou menores valores de coeficiente de Weibull-m (Tabela 4), possivelmente devido à presença de porosidades decorrentes da oclusão de ar durante a espatulação do material. Este aspecto heterogêneo pode ser visualizado fotomicrograficamente na fig 8. Nestes vazios, também se concentram tensões de tração durante o

carregamento, o que contribuiu para a obtenção do menor módulo de Weibull, conforme afirmações anteriores de Scherrer et al.⁴¹(1994). Apesar disso, a resistência à tração da porcelana sob a influência dos cimentos de fosfato de zinco e de ionômero de vidro foi superior àquela obtida para a porcelana sem o suporte de um material cimentante. Este comportamento pode ser explicado pela diferença dos módulos de resiliência e de Young destes materiais em relação à porcelana.(Anusavice ¹, 1996; Rosentiel et al. ³⁸, 1993).

O cimento de ionômero de vidro alcançou resultados de recuperação da resistência à tração da porcelana semelhantes aos obtidos pelo cimento de fosfato de zinco. Por analogia, os baixos valores de coeficiente de Weibull também podem ter ocorrido pelas características intrínsecas do material, que se comporta como um gel, com menor capacidade de estabelecer imbricamento mecânico com as irregularidades superficiais promovidas pelas falhas de Griffith.

Os resultados discutidos neste estudo demonstraram claramente que a associação de condicionamento ácido/aplicação de silano/cimento resinoso aumentou a resistência à tração dos discos de porcelana submetidos ao teste biaxial.

CONCLUSÃO

9 - CONCLUSÃO

Com base nos resultados deste estudo, podemos emitir as seguintes conclusões:

1. O condicionamento ácido produziu microporosidades nas superfícies da cerâmica e reduziu os valores de resistência à tração quando comparados com os valores de resistência da porcelana não condicionada.
2. Os cimentos de fosfato de zinco e ionômero de vidro mostraram comportamento mecânico semelhante entre si e inferior ao dos cimentos resinosos.
3. A resistência à tração da porcelana varia de acordo com o material cimentante e se apresentou maior quando foi utilizada a associação condicionamento ácido/silano/cimento resinoso.
4. O cimento resinoso (Resin Cement - 3M) apresentou valores de resistência à tração inferiores aos obtidos para o cimento Choice (Bisco).

SUMMARY

10 - SUMMARY

The tensile strength of porcelain under the influence of luting cement was verified in forty-eight ceramic discs measuring 20.77 mm in diameter and 1.28 mm in thick, using Duceram porcelain (Degussa). The specimens were randomly divided into six groups: A - The specimens did not receive any treatment or luting cement; B - The non glazed surface of the specimen was etched with a hidrofluoridric acid at 10% for 4 minutes; C - Similar procedure of group B, followed by the coating of silane/adhesive/resin cement (Choice Porcelain - Bisco); D - Similar procedure of group C, except that the ceramic surface was coated with Resin Cement (3M); E - The ceramic surface was not etched and it was coated with zinc phosphate (S.S.White); F - The ceramic surface was not etched and it was coated with Vitremer Cement (3M). The specimens were stored at 37°C and 100% relative humidity for 24 hours. Then, the biaxial test was carried by submitting the specimens to compressive stress on the MTS machine at crosshead of 2mm/min. The original values were submitted to the Weibull Distribution. The mean values were: Group A=13.20 MPa; Group B=10.19 MPa, Group C=178.63 MPa; Group D=154.96 MPa; Group E=125.59 MPa; Group F=128.13 MPa. The porcelain tensile strength varied according with the luting cement and it was higher when the association acid etching/adhesive system/ luting resin cement was used.

Uniterms: Porcelain-tensile/strength-luting/cements

REFERÊNCIAS
BIBLIOGRÁFICAS

11 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANUSAVICE, K.J. Phillips' Science of Dental Materials. 10 ed. W.B. Saunders Co., 1996. 709p.
2. _____, GRAY, A., SHEN, C., Influence of Initial Flaw Size on Crack Growth in Air-Tempered Porcelain. J. dent. Res., Washington, v. 70, n. 2, p. 131-136, Feb, 1991.
3. _____, HOJJATIE B., Effect of Thermal Tempering on Strength and Crack Propagation Behavior of Feldspathic Porcelains. J. dent. Res., Washington, v. 70, n. 6, p. 1009-1013, June, 1991.
4. BAHARAV H., et al. Effect of Different Cooling Rates on Fracture Toughness and Microhardness of a Glazed Alumina Reinforced Porcelain. J. prosth. Dent., Saint Lous, v. 76, n. 1, p. 19-22, Jan, 1996.
5. BAILEY , L.F.; BENNETT, R.J. Dicor surface treatments for enhanced bonding. J. dent. Res., Washington, v. 67, n. 6, p. 925-931, June, 1988.
6. BAN S. & ANUSAVICE, K.J. Influence of test method on failure stress on brittle dental materials. J. Dent. Res., Washington, v. 69, n. 12, p. 1791-1799, Dec, 1990.
7. CURTIS R.V. Resin-Bonded bridges and Ceramometallic Restorations In: Dental Materials: 1994 Literature Review. Lloyd C.H. & Seringeour S.N. J. of Dent., Oxford, v. 24, n. 3, p. 153-184, May, 1996.
8. DENRY I. L. & ROSENSTIEL S.F. Flexural Strength and Toughness of Dicor Glass-Ceramic after Embedment modification. J. dent. Res., Washington, v. 72, n. 3, p. 572-576, March, 1993.
9. DRUMMOND J.L., NOVICKAS D., LENKE J.W. Physiological aging of an all-ceramic restorative material. Dent. Mater., Washington, v. 7, n. 4, p. 133-137, April, 1991.

10. EDEN, G.T. & KACICZ, J.M. Dicor crown strength improvement due to bonding. J. dent. Res., Washington, v. 66, p. 207, Feb, 1987, [Abstr. N° 801].
11. FAIRHUST, C.W.; LOCKWOOD, P.E.; RINGLE, R. D.; Thompson W. O. The effect of glaze on porcelain strength. Dent. Mater., Washington, v. 8, n. 5, p. 203-207, May, 1992.
12. FEILZER A.J. Relaxation of Polymerization Contraction Shear Stress by Hygroscopic Expansion. J. dent. Res., Washington, v. 69, n. 1, p. 36-39, Jan, 1990.
13. GROSSMAN, D.G.; BECKWITH, V.R.; SMITH, D.K. MALAMENT, K.A. The use of hazard analysis for ongoing clinical trials. J. dent. Res., Washington, v. 71, p. 321, 1992, [Abstr. N°-1721].
14. GROSSMAN, D.G. & NELSON, J.W. The bonded Dicor crown. J. dent. Res., Washington, v. 66, p. 206, Feb, 1987, [Abstr. N° 800].
15. HAYAKAWA, T.; HORIE, K.; AIDA, M.; KNAYA, H.; KOBAYASHI, T.; MURATA, Y. The influence of surface conditions and silane agents on the bond of resin to dental porcelain. Dent. Mater., Washington, v. 8, p. 238-340, July, 1992.
16. HEYMANN H.O., et al. The clinical performance of CAD-CAM Generated Ceramic Inlays. J. Am. dent. Ass., Chicago, v. 127, p. 1177-1181, Aug, 1996.
17. HOPKINS, K. An investigation into the role of porcelain thickness in determining the load-carrying capacity of porcelain laminates. Br. dent. J., London, v. 23, n. 167, p. 201- 204, Sept, 1989.
18. KARLSSON S., MOLIN M., MYRVOLD T. Flexural Strength of Two Electro-Plated Dental Ceramics. Acta odontol. scand., Oslo, v. 52, p. 290-293, Oct, 1994.

19. KELLY, R.J. Perspectives on strength. Dent. Mater., Washington, v. 11, p. 103-110, March, 1995.
20. KERN, M., THOMPSON VanP. Bonding to Glass Infiltrated Alumina Ceramic: Adhesive Methods and their Durability. J. prosthet Dent., Saint Louis, v. 73, p. 240-249, March, 1995.
21. LACY A.C. The Chemical Nature fo Dental Porcelain. Dent. Clin. of N. Am., Philadelphia, v. 21, n. 4, p.661-667, Oct, 1977.
22. LEINFELDER K.F., ISENBERG B.P. & ESSIG M.E. A new Method for Generating Ceramic Restorations: a CAD-CAM System. J. Am. dent. Ass., Chicago, v. 118, p. 703-707, June, 1989.
23. MALAMENT, K. K. & GROSSMAN, D.G. Bonded vs. non-banded Dico crowns: four-year report. J. dent. Res., Washington, v. 71, p. 321, March, 1992 [Abstr. N° 1720].
24. McCORMICK, J.; ROWLAND, W.; SHILLINBURG, H.; DUNCANSON, M. Effect of luting media on all-ceramic crown compressive strength. J. dent. Res., Washington, v. 68, p.128, March, 1989, [Abstr. N° 507].
25. McLEAN J.W. The future for dental porcelain. In: Proceedings of the First International Symposium on Ceramics. Quintessence Publishing Co., 1983, p.14-40.
26. _____, The Science and Art of Dental Ceramics. Operative Dent., Seattle, v. 16, p.149-156, 1991.
27. MECHOLSKY J.J.Jr. Fractography: Determining the Sites of Fracture Initiation. Dent. Mater., Washington, v. 11, p. 113-116, March, 1995.
28. _____, Fracture Mechanics Principles. Dent. Mater., Washington, v. 11, p. 111-112, March, 1995.

- 29.MESAROS A.J.Jr., EVANS D.B., SCWARTZ R.S. Influence of a Dentin Bonding Agent on the Fracture Load of Dicor. Am. J. Dent., Washington, v. 7, p. 137-140, June, 1994.
- 30.OILO G. Flexural Strength and Internal Defects of Some Dental Porcelains. Acta odont. scand., Oslo, v. 46, p. 313-322, Oct, 1988.
- 31.PACHECO, J.FM. Influência do condicionamento e da aplicação de silano na resistência ao cisalhamento da união porcelana-resina composta. Piracicaba, 1995. 94p. [Tese-Mestrado-Faculdade de Odontologia de Piracicaba da UNICAMP].
- 32.PEUTZFELD A. Dual-Cure Resin Cements: *In Vitro* Wear and Effect of Quantity of Remaining Double Bonds, Filled Volume, and Light Curing. Acta odont. scand., Oslo, v. 53, n. 5, p. 29-34, Oct, 1995.
- 33.PHOENIX .D.& SHEN C. Characterization o Treated Porcelain Surfaces Via Dynamic Contact Angle Analysis. Int. J. Prosthodont., San Antonio, v. 8, p. 187-194, March/April, 1995.
- 34.QUINN G.D. & MORRELL R. Design Data for Engineering Ceramics: A Review of the Flexure Test. J. Am. Ceram. Soc., Maryland, v, 74, n. 9, p. 2037-2066, 1991.
- 35.RADFORD K.C. & LANGE F.F. Loading Factors for the Biaxial Flexure Test. J. Am. Ceram. Soc., Maryland, v. 61, n. 5-6, p. 211-213, 1977.
- 36.RITTER J.E. Critique of Test methods for Lifetime Predictions. Dent. Mater., Washington, v. 11, p. 147-151, March, 1995.
- 37._____, Predicting Lifetimes of Materials and Materials Structures. Dent. Mater., Washington, v. 11, p. 142-146, March, 1995.

- 38.ROSENSTIEL, S.F.; GUPTA, P.K.; VAN DER SLUYS, R. A.; ZIMMERMAN, M.H. Strength of a dental glass-ceramic after surface coating. Dent. Mater., Washington, v. 9, p. 274-279, July, 1993.
- 39._____ et al. Stress-Corrosion and Environmental Aging of Dental Ceramics. J. dent. Res., Washington, v. 71, p. 208, March, 1992.[Abstr. N°823].
- 40.ROULET J.F., SÖDERHOLM K.J.M.& LONGMATE J. Effects of Treatment and Storage Conditions on Ceramic/Composite Bond Strength. J. Dent. Res., Washington, v. 74, n. 1, p. 381-387, Jan, 1995.
- 41.SCHERRER, S.S.; RIJK, W.G.; BELSER, U. C.; MEYER, J. M. Effect of cement film thickness on the fracture resistance of a machinable glass-ceramic. Dent.Mater., Washington, v. 10, p. 172-177, May, 1994.
- 42.SHARIFA, A.; MOHAMMED, H.; WILSON, C.A. Influence of laminations on the flexural strength of dental castable glass ceramic. J. prosthet. Dent., Saint Louis, v. 76, n. 1, p. 23- 8, July, 1996.
- 43.SHETH, J.; JENSEN, M.; TOLLIVER, D. Effect of surface treatment on etched porcelain bond strength to enamel. Dent. Mater., Washington, v. 4, p. 328-337, 1988.
- 44.SJÖGREN G. Marginal and Internal Fit of Four Different Types of Ceramic Inlays After Luting. Acta odontol. scand., Oslo, v. 53, n. 5, p. 24 -28, Oct, 1995.

- 45.SORENSEN J.A., KANG S.K. & AVERA S.P. Porcelain-Composite Interface Microleakage with Various Porcelain Surface Treatment. Dental Mater., Washington, v. 7, p. 118-123, April, 1991.
- 46.STOKES A.N.& HOOD J.A.A. Impact Fracture Characteristics of Intact and Crowned human Central Incisors. J. oral Rehabil.,Oxford, v 20, n. 1, p. 89-95, Jan, 1993.
- 47.TAM L.E. & PILLIAR R.M. Fracture toughness of Dentin/Resin-Composite adhesive interfaces. J. dent. Res.,Washington, v. 72, n. 5, p. 953-959, May, 1993.
- 48.van NOORT R. Clinical Relevance of Laboratory Studies on Dental Materials: Strength Determination - a Personal View. J. Dent., Oxford, Suppl. v. 1, n. 22, p. 54-58, Jan, 1994.
- 49.VRIJHOEF M.M.A., SPANAUF A.J., RENGGLI H.H. Axial Strength of Foil, All-Ceramic and PFM Molar Crowns. Dent. Mater.,Washington, v. 4, p. 15-19, 1988.
- 50.WAGNER, W.C. & CHU, T.M. Biaxial flexural strength and indentation fracture toughness of three new dental core ceramics. J. prosthet. Dent., Saint Louis, v. 76, n. 2, p. 140-144, July, 1996.
- 51.WEIBULL DISTRIBUTION - Norma da ABNT Nº 05003, NBR6742,1987.
- 52.WOOD D. All Ceramic Restorations In: Dental Materials: 1994 literature Review. J. Dent.,Oxford, v. 24, n. 3, p. 153-184, May, 1996.
- 53.YAMAMOTO, M. Factors Affecting Strength of Metal-Ceramics.In: Metal Ceramics-Principles and Methods of Makoto Yamamoto. Quintessense Publishing Co.,1988.p.15-22.

APÊNDICE

Tabela 5 – Valores médios de espessura de película dos materiais cimentantes utilizados nos grupos experimentais.

GRUPO	ESPESSURA DE PELÍCULA (μm)
C	142,25
D	112,12
E	125,25
F	134,87

Tabela 6 - Grau de Resistência para os grupos que receberam cimento.

Grupo	Amostra	ta	tb	a	Ea	Eb	V	E (t. def.)
C	1	1,456	0,038	8,15	7024,2	265	2mm/min	0,043796
	2	1,480	0,128	8,15	7024,2	265		0,044406
	3	1,295	0,143	8,15	7024,2	265		0,038813
	4	1,231	0,124	8,15	7024,2	265		0,036912
	5	1,226	0,205	8,15	7024,2	265		0,036645
	6	1,228	0,176	8,15	7024,2	265		0,036748
	7	1,262	0,140	8,15	7024,2	265		0,037823
	8	1,359	0,184	8,15	7024,2	265		0,040684
D	1	1,424	0,097	8,15	7024,2	265	2mm/min	0,04276
	2	1,293	0,097	8,15	7024,2	265		0,038815
	3	1,274	0,083	8,15	7024,2	265		0,03826
	4	1,327	0,143	8,15	7024,2	265		0,039777
	5	1,612	0,110	8,15	7024,2	265		0,048405
	6	1,262	0,091	8,15	7024,2	265		0,037889
	7	1,331	0,098	8,15	7024,2	265		0,039958
	8	1,183	0,178	8,15	7024,2	265		0,035389
E	1	1,277	0,135	8,15	7024,2	1.374	2mm/min	0,037589
	2	1,300	0,107	8,15	7024,2	1.374		0,038472
	3	1,428	0,110	8,15	7024,2	1.374		0,04231
	4	1,053	0,100	8,15	7024,2	1.374		0,031073
	5	1,253	0,078	8,15	7024,2	1.374		0,037246
	6	1,230	0,112	8,15	7024,2	1.374		0,036328
	7	1,261	0,107	8,15	7024,2	1.374		0,037296
	8	1,124	0,253	8,15	7024,2	1.374		0,032095
F	1	1,400	0,052	8,15	7024,2	743		0,041983
	2	1,491	0,092	8,15	7024,2	743		0,044585
	3	1,287	0,163	8,15	7024,2	743		0,038175
	4	1,417	0,093	8,15	7024,2	743		0,042353
	5	1,656	0,210	8,15	7024,2	743		0,049119
	6	1,403	0,221	8,15	7024,2	743		0,041443
	7	1,325	0,195	8,15	7024,2	743		0,039194
	8	1,429	0,053	8,15	7024,2	743		0,042853

Tabela 7 - Valores de tensão de fratura para os grupos sem cimento.

grupo Am.	P	t	a	b	R	v	Sigma m	E	E (t. def)	Sg. MPa	
A	1	3,01	1,25	8,15	4,75	10,150	0,25	1,380893	7024,2	0,004705	13,56037
	2	2,92	1,25	8,15	4,75	10,305	0,25	1,334254	7024,2	0,004705	13,10237
	3	2,54	1,20	8,15	4,75	10,390	0,25	1,256678	7024,2	0,004517	12,34057
	4	2,67	1,15	8,15	4,75	10,365	0,25	1,439254	7024,2	0,004328	14,13348
	5	1,55	0,98	8,15	4,75	10,250	0,25	1,153888	7024,2	0,003689	11,33118
	6	2,50	1,19	8,15	4,75	10,150	0,25	1,265492	7024,2	0,004479	12,42714
	7	3,37	1,43	8,15	4,75	10,110	0,25	1,182583	7024,2	0,005382	11,61296
	8	4,09	1,48	8,15	4,75	10,290	0,25	1,333646	7024,2	0,00557	13,0964
B	1	2,95	1,40	8,15	4,75	10,275	0,25	1,075406	7024,2	0,005269	10,56048
	2	1,50	1,10	8,15	4,75	10,290	0,25	0,885414	7024,2	0,00414	8,694769
	3	3,04	1,30	8,15	4,75	10,225	0,25	1,286917	7024,2	0,004893	12,63752
	4	2,64	1,19	8,15	4,75	10,170	0,25	1,335658	7024,2	0,004479	13,11616
	5	2,12	1,20	8,15	4,75	10,410	0,25	1,048363	7024,2	0,004517	10,29493
	6	1,91	1,19	8,15	4,75	10,345	0,25	0,962007	7024,2	0,004479	9,446906
	7	2,13	1,20	8,15	4,75	10,205	0,25	1,05878	7024,2	0,004517	10,39722
	8	3,39	1,40	8,15	4,75	10,320	0,25	1,234397	7024,2	0,005269	12,12178

Tabela 8 - Valores de tensão de fratura (σ) para os grupos com cimento.

Grupo	Am	P	ta	tb	a	b	R	v	Ea	Eb	M	K2p	Sigma inf	Sigma sup.	Sigma final MPa
C	1	4,33	1,456	0,038	8,15	4,75	10,150	0,25	7024,2	264,63	5,100461	1,003103	0,585769	-14,4951	145,1808
	2	4,54	1,480	0,128	8,15	4,75	10,295	0,25	7024,2	264,63	5,327819	1,011526	0,691617	-14,8144	154,3442
	3	4,13	1,295	0,143	8,15	4,75	10,080	0,25	7024,2	264,63	4,873943	1,015376	0,835289	-17,7874	178,7026
	4	2,30	1,231	0,124	8,15	4,75	10,175	0,25	7024,2	264,63	2,707473	1,01378	0,497662	-10,9131	108,041
	5	4,46	1,226	0,205	8,15	4,75	10,115	0,25	7024,2	264,63	5,258464	1,025762	1,087987	-21,6889	212,4536
	6	4,47	1,228	0,176	8,15	4,75	10,195	0,25	7024,2	264,63	5,259168	1,021172	1,04475	-21,4995	211,7183
	7	3,63	1,262	0,140	8,15	4,75	10,440	0,25	7024,2	264,63	4,244573	1,015461	0,761148	-16,313	162,5904
	8	3,57	1,359	0,184	8,15	4,75	10,260	0,25	7024,2	264,63	4,193233	1,01972	0,69439	-13,9713	143,0532
D	1	3,23	1,424	0,097	8,15	4,75	10,020	0,25	7024,2	264,63	3,818023	1,008773	0,507772	-11,4274	116,7571
	2	3,81	1,293	0,097	8,15	4,75	10,130	0,25	7024,2	264,63	4,490307	1,009787	0,719923	-16,322	163,3724
	3	2,68	1,274	0,083	8,15	4,75	10,350	0,25	7024,2	264,63	3,140706	1,008344	0,506782	-11,7376	116,9667
	4	3,59	1,327	0,143	8,15	4,75	10,000	0,25	7024,2	264,63	4,245885	1,014933	0,694378	-14,7488	149,2983
	5	5,18	1,612	0,110	8,15	4,75	10,245	0,25	7024,2	264,63	6,08664	1,00879	0,652301	-14,2163	150,2478
	6	3,51	1,262	0,091	8,15	4,75	10,010	0,25	7024,2	264,63	4,150131	1,009356	0,690972	-15,827	157,5397
	7	3,76	1,331	0,098	8,15	4,75	10,235	0,25	7024,2	264,63	4,419238	1,009581	0,670844	-15,1555	152,6619
	8	3,11	1,183	0,178	8,15	4,75	10,130	0,25	7024,2	264,63	3,665316	1,02251	0,784268	-16,1722	156,9186
E	1	1,95	1,277	0,135	8,15	4,75	10,275	0,25	7024,2	1374,3	2,289544	1,074558	1,92602	-9,25491	78,7374
	2	3,03	1,300	0,107	8,15	4,75	10,175	0,25	7024,2	1374,3	3,566801	1,055803	2,825944	-13,5892	120,895
	3	4,29	1,428	0,110	8,15	4,75	10,245	0,25	7024,2	1374,3	5,040866	1,051758	3,360923	-15,8491	145,4921
	4	2,46	1,053	0,100	8,15	4,75	10,125	0,25	7024,2	1374,3	2,899638	1,06578	3,399737	-17,0567	141,3102
	5	2,87	1,253	0,078	8,15	4,75	10,435	0,25	7024,2	1374,3	3,356311	1,04078	2,766159	-13,5203	122,9198
	6	2,87	1,230	0,112	8,15	4,75	10,295	0,25	7024,2	1374,3	3,368027	1,062657	2,97504	-14,4652	125,0036
	7	2,44	1,261	0,107	8,15	4,75	10,335	0,25	7024,2	1374,3	2,860522	1,057778	2,399849	-11,6195	102,1051
	8	2,22	1,124	0,253	8,15	4,75	10,040	0,25	7024,2	1374,3	2,622723	1,192155	2,980002	-15,6166	93,9125
F	1	3,36	1,400	0,052	8,15	4,75	10,135	0,25	7024,2	743,1	3,959431	1,012636	1,400343	-12,3237	120,9965
	2	3,93	1,491	0,092	8,15	4,75	10,320	0,25	7024,2	743,1	4,609054	1,021956	1,534965	-12,8003	126,8959
	3	3,21	1,287	0,163	8,15	4,75	10,325	0,25	7024,2	743,1	3,764174	1,050563	1,81456	-14,5381	133,452
	4	3,77	1,417	0,093	8,15	4,75	10,225	0,25	7024,2	743,1	4,432135	1,02352	1,629104	-13,6553	133,6479
	5	3,66	1,656	0,210	8,15	4,75	10,260	0,25	7024,2	743,1	4,298945	1,050641	1,382416	-10,0294	102,7963
	6	3,56	1,403	0,221	8,15	4,75	10,210	0,25	7024,2	743,1	4,186877	1,066298	1,83421	-13,8665	128,5592
	7	3,13	1,325	0,195	8,15	4,75	10,290	0,25	7024,2	743,1	3,67361	1,060862	1,737722	-13,5532	123,5347
	8	3,35	1,429	0,053	8,15	4,75	10,190	0,25	7024,2	743,1	3,941948	1,012616	1,34167	-11,776	115,95

Tabela 9 - Cálculo dos dados estatísticos levados ao gráfico da reta para o grupo A.

GRUPO A

j	F	$\sigma(\text{MPa})$	$\ln(\ln 1/1-F)$	$\ln(\sigma)$
1	0.0625	11.33	-2.740493	2.427454
2	0.1875	11.61	-1.571953	2.451867
3	0.3125	12.34	-0.9816471	2.512846
4	0.4375	12.43	-0.5527521	2.520113
5	0.5625	13.1	-0.1903393	2.572612
6	0.6875	13.1	0.1511325	2.572612
7	0.8125	13.56	0.5152019	2.607124
8	0.9375	14.13	1.019781	2.6483

Tabela 10 - Cálculo dos dados estatísticos levados ao gráfico da reta para o grupo B.

GRUPO B

j	F	$\sigma(\text{MPa})$	$\ln(\ln 1/1-F)$	$\ln(\sigma)$
1	0.0625	8.69	-2.740493	2.162173
2	0.1875	9.45	-1.571953	2.246015
3	0.3125	10.29	-0.9816471	2.331172
4	0.4375	10.4	-0.5527521	2.341806
5	0.5625	10.56	-0.1903393	2.357073
6	0.6875	12.12	0.1511325	2.494857
7	0.8125	12.64	0.5152019	2.536866
8	0.9375	13.11	1.019781	2.573375

Tabela 11 - Cálculo dos dados estatísticos levados ao gráfico da reta para o grupo C.

GRUPO C

j	F	$\sigma(\text{MPa})$	$\ln(\ln 1/1-F)$	$\ln(\sigma)$
1	0.0625	108.04	-2.740493	4.682501
2	0.1875	143.05	-1.571953	4.963194
3	0.3125	145.18	-0.9816471	4.977974
4	0.4375	154.34	-0.5527521	5.039158
5	0.5625	162.59	-0.1903393	5.091232
6	0.6875	178.1	0.1511325	5.182345
7	0.8125	211.72	0.5152019	5.355265
8	0.9375	212.45	1.019781	5.358706

Tabela 12 - Cálculo dos dados estatísticos levados ao gráfico da reta para o grupo D.

GRUPO D

j	F	$\sigma(\text{MPa})$	$\ln(\ln 1/1-F)$	$\ln(\sigma)$
1	0.0625	116.76	-2.740493	4.76012
2	0.1875	116.97	-1.571953	4.761918
3	0.3125	149.3	-0.9816471	5.005958
4	0.4375	150.25	-0.5527521	5.0123
5	0.5625	152.66	-0.1903393	5.028213
6	0.6875	156.92	0.1511325	5.055736
7	0.8125	157.53	0.5152019	5.059616
8	0.9375	163.67	1.019781	5.097852

Tabela 13 - Cálculo dos dados estatísticos levados ao gráfico da reta para o grupo E.

GRUPO E

j	F	$\sigma(\text{MPa})$	$\ln(\ln 1/1-F)$	$\ln(\sigma)$
1	0.0625	78.73	-2.740493	4.366024
2	0.1875	93.91	-1.571953	4.542337
3	0.3125	102.11	-0.9816471	4.62605
4	0.4375	120.6	-0.5527521	4.792479
5	0.5625	122.92	-0.1903393	4.811534
6	0.6875	125	0.1511325	4.828314
7	0.8125	141.31	0.5152019	4.950956
8	0.9375	145.49	1.019781	4.980107

Tabela 14 - Cálculo dos dados estatísticos levados ao gráfico da reta para o grupo F.

GRUPO F

j	F	$\sigma(\text{MPa})$	$\ln(\ln 1/1-F)$	$\ln(\sigma)$
1	0.0625	102.8	-2.740493	4.632785
2	0.1875	115.95	-1.571953	4.753159
3	0.3125	121	-0.9816471	4.795791
4	0.4375	123.53	-0.5527521	4.816484
5	0.5625	126.7	-0.1903393	4.841822
6	0.6875	128.55	0.1511325	4.856318
7	0.8125	133.46	0.5152019	4.893802
8	0.9375	133.64	1.019781	4.89515

--

EQUAÇÃO 1 - Equação e valores determinantes da configuração da reta do gráfico da análise estatística para o grupo A.

Fit Results

Fit 1: Linear, $Y=B*X+A$

Equation:

$$Y = 15.6434 * X + -40.2644$$

Number of data points used = 8

Average X = 2.53912

Average Y = -0.543884

Regression sum of squares = 9.76964

Residual sum of squares = 0.478842

Coef of determination, R-squared = 0.953277

Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 0.0798069

EQUAÇÃO 2 - Equação e valores determinantes da configuração da reta do gráfico da análise estatística para o grupo B.

Fit Results

Fit 1: Linear, $Y=B*X+A$

Equation:

$$Y = 8.12751 * X + -19.8908$$

Number of data points used = 8

Average X = 2.38042

Average Y = -0.543884

Regression sum of squares = 9.5756

Residual sum of squares = 0.672889

Coef of determination, R-squared = 0.934343

Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 0.112148

EQUAÇÃO 3 - Equação e valores determinantes da configuração da reta do gráfico da análise estatística para o grupo C.

Fit Results

Fit 1: Linear, $Y=B*X+A$

Equation:

$$Y = 5.29298 * X + -27.4391$$

Number of data points used = 8

Average X = 5.0813

Average Y = -0.543884

Regression sum of squares = 9.74276

Residual sum of squares = 0.505729

Coef of determination, R-squared = 0.950653

Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 0.0842881

EQUAÇÃO 4 - Equação e valores determinantes da configuração da reta do gráfico da análise estatística para o grupo D.

Fit Results

Fit 1: Linear, $Y=B*X+A$

Equation:

$$Y = 8.23849 * X + -41.5115$$

Number of data points used = 8

Average X = 4.97271

Average Y = -0.543884

Regression sum of squares = 8.51718

Residual sum of squares = 1.7313

Coef of determination, R-squared = 0.831068

Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 0.28855

EQUAÇÃO 5 - Equação e valores determinantes da configuração da reta do gráfico da análise estatística para o grupo E.

Fit Results

Fit 1: Linear, $Y=B*X+A$

Equation:

$$Y = 5.68222 * X + -27.4618$$

Number of data points used = 8

Average X = 4.73723

Average Y = -0.543884

Regression sum of squares = 9.99868

Residual sum of squares = 0.249803

Coef of determination, R-squared = 0.975625

Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 0.0416338

EQUAÇÃO 6 - Equação e valores determinantes da configuração da reta do gráfico da análise estatística para o grupo F.

Fit Results

Fit 1: Linear, $Y=B*X+A$

Equation:

$$Y = 13.7496 * X + -66.6887$$

Number of data points used = 8

Average X = 4.81066

Average Y = -0.543884

Regression sum of squares = 9.88892

Residual sum of squares = 0.359563

Coef of determination, R-squared = 0.964916

Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 0.0599271

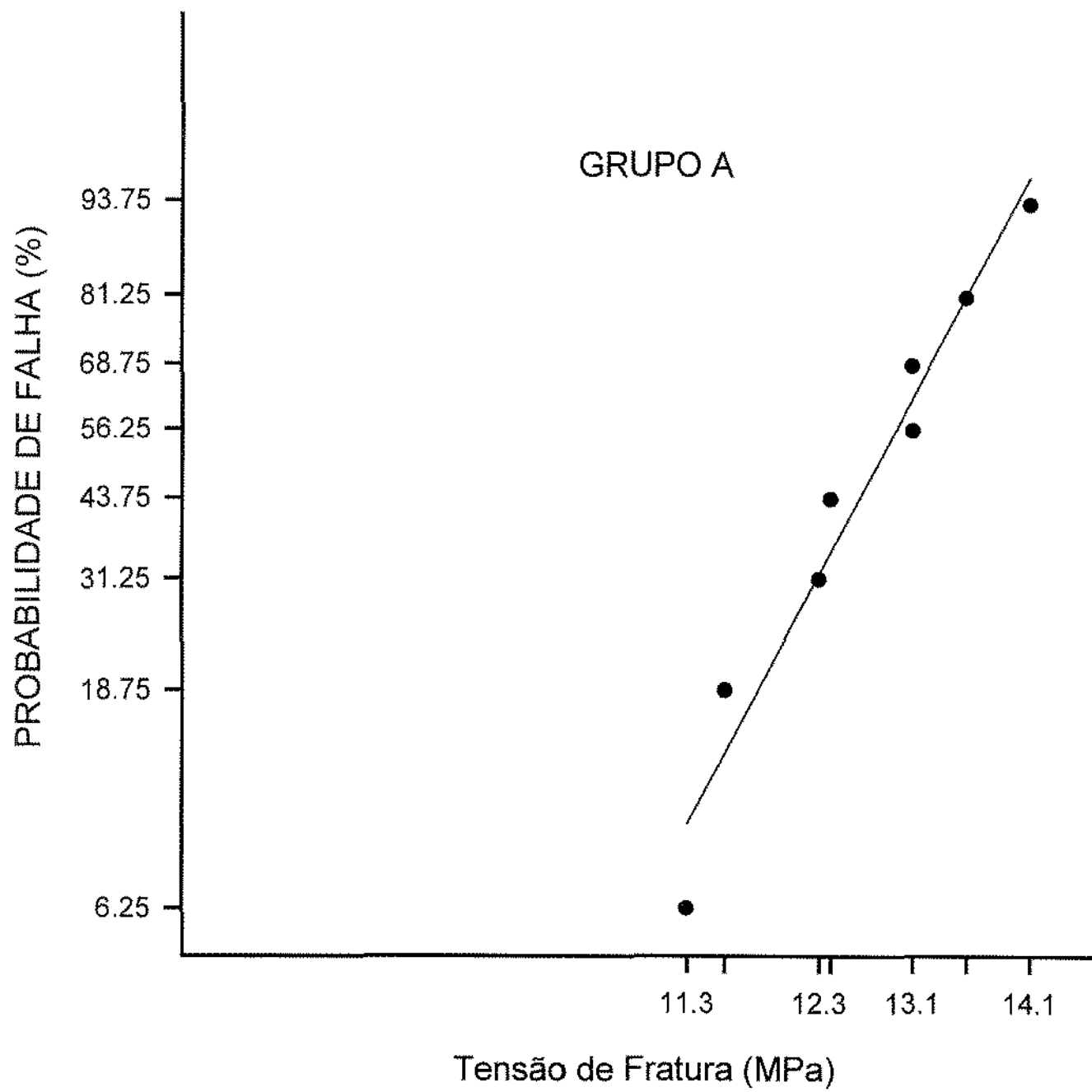


Fig. 11 - Distribuição de Weibull para o Grupo A.

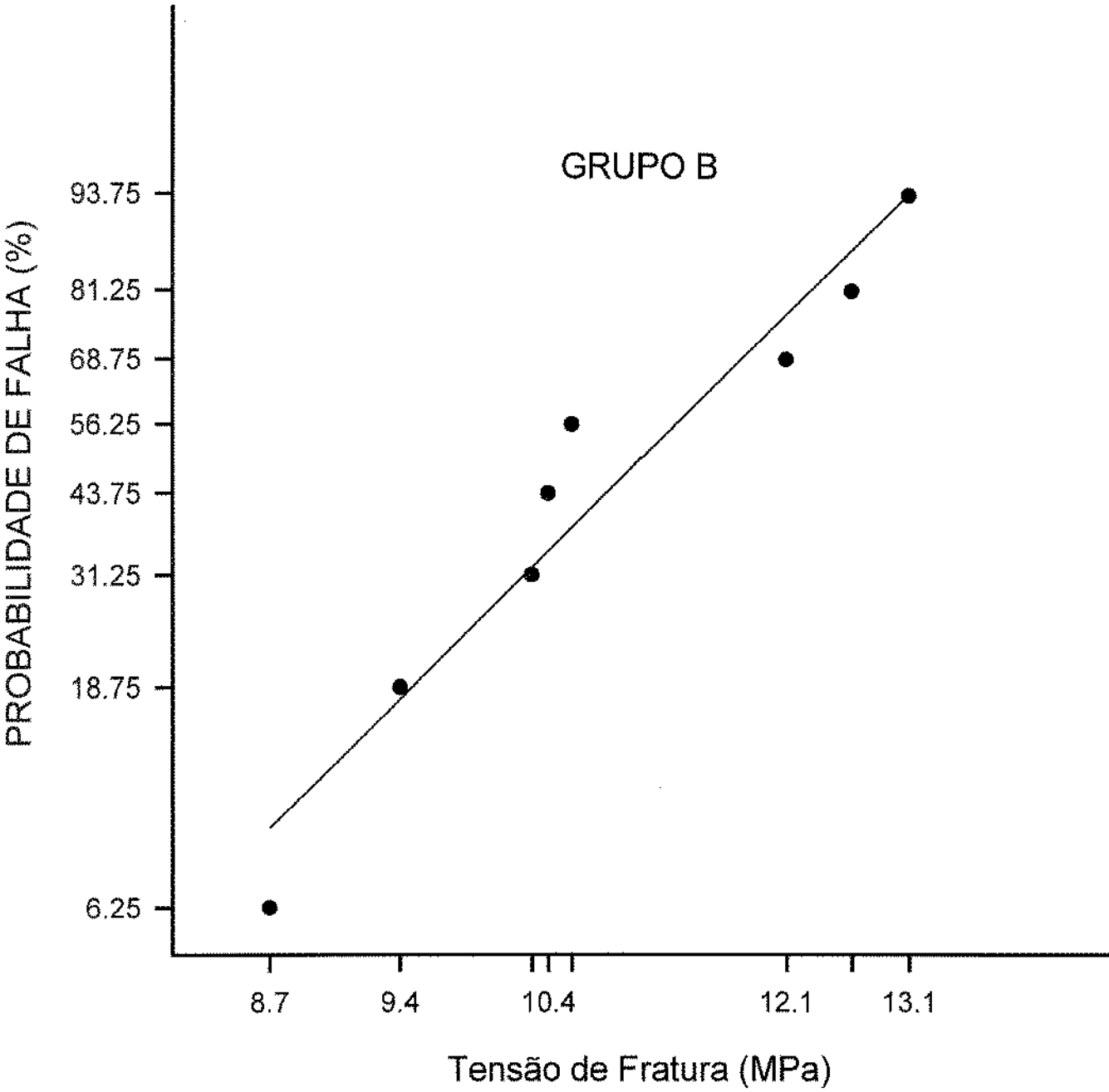


Fig. 12 - Distribuição de Weibull para o Grupo B.

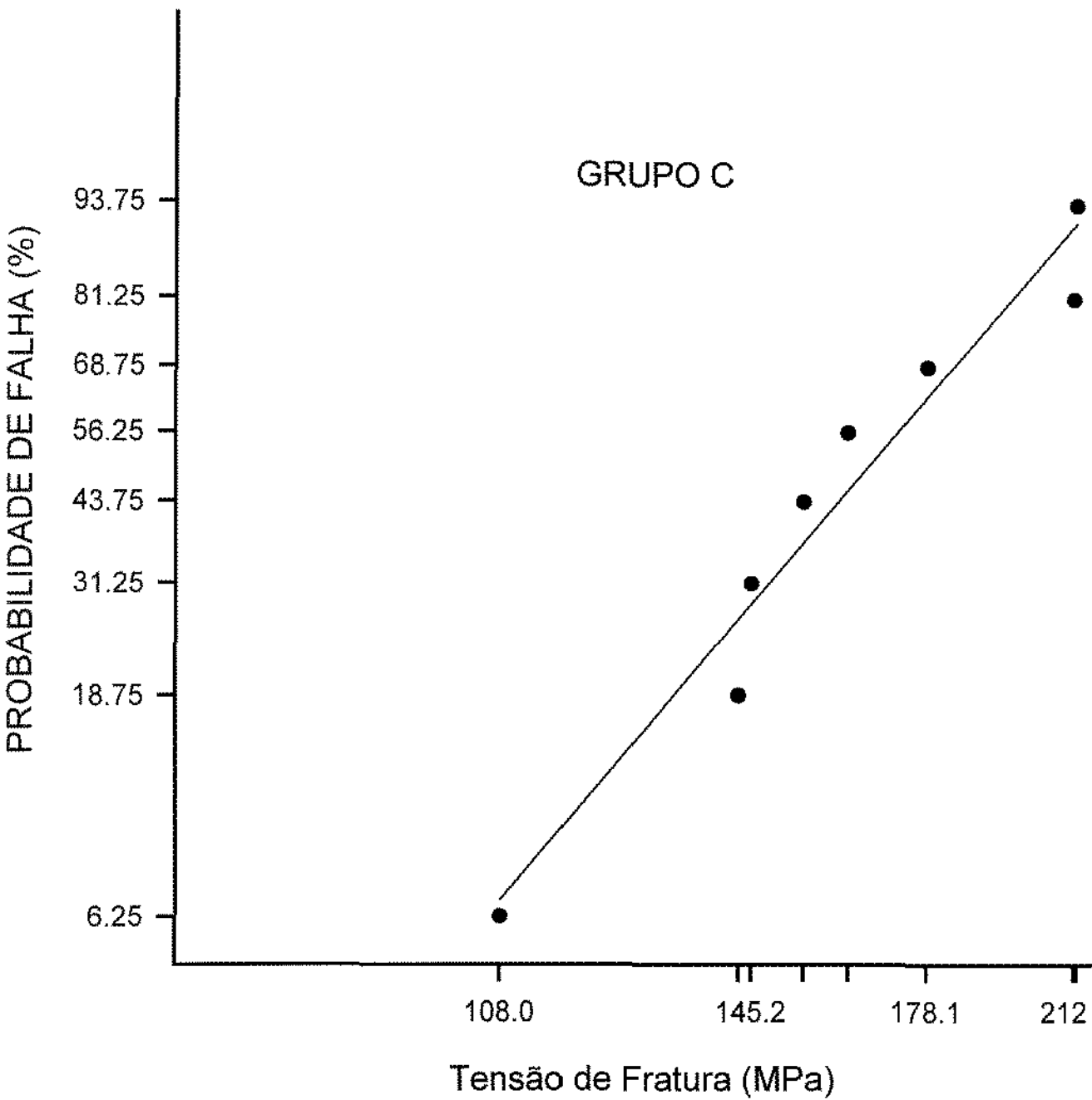


Fig. 13 – Distribuição de Weibull para o grupo C.

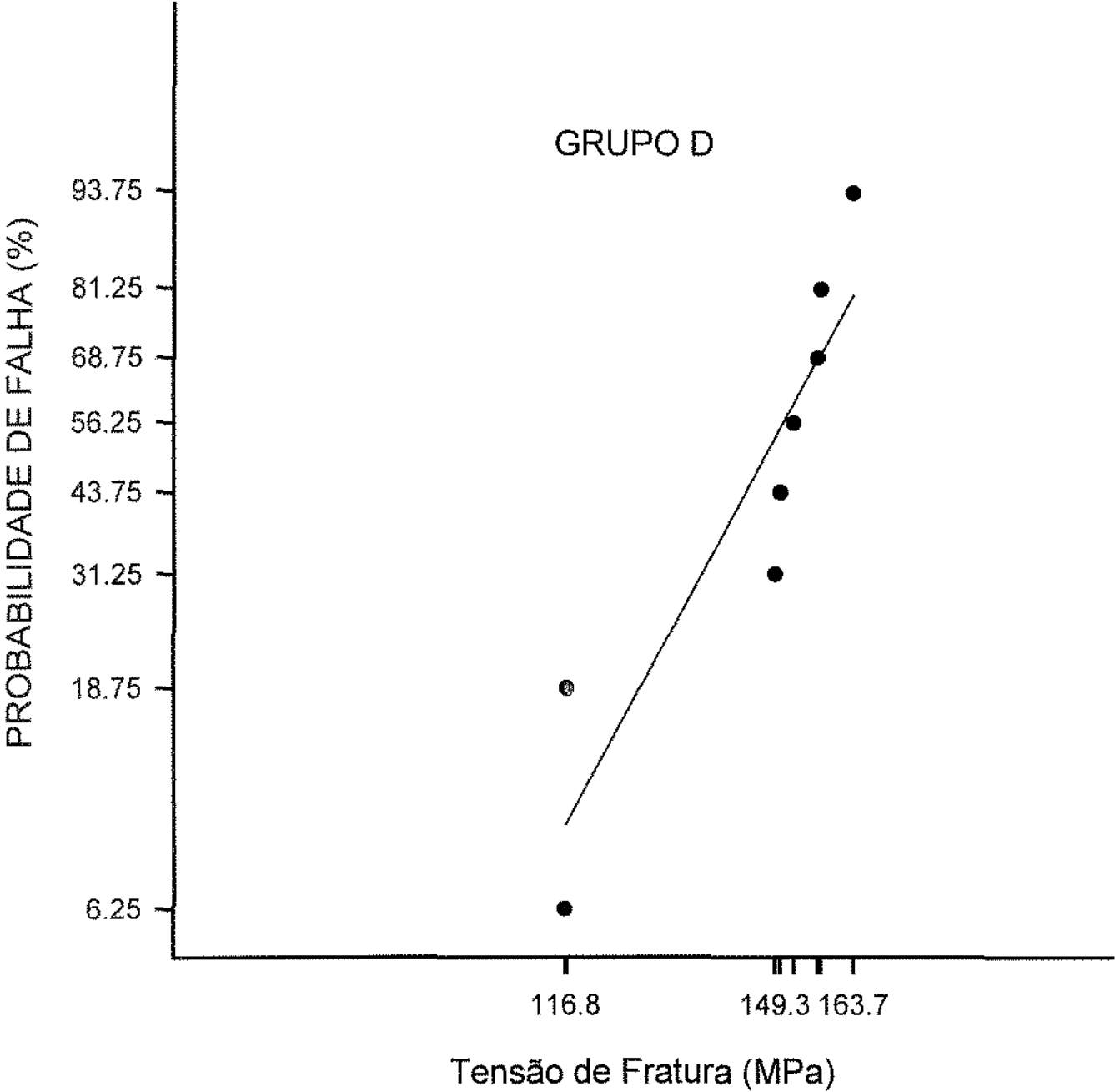


Fig. 14 – Distuibuição de Weibull para o grupo D.

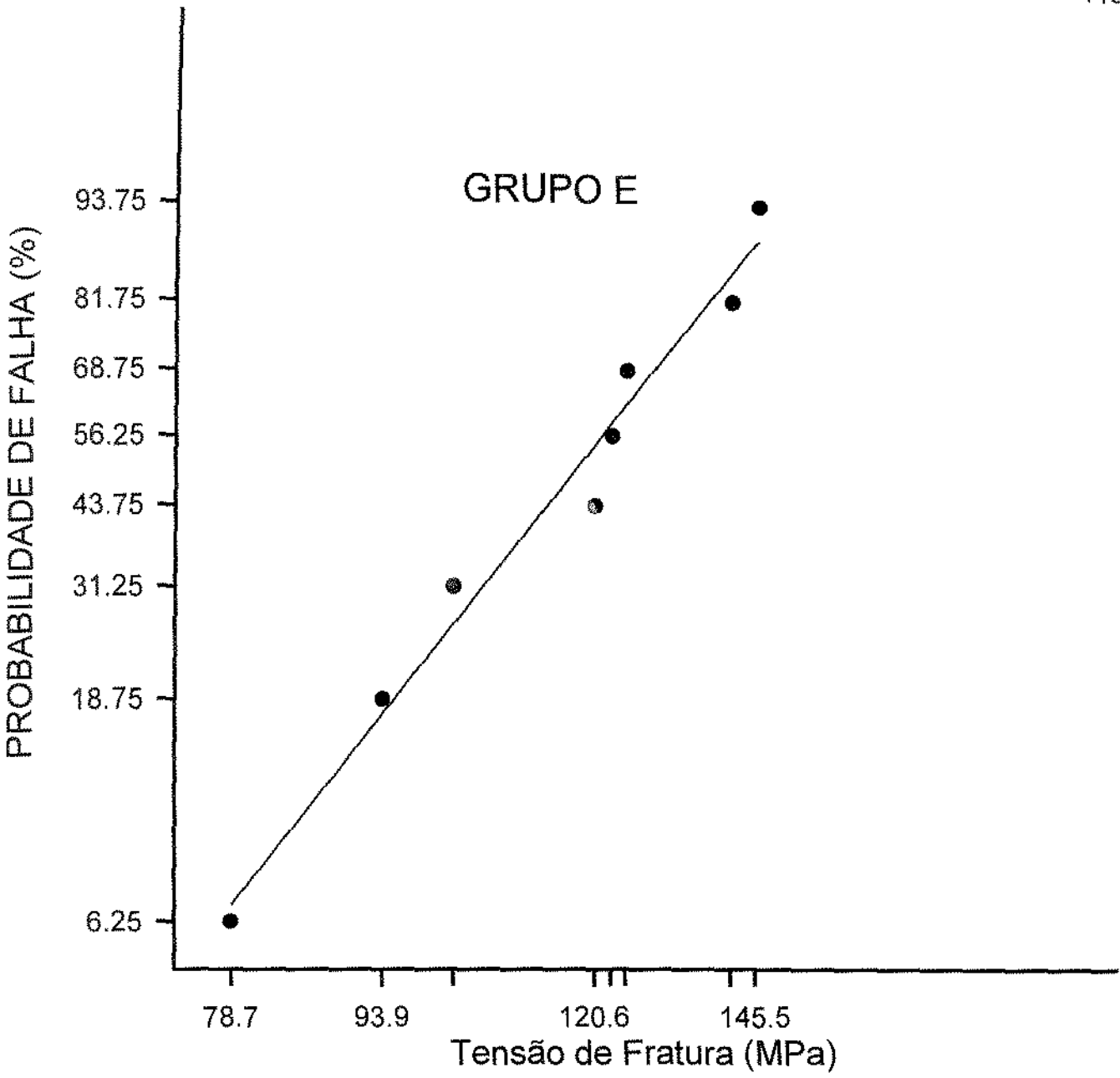


Fig. 15 – Distuibuição de Weibull para o grupo E.

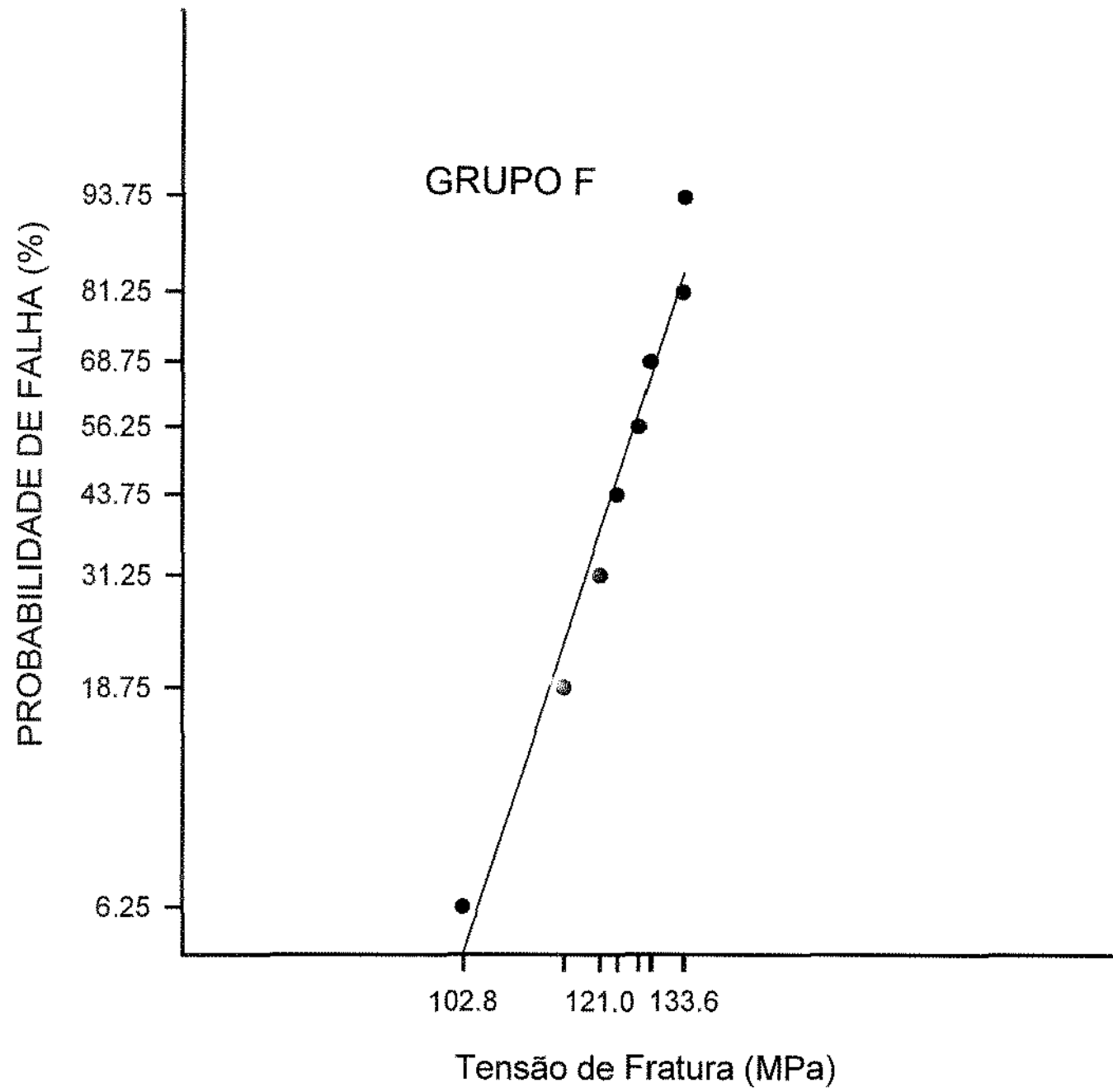


Fig. 16 – Distribuição de Weibull para o grupo F.