

Marcelo Muzilli

**Influência do tratamento de superfície
na rugosidade Ra e dureza Vickers de
cerâmicas para cobertura incisal**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do Título de Mestre em Materiais Dentários.

Piracicaba

2005

Marcelo Muzilli

Cirurgião Dentista
Técnico em Prótese Dentária

Influência do tratamento de superfície na rugosidade Ra e dureza Vickers de cerâmicas para cobertura incisal

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do Título de Mestre em Materiais Dentários.

**Orientador: Prof. Dr. Lourenço Correr
Sobrinho**

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Lourenço Correr Sobrinho

Prof. Dr. Luiz Fernando Pegoraro

Prof. Dr. Mario Alexandre Sinhoreti

Piracicaba

2005

Ficha Catalográfica

M988i Muzilli, Marcelo.
Influência do tratamento de superfície na rugosidade Ra e dureza Vickers de cerâmicas para cobertura incisal. / Marcelo Muzilli. -- Piracicaba, SP : [s.n.], 2005.

Orientador: Prof. Dr. Lourenço Correr Sobrinho.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Porcelana. 2. Superfície. 3. Dureza. I. Correr Sobrinho, Lourenço. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.
(mg/fop)

Palavras-chave em inglês (Keywords): Porcelain; Surface; Hardness

Área de concentração: Materiais Dentários

Titulação: Mestre em Materiais Dentários

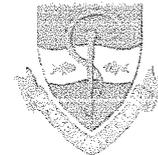
Banca examinadora: Prof. Dr. Lourenço Correr Sobrinho; Prof. Dr. Luiz Fernando Pegoraro; Prof. Dr. Mario Alexandre Sinhoreti

Data da Defesa: 26/01/2005

Folha de Aprovação



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Dissertação de MESTRADO, em sessão pública realizada em 26 de Janeiro de 2005, considerou o candidato MARCELO MUZILLI aprovado.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Lourenço".

PROF. DR. LOURENÇO CORRER SOBRINHO

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Luiz Fernando Pegoraro".

PROF. DR. LUIZ FERNANDO PEGORARO

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Mario Alexandre Coelho Sinhorette".

PROF. DR. MARIO ALEXANDRE COELHO SINHORETI

Dedico este trabalho às pessoas que foram essenciais
nesta etapa da minha vida:

A *Deus*, por me permitir percorrer os caminhos do conhecimento, mostrando-me a importância de continuar seguindo-os, consciente de que nada sabemos.

Aos meus pais, *Augusto* e *Cleyde* por “Tudo”: minha existência, consciência, crescimento, força e esperança. Obrigado por toda ajuda e amor fornecidos, agindo como se fossem raízes de uma árvore que possibilitaram o crescimento e o desenvolvimento dos frutos.

Aos meus irmãos: *Tinho*, *Oscar* e *Neno* por toda ajuda, alegria, troca de conhecimento, amizade e exemplo de vida. Obrigado por formarmos uma família da qual temos orgulho.

À minha querida esposa *Isabella*, pelas sugestões e correções, por toda ajuda, compreensão, amor e amizade, que nos permite trilhar os caminhos juntos, errando e aprendendo, rompendo mais facilmente os obstáculos, tornando concreto o substantivo abstrato: felicidade.

Aos meus filhos *Luca* e *Giovanna*, fonte de inspiração e de energia. As sementes.

AMO VOCÊS DE TODO MEU CORAÇÃO

Ao **Prof. Dr. Lourenço Correr Sobrinho**, Titular da Área Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pela orientação, pela amizade e incentivo. Obrigado pelo esforço em criar um agradável ambiente de trabalho, integrando alunos e professores.

Ao **Prof. Dr. Simonides Consani**, Titular da Área Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba - UNICAMP, pela capacidade científica e amor a Materiais Dentários. Obrigado pela pronta ajuda e capacidade de remover, com poucas palavras, as nuvens que turvam os pensamentos. Obrigado pelo exemplo de vida.

Ao Prof. Dr. **Mário Alexandre Sinhoreti**, Assistente da Área Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba –

UNICAMP, pelo conhecimento, proximidade e alegria. Obrigado pelo acompanhamento de todo trabalho e orientação na análise estatística.

Ao Prof. Dr. **Mario Fernando de Góes**, Titular da Área Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pelo crescimento científico proporcionado.

À Profa. Dra. **Regina Maria Puppim Rontani**, Titular da Área Odontopediatria, professora do Programa de Pós-Graduação em Materiais Dentários da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, pelos ensinamentos, participação e amizade .

À Profa. Dra. **Marcela R. de Oliveira Carrilho**, Prof. Dr. **Rafael Leonardo X. Consani** e Prof. Dr. **Luis Roberto M. Martins** pela amizade e crescimento científico proporcionado.

À Profa. Dra. **Glaucia Maria Bovi Ambrosano** da Área Bioestatística do Departamento de Odontologia Social da Faculdade de Odontologia de Piracicaba – UNICAMP, por toda ajuda com as análises estatísticas.

Aos Profs. Drs. **Frederico Andrade e Silva** e **Wilkens Aurélio Buarque e Silva** da Área Prótese Fixa do Departamento de Prótese e Periodontia, pelos ensinamentos teóricos e clínicos passados.

Ao Prof. Dr. **Luiz Fernando Pegoraro**, vice-diretor da Faculdade de Odontologia de Bauru – USP, pela disponibilidade e ajuda.

À Faculdade de Odontologia de Piracicaba - UNICAMP, representada pelo diretor Prof. Dr. **Thales da Rocha Mattos Filho** e pelo coordenador dos cursos de pós-graduação Prof. Dr. **Pedro Luiz Rosalen**.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas, **CNPq**, pela concessão da bolsa de Mestrado.

À **Servo Dental, Labordental, Degudent, Microdent** e **Ivoclar** pela doação dos materiais cerâmicos de cobertura e à **Llabordental, KG Sorensen** e **TDV**, pela doação dos materiais de acabamento e polimento utilizados nesse estudo.

Aos Funcionários da Área Materiais Dentários, Engenheiro Mecânico **Marcos Blanco Cangiani** e **Selma Barbosa Segalla**, pela amizade, ajuda, confiança e troca de informações que proporcionam um ambiente de trabalho extremamente agradável e colaboram para que o ideal possa ser atingido.

Aos amigos do Curso de Pós-Graduação: **Ana Flávia, Américo, Cíntia, Dario, Juliana, Luis Felipe, Osvaldo, Ricardo, Tango** e **Vinicius**. Por toda ajuda e convivência harmoniosa, repleta de amizade e alegria, que favoreceram as trocas de experiências e conhecimentos, essenciais para realização dos trabalhos.

Aos amigos do Programa de Pós-graduação Doutorado pela amizade e convívio durante todo curso, em especial **Mirela, Piva, Rubã, Jaci** e **Eliane**, que promoveram grande aprendizado nas aulas com o mestrado.

Aos amigos **Rodrigo, Karina** e **Enzo**, pela troca de experiências profissionais e de vida, e principalmente pela amizade.

Aos amigos da **UNESP** Rio Claro: **Minduim, Guerra, João, Bruna** e **Toninho** pela amizade, trocas de informações e pelos momentos de descontração com a Banda Perpetum Móbile.

Aos amigos técnicos do **SENAC** e todos àqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para esta vitória.

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS

Grandes descobertas e progressos envolvem a cooperação de várias mentes. Alexander Graha

“Oficio noble y bizarro, es el oficio
del barro. Dios fue el primer
alfarero, y el hombre el primer
cacharro”

Dito popular espanhol

SUMÁRIO

RESUMO - - - - -	1
ABSTRACT - - - - -	3
1 INTRODUÇÃO - - - - -	5
2 REVISÃO DA LITERATURA - - - - -	9
3 PROPOSIÇÃO - - - - -	39
4 MATERIAIS E MÉTODO - - - - -	41
4.1 Materiais - - - - -	41
4.2 Método - - - - -	42
4.2.1 Confecção dos discos de cerâmica - - - - -	42
4.2.2 Tratamento de superfície - - - - -	47
4.2.2.1 Simulação de ajuste oclusal por desgaste abrasivo. - - - - -	47
4.2.2.2 Polimento e Glaze - - - - -	47
4.2.3 Ensaio de rugosidade superficial - - - - -	51
4.2.4 Ensaio de dureza Vickers - - - - -	52
4.2.5 Microscopia eletrônica de varredura - - - - -	53
5 – RESULTADOS - - - - -	55
5.1 Rugosidade de superfície - - - - -	55
5.2 Dureza Vickers- - - - -	58
5.3 Microscopia eletrônica de varredura - - - - -	60
5.4 Gráfico rugosimétrico - - - - -	68
6 – DISCUSSÃO - - - - -	77
7 – CONCLUSÕES - - - - -	85
REFERÊNCIAS - - - - -	87
APÊNDICE - - - - -	97

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência do tratamento de superfície na rugosidade de superfície e na dureza Vickers de oito materiais cerâmicos utilizados para cobertura incisal, após serem submetidos a desgaste abrasivo e a 4 tratamentos de superfície envolvendo polimento mecânico e/ou glaze. Foram confeccionados quarenta discos com 8 mm de diâmetro por 2 mm de espessura da cerâmica para cobertura incisal da dentina cor A3. O pó cerâmico de cada marca comercial (CERAMCO, CERCON, DSIGN, FINESSE, VINTAGE HALO, VISION, VISION ESTHETIC e WILL CERAM) foi aglutinado com o líquido modelador indicado e aplicado em uma matriz metálica bipartida. Após a sinterização e o esfriamento, os discos foram desgastados com ponta diamantada 3098 F e 3098 FF (KG Sorensen), simulando ajuste oclusal clínico, e subdivididos em 4 grupos com 10 discos cada: Grupo P – Polimento com abrasivos do sistema Shofu; Grupo PP – Polimento + Pasta Diamantada; Grupo PG – Polimento + Glaze e Grupo G – Glaze (Controle). Após os tratamentos de superfície, os corpos-de-prova foram levados ao rugosímetro Surf-Corder para mensuração da rugosidade de superfície, utilizando o parâmetro Ra. Foram feitas três leituras em cada corpo-de-prova, totalizando 960 leituras. A dureza Vickers foi efetuada no aparelho HMV-2 (Shimadzu), calibrado com carga de 1 kgf atuando por 15 segundos. Cinco penetrações foram feitas em cada corpo-de-prova, para cada tipo de cerâmica e tratamento de superfície, totalizando 1600 medidas. Os dados foram submetidos à Análise de Variância e ao teste de Tukey (5%) e mostraram que de maneira geral a rugosidade superficial sofreu influência do tratamento de superfície em todas as cerâmicas utilizadas. O polimento com o sistema Shofu e polimento com pasta diamantada não mostraram diferença estatística entre todas as cerâmicas. Para o tratamento de superfície com glaze e polimento com sistema Shofu + glaze, a cerâmica Vintage Halo apresentou os maiores valores de rugosidade, enquanto a Will Ceram os menores. O polimento com o sistema Shofu resultou nos menores valores de dureza para a cerâmica Vintage Halo. Na superfície tratada com glaze, os maiores valores foram obtidos com as cerâmicas

Dsign, Finesse, Vision e Vision Esthetic e a menor com a cerâmica Cercon. No polimento + glaze, os maiores valores de dureza foram obtidos com as cerâmicas Finesse, Will Ceram, Vision Esthetic e Ceramco e os menores com o Cercon. Para o polimento + pasta diamantada, os maiores valores de dureza foram obtidos com as cerâmicas Finesse, Vision, Will Ceram, Dsign, Vision Esthetic e Ceramco e os menores com a cerâmica Cercon.

Palavras-chave – Dureza, Superfície, Porcelana

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the influence of surface treatment on surface roughness and Vickers hardness number of the eight dental enamel ceramics, after abrasive grinding and 4 surface treatments with polishing and/or glaze. Forty enamel ceramic disks with 8 mm in diameter and 2.0 mm thickness were made in bipartite metallic matrix for each material incisal dentin A3. The ceramic powder for each brand (CERAMCO, CERCON, DSIGN, FINESSE, VINTAGE HALO, VISION, VISION ESTHETIC e WILL CERAM), was agglutinated with the appropriate modeling liquid and applied on a bipartite metallic matrix. After the sinterization and cooling, the disks were submitted to a simulation of occlusal adjustment with 3098 F and 3098 FF diamonds burs (KG SORENSEN), on high speed hand-piece with refrigeration and divided into four groups with 10 disks each: Group P (10 disks) – Shofu polishing system; Group PP – Shofu polishing system + diamond paste (6 μ m – KG SORENSEN); Group PG – Shofu polishing system + glaze; and, Group G – glaze (control). After surface treatments, the roughness was measured on a Surf-Corder machine using Ra parameter. Three measurements were made for each specimen, totalizing 960 measurements. The Vickers hardness number was measured with HMV 2 microhardness tester (Shimadzu), with a load of 1 Kgf applied for 15 seconds. Five measurements were made for each specimen, totalizing 1600 measurements. The data were submitted to ANOVA and Tukey's test (5%) and showed that in general the surface roughness suffered the influence of the surface treatment in all the ceramics that were used. The Shofu polishing system and polishing system diamond paste, didn't show any difference statistic among all the ceramics. For the surface roughness with glaze and polishing with Shofu system + glaze, the Vintage halo ceramic showed the highest values of roughness, while a Will Ceram the lowest. The Shofu polishing showed the lowest values of hardness when used the Vintage halo. In the surface treated with glaze, the highest values were obtained with the design ceramic and the lowest with the Cercon ceramic. In the surface treated with glaze, the highest value was obtained with Dsign, Finesse, Vision and Vision Esthetic ceramic and the and the lowest with Cercon ceramic. In the polishing +

glaze, the highest values of hardness were obtained with the Finesse, Will Ceram, Vision Esthetic and Ceramco ceramic and the lowest with Cercon ceramic. For the polishing + diamond paste, the highest hardness values were obtained with the Finesse, Vision, Will Ceram, Dsign, Vision Esthetic and Ceramco ceramic and the lowest with the Cercon ceramic.

Key words: Hardness, Surface, Porcelain

1 INTRODUÇÃO

As cerâmicas odontológicas têm sido amplamente utilizadas como material restaurador estético porque possuem estabilidade química, elevada resistência à compressão, além de simularem as cores dos dentes naturais como nenhum outro material (O'Brien, 1997). Além disso, dependendo da composição, a possibilidade de união das cerâmicas às estruturas dentais através dos cimentos resinosos e silanização de superfície, tem sido um grande atrativo para realização de técnicas com cerâmica pura. A técnica de estratificação da cerâmica permite a realização de efeitos de cor, translucidez e opalescência da dentina e do esmalte através da aplicação e condensação do pó cerâmico umedecido em camadas, até a reprodução da anatomia dental. A estratificação pode ser realizada sobre folha de platina ou troquel refratário ou sobre estrutura metálica fundida, aluminizada, de cerâmica prensada ou obtida por desgaste.

As cerâmicas de cobertura, entretanto, não preenchem todos os requisitos de um material ideal, possuem elevada dureza, baixa resistência à tração, são muito friáveis e consideradas mais abrasivas para o esmalte dental antagonista do que outros materiais restauradores (Segui *et al.*, 1991). Uma restauração deveria desgastar aproximadamente a mesma quantidade do esmalte dental, ou seja, entre 20 e 40 μm por ano (Lambrechts *et al.*, 1987). Entretanto, esses valores podem ser superiores para paciente com hábitos como bruxismo, onde a cerâmica pode ter uso limitado. Dessa forma, um material restaurador não deve aumentar a taxa de desgaste da superfície dental oposta.

A influência dos fenômenos físicos de desgaste dos materiais é complexa, quando dois ou três corpos estão em contato na presença de movimentos. Para verificar a abrasividade e resistência ao desgaste, o estudo das propriedades mecânicas como dureza e coeficiente de fricção podem ser utilizados (Graig & Powers, 1976). A dureza da cerâmica parece não ser o fator predominante no complexo mecanismo que envolve o desgaste do esmalte dental antagonista (Dahl & Oilo, 1994). Fatores e parâmetros geométricos como a rugosidade de superfície,

forma e área das estruturas contactantes terão influência no coeficiente de fricção e, portanto, no poder abrasivo do material (Koran *et al.*, 1972).

Para compensar da alta contração da cerâmica no processo de sinterização, o técnico realiza a modelagem anatômica com dimensões aumentadas. Como a contração de sinterização é difícil de ser controlada, normalmente há necessidade de ajuste na anatomia dental, a fim de obter oclusão adequada através de desgaste abrasivo com pedras montadas ou brocas laminadas, tanto em laboratório como na clínica. Por sua vez, o desgaste aumenta a rugosidade de superfície e pode trazer conseqüências indesejáveis, como maior abrasividade, maior acúmulo de placa bacteriana (Sorensen, 1989; Kawai, 2000) e redução na resistência da restauração (Bessing & Wiktorsson, 1983). Portanto, apesar do restabelecimento da lisura ser um procedimento difícil e crítico de se conseguir após a fixação da restauração cerâmica (Patterson, 1991), o polimento e/ou o glazeamento da cerâmica desgastada é recomendado (Monasky & Taylor, 1971).

Existem métodos qualitativos e quantitativos para avaliação da rugosidade de superfície dos materiais, porém os mais comumente utilizados são: análise visual subjetiva e microscopia eletrônica de varredura (qualitativas), e refletividade a laser e método do perfil de rugosidade (quantitativas). A rugosidade é verificada com o rugosímetro, o qual possui uma ponta analisadora (perfilômetro) que percorre perpendicularmente a superfície e registra médias do perfil de rugosidade em diversos parâmetros, fato que possibilita a análise de rugosidade de diferentes superfícies (Whitehead *et al.*, 1995). Dessa forma, é extremamente útil dispor de valores numéricos para análise de superfícies, seja para resumir diversas informações, ou mesmo para separar, comparar e classificar superfícies distintas, geradas por diferentes processos de fabricação.

Alguns estudos têm avaliado técnicas de polimento com o objetivo de obter superfície mais lisa ou similar à superfície glazeada (Sulik & Plekavich, 1981; Campbell, 1989; Brewer *et al.*, 1990; Scurria, 1994). Diversos produtos disponíveis no mercado, como pontas de borracha abrasivas e pastas para polimento diamantadas são utilizadas, mas os resultados dessas pesquisas ainda são

conflitantes. Borges *et al.* (2002) verificaram aumento da rugosidade de superfície e na dureza Vickers em uma cerâmica odontológica, após simulação de ajuste oclusal e polimento em relação à cerâmica glazeada.

O desgaste abrasivo é um procedimento que remove o glaze e torna a superfície rugosa, expondo porosidades e criando bordas pontiagudas que aumentam a abrasividade do material (Jacobi *et al.*, 1991). Com o intuito de diminuir a rugosidade de superfície, além da técnica de glazeamento, o profissional tem à disposição, diversos conjuntos de materiais abrasivos específicos para acabamento e polimento de restaurações cerâmicas, que permitem melhora na resistência estrutural (Anusavice, 1992; Sorensen, 1989) de maneira a suportar as condições bucais (Seghi *et al.*, 1995) e assegurando as características ópticas desejáveis da cerâmica.

Deste modo, considerando de fundamental importância o conhecimento das propriedades de dureza e rugosidade dos materiais odontológicos restauradores, julgamos válido avaliar a influência do tratamento de superfície na rugosidade superficial e na dureza de materiais cerâmicos de cobertura.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Cerâmicas odontológicas: aspectos gerais

Os princípios básicos dos trabalhos em cerâmica se iniciaram à cerca de 25000 anos, quando o homem percebeu que alguns tipos de solo, após sofrerem a ação do fogo, apresentavam tendência ao endurecimento. Entretanto, a utilização da cerâmica e a importância que assumiu na sociedade iniciaram-se no Período Neolítico. O homem primitivo, ao desenvolver técnicas de cultivo, tornou-se sedentário e começou a produzir potes de barro para armazenagem de cereais. Nessa mesma época surgiu o polimento: artefatos de pedra eram esfregados no chão ou em areia até tornarem-se polidos, de onde se atribuiu o nome Idade da Pedra Polida para o período (Arruda, 1989).

As cerâmicas primitivas eram extremamente porosas e não permitiam a armazenagem de líquidos. Esse problema foi resolvido entre 6500 e 5500 a.C. na região da Anatólia (atual Turquia) onde a aplicação de uma camada de vidro com menor temperatura de fusão na superfície das cerâmicas promovia a impermeabilização, aumento na resistência e possibilitava a pigmentação com óxidos metálicos (Gúzman, 2002), originando o glazeamento de superfície.

A palavra cerâmica possui origem no grego (*Keramos*) e significa algo queimado ou louça de barro. São sólidos não-metálicos e inorgânicos de natureza dura e friável que possui ligações iônicas, covalentes ou ambas entre suas moléculas (Anderson, 1990).

A porcelana foi aperfeiçoada durante o primeiro milênio a.C. na China, apresentava-se como uma pasta branca, opaca e fina que resultava em uma cerâmica de grande qualidade. Esse material se diferenciava pela elevada translucidez quando utilizada com espessuras de até 3 mm e logo se difundiu pela Arábia e Europa. Entretanto, foi somente no século XXVIII que a composição mineral ternária da arte chinesa foi identificada como sendo kaolin (50%), quartzo (20-25%) e feldspato (25-30%). O kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é um silicato de alumínio hidratado que age como um aglutinante, incrementando a possibilidade de modelagem da massa umedecida antes da sinterização, entretanto possui

elevada opacidade e não é utilizado nas formulações odontológicas atuais (Van Noort, 1994).

Na Odontologia, a utilização da porcelana foi sugerida por Fauchard (1728) em restaurações dentais, mas foi Aléxis Duchateau (1774) o primeiro a utilizar esse material em bases de próteses totais. Entretanto, como não conseguiu adaptação adequada das próteses, devido à alta contração da cerâmica durante a sinterização, a porcelana passou a ser utilizada principalmente na reconstrução e reposição de elementos perdidos, com grande potencial de imitar a cor e a translucidez dentária (Kelly *et al.*, 1996).

Em 1932, Gill afirmou que a densidade, translucidez e a resistência das coroas de cerâmica dependem da técnica de condensação, definida como o método pela qual as partículas são aproximadas, sendo realizada pela remoção da água que é utilizada para unir as partículas em uma massa que permite modelagem. Analisando a densidade obtida por diferentes métodos de condensação, o autor relatou que quanto mais próximas as partículas da cerâmica estiverem uma das outras, mais completa será a reação química durante a sinterização. Embora a vibração da cerâmica no interior de matriz tenha obtido melhores resultados, houve questionamento de como esse método poderia ser utilizado na prática laboratorial.

Um avanço aconteceu com as formulações desenvolvidas por Elias Wildman (1838) e a sinterização sob pressão reduzida pela Dentist's Supply Company of New York (1949) que resultaram em dentes artificiais cerâmicos mais densos e mais translúcidos.

Estruturalmente, as cerâmicas odontológicas se caracterizam por possuir uma fase cristalina circundada por uma fase vítrea. Dependendo da natureza e da quantidade da fase cristalina presente, as propriedades mecânicas e ópticas variam amplamente. O quartzo remanescente no processo de sinterização age como um agente de reforço, estando disperso em toda matriz que é produzida pela fusão do feldspato. Os feldspatos são misturas de potássio alumínio silicato ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) e sódio alumínio silicato ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$). A unidade básica formadora da matriz de vidro é a sílica tetraédrica (SiO_2) que forma uma

rede tridimensional de ligações covalentes, sendo que a presença de K_2O tende a incrementar a viscosidade do vidro fundido e de Na_2O (soda) tende a diminuir a temperatura de fusão (Van Noort, 1994).

A utilização da leucita ($KAlSi_2O_6$) por Brecker em 1956 proporcionou um aumento no coeficiente de expansão térmica da cerâmica, permitindo adesão às estruturas metálicas através da camada de oxidação. O elemento químico que define a quantidade de leucita na cerâmica e o tipo de tratamento térmico é o K_2O . A cristalização da leucita é difícil de ser controlada, assim, deve-se evitar tratamentos térmicos repetidos que podem resultar na desvitrificação e aumento na opacidade (Mclean, 1995). A composição média de uma cerâmica para ser utilizada em coroa metalocerâmica segundo Mclean (2001) é SiO_2 (63,2 %), Al_2O_3 (17,5%), K_2O (11,7%), Na_2O (5,7%), B_2O (1,0%) e CaO (0,8%).

O aumento da expansão térmica dos cristais de leucita a $400^\circ C$ se deve pela gradual transformação da estrutura cristalina tetragonal em uma forma cúbica com maiores dimensões. Essa fase se torna predominante à $600^\circ C$. Entretanto, de acordo com a quantidade de leucita e o tipo de matriz presente após a sinterização, durante o esfriamento, a diferença de contração térmica entre os cristais de leucita (22 a $25 \times 10^{-6} / ^\circ C$) e a matriz vítrea ($8 \times 10^{-6} / ^\circ C$) causa tensões residuais internas que podem gerar microtrincas (Kon *et al.*, 1994).

De acordo com Mclean (2001), foi em 1962 que a Dentist's Supply Company of New York realizou a primeira patente da formulação das cerâmicas chamadas opalescentes. A fusão de partículas menores do que $5 \mu m$ de alumina, alumínio, compostos de zircônio ou óxido de estanho com o pó de feldspato ($50 \mu m$) à $1500^\circ C$ e o esfriamento produzia partículas que se separavam entre $0,4$ e $0,8 \mu m$ e possuíam opalescência. Esse efeito óptico que se caracteriza pela reflexão da luz azul e transmissão de luz laranja resolveu problemas estéticos como obtenção da translucidez e brilho semelhante aos dentes naturais (Ward, 1995).

As coroas totais livres de metal são um grande avanço da Odontologia estética moderna, mas foi em 1965 que Mclean & Hugles desenvolveram as primeiras cerâmicas odontológicas com técnicas de aplicação que utilizavam

óxidos cerâmicos para melhoramento das propriedades mecânicas. Baseados na temperatura de fusão, resistência mecânica e ao choque térmico, adesão, cor e estética, a alumina (Al_2O_3), comumente extraída dos minerais hidratados de óxido de alumínio (Bauxita), obteve maior número de vantagens dentre os óxidos analisados. Várias misturas e composições foram preparadas com proporções de alumina que variavam de 5 e 85% em peso. A cerâmica calcinada em uma concentração de 40% obteve os melhores valores para as aplicações requeridas. Os cristais de alumina como uma fase de reforço da matriz vítrea aumentou em duas vezes o módulo de ruptura. Além disso, o uso de uma base de alumina recristalizada recoberta com cerâmica alumínica resultou em aumento na resistência à fratura cinco vezes maior que as cerâmicas convencionais.

Em 1986, Christensen realizou uma pesquisa juntamente com o comitê de investigação científica da Academia de Odontologia Estética Americana e concluiu que o tipo de coroa mais comumente utilizada era a metalocerâmica, que mostrava sucesso clínico, de acordo com a maioria dos cirurgiões dentistas. Entretanto a maioria optaria por metal nas superfícies oclusais.

Em contraste com as técnicas convencionais de sinterização e fundição, Wohlwend & Scharer (1990) introduziram um sistema cerâmico (IPS Empress) reforçado por leucita com agentes especiais para controle de nucleação, no qual a cerâmica sinterizada era pressionada por um pistão de alumina para dentro de um molde de revestimento obtido pela técnica de cera perdida. Esse sistema apesar de apresentar metade da resistência das bases alumínicas, não apresentava comprometimento na translucidez (McClean, 1995).

Assim, as cerâmicas odontológicas devem atender às normas da ISO 6872 (1995-E) estabelecida pela International Organization for Standardization (1997), que estabelece definições, classificações, métodos de pesquisa e requisitos de uniformidade, ausência de materiais estranhos, características de mistura e condensação, propriedades físico-químicas e biocompatibilidade. Entretanto, essa norma não abrange fatores como granulometria, características de textura superficial, dureza ou abrasividade. As cerâmicas disponíveis em pó são

classificadas como tipo I e as demais cerâmicas tipo II, como as usadas para infraestrutura injetada ou usinada. As cerâmicas tipo I são divididas em 8 classes:

Tabela 1 – Classes das cerâmicas tipo I.

Classe	Material	Cor codificadora do pó
1	Material para base	Amarelo
2	Dentina / Cerâmica de corpo	Rosa
3	Esmalte	Azul
4	Cervical	Verde
5	Transparente	-----
6	Pigmento / "Stains"	-----
7	Material para adição ("Add-on")	-----
8	Material glazeador	-----

Palin *et al.* (2001) avaliaram a técnica de manipulação de uma cerâmica hidrotérmica. Com auxílio de 3 técnicos experientes, identificaram a consistência de manipulação ideal para a cerâmica Duceram-LFC com o proporcionamento pó/líquido de 0,82/0,31 g/ml. Outros grupos experimentais apresentavam consistência considerada muito fluida (0,78/0,31 g/ml) ou muito espessa (0,86/0,31 g/ml). Discos foram confeccionados em matrizes preenchidas com folha de platina, com vibração de 90 segundos e condensação com papel absorvente. Após realização de ensaios de resistência bi-axial, os fragmentos foram utilizados para mensuração da densidade e porosidade aparentes. Após ranqueamento pelo módulo de Weibull (95%), houve confirmação no aumento da resistência bi-axial do grupo com consistência ideal atribuído ao decréscimo na porosidade aparente e aumento da densidade. Os autores concluíram que as cerâmicas hidrotérmicas possuem uma técnica de manipulação mais difícil devido a pouca quantidade de pó cerâmico necessária para alterar a consistência do material (0,08g em 0,31 ml) quando comparado com as cerâmicas convencionais como a Vitadur-Alpha (1,6 g).

Segundo Zhang *et al.* (2004), a translucidez das cerâmicas pode ser afetada por vários fatores, como espessura, microestrutura e número de ciclos de queima. Preocupados com a variabilidade da técnica de manipulação, que normalmente é influenciada pela experiência dos técnicos em prótese dentária, investigaram a influência do proporcionamento pó/líquido na porosidade total e translucidez das cerâmicas de dentina e incisal Duceram-LFC e IPS Eris (Ivoclar). A densidade real, a aparente e a translucidez foram maior para a IPS Eris. Para ambas cerâmicas, as maiores densidades aparentes foram obtidas com um baixo proporcionamento pó/líquido para a dentina e médio proporcionamento pó/líquido para o esmalte. Não houve efeito significativo do proporcionamento pó/líquido na translucidez.

A presença de poros sempre foi um problema na confecção da cerâmica odontológica de cobertura exercendo um efeito indesejável nas propriedades ópticas e resistência. Segundo Craic & Powers (2004), as cerâmicas com pó refinado desenvolveram uma melhor textura, mas aumentaram a opacidade do material devido à presença de pequenos poros. A sinterização a vácuo melhora a translucidez, reduz a rugosidade de superfície e aumenta a resistência ao impacto em cerca de 50%, reduzindo a quantidade de poros de 5,6% para 0,56%.

2.2 Cerâmicas odontológicas: tratamentos de superfície e rugosidade superficial

Preocupados com o acúmulo de placa bacteriana em materiais utilizados em pânticos, Clayton & Green (1970) realizaram um estudo comparando a rugosidade média do ouro polido, da resina acrílica polida e da cerâmica glazeada. A média de rugosidade da cerâmica glazeada (1,262) foi significativamente maior que do ouro (1,085) e da resina acrílica (1,015) que não diferiram estatisticamente. Entretanto, na segunda parte do estudo, não foi demonstrada diferença na formação e retenção de placa bacteriana entre os materiais.

O desgaste gradual dos dentes é um fenômeno natural na dentição humana e depende de inúmeros fatores como abrasividade da alimentação e

comportamento. Monansky & Taylor (1971) relataram que esse processo natural é modificado quando materiais odontológicos são utilizados, pois suas propriedades diferem da estrutura dental. Baseados nessas informações, os autores realizaram um estudo envolvendo esmalte dental obtido da vestibular de incisivos centrais e materiais como ouro e cerâmica, submetidos a diversos tratamentos de superfície, para avaliar através de ciclagem mecânica em saliva artificial com abrasivo de farinha branca, o desgaste obtido em diversas combinações antagonistas. Os resultados indicaram que existe uma forte correlação entre rugosidade da cerâmica e o desgaste resultante no dente antagonista, e que somente a combinação de polimento seguida por glazeamento foi capaz de reduzir o desgaste a um nível equivalente ao encontrado na dentição natural. Os autores observaram uma tendência de autopolimento da cerâmica rugosa oposta à estrutura dental com decorrer do tempo, fator que limitou o desgaste progressivo das estruturas envolvidas. Entretanto, salientaram que esse fenômeno é lento e quantidades significantes de estrutura dentária são perdidas no processo enfatizando a importância da lisura superficial inicial dos trabalhos cerâmicos.

Koran *et al.* (1972) determinaram o coeficiente de fricção entre diferentes materiais. Investigando os fatores que têm influência na fricção, os autores observaram que a carga aplicada e a velocidade de deslizamento não possuem influência na fricção entre dois corpos, exceto quando 2 materiais cerâmicos são ensaiados em ambiente úmido. O coeficiente de fricção entre os materiais foi maior na presença de água, exceto quando resina acrílica foi ensaiada contra cerâmica, onde não foram observadas diferenças.

As características de superfície da cerâmica de cobertura Ceramco II sinterizada com ou sem vácuo, sob influência de diversos tratamentos de superfície foi relatada por Bargui *et al.*, em 1975. Através de M.E.V. (50, 100, 200 e 2.000X), constataram que a cerâmica sinterizada na presença de ar possuía poros maiores e em maior quantidade. As ranhuras produzidas pelos discos de papel abrasivos foram removidas com rodas de borracha abrasivas e a qualidade de superfície melhorou com o produto Tripoli, entretanto, as porosidades não foram completamente eliminadas como no grupo glazeado. Em 1976, os mesmos

autores realizaram outro estudo utilizando microscopia eletrônica de varredura (140X), onde os grupos foram subdivididos conforme o tratamento de superfície subsequente: glaze natural (3 discos), acabamento pedras montadas (9 discos), polimento com rodas de papel (9 discos) e polimento com discos de borracha (9 discos). Os grupos com nove discos foram novamente subdivididos em 3 grupos com 3 discos: grupo controle inalterado, glaze natural e glazeamento com pasta de baixa fusão. Os autores concluíram que o glazeamento obtém uma superfície mais lisa mesmo após desgaste com pedras montadas, não sendo necessário o polimento prévio com discos de papel ou rodas de borracha. As superfícies dos corpos-de-prova sinterizados com vácuo apresentavam-se novamente menos porosas, e em ambos os casos, a aplicação de pasta glazeadora de baixa fusão promoveu uma superfície mais lisa que o glaze natural, possivelmente pela maior capacidade de selamento dos poros superficiais.

Preocupados com as conseqüências da remoção do glaze pelo ajuste oclusal em dentes de cerâmica utilizados em prótese total e removível, Schlissel *et al.* (1980) avaliaram por meio da análise subjetiva de fotografias obtidas por M.E.V. (200X), onze métodos de ajuste e polimento envolvendo dois tipos de pedras montadas em combinação com pedra pomes ou rodas de borracha, comparando com o controle não ajustado. Os autores concluíram que três dos onze métodos conseguiram uma superfície comparável ao dente inalterado, sendo que o melhor polimento foi obtido pelo Sistema Shofu de polimento, que consistia no ajuste com pedra branca de óxido de alumínio e três rodas de borracha em ordem decrescente de abrasividade.

De acordo com Leitão & Hegdahl (1981), a rugosidade é uma importante propriedade de superfície. Possui efeitos marcantes no incremento da área superficial, na fricção entre superfícies deslizantes e na retenção de materiais estranhos, como placa bacteriana. Para o estudo dessa propriedade, a distinção entre rugosidade e ondulação é fundamental, distinguindo-se oscilações entre ondas curtas e ondas longas. Isso pode ser realizado em aparelhos modernos através da utilização de filtros que utilizam cut-off, o qual excluem as ondulações para o cálculo de rugosidade média. A não utilização de filtro resulta em um cut-off

infinito com linha de base reta. Dessa forma, a leitura e a obtenção dos resultados é influenciada pelo equipamento utilizado (filtros, sistemas, parâmetros de medição, forma e tamanho da ponta analisadora) e ao material propriamente dito (maciez, densidade, presença de porosidade, etc.).

Segundo Sulik & Plekavich (1981), o método mais adequado para obtenção de uma superfície higienizável e com baixa fricção em cerâmicas ajustadas é o glazeamento da superfície. Reconheciam, no entanto, que tal procedimento nem sempre era possível ou conveniente. Dessa forma, realizaram análise de fotografias de M.E.V. (200X) e verificaram que o polimento com roda de borracha Dedeco azul, seguido por pedra pomes úmida e óxido de estanho aplicados com roda de feltro, proporcionaram uma superfície lisa e brilhante similar a glazeada, apresentando, entretanto, alguns espaços vazios que não estavam presentes na superfície glazeada. Concluíram que o sucesso da técnica de polimento depende da qualidade da condensação da cerâmica.

Segundo Klausner *et al.* (1982), a necessidade de ajustes clínicos em coroas de cerâmica, tanto em regiões de contorno quanto em superfícies oclusais, é muito comum. Preocupados se técnicas de polimento poderiam promover lisura comparável ao glaze inicial, realizaram um estudo comparando 4 tipos de polimento (rodas Dedeco, sistema Shofu, borracha Burlew, sistema Jelenko) e o glaze da cerâmica Vita VMK68. Através de uma metodologia quantitativa (rugosidade média) e qualitativa (macrofotografias e M.E.V. 50, 150, 500 e 1500X), não foram encontradas diferenças significativas tanto entre os polimentos, quanto entre os polimentos e o glaze inicial.

Newitter *et al.* (1982) comparam seis métodos de ajuste (pedras montadas em baixa rotação ou ponta diamantada em alta rotação sob refrigeração) e onze métodos de polimento em sessenta e seis combinações possíveis, através da análise de M.E.V. (200X), realizada por dois examinadores com significativo nível de concordância determinada pelo ranqueamento de Sperman e teste *t* de Student's. Os resultados demonstraram que o ranqueamento de rugosidade superficial produzido pelos desgastes iniciais não coincidiu com o ranqueamento obtido após os polimentos finais. Os métodos que utilizaram rodas para

acabamento, pedra pomes ou pasta de polimento produziram as superfícies mais lisas. O Sistema Shofu de polimento obteve resultados comparáveis. Os autores relataram que o polimento com pedra pomes ou pasta para polimento é mais adequado para superfícies amplas, sendo dificultado em superfícies pequenas e confinadas. Assim, a escolha da técnica apropriada pode ser guiada pelo tamanho e localização da área a ser polida.

A comparação entre superfícies glazeadas e polidas também foi realizada através de M.E.V. (1200X) e dos parâmetros Ra e Rtm de um rugosímetro, por Bessing & Wiktorsson (1983). O valor de Rtm é obtido pela média da maior distância vertical entre pico e vale dentro de um determinado percurso de avaliação com cinco mensurações consecutivas. Entretanto, segundo os autores, esse parâmetro foi incapaz de determinar o tipo de rugosidade, não oferecendo informações suficientes sobre as características de superfície. O valor utilizado para cut-off foi de 0,8 mm em uma leitura de 4,5 mm. Os resultados obtidos pelos diferentes métodos foram contraditórios: a superfície polida mostrou-se mais rugosa ao exame por M.E.V., entretanto sua rugosidade média (Ra) foi significativamente menor. Embora o polimento com o sistema Shofu tenha promovido menores valores de Ra, não diferiu do polimento com pedra pomes e branco de Espanha ($p > 0,05$).

Zalking *et al.* (1986) realizaram um trabalho com o objetivo de examinar o nível de rugosidade de 35 corpos-de-prova de cerâmica após o uso de seis diferentes técnicas abrasivas ou glaze natural. Os autores relataram que o glaze natural é produzido com a presença de ar durante a sinterização final sendo considerado um bom procedimento. Os resultados obtidos pela análise subjetiva das fotografias de M.E.V. (100X) mostraram que qualquer superfície reduzida por instrumentos abrasivos resulta em rugosidade superficial. Concluíram que a única forma para obter lisura em uma superfície desgastada é jateando a superfície com óxido de alumínio previamente ao glaze natural.

De acordo com Haywood *et al.* (1988), o acabamento das margens após a cimentação de laminados cerâmicos é um procedimento crítico, pois pode ocasionar remoção do glaze. Através de M.E.V. (10 e 100X) e reflexão de luz em

discos de cerâmica Ceramco II, realizou-se um estudo comparando superfícies glazeadas e polidas com diferentes instrumentos indicados para uso em áreas interproximais. Imagens de M.E.V. dos instrumentos e materiais utilizados nos acabamentos e polimentos revelaram ampla variação no tamanho das partículas abrasivas: de 300 μm para o disco preto Soflex a 2-5 μm para pasta diamantada (Truluster). O sistema de polimento Shofu exibiu uma variação de 10 a 22 μm . A única superfície considerada inadequada foi obtida pelo desgaste abrasivo com ponta diamantada fina seguida pelo polimento com pasta diamantada. A superfície considerada melhor também pelo método de reflexão de luz foi desgastada com ponta diamantada fina sob refrigeração e polida por três granulações do sistema diamantado Abrasive Micron Finish (25-35 μm , 10-20 μm e 2-5 μm), carbite 30 lâminas e pasta diamantada (Truluster). Todos os outros acabamentos ensaiados foram considerados adequados. Os autores concluíram que para se conseguir uma superfície lisa é necessária a utilização de sistemas abrasivos com redução no tamanho das partículas abrasivas.

Em 1989, os mesmos autores verificaram que tal procedimento consome muito tempo e realizaram outro estudo comparando o polimento considerado melhor com outros 47 tipos de polimento, envolvendo diferentes velocidades de rotação e presença ou ausência de água. Utilizando imagens de M.E.V. (100X), concluíram que a superfície mais lisa é obtida quando instrumentos diamantados foram utilizados em velocidade moderada com refrigeração e quando a ponta Carbite 30 lâminas foi utilizada com alta rotação a seco. Apesar de as técnicas terem proporcionado resultados melhores do que o glaze, os melhores resultados foram obtidos pelos mesmos materiais reportados em 1988, a utilização de pastas de polimento com partículas menores que a Truluster não foram capazes de melhorar a superfície significativamente.

Wiley (1989) afirmou que todas as superfícies contactantes de cerâmica devem ser abundantemente polidas e glazeadas após ajuste antes da cimentação e demonstrou através de fotografias clínicas, os efeitos destrutivos da cerâmica na superfície oclusal e em guias anteriores, principalmente quando a dentição

antagonista foi natural. Destruição agravada pelo bruxismo e pela exposição de opaco após ajuste oclusal.

Campbell (1989) afirmou que a rugosidade superficial dos materiais restauradores deve ser minimizada para obter uma ótima biocompatibilidade e as técnicas de polimento ainda não são bem estabelecidas, principalmente em materiais que utilizam coping de alumina como Cerestore ou cerâmica fundida como Dicor. Vinte amostras desses materiais foram divididas em cinco grupos: sem tratamento, polimento com sistema Shofu, polimento com sistema Shofu e pasta diamantada Vident, ajuste com ponta diamantada e polimento com sistema Shofu, aplicação de material de cobertura e autoglaze. O ouro tipo III e a cerâmica de cobertura (Vita) foram utilizados como controle. Observaram através de M.E.V. (100X) que somente o metal polido e as cerâmicas de cobertura glazeadas apresentavam-se completamente lisos. A cerâmica Cerestore polida apresentou a superfície mais rugosa. Os autores concluíram que as restaurações confeccionadas com Dicor e Cerestore devem ser glazeadas.

Rugosidade de superfície, adaptação marginal e contorno são, segundo Sorensen (1989), os fatores que promovem o acúmulo de placa bacteriana e influenciam a saúde gengival nas áreas de interface dente-restauração. Segundo o autor, a microtopografia é de crucial importância, uma vez que a colonização bacteriana se origina em áreas protegidas como ranhuras microscópicas. Dessa forma, as coroas artificiais devem satisfazer os três critérios para diminuir o acúmulo de placa, mantendo a saúde gengival e estética.

Segundo Rosenstiel *et al.* (1989), o brilho e a textura superficial compõe juntamente com a cor, forma e translucidez, as características que determinam a aparência e harmonia estética. O polimento, segundo os autores, além de ser considerado mais adequado para controle da intensidade e distribuição do brilho, promoveu em seus ensaios um aumento da tenacidade à fratura aparente da cerâmica feldspática VMK68 (Vita), sem alterar o manchamento superficial ao café quando comparado ao glaze.

O polimento com o sistema Shofu associado ou não a quatro sistemas de polimento em pasta foi estudado por Raimondo *et al.* (1990) através da análise

subjetiva com fotografias de M.E.V. (100X e 300X). Os corpos-de-prova foram confeccionados com a cerâmica VMK68, onde um sulco de aproximadamente 1 mm de profundidade por 2 mm de largura foi realizado simulando um sulco oclusal em dente posterior. Os resultados mostraram que o melhor acabamento de superfície foi obtido pelo glaze (controle), seguido pela pasta Truluster, pasta Dia-Gloss, pasta DiamonDust, sistema Shofu e sistema Glaze'N Shine de polimento. A avaliação visual baseada em escores média indicou que o melhor polimento de superfície foi obtido com a pasta de polimento Truluster.

Brewer *et al.* (1990) realizaram um estudo clínico envolvendo análise visual subjetiva realizada por protesistas, clínicos gerais e estudantes de Odontologia comparando superfícies obtidas pelo glazeamento natural com as obtidas pelo jateamento com óxido de alumínio e polimento com pasta diamantada. Doze restaurações metalocerâmicas (VITA VMK68) foram confeccionadas em um incisivo central superior e divididos em dois grupos conforme o tratamento de superfície. Os quesitos analisados foram: forma, porosidade e lisura de superfície, reflexão da luz, textura vestibular, brilho, homogeneidade e aparência estética classificados em três níveis de qualidade. Embora não tenha ocorrido grande concordância entre os grupos examinadores, em geral, o polimento foi considerado mais aceitável que o glaze.

A cerâmica polida também obteve resultados satisfatórios na pesquisa de Jacobi *et al.* (1991) que utilizaram ciclagem mecânica para comparar a abrasividade de seis superfícies de cerâmica e ouro. A cerâmica DICOR polida removendo-se o glaze foi a menos abrasiva das cerâmicas seguida pela cerâmica VMK68 VITA polida, mas foi responsável por um desgaste 10 vezes maior na estrutura dental quando comparada com o ouro tipo III.

Para mensurar a rugosidade média (Ra) de duas cerâmicas (Biobond e Ceramco) polidas com diferentes sistemas para polimento, Goldstain *et al.* (1991) utilizaram um rugosímetro com cut-off de 0,25mm e comprimento de leitura de 1,5mm. Para a cerâmica Ceramco, os sistemas de polimento Brasseler e Dentsply apresentaram resultados similares, seguidos pelo sistema Dedeco e sistema Shofu de polimento que não diferiram estatisticamente entre si. Os sistemas de

polimento Dedeco e Dentsply apresentaram os melhores resultados para a cerâmica Biobond. Os autores concluíram após análise visual e M.E.V. (100X) que com exceção do sistema Den-Mat, todos foram considerados clinicamente aceitáveis.

A rugosidade média e M.E.V. (2000X) foram os métodos escolhidos por Patterson *et al.* (1991) para verificar a efetividade de um sistema para polimento de cerâmica com pasta diamantada (Chameleon Dental Products). Quatorze amostras de cerâmica Vita VMK68 sobre metal receberam quatro subseqüentes tratamentos de superfície e mensurações de rugosidade média superficial (Ra) foram registradas. Para cada tratamento de superfície, os resultados (μm) foram: glazeamento ($0,202 \pm 0,043$), polimento sobre o glaze ($0,183 \pm 0,032$), redução com ponta diamantada de granulação fina - FG Komet ($1,669 \pm 0,192$) e novo polimento com pasta ($0,850 \pm 0,249$). Após análise de variância e teste de Scheffé's (95%), os autores concluíram que o sistema de polimento proporcionou um aumento significativo na lisura superficial da cerâmica desgastada com ponta diamantada, mas sem restaurar a lisura como da superfície glazeada. O polimento sobre o glaze obteve média de rugosidade que não diferiu do grupo controle glazeado e de acordo com as imagens de M.E.V., ainda foi capaz de remover o glaze da superfície expondo porosidades internas.

Em outro estudo, os mesmos autores avaliaram a eficiência do polimento na cerâmica Vitadur N, após ser submetida ao desgaste com pontas diamantadas finas ($30\mu\text{m}$) e extrafinas ($15\mu\text{m}$) em alta rotação, tendo o glaze como grupo controle. Baseados em fotografias obtidas por M.E.V. (2000X e 500X), verificaram que todos os tratamentos de superfície utilizando abrasivo, inclusive o polimento com pasta diamantada, promoveram remoção do glaze e exposição de microporosidades internas. Após o desgaste com pontas diamantadas, o sistema de polimento proporcionou um aumento na lisura superficial, principalmente nas superfícies previamente desgastadas com pontas de diamante extrafinas. Comparações entre as médias de rugosidade superficial (Ra) pelo método estatístico de Scheffé's, mostraram que essa diferença foi estatisticamente significativa. A média de rugosidade do grupo polido com pasta diamantada após

glazeamento foi a menor, mas não diferiu do grupo controle glazeado. Os autores concluíram que após ajuste com pontas diamantadas, o sistema de polimento não foi capaz de promover uma superfície lisa como a glazeada. Assim, granulações mais finas de pontas diamantadas deveriam ser analisadas quando sistemas de polimento forem empregados.

Segundo Anusavice (1992), a durabilidade química das cerâmicas odontológicas é excelente. Entretanto, forças mecânicas e ataque químico podem gerar degradação. Devido à abrasão e dissolução, a liberação de elementos químicos que podem inclusive possuir radioatividade, aumenta a rugosidade superficial, contribuindo para maior retenção da placa bacteriana. A degradação da cerâmica é mais rápida quando ocorre o contato excessivo com elementos como bifluoreto de amônia, ácido hidrofluorídrico e principalmente fluoreto acidulado, quando grandes doses são utilizadas em portadores de câncer, devido à diminuição da atividade salivar promovido pela exposição excessiva à radiação. O autor sugeriu que a influência da ação química na rugosidade de superfície e conseqüentemente no desgaste das restaurações cerâmicas e dentes antagonistas devem ser pesquisados de maneira padronizada.

Hulterstrom & Bergan (1993), utilizando blocos de cerâmica Vita do sistema Cerec, verificaram através do parâmetro Ra com cut-off de 0,8 mm, que o uso de pasta diamantada por 60 segundos não melhora a superfície polida com discos Soflex, mas consegue promover uma leve melhora quando o sistema Shofu é utilizado. Entretanto, como o polimento sem pasta, em ambos os casos, conseguiu superar a superfície glazeada, os autores concluíram que não há necessidade de utilização de pasta diamantada no polimento da restauração cerâmica.

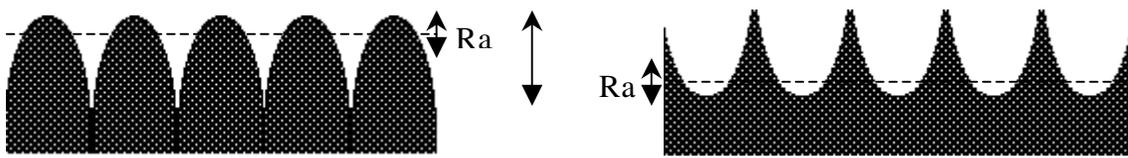
A necessidade de ajuste através do desgaste abrasivo em restaurações cerâmicas convencionais e CAD-CAM, antes e após a cimentação, levou Scurria & Powers (1994) a realizarem um estudo baseado no parâmetro Ra de um rugosímetro, para comparar a rugosidade produzida por cinco combinações de abrasivos no polimento de discos de cerâmica (Ceranco II) e blocos de cerâmica Dicor MGC. Os resultados mostraram que a cerâmica feldspática Ceramco II polida apresentou-se mais lisa que a glazeada, porém com uma rugosidade média

($0,60 \pm 0,13 \mu\text{m}$) maior que na cerâmica Dicor MGC ($0,44 \pm 0,12 \mu\text{m}$). As pontas diamantadas (45, 25 e $10\mu\text{m}$) e géis diamantados Premier (4 e $1\mu\text{m}$) produziram as superfícies mais lisas em ambos materiais, embora o desgaste e polimento com ponta e pastas de óxido de Alumínio (100, 1 e $0,3\mu\text{m}$) não diferiram estatisticamente na cerâmica Dicor MGC. A broca laminada carbide 30 lâminas não promoveu aumento da lisura em nenhuma das combinações ensaiadas.

Utilizando-se uma máquina de ciclagem mecânica que simulava o ciclo mastigatório, Jagger & Harrison (1994) investigaram o efeito do polimento e do glaze da cerâmica Vitadur N no desgaste de esmalte humano em água destilada. Os resultados mostraram que a quantidade de esmalte desgastado pela cerâmica glazeada e sem glazeamento foi similar. As cerâmicas polidas com discos Soflex e sistema Shofu promoveram menos desgaste no esmalte, mostrando a importância do polimento após ajuste da cerâmica.

Ward *et al.* (1995), preocupados em aumentar o tempo de vida útil das cerâmicas opalescentes, realizaram um estudo utilizando perfil de superfície e M.E.V. (350X) para avaliar oito técnicas de polimento intrabucal, em três cerâmicas incisais opalescentes: Ceramco II, Vintage e Duceram LFC. Glaze natural e com pasta glazeadora de baixa fusão foram os tratamentos utilizados como controle. Um cut-off de 0,25 mm foi utilizado para aumentar a filtragem e minimizar a influência de ondulações. A maior discrepância entre os resultados foi obtida quando comparações foram feitas entre os tratamentos de superfície do que em relação entre as cerâmicas, porém, a cerâmica Ceramco II apresentou-se mais rugosa do que as demais. Os materiais utilizados para polimento: pontas de diamantes finos em ordem decrescente de granulação, seguido por pasta de polimento diamantada Truluster ($2,5\mu\text{m}$), géis Premier (4 e $1\mu\text{m}$), discos abrasivos Cosmedent com a pasta diamantada Enamelize ($0,3\mu\text{m}$) ou finalização com broca carbide 30 lâminas proporcionaram superfície mais lisa do que os grupos controles. O Sistema Shofu de polimento promoveu uma superfície mais lisa que os grupos glazeados somente para a cerâmica Vintage.

Whitehead *et al.* (1995) compararam dois métodos de avaliação da rugosidade superficial em cerâmicas odontológicas: método de refletância a laser (MRL) utilizando o parâmetro “Optical RMS” (raiz quadrada média da rugosidade óptica) e o método com ponta analisadora de superfície (rugosímetro) utilizando os parâmetros Ra, Rz, Rpm e a razão Rpm/Rz. O parâmetro Rpm é obtido pela média de altura em relação à linha central em 5 leituras consecutivas. Os autores argumentaram que o parâmetro Ra, comumente utilizado, não fornece informações qualitativas da rugosidade superficial, não distinguindo superfícies arredondadas de pontiagudas. A razão Rpm/Rz foi de especial importância na avaliação do formato da superfície, pois uma razão maior que 0,5 indica picos pontiagudos e mais abrasivos, e menor que 0,5 indica uma superfície com picos arredondados. Seis diferentes técnicas de acabamento foram analisadas. Os resultados indicaram uma pequena correlação entre o método de refletância a laser e o parâmetro Rz do rugosímetro, no entanto, a correlação com o parâmetro Ra foi insatisfatória. Os métodos apresentaram a menor correlação quando o processo de acabamento utilizou a ponta Baker Curson, que produziu picos mais afilados e agudos do que as outras técnicas de acabamento. Os autores concluíram que o uso exclusivo do método MRL na avaliação de rugosidade superficial em materiais cerâmicos deve ser evitado, sugerindo parâmetros que forneçam informações quantitativas e qualitativas da superfície sob investigação.



Superfície arredondada

Ra = 2,5µm
Rmáx = 10µm
Rpm/Rz = 0,2

Superfície pontiaguda

Ra = 2,5µm
Rmáx = 10µm
Rpm/Rz = 0,8

Diagrama utilizado para ilustrar a incapacidade do parâmetro Ra em descrever o formato da superfície. Para ambas superfícies ilustradas o Ra é o mesmo, mas a razão Rpm/Rz difere.

O desgaste promovido por diferentes materiais restauradores em esmalte foi avaliado por Hacker *et al.* (1996) através de ciclagem mecânica tendo saliva artificial como meio. O desgaste promovido pelo ouro foi 96% menor do que o desgaste promovido pela cerâmica feldspática Ceramco, que foi a mais abrasiva dos materiais. A cerâmica de cobertura de baixa fusão Procera All-Ceramic desgastou 74% menos do que a cerâmica Ceramco, mostrando-se mais compatível com esmalte dental. Dessa forma, como materiais não cristalinos podem exibir valores mais baixos de abrasão quando em contato de deslizamento, e sendo as cerâmicas, materiais com estrutura amorfa e dureza superior à do esmalte, a rugosidade de superfície do material apresenta relação direta com a facilidade de deslizamento e, conseqüentemente, com abrasão (Ferracane, 1995).

Segundo Mair *et al.* (1996), o desgaste de qualquer material pode ser promovido pela combinação de diferentes processos como adesão, abrasão, fadiga e corrosão. Entretanto, dois tipos de desgaste podem ser distinguidos em cerâmica: moderado e severo. A lisura superficial e fricção relativamente constante estão relacionadas com baixas taxas de desgaste, enquanto o desgaste severo está associado com rugosidade superficial e fricção oscilante, em um mecanismo de desgaste dominado por friabilidade e fratura.

Fuzzi *et al.* (1996) observaram, em M.E.V. (1000X), que a superfície glazeada naturalmente apresentava-se mais lisa do que as superfícies polidas ensaiadas, porém com irregularidades. A diminuição da rugosidade de superfície pela utilização de instrumentos diamantados em seqüência decrescente no tamanho das partículas (30, 15 e 8 μm) também foi demonstrada, porém removendo somente as maiores irregularidades produzidas pelo instrumento utilizado previamente. A análise estatística dos resultados obtidos pelos parâmetros Ra e Rt de um rugosímetro (cut-off 0,25 mm) mostraram que a superfície desgastada com ponta diamantada de 30 μm foi significativamente mais rugosa do que as glazeadas. A diferença entre a lisura e o brilho foi exemplificada pela superfície desgastada com broca Carbite 30 lâminas, que produziu menores valores de Ra, porém com aparência visual pior do que a superfície glazeada.

Ribeiro (1998) comentou que uma menor rugosidade de superfície não indica necessariamente um brilho maior e sobre a importância da análise qualitativa como avaliação visual ou M.E.V., que permitam aferir se os resultados obtidos pela rugosimetria correspondem aos requisitos de estética. Utilizando os parâmetros Ra (rugosidade média), Ry (rugosidade máxima), Rz (rugosidade máxima média), Rp (média de altura dos picos máximos) e Pc (contagem de picos), verificou a importância da realização de tratamento de superfície, em todas as cerâmicas ensaiadas (Ceramco II, Duceram Plus, Duceram LFC, Noritake e Vita VMK95), após terem sido desgastadas com pontas diamantadas de granulação fina e ultrafina. A cerâmica Duceram LFC apresentou, de modo geral, as menores médias de rugosidade em todos parâmetros estudados, possuindo rugosidade semelhante ou menor que obtida pelo glaze em todos os procedimentos de polimento avaliados. A utilização de pasta diamantada aumentou a lisura e homogeneidade superficial dos grupos polidos com Exa-Cerapol, Shofu, Soflex ou discos Viking independentemente da cerâmica utilizada.

Magne *et al.* (1999) verificaram através de ciclagem mecânica com leitura digitalizada a influência do tratamento de superfície das cerâmicas Cration, Vitadur Alpha e Duceram-LFC na abrasão do esmalte dental. Para as três cerâmicas ensaiadas, as técnicas de polimento laboratorial, polimento intrabucal e glazeamento resultaram em desgaste de esmalte similares, o que enfatizou a importância do polimento intrabucal após ajuste da cerâmica cimentada. Apesar da cerâmica Duceram-LFC possuir média de dureza (420 VHN) próxima do esmalte dental (408 VHN), foi a mais abrasiva dos materiais juntamente com Vitadur Alpha, provavelmente devido à presença de defeitos, friabilidade e baixa tenacidade. O mesmo tipo de desgaste foi observado para os três materiais, mas a feldspática Creation foi significativamente menos abrasiva promovendo menor perda combinada de esmalte e cerâmica.

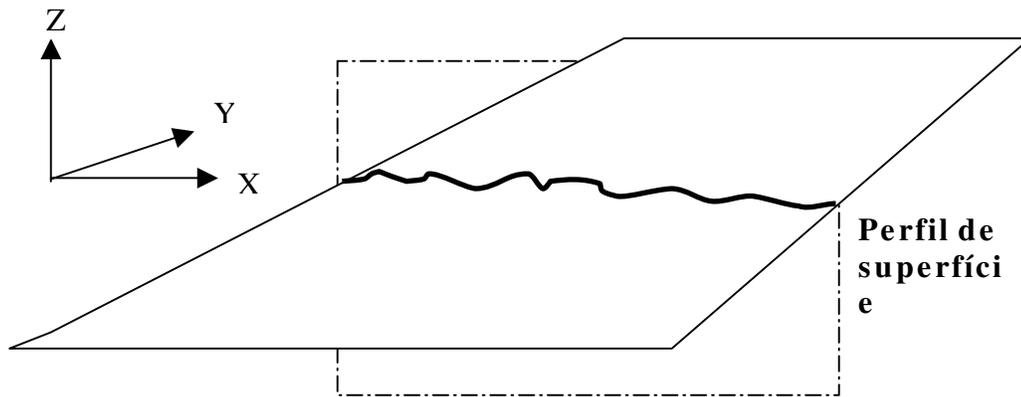
Uma metodologia que utilizava ciclagem mecânica com 800.000 contatos deslizantes de 15 mm e carga de 0.19 N (313 g), foi realizada por Al-Wahadni & Martin (1999) para comparar o desgaste produzido por diferentes cerâmicas odontológicas polidas ou glazeadas contra corpos-de-prova confeccionados com

polimetilmetacrilato. O desgaste produzido nos espécimes de resina acrílica foi mensurado utilizando-se um rugosímetro. A leitura de superfície percorreu transversalmente a região central abrasionada para mensuração do máximo de profundidade, área e formato do desgaste. O estudo confirmou que a superfície menos abrasiva foi obtida pelas cerâmicas glazeadas. O polimento com pontas de borracha abrasivas Shofu proporcionou aumento significativo na profundidade e na área de desgaste. Além disso, somente as cerâmicas polidas com pasta diamantada proporcionaram desgaste similar ao glaze. Os menores valores de desgaste foram obtidos pela cerâmica VMK, enquanto os maiores pela cerâmica opaca (Vitadur) com 50% de alumina.

Whitehead *et al.* (1999) ilustraram e salientaram a importância da calibração dos equipamentos de mensuração de rugosidade superficial utilizando uma superfície com rugosidade padronizada e relatou que comparações de resultados obtidos por equipamentos diferentes devem ser evitadas.

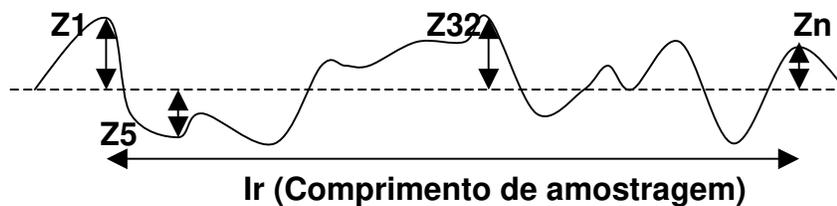
Em 2000, Kawai *et al.* avaliaram a adesão de bactérias e glucanos na cerâmica Celay (Vita) quando polida ou glazeada. A quantidade de células aderidas e glucanos aumentou com o tempo. A rugosidade de superfície e a adesão de placa bacteriana diminuíram com o refinamento do polimento. As superfícies polidas com lixa de grana 120 à 600 + pasta diamantada obtiveram menor quantidade de placa bacteriana aderida. O glaze, entretanto, embora tenha resultado em menor rugosidade superficial, promoveu maior acúmulo de placa bacteriana. Dessa forma, uma correlação positiva entre rugosidade e acúmulo de placa foi obtida, com exceção para as superfícies glazeadas.

A norma NBR ISO 4287 (2002), que substituiu a NBR 6405 (1988) especifica termos, definições e parâmetros para determinação do estado da superfície (rugosidade, ondulação e perfil primário) pelo método do levantamento do perfil. Um sistema de coordenadas cartesianas positivo é utilizado nesse método, tendo o comprimento de avaliação (l_n) no eixo X, perpendicular ao eixo Y dentro da superfície real e o eixo Z dirigido do material para o meio ambiente.



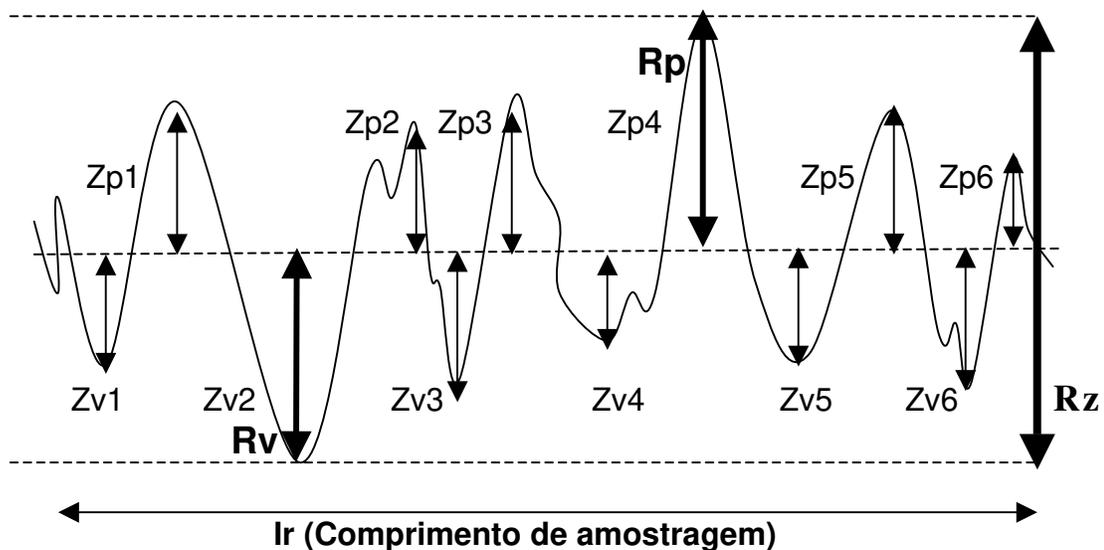
O comprimento de avaliação de rugosidade (l_n) pode conter um ou mais comprimentos de amostragem (l_r). Os responsáveis pela separação dos componentes de ondas longas e curtas são os filtros de perfil (λ_s , λ_c , λ_f) que possuem comprimentos de onda limite diferentes (cut-off). O perfil de rugosidade é derivado do perfil primário utilizando o filtro λ_c que define a separação entre os componentes da rugosidade e ondulação. Dentre os parâmetros de rugosidade do perfil e suas definições, pode-se destacar:

◆ **Ra** - Média aritmética do somatório dos valores absolutos das ordenadas $Z(x)$ em relação à linha média, no comprimento de amostragem.



Parâmetro Ra (Rugosidade média).
$$Ra = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + \dots + Z_n}{N}$$

- ◆ **Rp** - Altura máxima dos picos do perfil (Z_p) em relação à linha média, no comprimento da amostragem.
- ◆ **Rv** - Profundidade máxima do vale do perfil (Z_v) em relação à linha média, no comprimento da amostragem.
- ◆ **Rz** - Altura máxima do perfil: calculado pela soma da altura máxima dos picos (R_p) com a profundidade máxima dos vales (R_v), no comprimento da amostragem. Pode ser obtido pela média de 5 leituras consecutivas.
- ◆ **Rt** – Altura total do perfil: parâmetro calculado pela soma da maior altura dos picos do perfil (Z_p máx) com a maior profundidade dos vales do perfil (Z_v máx) no comprimento de avaliação. Uma vez que o parâmetro R_t é definido no comprimento de avaliação e não no comprimento de amostragem como R_z , sempre é maior ou igual que R_z .



Parâmetros R_p , R_v e R_z .

O parâmetro R_a foi escolhido por Borges *et al.* (2002) para comparar a rugosidade superficial de 20 discos (7 mm de diâmetro X 2 mm de espessura) de uma cerâmica feldspática autoglaçada com a rugosidade média após simulação de ajuste oclusal com ponta diamantada de granulação fina em alta rotação sob refrigeração, seguido pelo acabamento e polimento com o conjunto de abrasivos Edenta. De acordo com os resultados obtidos pela análise de variância e ao teste

de Tukey ($p < 0,05$), concluiu-se que o polimento da cerâmica Duceram-Plus (Degussa) proporcionou aumento da rugosidade média ($0,3234 \mu\text{m}$), quando comparado com o autoglazeamento ($0,1681$). Os ensaios foram realizados após armazenagem em água destilada a 37°C por sete dias.

Em um estudo que avaliava os efeitos da hidrólise em ácido e do polimento mecânico na produção de tensões residuais na superfície de cerâmicas de baixa fusão, Alkhiary *et al.* (2003), encontraram que o polimento diminuiu a média de propagação de trincas na superfície dos materiais ensaiados, exceto na cerâmica de dentina Duceram-LFC. Os autores reportaram que o procedimento de polimento além de remover defeitos superficiais criados na fabricação, provavelmente produz tensões compressivas desejáveis na camada externa da cerâmica, devido ao calor gerado pela fricção que causa diferença de expansão térmica entre a camada externa e interna.

Sasahara (2003) verificou maior tenacidade à fratura nas cerâmicas polidas que nas glazeadas. Em relação à rugosidade, observou maior lisura superficial em superfícies glazeadas do que nas polidas, com exceção da cerâmica Finesse que apresentou resultados superiores para o polimento. Por outro lado, a cerâmica Simbio (Degussa) apresentou valores mais baixos de rugosidade superficial dentre as cerâmicas ensaiadas. O uso de pasta diamantada diminuiu a rugosidade de superfície medida pelos parâmetros Ra e Rz, principalmente quando utilizada após os discos SofLex. De maneira geral, houve concordância entre os resultados obtidos pela análise visual subjetiva, pelo rugosímetro e pela M.E.V. (500X).

2.3 Cerâmicas odontológicas: aspectos relativos à dureza

O desgaste dental pode acontecer em condições fisiológicas ou patológicas e uma variedade de métodos como avaliação clínica ou com a utilização de máquinas, que simulam situações de desgaste, podem ser utilizados. Segundo Graig (1976), apesar da mensuração de propriedades como dureza e coeficiente de fricção nem sempre revelarem a natureza do processo de desgaste, não consomem muito tempo como os estudos clínicos, que são difíceis de quantificar e

não permitem avaliação por diferentes parâmetros que estão relacionados com desgaste.

Idealmente, uma restauração deve ser desgastada na mesma intensidade que o esmalte dental, ou seja, em torno de 23 μm na região de pré-molares a 39 μm na região de molares por ano, segundo Lambrechts *et al.* (1987). Tradicionalmente, o valor de dureza dos materiais é considerado um fator decisivo nesse complexo mecanismo de desgaste.

O ensaio de dureza mede a habilidade de um material resistir à deformação plástica e está relacionado com as propriedades de resistência, limite de proporcionalidade e ductibilidade. Os mais freqüentes ensaios de dureza utilizados são Barcol, Brinell, Rockwell, Shore, Vickers e Knoop. A seleção do tipo de teste deve ser determinada de acordo com o material a ser analisado.

Os ensaios de dureza Knoop e Vickers empregam cargas de no máximo 9,8 N (1000 g) e as penetrações resultantes são pequenas e limitadas a uma profundidade de 19 μm , e por isso também são chamados ensaios de microdureza (Anusavice, 1998). O ensaio de dureza Vickers utiliza uma ponta piramidal de 136 graus de diamante com base quadrada e é o mais adequado para determinar a dureza de materiais fráveis, como esmalte e cerâmica dental.

Do ponto de vista físico, o ensaio de dureza pode ser visto como um mecanismo predominante de deformação, principalmente em sólidos plásticos, relatando diretamente o escoamento entre as moléculas. Entretanto, em sólidos covalentes e fráveis como as cerâmicas, essa correspondência torna-se duvidosa, pois o limite de resistência ao cisalhamento é atingido antes que o escoamento ocorra. Apesar dessas complicações, Lawn & Marshall (1979) afirmaram que a dureza (H) é o parâmetro de deformação mais acessível na classificação dos materiais resistentes, podendo ser utilizado na mensuração da friabilidade dos materiais, pela razão com a tenacidade à fratura (H/Kc), que é a propriedade relacionada a habilidade de um material iniciar e propagar uma trinca.

Adair & Grossman (1984), em um trabalho sobre cerâmica obtida por fundição com a técnica de cera perdida, comparou diferentes propriedades e materiais restauradores, relacionando resultados obtidos pelo Departamento de

Propriedades Físicas da Corning Glass Work (N.Y.) com os resultados relatados por Graig (1980). Em relação à dureza Knoop, os valores foram: porcelana: 460 KHN; cerâmica por fundição: 362 KHN; esmalte dental: 343 KHN; liga de ouro: 90 a 220 KHN; amálgama: 110 KHN; dentina: 68 KHN e compósito: 30 KHN.

Segundo Li *et al.* (1989), a análise da distribuição das tensões produzidas pelas penetrações é extremamente complexa, provavelmente devido à anisotropia individual dos grãos dos sólidos cristalinos, principalmente das cerâmicas multifásicas. Esses autores investigaram além da tenacidade à fratura, a influência da carga utilizada na dureza Vickers e Knoop de uma cerâmica de carbeto de silício. As fórmulas utilizadas foram:

$$Hv = 463,6 \times P/a'' \text{ (GPa)} \quad \text{e} \quad Hk = 14229 \times P/d^2 \text{ (GPa)}$$

Uma elevada dependência da dureza em função da carga utilizada (P) foi encontrada, principalmente quando baixas cargas foram aplicadas. A dureza Vickers permaneceu essencialmente constante com cargas maiores que 3 N, momento que observou-se o desenvolvimento de trincas. Contrariamente, em cargas de até 10 N, não foi observada a formação de trincas no teste de dureza Knoop, que apresentou um decréscimo contínuo dos valores de dureza com o aumento da carga aplicada. A porcentagem de penetrações inaceitáveis para mensuração de trincas também foi dependente da carga, variando de 20 % em cargas de 3 N a 35 % em cargas de 10 N.

Em 1991, Seghi *et al.*, realizaram um estudo com diferentes cerâmicas odontológicas (Dicor base e cobertura, Vita VMK68, Optec) e lâmina de vidro (controle) para verificar a correlação entre a dureza das cerâmicas e o desgaste do esmalte dental antagonista. Cilindros de dente humano contendo esmalte e dentina foram obtidos a partir de cúspides linguais de terceiros molares superiores extraídos e posicionados em um aparato que produzia um deslizamento contínuo com carga de 0,65 N sobre os discos de cerâmica estudados, em períodos de quatro horas, utilizando água destilada como meio. O ensaio de dureza Knoop foi realizado com uma carga de 4,9 N, centralmente nos discos de cerâmica, onde não ocorrera abrasão. A cerâmica Optec H.S.P. (vidro reforçado por leucita) apresentou maior valor de desgaste de esmalte (176µm) e a cerâmica Dicor,

menores valores de desgaste (72 μ m). A cerâmica feldspática de cobertura Dicor obteve os maiores valores de dureza Knoop (441 \pm 18 Kg/mm²) e o vidro cerâmico Dicor os menores (379 \pm 10 Kg/mm²), o que resultou em baixa correlação entre a dureza da cerâmica e o potencial de abrasão no esmalte humano.

As normas JIS Z2244 (1992) e ISO 6507 estabelecem métodos para realização do teste de dureza Vickers em superfícies planas utilizando a fórmula: HV = 0,1891 X F/d²; onde: HV: dureza Vickers, F: Carga aplicada (N), d: Média de comprimento da diagonal (mm). Nenhum símbolo ou unidade é utilizado para os valores de HV.

Normalmente atribui-se um aumento na dureza à presença de cristais de leucita na composição das cerâmicas. A diferença de coeficiente de expansão térmica entre esses cristais e a matriz vítrea também pode comprometer as propriedades mecânicas dos materiais. Dessa forma, Kon *et al.* (1994) realizaram um estudo para avaliar a influência de diferentes quantidades de leucita nas propriedades mecânicas de cerâmicas produzidas com 3 tipos de matriz de vidro (vidro boro-silicato, vidro de soda cal e vidro de feldspato). Em relação à dureza Vickers, os autores relataram que as diversas matrizes vítreas utilizadas possuíam valor médio de 450 HV. Entretanto, com o aumento da dispersão da leucita, os valores de dureza tenderam a diminuir, podendo indicar que os cristais de leucita presentes possuíam menor dureza Vickers que as matrizes utilizadas.

Wassel *et al.* (1994) estudaram uma metodologia para ensaio de desgaste por fricção entre dois corpos que utilizava, em uma das superfícies, uma esfera de esteatita abrasiva acoplada, mineral com dureza próxima do esmalte. Segundo os autores a dureza de um material é a resistência que o mesmo oferece à deformação local e nem sempre está relacionada ao desgaste ocorrido no material. Após 10.000 ciclos, os autores observaram que apesar das resinas microparticuladas apresentarem menor dureza, elas foram mais resistentes ao desgaste. O desgaste produzido na esfera de esteatita foi ligeiramente maior do que no esmalte, sugerindo que a esteatita pode substituir o esmalte dental nesse tipo de ensaio.

Seghi *et al.* (1995) comentaram que a introdução rápida de novos materiais restauradores cerâmicos torna a seleção do material muito difícil. Por isso, realizaram um estudo utilizando penetração Vickers com carga de 9,8 N por 15 segundos, para comparar a tenacidade à fratura e a dureza Vickers desses materiais com cerâmicas feldspáticas e vidro de soda (Na_2O). Como esperado, os materiais reforçados por alumina (In-Ceran e Vitadur N) apresentaram maior módulo de elasticidade, dureza e tenacidade à fratura. Os valores de dureza variaram de 3,72 a 9,82 GPa. Dicor MGC, Dicor e vidro de soda não distinguiram estatisticamente e apresentaram os menores valores de dureza seguidos pelas cerâmicas reforçadas por leucita: Mirage II, IPS Empress, Excelco, Optec H.S.P. e VMK68.

Quinn & Quinn (1997) verificaram que a quantidade de carga aplicada tem influência na dureza de materiais friáveis até um certo limite. Quando uma cerâmica recebe baixa carga de penetração, a energia é dissipada em deformação volumétrica e processos de energia de superfície. Entretanto, quando cargas maiores são aplicadas, a dureza passa a não depender da carga, pois a energia passa a ser utilizada na formação e propagação de trincas, aliviando a deformação.

Prösbster *et al.* (1997) realizaram um trabalho com o objetivo de avaliar diversas propriedades do material de base e de cobertura da cerâmica feldspática prensada IPS Empress. O ensaio de dureza Vickers foi realizado com carga de 9,8 N por um período de 15 segundos e os valores calculados utilizando-se a expressão sugerida por Evans & Charles (1976): $H=0,47 \times F/a^2$; onde H = dureza Vickers (GPa), F = carga aplicada (N) e a = metade da diagonal da penetração. Assim como no teste de tenacidade à fratura, a dureza Vickers do material de base (504 ± 11) foi menor que a de cobertura (508 ± 10).

A resistência ao desgaste de nove cerâmicas (dentina) foi estudada por Derand & Vereby (1999) que compararam o peso dos espécimes cerâmicos antes e após ciclagem mecânica e a dureza. De acordo com os resultados obtidos, as cerâmicas apresentaram dureza similar, sendo que Finesse e Alpha (Vita) apresentaram os menores valores de dureza e Creation, os maiores. Finesse

apresentou menor resistência abrasão em relação à Duceragold e Ti-Ceram. Dentre as cerâmicas de alta fusão, a Alpha (Vita) apresentou maior desgaste em relação às demais.

O efeito do tempo de glazeamento na espessura do glaze, na dureza e tenacidade à fratura de uma cerâmica reforçada com 2 % de óxido de alumínio (Exelco) foi estudado por Baharav *et al.* (1999). O ensaio de dureza Vickers foi realizado com carga de 9,8 N por 20 segundos e as médias obtidas com cinco penetrações por corpo-de-prova. A espessura do glaze aumentou proporcionalmente ao tempo de glazeamento, sendo que o grupo submetido a 120 segundos atingiu a maior espessura de glaze ($8\mu\text{m}$) e também os maiores valores de tenacidade à fratura. O grupo submetido a 90 segundos apresentou maior média de dureza ($553,6 \pm 39$ VHN), mas não diferiu do grupo 120 seg ($546,6 \pm 34,7$ VHN). O grupo submetido a 60 seg obteve os menores valores ($454,5 \pm 12,9$) de dureza. Baixa correlação de Pearson foi encontrada entre tenacidade à fratura e dureza em todos os tempos de glazeamento.

Segundo Shortall *et al.* (2002), a interação tribológica entre duas superfícies é determinada pela combinação de inúmeras propriedades dos materiais contactantes. Com o objetivo de verificar o potencial dos materiais avaliados (aço, esteatita e cerâmica IPS Classic) em substituir o esmalte dental humano nos testes de desgaste, realizaram um estudo envolvendo dureza Vickers, ciclagem mecânica no esmalte dental, mensuração do coeficiente de fricção e rugosidade superficial após ciclagem. O ensaio de dureza Vickers foi realizado com carga de 200 g por 30 seg. Os resultados médios dos valores de dureza (Kg/mm^2) foram: IPS Classic: $582 \pm 16,6$; esteatita: $683,5 \pm 30$; esmalte dental: $332,3 \pm 9,5$ e aço: $217,8 \pm 7,8$. As penetrações na superfície da cerâmica proporcionaram trincas similares ao esmalte. Os autores concluíram que a cerâmica odontológica selecionada apresentou a melhor capacidade em substituir o esmalte dos materiais investigados.

Utilizando o tratamento de autoglaze realizado previamente como controle, Borges *et al.* (2002) verificaram a influência do desgaste abrasivo com ponta diamantada fina e polimento com o sistema Edenta na dureza Vickers de 20

discos de cerâmica feldspática Duceram - Plus (Degussa). Médias de nove penetrações realizadas com carga de 300 g por 30 segundos por disco foram calculadas e os dados submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey em nível de 5 %. A dureza da cerâmica polida (553,2 VHN) foi superior à cerâmica autoglaçada (513,1 VHN), $p < 0,005$. Os ensaios foram realizados após imersão em água destilada à 37°C por sete dias.

Sasahara (2003) realizou ensaio de dureza Vickers com carga de 19,6 N (2 Kg) por 20 segundos para avaliar 4 cerâmicas de cobertura. Os resultados encontrados possibilitaram concluir que a cerâmica Simbioceram (Degudent) obteve os menores valores de dureza, acompanhada em vários grupos pela Finesse. A dureza Vickers não foi influenciada pelos tratamentos de superfície das cerâmicas Finesse e Dsign, pois as médias foram estatisticamente semelhantes entre si para todos os grupos experimentais. Entretanto, para as cerâmicas Simbioceram (Degudent) e Super Porcelain EX 3 (Noritake), o glazeamento tendeu a produzir dureza menor que o polimento. A fórmula utilizada foi a preconizada por Lawn & Marshall (1979): $H = P/2a^2$ (GPa).

Segundo Albakry *et al.* (2003) a dureza é uma propriedade importante de comparação entre materiais restauradores, pois permite delinear a abrasividade que a dentição natural será submetida. De acordo com os autores, as cerâmicas IPS-Empress e IPS Empress 2 são os materiais mais representativos dentre as cerâmicas prensadas, devido a facilidade de uso, estética, resistência e tenacidade à fratura adequados. Assim, realizaram um estudo comparativo entre os materiais e uma cerâmica experimental envolvendo diferentes ensaios mecânicos. O ensaio de dureza Vickers foi realizado como recomendado pela ASTM C 1327-99 (1999), com carga de 1,5 N para prevenir a formação de trincas radiais. De acordo com os resultados, a cerâmica IPS Empress ($6,6 \pm 0,4$ GPa) apresentou valores de dureza estatisticamente superiores em relação a cerâmica IPS-Empress 2 ($5,3 \pm 0,2$ GPa) e a experimental ($5,5 \pm 0,2$ GPa).

Uma composição sem leucita e um processo de fabricação hidrotérmico conduzido por calor e vapor na cerâmica Duceram-LFC, têm sido relatado como os responsáveis por diminuir a dureza dessa cerâmica. Os fabricantes alegam que

a camada de Si-OH de 3 μm na superfície se forma após imersão em meio aquoso, podendo selar falhas de superfície e aumentar a resistência hidrolítica, além ser capaz de sofrer deformação plástica ao invés de fratura. Palin *et al.* (2003) realizaram um estudo verificando a influência do polimento (6 μm) e imersão em água destilada por 24 e 48 horas à 37°C nas propriedades mecânicas da cerâmica Duceram-LFC. A imersão em água não influenciou os resultados. A média de dureza Vickers (VHN) das amostras ensaiadas a seco (542 ± 30), após imersão por 24 horas (549 ± 36) e 48 horas (559 ± 45) não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$). Os autores relataram que a dureza das cerâmicas é determinada principalmente pela homogeneidade e porosidade da microestrutura. Observaram através de M.E.V. que as amostras polidas apresentavam um decréscimo na porosidade aparente (1,13 – 1,62%) que pode estar associado ao incremento na média de resistência bi-axial quando comparado com o grupo controle, entretanto não verificaram a influência do polimento na dureza superficial.

Rizkalla & Jones (2004) relataram que um pequeno aumento na tenacidade à fratura pode proporcionar a um grande aumento na habilidade do material absorver energia, e realizaram um trabalho com o objetivo de avaliarem o módulo de elasticidade, a tenacidade à fratura e a dureza de quatorze cerâmicas odontológicas. O ensaio de dureza Knoop foi realizado com cargas que variavam de 1,96 a 9,80 N. O ranqueamento SNK agrupou as cerâmicas em seis grupos com valores de dureza estatisticamente semelhantes ($p = 0,05$). Os autores observaram que o módulo de elasticidade, dureza e a tenacidade à fratura das cerâmicas opacas foram significativamente maiores do que os materiais de corpo e incisais. A cerâmica opaca Vita apresentou os mais altos valores de dureza (4,30 GPa), seguida pelo opaco Will Ceram e Finesse e a cerâmica Duceragold o menor valor de dureza Knoop (3,27 GPa). A cerâmica Will Ceram dentina apresentou o segundo menor valor de dureza, mas não diferiu estatisticamente das cerâmicas Synspar (Lakeland Dental), incisal Will Ceram, Ivoclar Classic, dentina e opalescente Vintage, dentina e opaco Ceramco e Final Touch (Dentsply Detrey/Beria Division) respectivamente em ordem crescente de valores de dureza.

3 PROPOSIÇÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar a rugosidade de superfície e a dureza Vickers de 8 materiais cerâmicos utilizados para cobertura incisal, após serem submetidos a 4 tratamentos de superfície: polimento mecânico com sistema Shofu, polimento mecânico + pasta diamantada, polimento mecânico + glaze e glaze (controle).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

As cerâmicas odontológicas incisais (Tipo I, Classe III) utilizadas nesse estudo (Quadro I e Figura 1) são indicadas para recobrimento da cor de dentina A3 de restaurações protéticas de cerâmica pura prensada (CPP), pura obtida por desgaste (CD) ou metalocerâmicas (MC).

Quadro I – Cerâmicas odontológicas, nome comercial, fabricante, descrição e indicação.

Nome Comercial	Fabricante	Descrição	Indicação
Ceramco 3	Dentsply	Vidro-Leucita	MC
Cercon CS	Degudent	Baixa fusão, sem Leucita	CD
Dsign	Ivoclar	35 % de Fluorapatita e Leucita	MC
Finesse	Dentsply	Baixa fusão, 7 % de Leucita	CPP
Vintage	Shofu	Vidro-Leucita, 60 % Sílica	MC
Vision	Wohwend	Vidro-Leucita	MC
Vision Esthetic	Wohwend	Baixa fusão, Vidro-Leucita	CPP
Will Ceram	Ivoclar	Vidro-Leucita, 55 % Sílica	MC



Figura 1 – Cerâmicas odontológicas incisais.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Confeção dos discos de cerâmica

A técnica de manipulação e aplicação simulou o método laboratorial convencional. O pó das cerâmicas foi aglutinado ao líquido modelador em placa de vidro com auxílio de espátula flexível (KOTA) para cerâmica, até homogeneização da mistura e obtenção de consistência pastosa e brilhante que não se desprende da espátula (Figuras 2 A, B e C). Para as cerâmicas Ceramco e Finesse, o pó foi aglutinado à água deionizada conforme indicado pelo representante (Microdent).

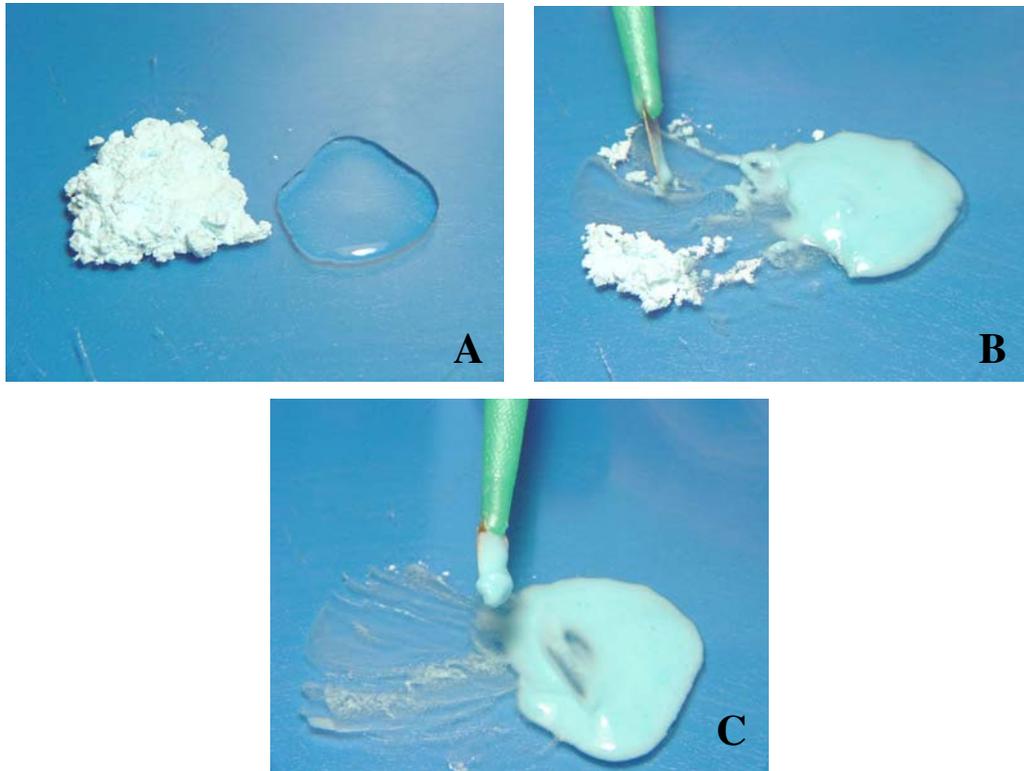


Figura 2 – (A, B e C) - Técnica de manipulação e obtenção da consistência desejada.

Foram confeccionados quarenta discos para cada marca comercial de cerâmica, a temperatura ambiente de $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $50\% \pm 5$. Os discos foram confeccionados utilizando uma matriz metálica cilíndrica, com cavidade cônica de 2 mm de espessura por 8 mm de diâmetro na região de superfície e 7 mm de diâmetro na região oposta (Figura 3 A). As paredes internas do orifício da matriz apresentavam-se expulsivas e polidas para facilitar a remoção dos discos de cerâmica. A matriz metálica foi adaptada sobre a superfície plana da base cilíndrica, que possuía 15 mm de diâmetro por 7 mm de altura, e um êmbolo de 7 mm de diâmetro por 2 mm de altura na face oposta (Figura 3 B).



Figura 3 – (A) Matriz metálica expulsiva; (B) - Base

A inserção da cerâmica na matriz foi realizada utilizando-se um pincel número 3 de pelo de marta (Ivoclar) umedecido com água deionizada, iniciando-se na região da base menor até o completo preenchimento com excesso (Fig. 4 A, B e C).

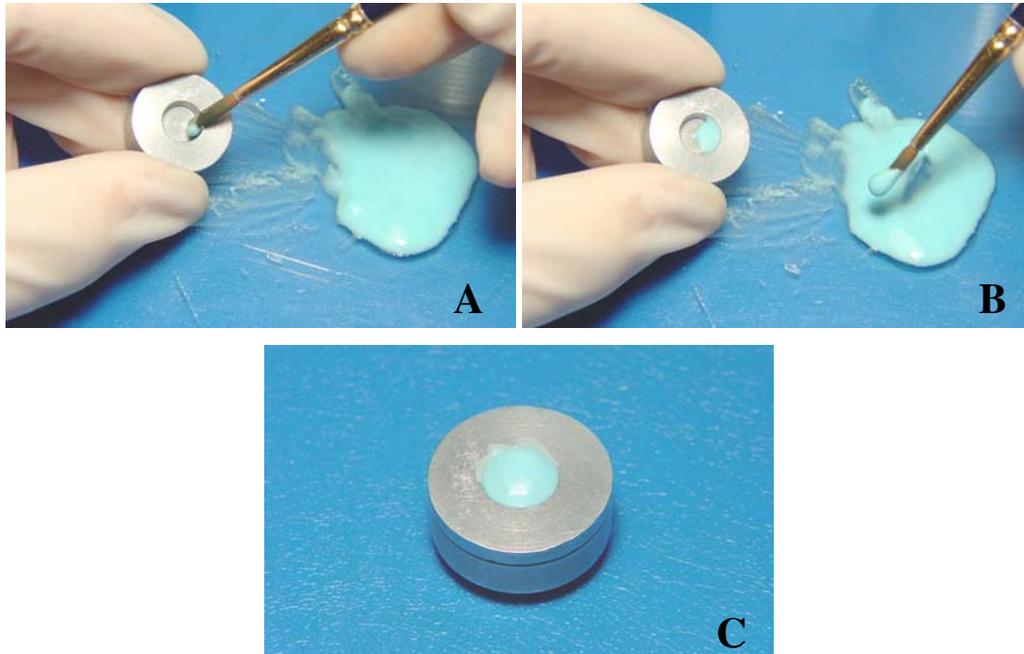


Figura 4 – (A, B e C) - Inserção da cerâmica na matriz metálica.

O processo de condensação da cerâmica foi realizado sob vibração moderada e o excesso de líquido removido com papel absorvente, simulando técnica laboratorial convencional (Figura 5 A e B). A remoção dos excessos de cerâmica foi realizada deslizando a matriz metálica sobre uma superfície plana revestida com papel absorvente liso de maneira a planificar as duas faces dos discos (Figuras 5 C e D e 6 A).

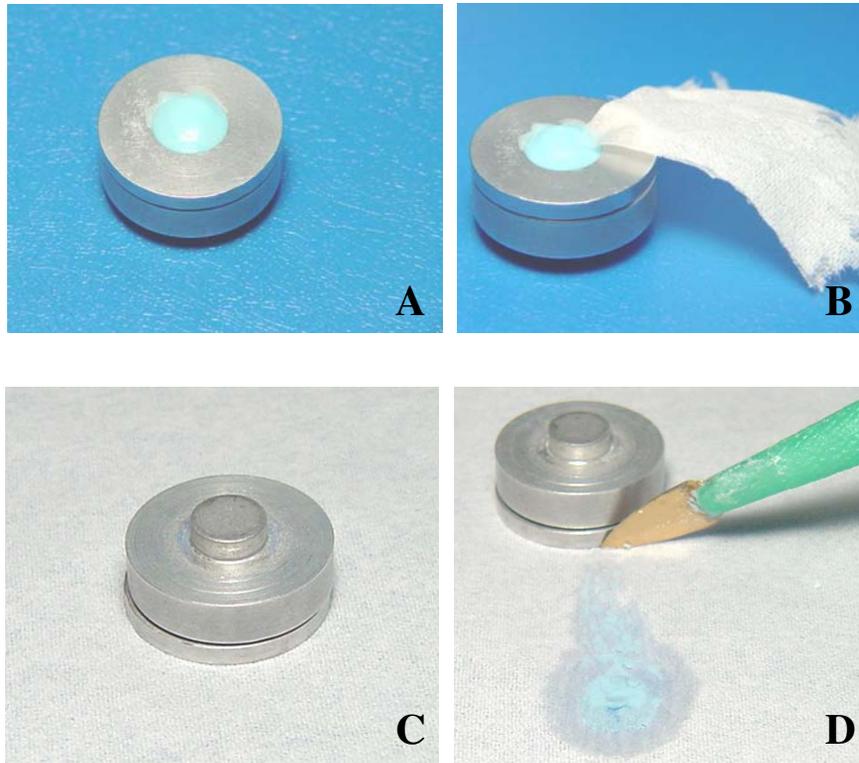


Figura 5 – (A e B) - Condensação da cerâmica e remoção do excesso de líquido
(C e D) - Remoção do excesso de cerâmica.

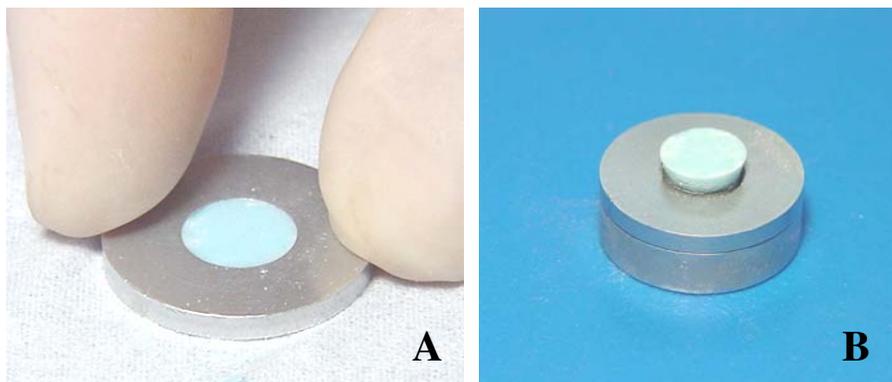


Figura 6 (A) - Planificação da face oposta do disco de cerâmica;
(B) - Remoção dos discos com o êmbolo.

Com a pressão do êmbolo na base menor da matriz, os discos foram removidos (Figura 6 B) e colocados sobre uma superfície refratária lisa e plana em séries de 16 discos, igualmente distribuídos e com a base maior voltada para baixo (Figura 7 A).

A sinterização foi realizada em um forno DEKEMA (DeguDent) de acordo com as temperaturas recomendadas pelos fabricantes (Quadro II). Todos os corpos-de-prova foram confeccionados pelo mesmo operador.

Quadro II – Ciclos de sinterização das cerâmicas: Pré-aquecimento, Temperatura Inicial, Temperatura de início do vácuo, Temperatura Final, Velocidade de Aquecimento, Tempo de Manutenção do forno fechado com ou sem vácuo.

Cerâmica Incisal	Pré-aq. (min.)	T.Inicial (°C)	T.Vácuo (°C)	T. Final (°C)	Vel. Aq. (°C/min.)	T. Manut. (min.)	Vácuo (mm/Hg)
Ceramco 3	10	650	650	960	55	0	29
Cercon CS	6	450	450	840	60	1	29
Dsign	6	403	450	870	60	1	0
Finesse	10	450	450	760	35	0,5	29
Vintage	5	450	450	910	60	0	29
Vision	6	400	920	920	50	1	29
Vision Est.	4	400	400	770	45	1	29
Will Ceram	6	400	550	950	55	0,5	0

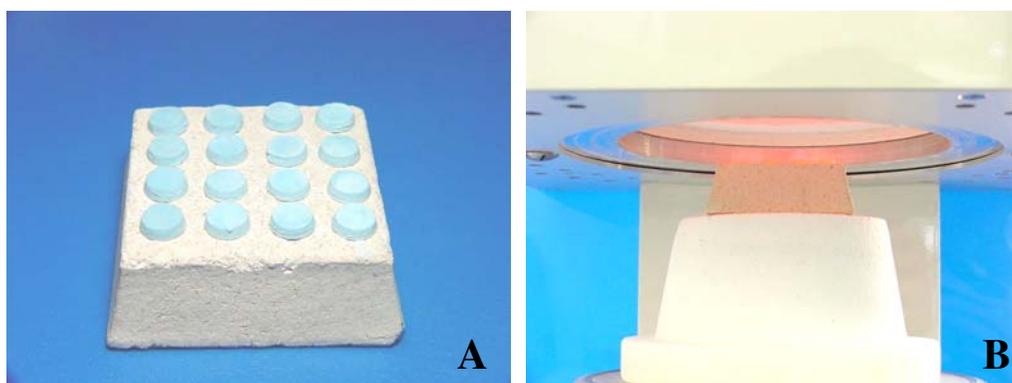


Figura 7 (A) – Discos cerâmicos posicionados sobre a superfície refratária;
(B) – Esfriamento dos discos de cerâmica.

4.2.2 Tratamentos de superfície

Para realização dos tratamentos de superfície, foram confeccionadas matrizes plásticas com tubetes para anestésico. Um disco de cerâmica foi vaselinado em sua base menor, posicionado no interior de um tubete plástico para anestésico preenchido com resina acrílica quimicamente ativada (Duralay) na fase plástica. O posicionamento do disco no tubete foi realizado com a base maior para cima, de maneira a deixar exposto 0,5 mm de espessura do disco além da borda do tubete.

Após polimerização da resina acrílica e remoção do disco cerâmico que serviu como modelo, iniciou-se a seleção aleatória dos discos para realização dos tratamentos de superfície.

4.2.2.1 Simulação de ajuste oclusal por desgaste abrasivo

Inicialmente, as cerâmicas foram submetidas ao desgaste com pontas diamantadas cilíndricas de granulação fina (45 μm) (3098 F - KG Sorensen) (Figura 8) acoplada à caneta de alta rotação (Kavo do Brasil), com pressão manual moderada simulando ajuste oclusal clínico e sob refrigeração.



Figura 8 - Pontas 3098 F (vermelha – 45 μm) e 3098 FF (amarela – 30 μm).

O desgaste da superfície foi realizado tomando-se o cuidado de deixar a superfície o mais regular possível com uma ponta diamantada fina 3098 F (Figura 9 A, B e C).

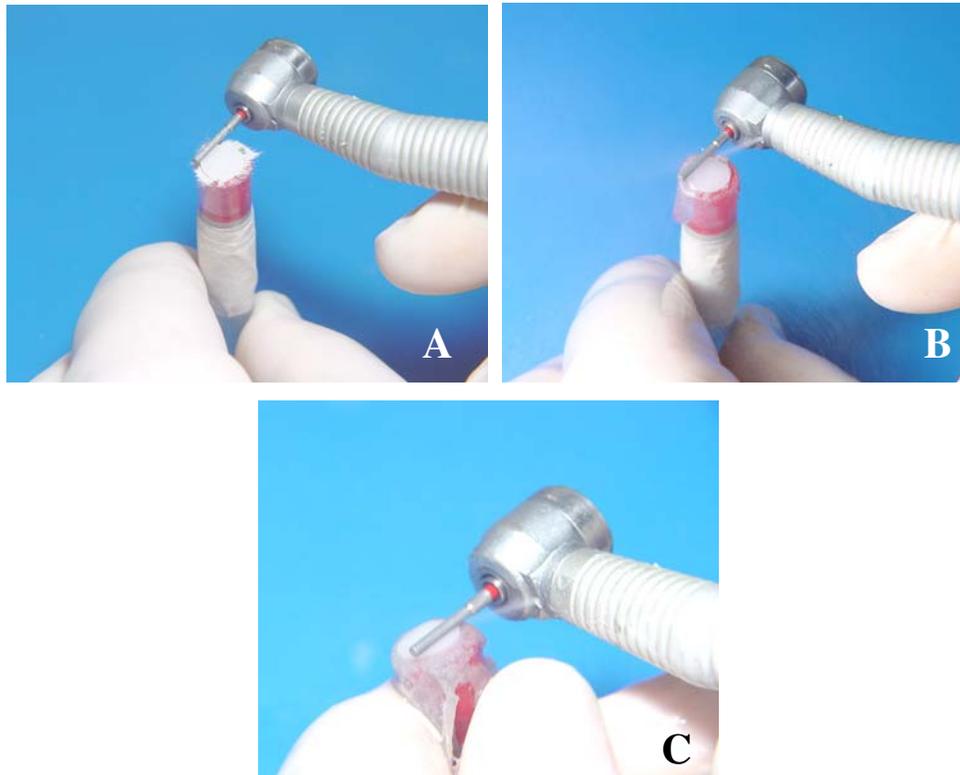


Figura 9 (A, B e C) – Realização do desgaste abrasivo com ponta diamantada 3098 F.

Os discos cerâmicos foram observados com aplicação de jato de ar, mantendo as superfícies levemente umedecidas para facilitar a visualização de possíveis irregularidades superficiais como ondulações. Quando necessárias correções foram realizadas girando-se a posição dos discos. As pontas diamantadas foram trocadas a cada cinco amostras. Em seguida, todo procedimento de desgaste foi repetido com ponta diamantada extrafina ($30\ \mu\text{m}$) (3098 FF – KG Sorensen) (Figura 10) e a limpeza dos discos realizada em ultrassom por dez minutos.



Figura 10 – Realização do desgaste abrasivo com ponta diamantada 3098 FF.

4.2.2.2 Polimento e Glaze

Dos 40 corpos-de-prova cerâmicos de cada marca comercial, 10 foram separados aleatoriamente para tratamento da superfície com glaze (controle) e 30 foram polidos mecanicamente utilizando-se o sistema Shofu de polimento em baixa rotação, empregando movimentos circulares e pressão moderada. O sistema possui uma pedra de óxido de alumínio de granulação fina (Dura-white) e três pontas de borracha (Ceramisté), que foram utilizadas seguindo ordem decrescente de abrasividade (sem tarja, tarja amarela e tarja branca) (Figura 11 A) por 40 segundos cada, num total de 160 segundos por disco cerâmico.

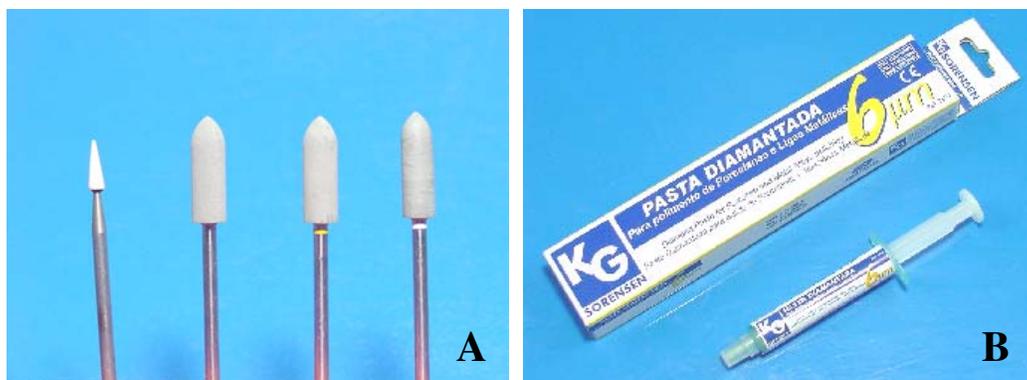


Figura 11(A) - Sistema Shofu de Polimento.

(B) - Pasta diamantada 6 µm (KG Sorensen).

Dos 30 discos polidos, 10 foram selecionados aleatoriamente para polimento complementar com pasta diamantada 6 μm (KG Sorensen) (Figura 11 B) e 10 receberam glaze, constituindo os seguintes grupos experimentais:

- GRUPO P (10 discos): Polimento com abrasivos Shofu.
- GRUPO PP (10 discos): Polimento com abrasivos Shofu e pasta diamantada.
- GRUPO PG (10 discos): Polimento com abrasivos Shofu e Glaze.
- GRUPO G (disco 31 a 40): Sem polimento, grupo controle (Glaze).

O polimento de 10 discos cerâmicos com pasta diamantada do grupo PP foi realizado com uma roda de feltro (TDV) montado em mandril baixa rotação por 40 segundos.

Uma pasta glazeadora de baixa fusão e líquido específico para glaze foram misturados em quantidades iguais e uma fina camada foi aplicada com pincel n° 3 (overglaze) sobre a superfície dos discos de cerâmica dos grupos PG (polimento + glaze) e G (Glaze). Para as cerâmicas Ceramco e Finesse foi efetuado o procedimento de glazamento natural (autoglaze), sem pasta glazeadora, conforme recomendado pelo representante (Microdent). Os ciclos de glazamento foram efetuados de acordo com as temperaturas recomendadas pelos fabricantes (Quadro III).

Quadro III – Ciclos de glazamento: Pré-aquecimento, Temperatura Inicial, Temperatura Inicial de Vácuo, Temperatura Final, Velocidade de Aquecimento, Tempo de Manutenção do forno fechado com ou sem vácuo.

Cerâmica Incisal	Pré-aq. (min.)	T.Inicial (°C)	T.Vácuo (°C)	T. Final (°C)	Vel. Aq. (°C/min.)	T. Manut. (min.)	Vácuo (mm/Hg)
Ceramco *	6	650	-	960	70	0,5	0
Cercon	6	450	-	810	60	2	0
Dsign	4	403	450	830	60	2	0
Finesse *	6	450	-	750	70	0	0
Vintage	5	450	-	900	60	0	0
Vision	2	400	-	910	60	1	0
Vision Est.	5	400	-	740	45	2	0
Will Ceram	3	400	-	930	55	0,5	0

* Glaze Natural.

4.2.3 – Ensaio de rugosidade de superfície

Todos os discos de cerâmica foram limpos com água deionizada em ultrassom por 10 minutos, secos sobre papel absorvente e levados individualmente ao rugosímetro Surf-Corder (SE 1700).

Um dispositivo plástico contendo cera utilidade serviu de suporte para posicionamento dos discos, ficando a superfície tratada voltada para cima e paralela à base do suporte (Figura 12).

O aparelho foi calibrado com um filtro de medição em 0,25mm (cut-off), velocidade de leitura de 0,1 mm/seg e comprimento de avaliação de 1,25mm. Foram feitas três leituras com a agulha do perfilômetro passando pelo centro geométrico das amostras, em três posições diferentes, obtidas girando os corpos-de-prova em torno de 60°. Dessa forma, totalizou-se 960 leituras e as médias foram calculadas.

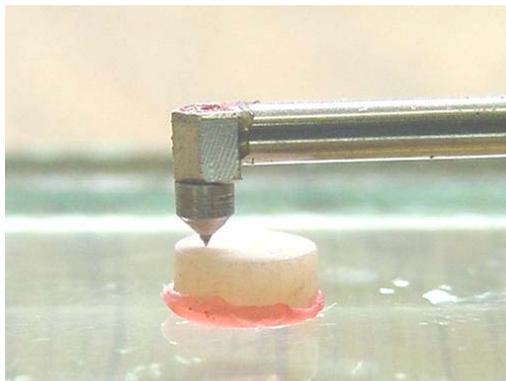


Figura 12 (A) – Posicionamento do disco cerâmico no rugosímetro.

O parâmetro avaliado foi Ra (Rugosidade Média): é a média aritmética obtida pelos desvios de rugosidade do perfil. Pode ser definida como a média do somatório das distâncias absolutas do perfil de rugosidade à linha central dentro do traçado avaliado.

4.2.4 - Ensaio de dureza Vickers

Após mensuração da rugosidade, todos os corpos-de-prova aleatoriamente selecionados foram levados individualmente ao aparelho de dureza HMV-2 (Shimadzu) (Figura 13). Com auxílio de um microscópio mensurador acoplado ao aparelho, áreas com maior homogeneidade próximas ao centro geométrico das superfícies tratadas dos discos foram selecionadas para realização do ensaio. O aparelho foi calibrado para carga de 1Kgf, atuando por 15 segundos.



Figura 13 – Microdurômetro HMV-2 (Shimadzu).

Com auxílio do microscópio mensurador acoplado ao aparelho, a dimensão da diagonal (d) das penetrações foram medidas e a dureza Vickers determinada de acordo com a fórmula: $Hv = 0,1891 F/d^2$ (Referência JIS Z2244 (1992) e ISO 6507), onde F = carga aplicada . As médias de dureza foram calculadas após realização de 5 penetrações em cada corpo-de-prova, totalizando 1600 medidas.

4.2.5 Microscopia eletrônica de varredura (M.E.V.)

Após realização dos ensaios, um corpo-de-prova de cada grupo de tratamento de superfície para cada tipo de cerâmica odontológica foi aleatoriamente selecionado para observação em microscopia eletrônica de varredura (M.E.V.).

Os corpos-de-prova foram limpos em ultra-som com água deionizada por 10 minutos, secos com papel absorvente e em estufa a 37^oC por mais 10 minutos e fixados com fita dupla face de carbono em bases metálicas numeradas (“stubs”).

Após ventilação com gás argônio por 5 vezes, a superfície das amostras foram revestidas com liga de ouro-paládio sob alto vácuo (Balzers – SCD 050 sputt coater, Alemanha) por 80 segundos e levadas ao microscópio eletrônico (Carl Zeiss DSM 940 A, Alemanha) ajustado com 15 KV, com o objetivo de examinar a morfologia de superfície das cerâmicas com aumento de 350 vezes.

4.2.6 Análise estatística dos dados

As médias obtidas nos ensaios de dureza Vickers e de rugosidade de superfície foram submetidas à Análise de Variância e ao teste Tukey, em nível de 5 %.

5 RESULTADOS

5.1 Rugosidade de superfície

As médias da rugosidade de superfície Ra (μm) dos oito tipos de cerâmica, submetidas a quatro tratamentos de superfície estão apresentados na Tabela 1 e Figura 14. Na rugosidade de superfície para a condição glaze, a cerâmica Vintage Halo foi estatisticamente superior as demais ($p < 0,05$). A cerâmica Vision Esthetic apresentou rugosidade estatisticamente superiores a Dsign, Cercon, Vision e Will Ceram ($p < 0,05$). A cerâmica Will Ceram apresentou a menor rugosidade com diferença estatisticamente superior em relação as demais, exceto para a cerâmica Cercon. Com relação a superfície polida + glaze foi observado que a cerâmica Vintage Halo apresentou valores de rugosidade estatisticamente superior as demais cerâmicas ($p < 0,05$). A cerâmica Vision esthetic apresentou rugosidade estatisticamente superior às cerâmicas Finesse, Dsign, Ceramco, Vision e Will Ceram ($p < 0,05$). A cerâmica Will Ceram apresentou a menor rugosidade com diferença estatisticamente superior em relação as demais, exceto para Ceramco e Vision. Nenhuma diferença estatística foi observada entre todas as cerâmicas para os tratamentos de superfície polimento e polimento + pasta diamantada ($p > 0,05$).

Quando comparamos os quatro tratamentos de superfície para cada cerâmica, observamos que as superfícies glaze e polimento + glaze da cerâmica Vintage Halo apresentou valores de rugosidade estatisticamente superiores ao polimento e polimento + pasta ($p < 0,05$). As superfícies glaze, polimento e polimento + glaze das cerâmicas Vision Esthetic e Dsign apresentaram valores de rugosidade estatisticamente superiores ao polimento + pasta ($p < 0,05$). A cerâmica Finesse e Cercon apresentaram maiores valores de rugosidade para as condições glaze e polimento, diferindo estatisticamente do polimento + pasta ($p < 0,05$). A cerâmica Vision nas condições glaze e polida apresentou valores de rugosidade estatisticamente superior as condições polida + glaze e polida + pasta ($p < 0,05$). A cerâmica Ceramco na condição glaze apresentou valores de rugosidade estatisticamente superiores à polida + glaze e polida + pasta ($p < 0,05$). A cerâmica

Will Ceram apresentou os maiores valores de rugosidade para a condição polimento, com diferença estatística em relação às superfícies glaze, polimento + glaze e polimento + pasta ($p < 0,05$)

Tabela 1 - Valores médios de rugosidade de superfície Ra (rugosidade média - μm) de oito tipos de cerâmica incisal, submetidas a 4 tratamentos de superfície (Glaze, Polimento com Sistema Shofu, Polimento com sistema Shofu + glaze, Polimento com Sistema Shofu + pasta diamantada).

CERÂMICAS	TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE			
	GLAZE	POLIMENTO SISTEMA SHOFU	POLIMENTO SISTEMA SHOFU + GLAZE	POLIMENTO SISTEMA SHOFU + PASTA DIAMANTADA
VINTAGE HALO	1,617 (0,643) a,A	0,362 (0,071) a,B	1,540 (0,509) a,A	0,158 (0,057) a,B
VISION ESTHETIC	0,691 (0,178) b,A	0,485 (0,087) a,A	0,667 (0,242) b,A	0,133 (0,028) a,B
FINESSE	0,564 (0,157) bc,A	0,477 (0,055) a,A	0,359 (0,065) cd,AB	0,164 (0,055) a,B
CERAMCO	0,522 (0,114) bc,A	0,331 (0,040) a,AB	0,220 (0,057) cde,BC	0,116 (0,072) a,C
VISION	0,427 (0,137) c,A	0,486 (0,184) a,A	0,205 (0,161) de,B	0,122 (0,026) a,B
DSIGN	0,412 (0,114) c,A	0,424 (0,041) a,A	0,381 (0,176) cd,A	0,142 (0,047) a,B
CERCON	0,366 (0,188) cd,AB	0,483 (0,113) a,A	0,454 (0,170) bc,A	0,197 (0,083) a,B
WILL CERAM	0,142 (0,091) d,B	0,409 (0,049) a,A	0,112 (0,050) e,B	0,114 (0,034) a,B

Médias seguidas por letras distintas minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si, em nível de 5% pelo teste de Tukey. Desvio padrão entre parênteses.

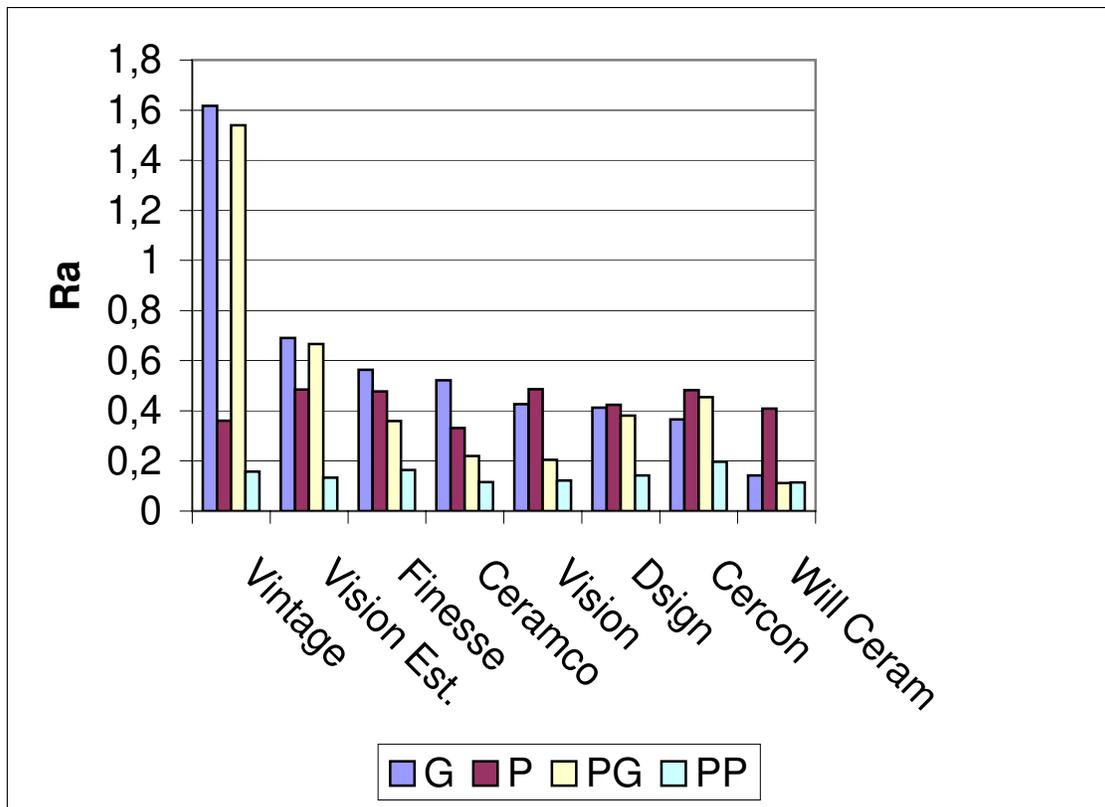


Figura 14 – Rugosidade média (Ra) das cerâmicas após tratamentos de superfícies finais.

5.2 Dureza Vickers

As médias da dureza Vickers dos oito tipos de cerâmica, submetidas a quatro tratamentos de superfície estão apresentados na Tabela 2 e Figura 15. A dureza Vickers para a condição glaze, as cerâmicas Dsign, Vision, Vision Esthetic e Finesse foram estatisticamente superiores às cerâmicas Will Ceram, Cercon e Ceramco ($p < 0,05$). A cerâmica Vintage Halo apresentou a menor dureza com diferença estatisticamente superior em relação às demais, para a condição polimento ($p < 0,05$). Com relação à superfície polida + glaze foi observado que a cerâmica Finesse, Will Ceram, Vision Esthetic e Ceramco apresentaram valores de dureza estatisticamente superiores as demais cerâmicas ($p < 0,05$). A cerâmica Cercon apresentou a menor dureza. Na condição superfície polida + pasta diamantada a cerâmica Cercon apresentou a menor dureza com diferença estatisticamente superior em relação às demais ($p < 0,05$).

Quando comparados, os quatro tratamentos de superfície para cada cerâmica mostram que para as cerâmicas Finesse e Vision Esthetic, nenhuma diferença estatística foi observada ($p > 0,05$). As superfícies polimento, polimento + glaze e polimento + pasta das cerâmicas Will Ceram e Ceramco apresentaram valores de dureza Vickers estatisticamente superiores ao glaze ($p < 0,05$). As superfícies polidas das cerâmicas Dsign e Vision apresentaram valores de dureza Vickers estatisticamente superiores ao polimento + glaze ($p < 0,05$). A cerâmica Vintage Halo na condição glaze apresentou valores de dureza estatisticamente superiores à condição polimento + glaze ($p < 0,05$). A cerâmica Cercon, na condição polimento apresentou valores de dureza estatisticamente superiores aos demais tratamentos ($p < 0,05$).

Tabela 2 - Valores médios de dureza Vickers (VHN) de oito tipos de cerâmica incisal, submetidas a 4 tratamentos de superfície (Glaze, Polimento com sistema Shofu, Polimento com sistema Shofu + glaze, Polimento com sistema Shofu + pasta diamantada).

CERÂMICAS	TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE			
	GLAZE	POLIMENTO SISTEMA SHOFU	POLIMENTO SISTEMA SHOFU + GLAZE	POLIMENTO SISTEMA SHOFU + PASTA DIAMANTADA
DSIGN	541,6 (35,28) a,AB	575,5 (33,23) a,A	498,5 (35,28) b,B	533,3 (47,02) ab,AB
FINESSE	540,06 (55,18) ab,A	572,1 (52,48) a,A	566,6 (37,74) a,A	548,4 (33,37) a,A
VISION	527,8 (24,54) ab,AB	567,5 (40,76) a,A	506,9 (36,96) b,B	539,3 (22,28) a,AB
VISION ESTHETIC	521,1 (22,67) ab,A	557,3 (58,20) a,A	541,3 (15,64) ab,A	515,1 (31,59) ab,A
VINTAGE HALO	484,7 (64,91) bc,A	452,6 (65,61) b,AB	433,6 (54,08) c,B	481,6 (38,18) bc,AB
WILL CERAM	463,8 (37,39) c,B	559,2 (27,59) a,A	546,0 (20,48) ab,A	537,9 (29,72) ab,A
CERCON	447,7 (46,17) c,B	536,5 (39,00) a,A	364,0 (73,21) d,C	456,2 (48,20) c,B
CERAMCO	437,68 (43,78) c,B	548,2 (35,01) a,A	538,3 (43,43) ab,A	502,5 (40,72) abc,A

Médias seguidas por letras distintas minúscula na coluna e maiúscula na linha diferem entre si, em nível de 5% pelo teste de Tukey. Desvio padrão entre parênteses.

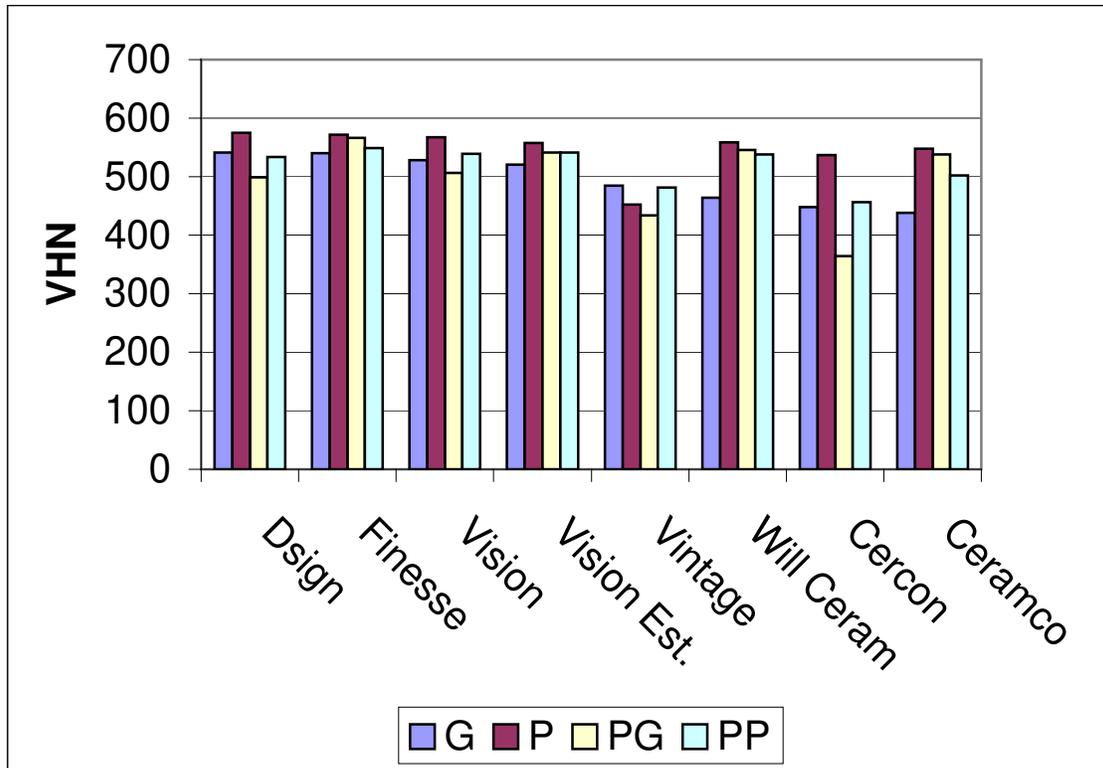
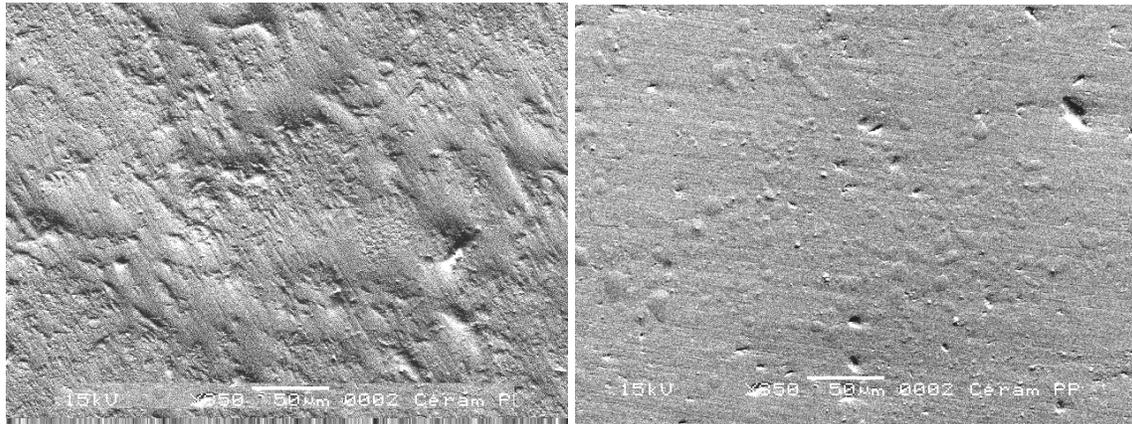


Figura 15 – Valores médios de dureza Vickers das cerâmicas após tratamentos de superfícies finais.

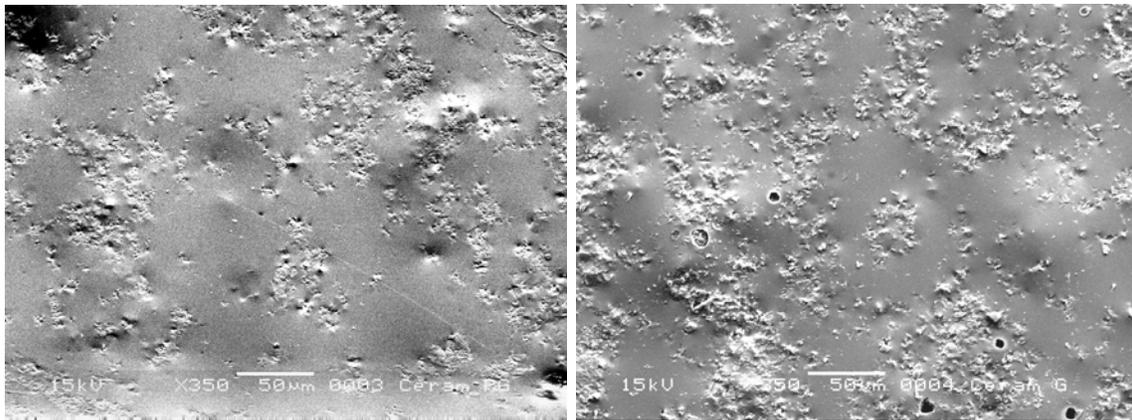
5.3 Microscopia eletrônica de varredura

As Figuras 16 a 23 mostram imagens de M.E.V. (350X) das superfícies das cerâmicas (Ceramco, Cercon, Dsign, Finesse, Vintage Halo, Vision, Vision Esthetic e Will Ceram) após serem submetidas a quatro tratamentos de superfície (polimento mecânico com sistema Shofu; polimento mecânico com sistema Shofu + pasta diamantada; polimento mecânico com sistema shofu + glaze e glaze).



Polimento

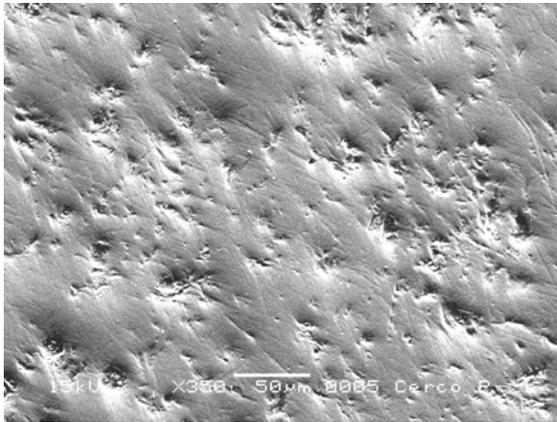
Polimento + pasta



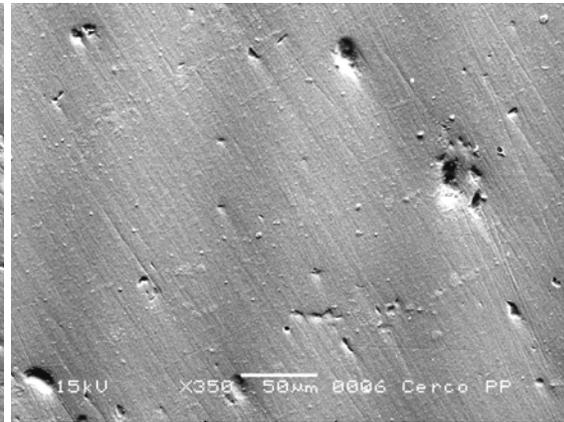
Polimento + glaze

Glaze

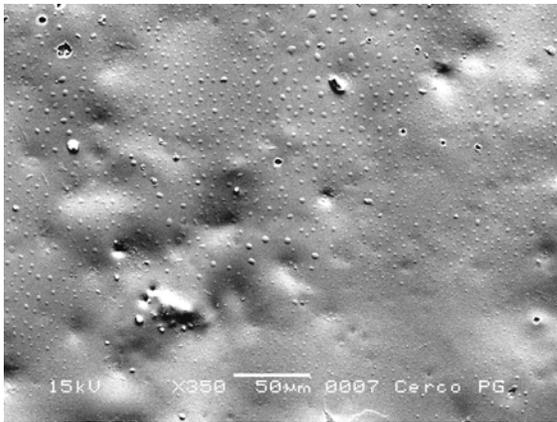
Figura 16 – Aspecto morfológico da superfície da cerâmica Ceramco após os tratamentos de superfície (polimento, polimento + pasta, polimento + glaze e glaze) (350 X).



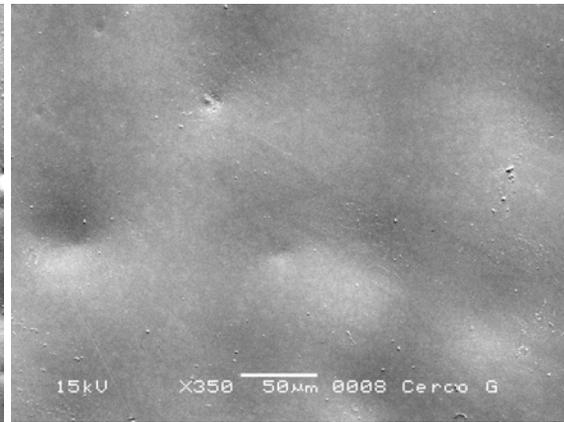
Polimento



Polimento + pasta

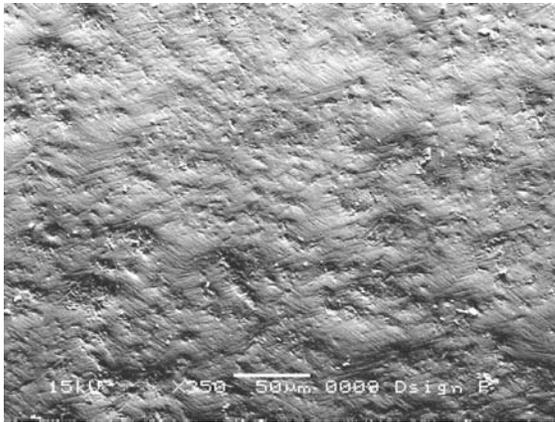


Polimento + glaze

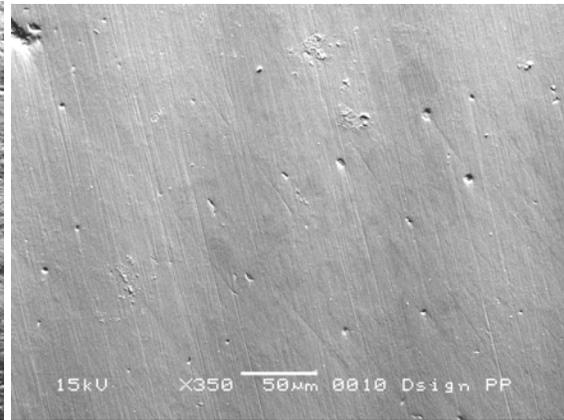


Glaze

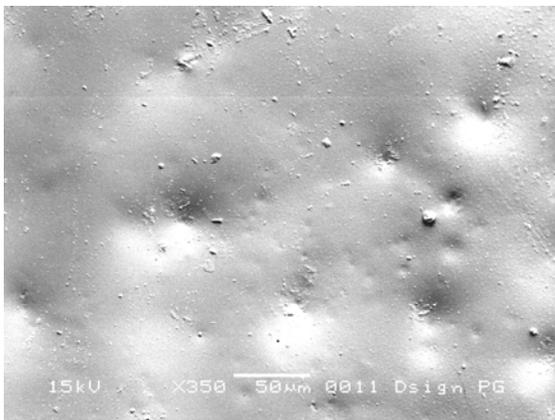
Figura 17 – Aspecto morfológico da superfície da cerâmica Cercon após os tratamentos de superfície (polimento, polimento + pasta, polimento + glaze e glaze) (350 X).



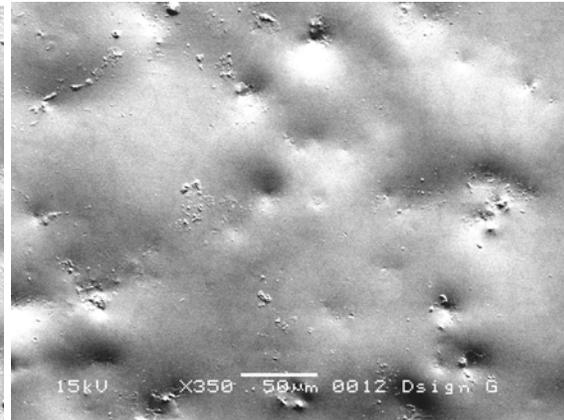
Polimento



Polimento + pasta P

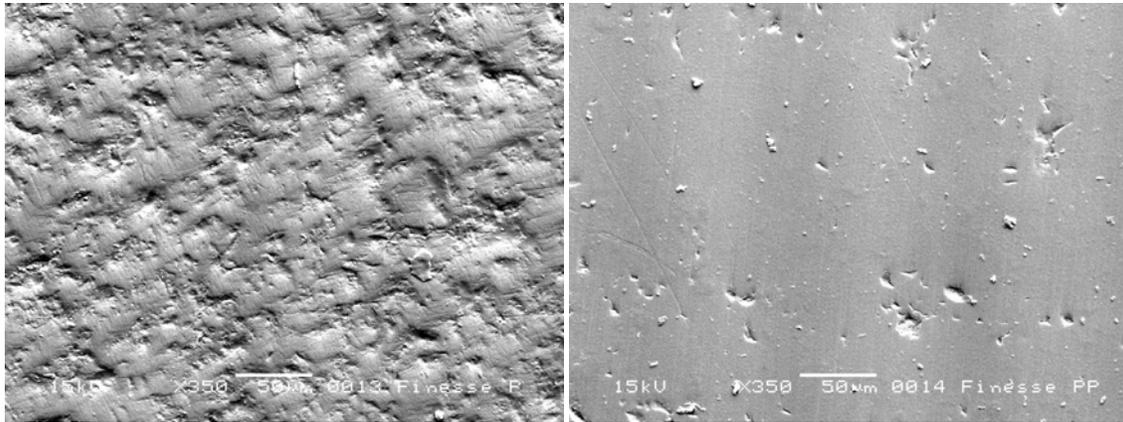


Polimento + glaze



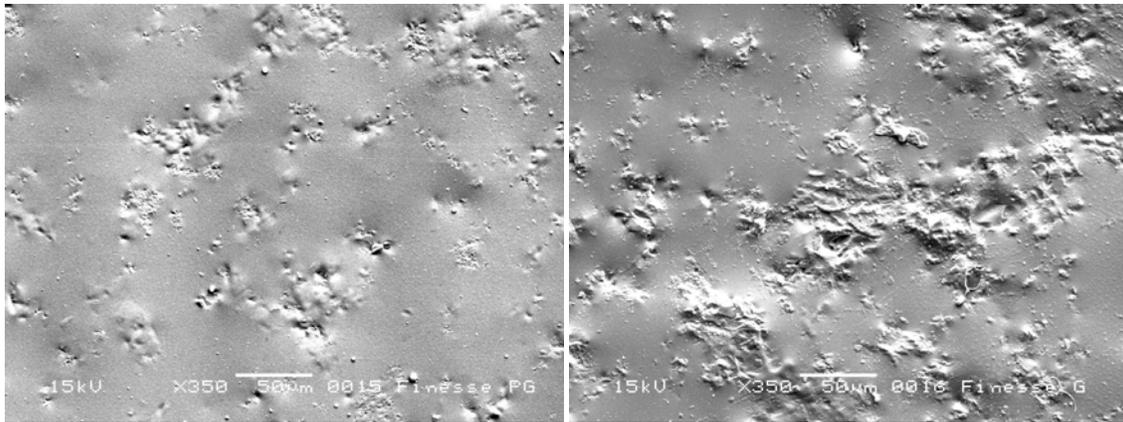
Glaze

Figura 18 – Aspecto morfológico da superfície da cerâmica Dsign após os tratamentos de superfície (polimento, polimento + pasta, polimento + glaze e glaze) (350 X).



Polimento

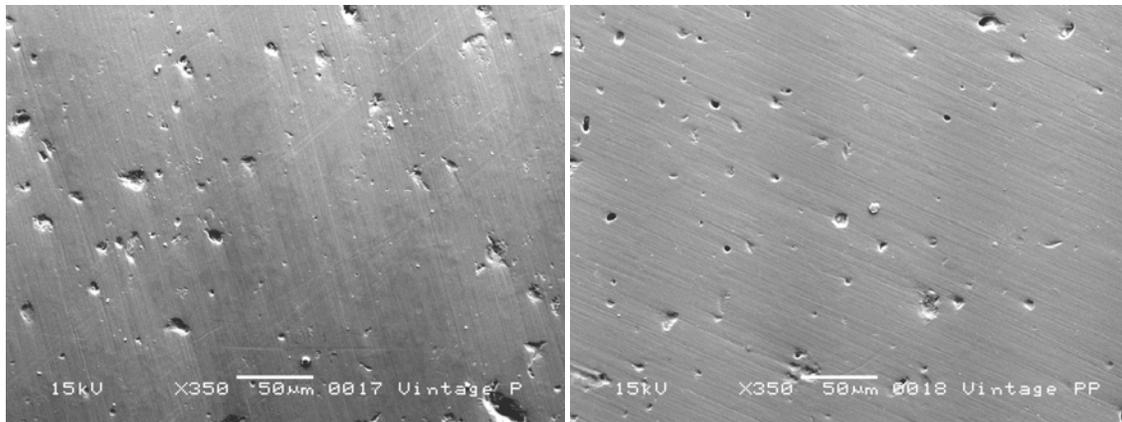
Polimento + pasta



Polimento + glaze

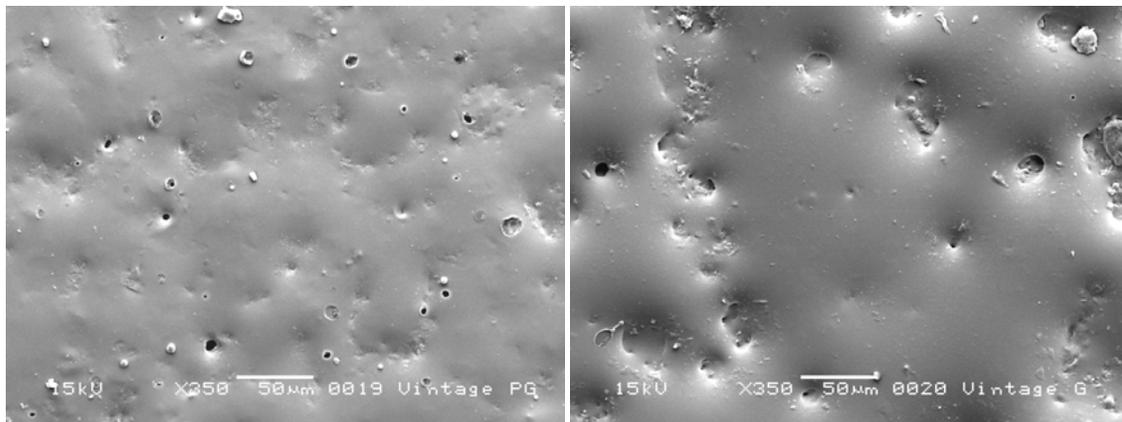
Glaze

Figura 19 – Aspecto morfológico da superfície da cerâmica Finesse após os tratamentos de superfície (polimento, polimento + pasta, polimento + glaze e glaze) (350 X).



Polimento

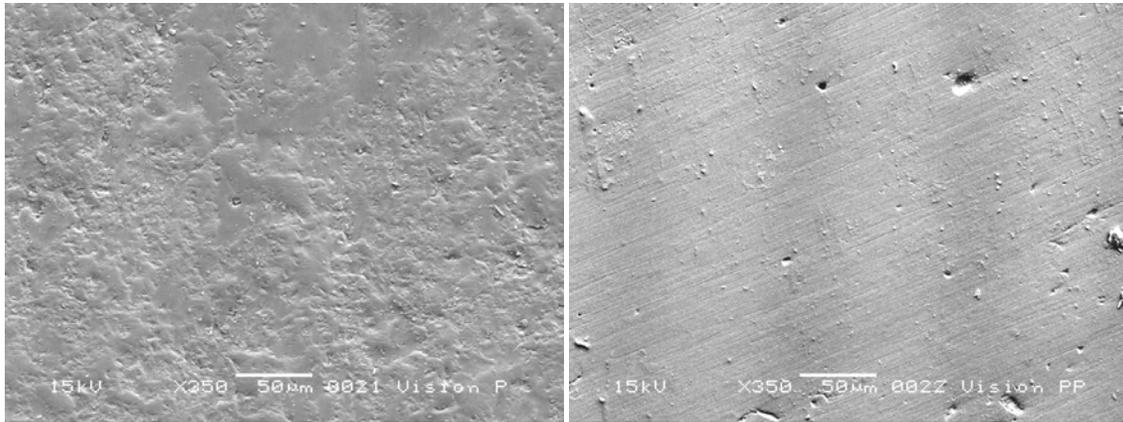
Polimento + pasta



Polimento + glaze

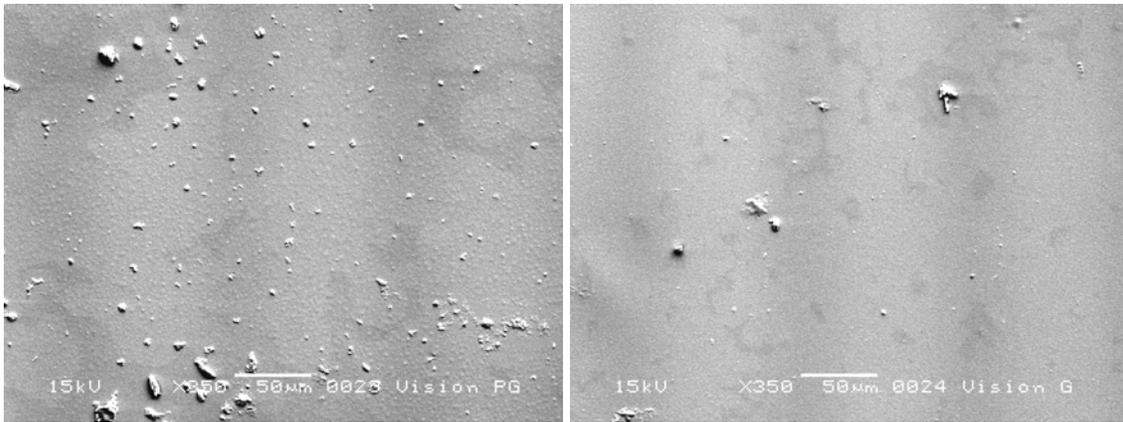
Glaze

Figura 20 – Aspecto morfológico da superfície da cerâmica Vintage Halo após os tratamentos de superfície (polimento, polimento + pasta, polimento + glaze e glaze) (350 X).



Polimento

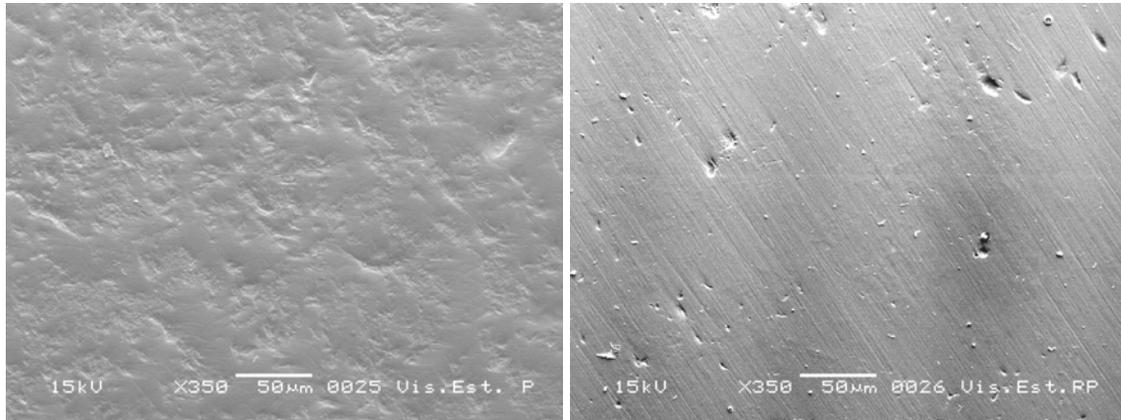
Polimento + pasta



Polimento + glaze

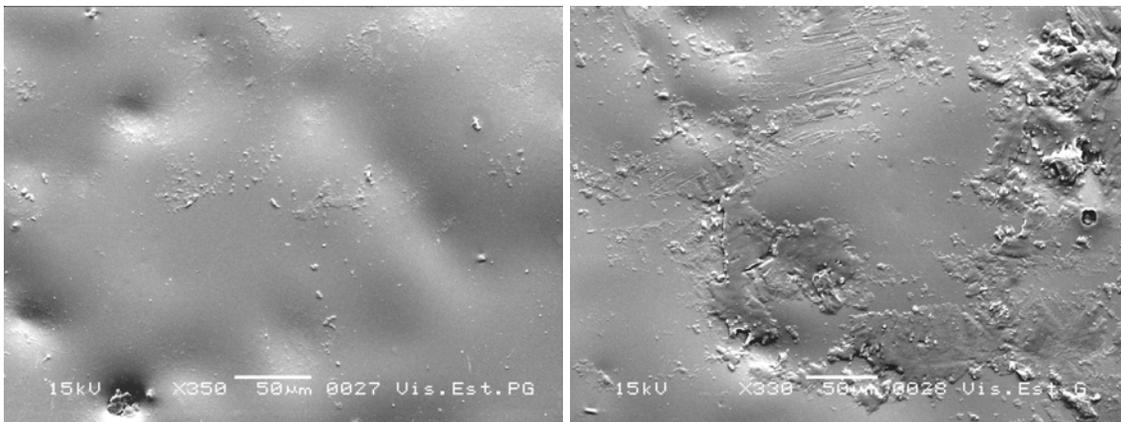
Glaze

Figura 21 – Aspecto morfológico da superfície da cerâmica Vision após os tratamentos de superfície (polimento, polimento + pasta, polimento + glaze e glaze) (350 X).



Polimento

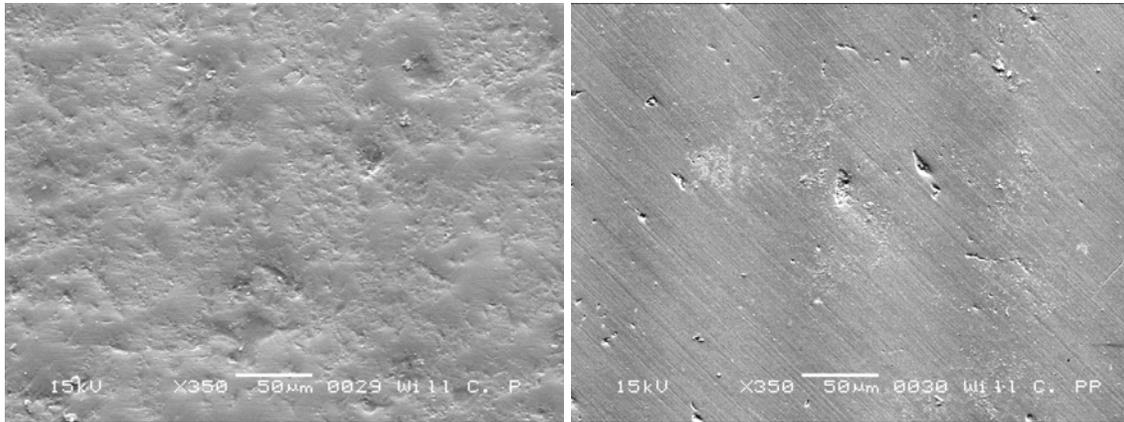
Polimento + pasta



Polimento + glaze

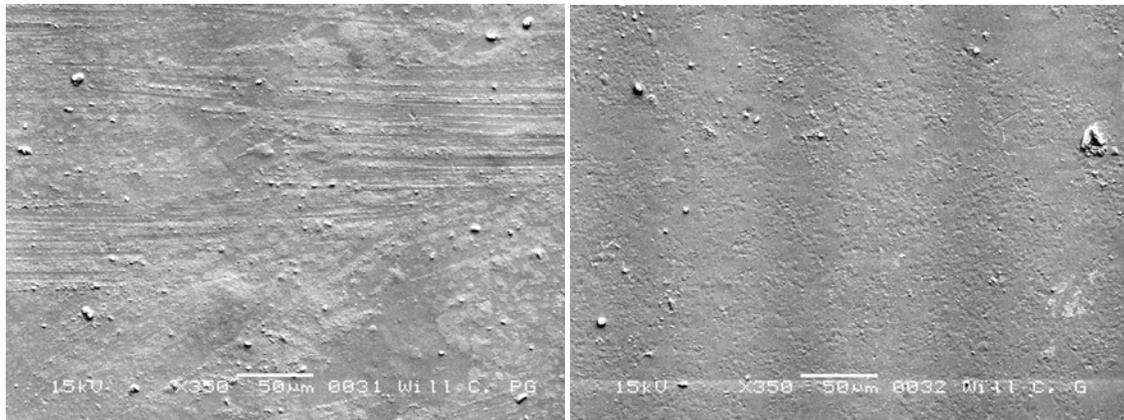
Glaze

Figura 22 – Aspecto morfológico da superfície da cerâmica Vision Esthetic após os tratamentos de superfície (polimento, polimento + pasta, polimento + glaze e glaze) (350 X).



Polimento

Polimento + pasta



Polimento + glaze

Glaze

Figura 23 – Aspecto morfológico da superfície da cerâmica Will Ceram após os tratamentos de superfície (polimento, polimento + pasta, polimento + glaze e glaze) (350 X).

5.4 Gráfico Rugosimétrico

As Figuras 24 a 31 mostram os gráficos rugosimétricos das cerâmicas (Ceramco, Cercon, Dsign, Finesse, Vintage Halo, Vision, Vision Esthetic e Will Ceram) após serem submetidas a quatro tratamentos de superfície (polimento mecânico com sistema Shofu; polimento mecânico com sistema Shofu + pasta diamantada; polimento mecânico com sistema Shofu + glaze e glaze), traçadas pelo rugosímetro Surf-Corder com magnitude de 5000X.

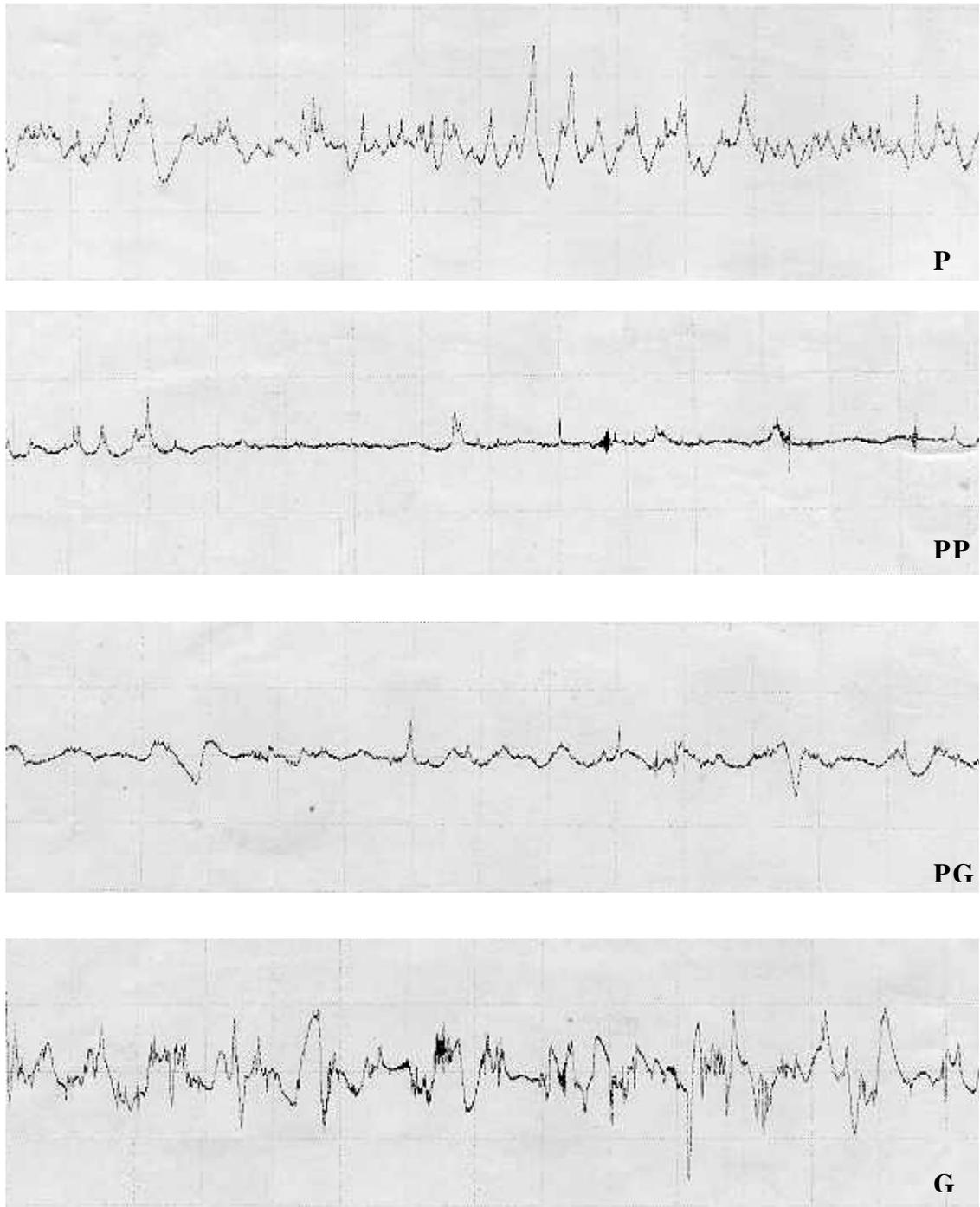


Figura 24 – Gráficos rugosimétricos da cerâmica Ceramco após tratamentos finais:
P – Polimento, PP – Polimento + Pasta, PG – Polimento + Glaze, G – Glaze.

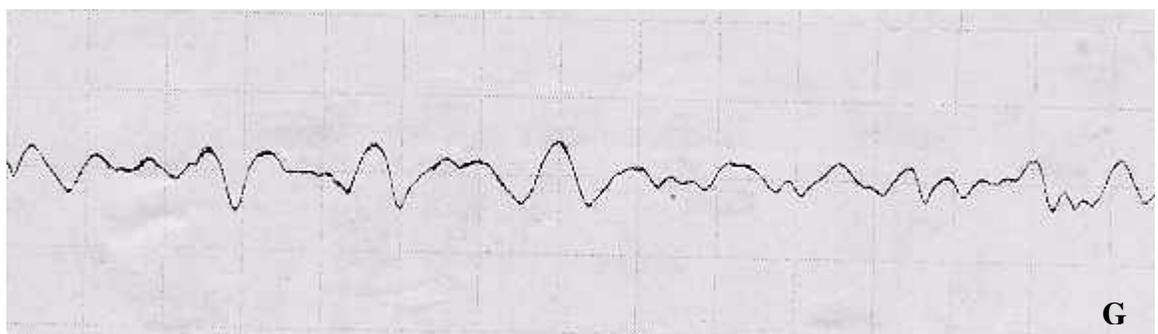
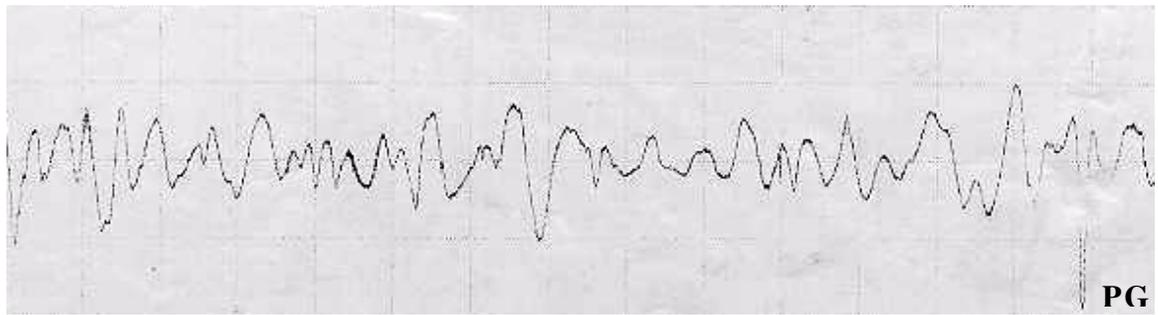
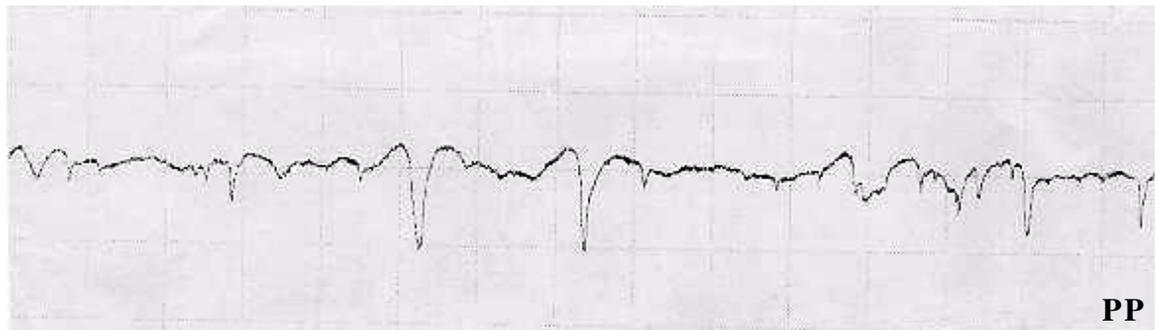
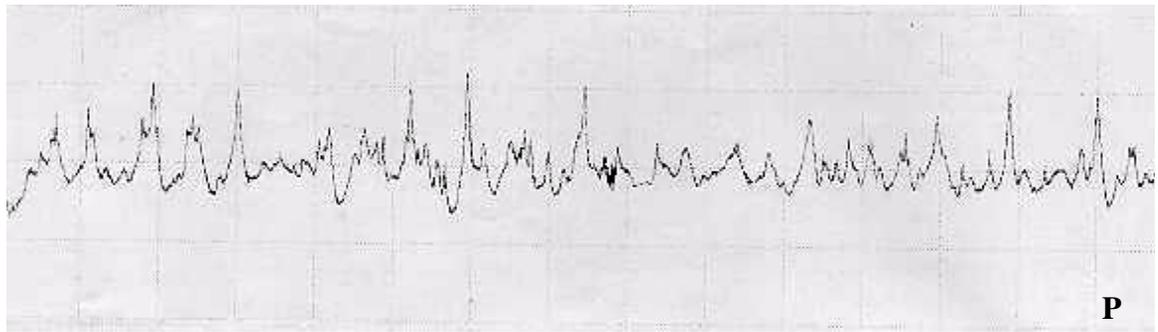


Figura 25 - Gráficos rugosimétricos da cerâmica Cercon após tratamentos finais:
P – Polimento, PP – Polimento + Pasta, PG – Polimento + Glaze, G –
Glaze.

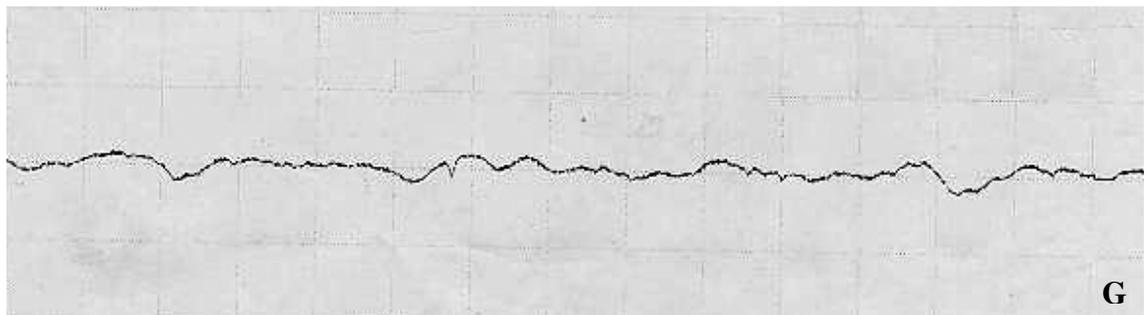
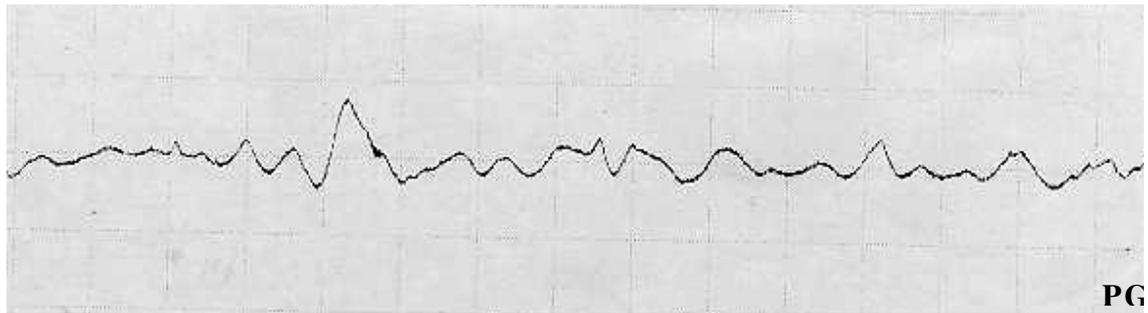
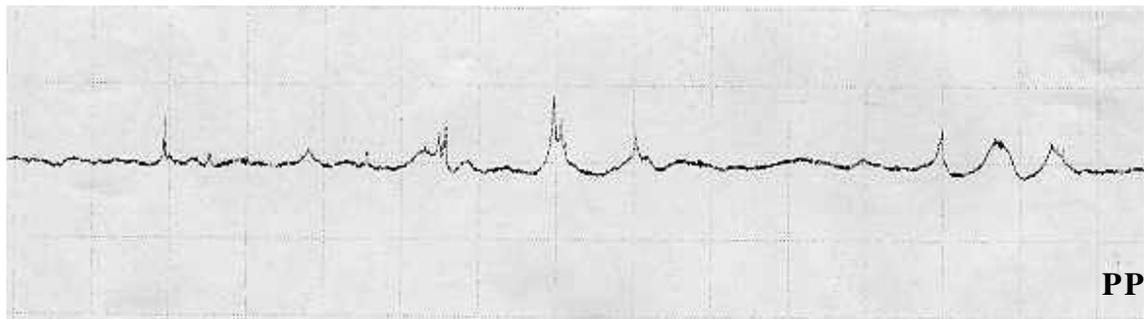
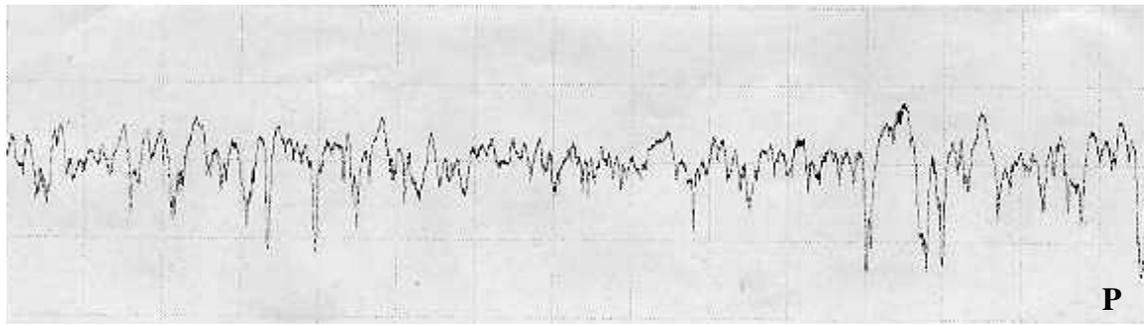


Figura 26 - Gráficos rugosimétricos da cerâmica Dsign após tratamentos finais:
P – Polimento, PP – Polimento + Pasta, PG – Polimento + Glaze, G – Glaze.

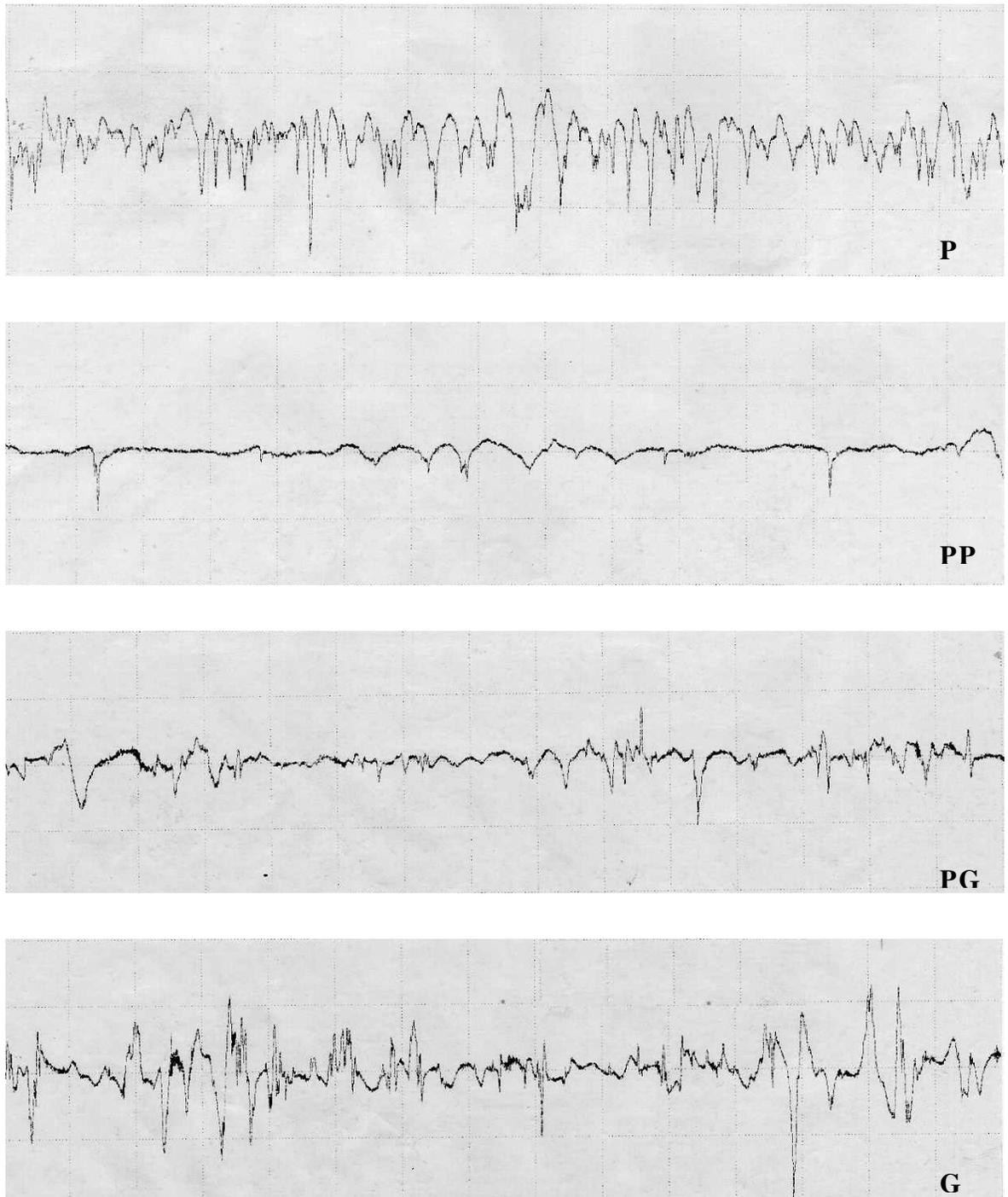
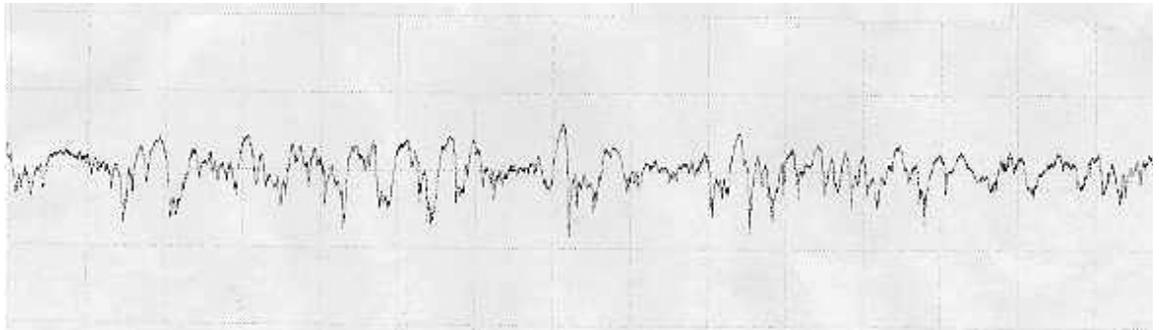
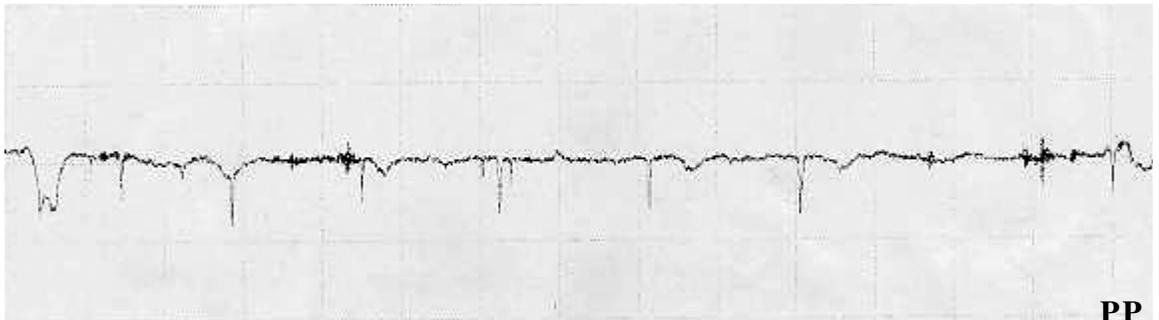


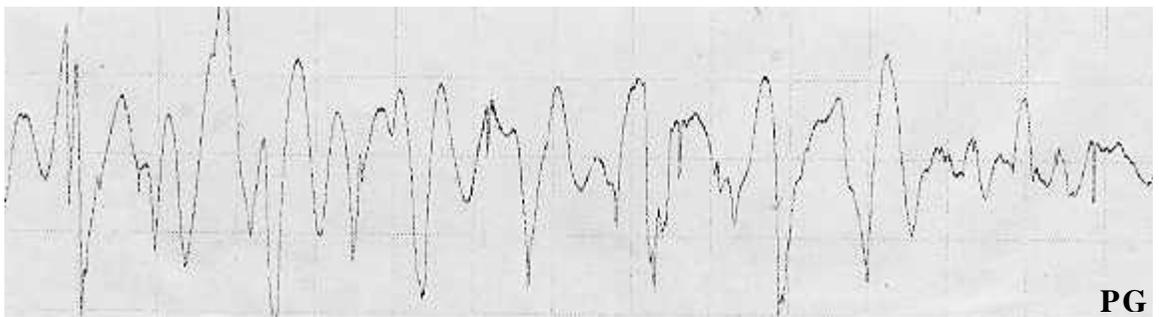
Figura 27 - Gráficos rugosimétricos da cerâmica Finesse após tratamentos finais:
P – Polimento, PP – Polimento + Pasta, PG – Polimento + Glaze, G –
Glaze.



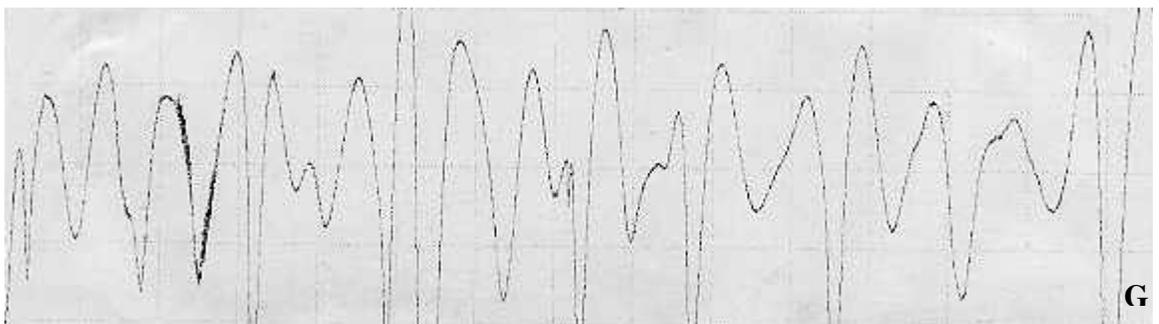
P



PP



PG



G

Figura 28 - Gráficos rugosimétricos da cerâmica Vintage Halo após tratamentos finais: P – Polimento, PP – Polimento + Pasta, PG – Polimento + Glaze, G – Glaze.

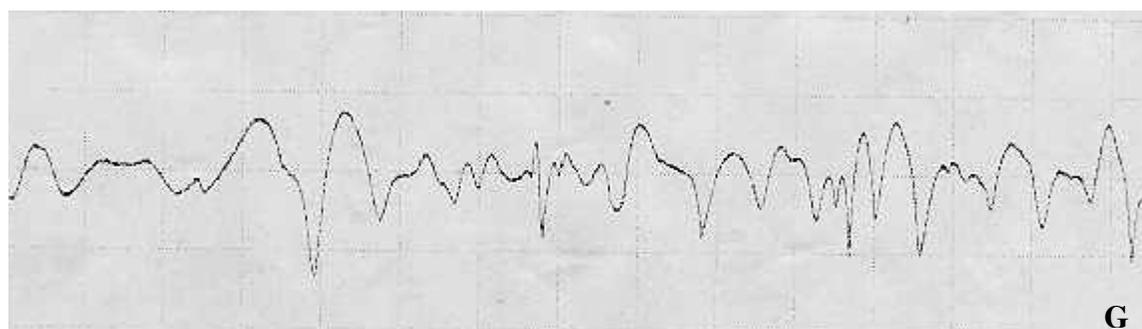
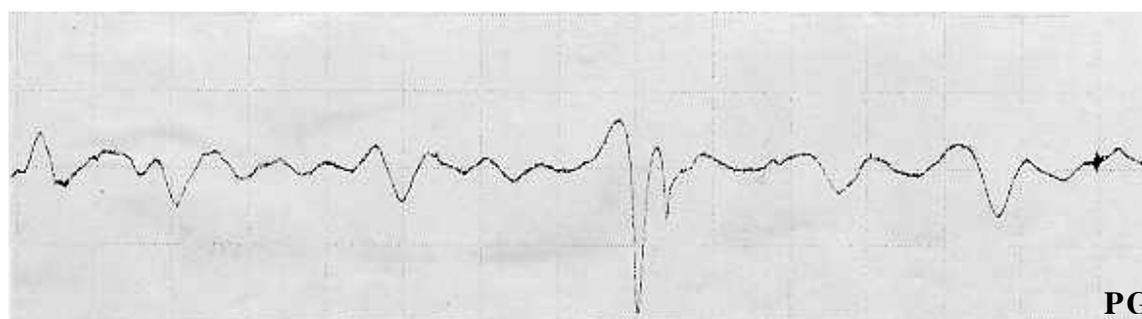
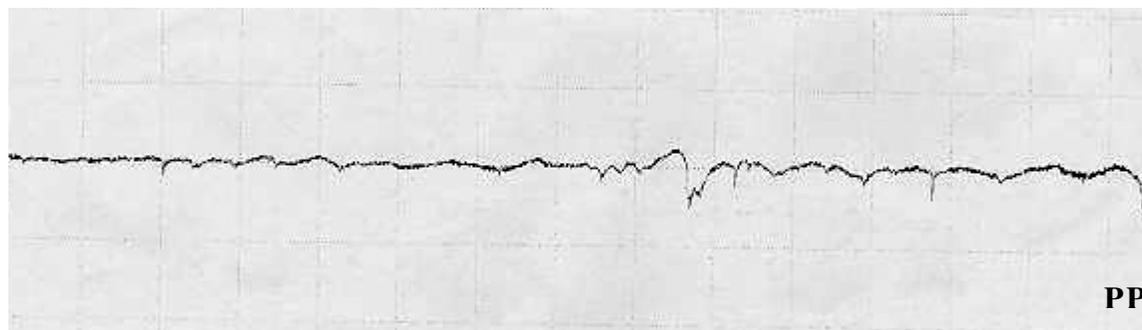
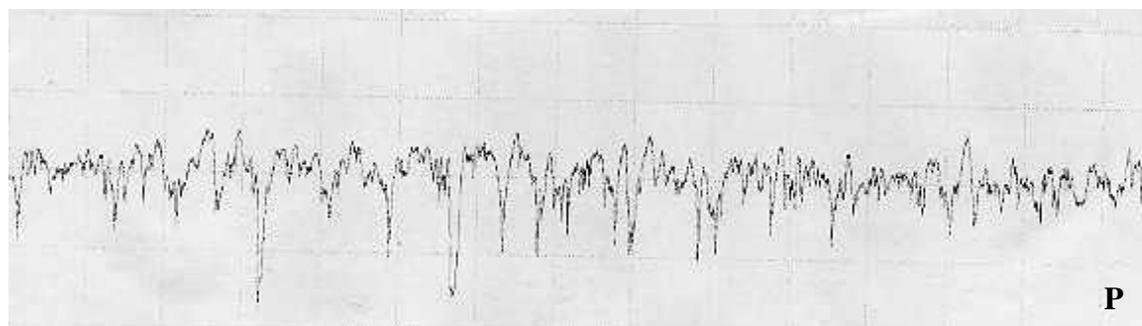


Figura 29 - Gráficos rugosimétricos da cerâmica Vision após tratamentos finais:
P – Polimento, PP – Polimento + Pasta, PG – Polimento + Glaze, G – Glaze.

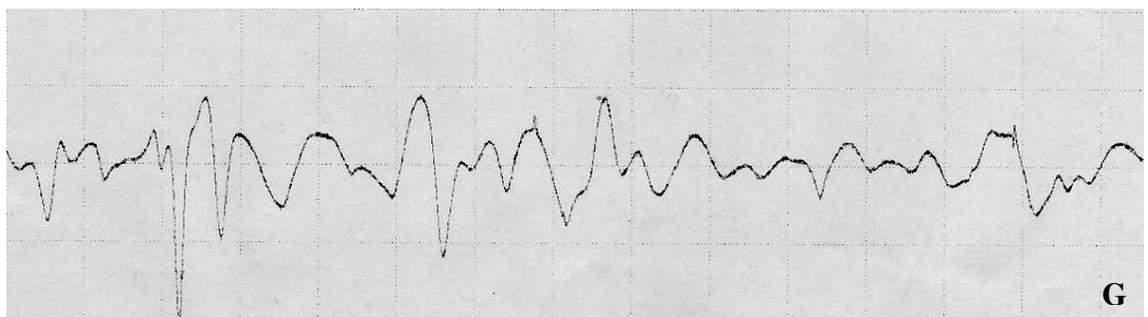
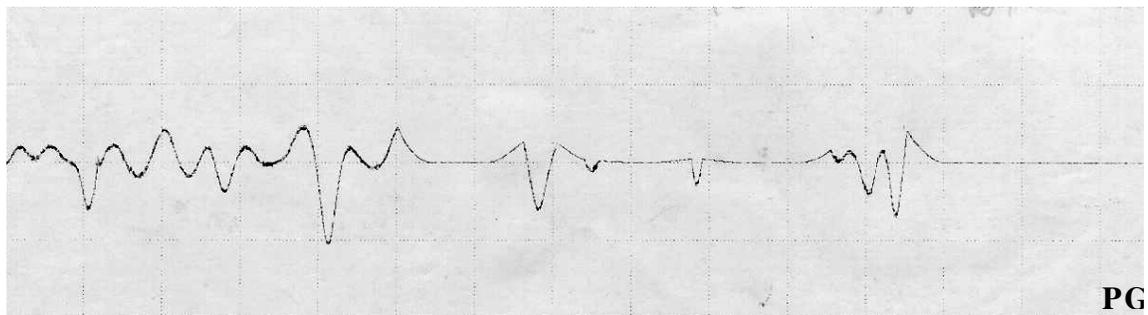
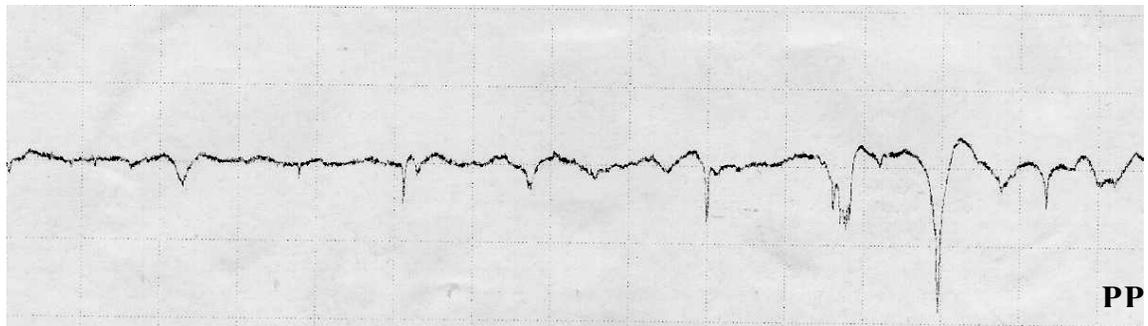
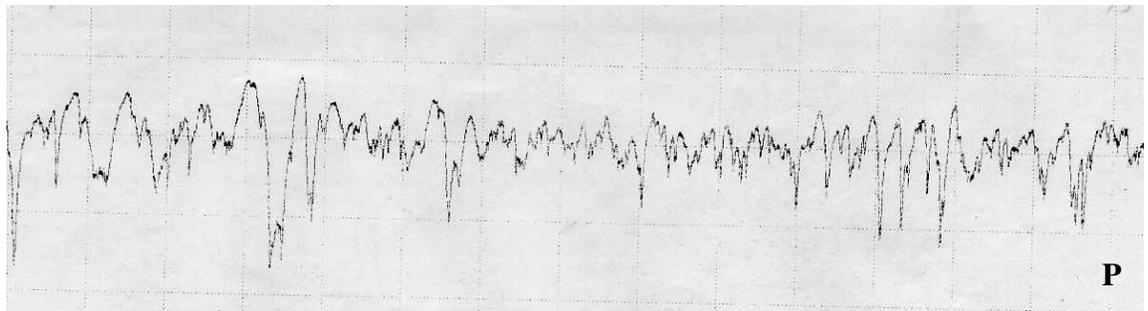


Figura 30 - Gráficos rugosimétricos da cerâmica Vision Esthetic após tratamentos finais: P – Polimento, PP – Polimento + Pasta, PG – Polimento + Glaze, G – Glaze.

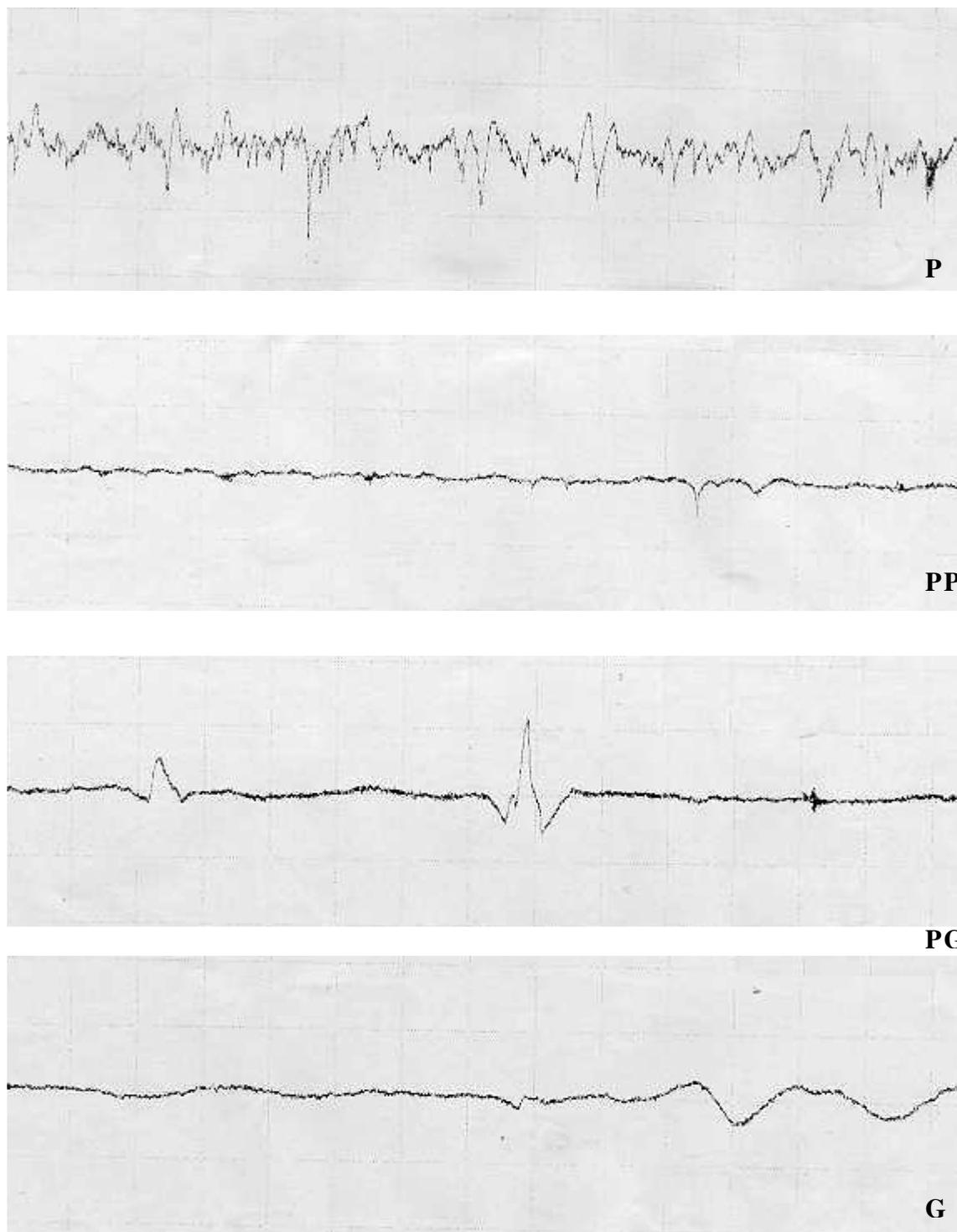


Figura 31 - Gráficos rugosimétricos da cerâmica Will Ceram após tratamentos finais: P – Polimento, PP – Polimento + Pasta, PG – Polimento + Glaze, G – Glaze.

6 DISCUSSÃO

A perda irreversível de esmalte dental antagonista em contato com restaurações cerâmicas têm sido um dos principais questionamentos dos profissionais de Odontologia na aplicação deste material restaurador, sobretudo em superfícies oclusais e guias anteriores. Esse fato tem relação direta com a lisura superficial do material, ou seja, quanto menor a rugosidade, maior a facilidade de deslizamento, e, conseqüentemente, menor desgaste por abrasão (Ferracane, 1995).

Dessa forma, o tratamento de superfície realizado na cerâmica de cobertura antes da cimentação é um procedimento decisivo no sucesso da reabilitação protética. Como o número de queimas da cerâmica deve ser minimizado para evitar alteração nas propriedades mecânicas e na cor (Mclean, 1995), todos os ajustes deveriam ser realizados previamente ao glaze. Como são materiais com estrutura amorfa e com dureza superior à do esmalte, a rugosidade pode contribuir para sua capacidade abrasiva (Koran *et al.*, 1972; Craig *et al.* 1997; O'Brien 1997). Entretanto, materiais não cristalinos como as cerâmicas de cobertura Cercon e Finesse, podem exibir baixos valores de deslizamento (Derand & Vereby, 1999).

A dificuldade de realização de ajustes antes da cimentação da cerâmica pura, como em inlay e onlay, torna o polimento uma tarefa de grande responsabilidade, uma vez que a cerâmica ajustada torna-se muito abrasiva (Monansky & Taylor, 1971; Wiley, 1989; Jacobi, 1991; Jagger & Harrison, 1994). O polimento possibilita controle adequado da textura, intensidade e distribuição do brilho nas restaurações cerâmicas quando comparado com o glaze (Rosentiel *et al.*, 1989; Brewer *et al.*, 1990). A denteição natural possui textura de superfície peculiar devido à morfogênese dos prismas de esmalte, e embora essa textura tenha que ser reproduzida pelo técnico em prótese dentária para que os melhores resultados estéticos sejam alcançados, deve-se tomar cuidado para que as áreas gengivais e oclusais estejam lisas (Sorensen, 1989).

A técnica de polimento deve ser selecionada pelo tamanho e localização da área a ser polida (Newitter *et al.*, 1982), utilizando-se abrasivos com decréscimo

sistemático no tamanho das partículas (Haywood *et al.*, 1988; Paterson *et al.*, 1991; Fuzzi *et al.*, 1996). Neste estudo, o desgaste foi realizado com pontas diamantadas cilíndricas 3098 F (45 μm) e 3098 FF (30 μm), polimento com sistema Shofu (22 a 10 μm) e pasta diamantada (6 μm). Para que o polimento da cerâmica de cobertura seja efetivo, é necessário que a condensação da cerâmica tenha sido realizada adequadamente para minimização de porosidades (Sulik & Plekavich, 1981). Buscando situação condizente com a realidade, a aplicação e condensação da cerâmica na matriz metálica simularam a técnica de estratificação laboratorial convencional, utilizando-se papel absorvente e realizando vibração moderada, a ponto de não comprometer um elemento com formato anatômico. Além disso, o glaze foi aplicado somente após a simulação de ajuste oclusal. Isso se deve ao fato de tentar simular o que normalmente deveria ocorrer numa situação clínica.

Os resultados expostos na Tabelas 1 e Figura 14 mostram que o polimento das cerâmicas com o sistema Shofu, associado com pasta diamantada com granulação de 6 μm , proporcionou os menores valores de rugosidade para todas as cerâmicas ensaiadas. Dessa forma, ficou evidente a importância da utilização de pasta diamantada no polimento final das restaurações cerâmicas para obtenção de superfícies mais lisas e homogêneas, tratamento já recomendado por Raimondo (1990), Brewer (1990), Scurria & Powers (1994) e Ribeiro (1998). Por outro lado, Hulterstom & Bergam (1995) mostraram que o uso de pasta diamantada é desnecessário, o que neste estudo pode ser sugerido apenas para a cerâmica Vintage Halo (Tabela 1). O refinamento do polimento pode não ter sido efetivo estatisticamente para essa cerâmica devido à presença de porosidade (Sulik & Plekavich, 1981) (Figura 20) relacionada com a granulação do pó cerâmico (Craig & Powers, 2004).

Diferentemente da metodologia utilizada por Raimondo (1990), o polimento realizado neste estudo aconteceu em superfície plana, e para obtenção dos mesmos resultados em superfícies onduladas e confinadas como superfícies oclusais, provavelmente exista a necessidade de um tempo maior que 40 segundos por procedimento em uma área equivalente. Dessa forma, se o

elemento cerâmico ainda não foi fixado e regiões de difícil acesso estão presentes, o glazeamento pode produzir melhores resultados.

Exceto para as cerâmicas Will Ceram e Vintage Halo, as superfícies polidas apenas com o sistema Shofu apresentaram valores de rugosidade similares às superfícies glazeadas, sendo os tratamentos que resultaram em maior rugosidade superficial. Esses resultados discordaram dos observados por Patterson *et al.* 1991; Borges *et al.*, 2002 e Sasahara, 2003, os quais mostraram superfícies com glaze com menores valores de rugosidade em relação às superfícies polidas com borrachas abrasivas, fato ocorrido neste estudo apenas para Will Ceram (Figuras 23 e 31). A cerâmica Vintage Halo apresentou elevada rugosidade após glaze (Figura 28) demonstrando falhas estruturais (Figura 20).

Segundo Bargui *et al.* (1975), a sinterização da pasta glazeadora sobre a superfície da cerâmica (overglaze) proporciona superfície mais lisa que o glazeamento sem pasta (autoglaze), por selar poros e irregularidades superficiais, não sendo necessário polir a superfície previamente. Entretanto, embora a eficiência da pasta glazeadora possa ser observada nas figuras 17, 21 e 23, de acordo com as irregularidades produzidas pelo desgaste, um polimento prévio pode ser necessário, uma vez que a aplicação da pasta se dá em uma fina camada. Neste estudo, a cerâmica Vision mostrou diminuição significativa na rugosidade média com o polimento prévio ao glaze (Figura 29). Para Ceramco e Finesse, que receberam glazeamento natural, o polimento prévio ao glaze também contribuiu para menor rugosidade (Figuras 24 e 27), sendo um procedimento necessário para obtenção de lisura como obtida no polimento com pasta diamantada. As figuras 16 e 19 mostram irregularidades produzidas pelo autoglazeamento dessas cerâmicas.

Para Jacobi *et al.* (1991), uma cerâmica desgastada apresenta abrasividade superior à glazeada; porém após 300 ciclos de desgaste mecânico, a abrasividade era igual para as duas condições. Por outro lado, Jagger & Harrison (1994), num estudo *in vitro* verificaram que a cerâmica polida produzia menor desgaste do esmalte dental em relação à cerâmica glazeada, recomendando o polimento da restauração após ajuste oclusal em substituição ao reglazeamento. Outro aspecto

importante é que esses autores mostraram que o glaze foi removido após poucas horas de ciclos de desgaste. Do ponto de vista clínico, onde o reglazeamento tem sido tradicionalmente recomendado, o polimento prévio ao glaze que não foi avaliado pelos autores, pode assumir importância decisiva quando o glaze é perdido.

Com relação ao comportamento entre as cerâmicas dentro de cada tratamento de superfície, a Tabela 1 e Figura 14 mostram que o polimento e o polimento + pasta não apresentaram nenhuma diferença estatística na rugosidade entre as cerâmicas ensaiadas. Isso ocorreu, provavelmente, pela eficiência do polimento e polimento mais aplicação da pasta de diamante (6 μm), como pode ser observado nas Figuras 16 a 23. Entretanto, quando as cerâmicas foram analisadas para superfície com glaze e polida + glaze, os maiores valores de rugosidade foram obtidos para a cerâmica Vintage Halo, com diferença estatística em relação às demais. Já, o glazeamento da cerâmica Will Ceram apresentou os menores valores de rugosidade. Com relação às superfícies glazeadas, tais diferenças podem ter ocorrido provavelmente em função das diferentes composições e temperaturas de sinterização dos materiais para glaze, podendo ser verificadas inclusive nas superfícies que receberam polimento prévio.

De acordo com Wassel *et al.* (1992), a dureza de um material é a resistência que o mesmo oferece à deformação local. De acordo com Anusavice (1998), a dureza está relacionada com propriedades de resistência, limite de proporcionalidade e ductibilidade. Entretanto, durante o ensaio de dureza em materiais friáveis, o limite de resistência é atingido antes que ocorra escoamento entre as moléculas e um mecanismo de fratura ocorre. Segundo Lawn & Marshall (1979), a friabilidade das cerâmicas é diretamente proporcional à dureza e inversamente proporcional à tenacidade à fratura. A grande dificuldade no entendimento da distribuição das tensões produzidas no ensaio de dureza Vickers, principalmente em cerâmicas multifásicas, foi relatada por Li *et al.* (1989), que observaram a influência da carga aplicada na dureza Vickers, exceto quando cargas maiores que 3 N são aplicadas. Em 1997, Quin & Quin confirmaram essas informações, explicando que a energia aplicada após 3 N, passa a ser utilizada na

formação e propagação de trincas, aliviando a deformação. Por esse motivo, uma carga de 1Kgf (9,8 N) foi utilizada no presente estudo, como realizado por Baharav *et al.* (1986), Segui *et al.* (1991) e Prösbster *et al.* (1997).

Para Baharav *et al.* (1986), o tratamento de superfície possui grande importância na resistência das cerâmicas de cobertura. Considerando que o polimento refinado e o glaze tendem a promover a homogeneização da superfície, falhas superficiais que são fatores predisponentes para o desenvolvimento de trincas e fraturas são minimizadas. Esses autores, comparando a resistência à fratura e a dureza superficial da cerâmica feldspática com diferentes tempos de sinterização para a camada de glaze, observaram que um tempo maior resultou em resistência e dureza superiores. Neste estudo, a sinterização do glaze foi realizada seguindo o tempo máximo recomendado pelos fabricantes para obtenção de menor rugosidade.

De acordo com as Tabelas 1 e 2 e Figuras 14 e 15, as superfícies cerâmicas polidas com o sistema Shofu apresentaram os maiores valores de rugosidade e dureza Vickers exceto para Vintage Halo. Resultados semelhantes foram obtidos por Borges *et al.* (2002) e Sasahara (2003), onde cerâmicas polidas com pontas de borracha apresentaram maior rugosidade e maior dureza Vickers. Talvez as tensões compressivas geradas pelo aquecimento heterogêneo das camadas internas e externas das cerâmicas durante o polimento mecânico (Alkhiary *et al.*, 2003) e a homogeneidade da microestrutura (Palin *et al.*, 2003), tenham promovido o endurecimento da superfície.

Os menores valores de dureza Vickers foram obtidos pelas cerâmicas Ceramco, Cercon e Will Ceram para superfície glaze; Cercon, para a superfície polida + glaze e Cercon, Vintage e Ceramco para as superfícies polidas + pasta. Tais resultados podem sugerir o potencial da cerâmica Cercon, sem conteúdo de leucita, em causar menor desgaste das estruturas antagonistas assim como sugerido por Derand & Vereby (1999). Esses resultados contradizem Kon *et al.* (1996), que encontraram que o maior conteúdo de leucita proporcionaria menor dureza. Por outro lado, a cerâmica Finesse, com apenas 7% de leucita,

apresentou dureza similar às cerâmicas com maior dureza em todos os tratamentos ensaiados.

Os tratamentos de superfície não influenciaram os valores de dureza Vickers das cerâmicas de baixa fusão Finesse e Vision Esthetic, pois as médias não diferiram estatisticamente. Situação similar foi anteriormente observado por Sasahara (2003) para as cerâmicas Finesse e Dsign. Entretanto, no presente estudo, a cerâmica Dsign apresentou maior dureza quando polida com o sistema Shofu.

Quando a dureza Vickers das cerâmicas foi comparada dentro de cada tratamento de superfície, para a superfície polida, a cerâmica que apresentou os menores valores de dureza foi a Vintage Halo, diferindo estatisticamente das demais. Possuindo uma composição de 60 % de óxido de silício, como relatado por Mclean (2001) para restaurações metalocerâmicas, talvez porosidade na microestrutura (Palin *et al.*, 2003) relacionada à granulação do pó cerâmico (Craic & Powers, 2004), tenha influenciado tais resultados. Dentre as cerâmicas polidas com pasta, Cercon apresentou a menor dureza, não diferindo de Vintage Halo e Ceramco. No caso da Cercon, uma das hipóteses seria que o arredondamento dos picos de superfície, produzido pela pasta diamantada, tenha proporcionado menor dureza em relação ao polimento somente com o sistema Shofu.

Para a superfície glazeada, assim como obtido por Rizkalla & Jones (2003), a dureza da Vintage Halo não diferiu estatisticamente da Will Ceram, que possui 55 % de óxido de silício. Entretanto, quando o polimento foi realizado previamente ao glaze, esses resultados não foram confirmados. O glazeamento das cerâmicas Will Ceram, Cercon e Ceramco foi capaz de promover dureza e rugosidade mais favoráveis em relação às demais.

Segundo Seghi *et al.* (1991), existe baixa correlação entre a taxa de desgaste do esmalte antagonista e os valores de dureza da cerâmica e a correlação entre ambos é mais complexa. Outra explicação para o desgaste do esmalte antagonista à porcelana é atribuída à diferença do polimento superficial deste material, onde quanto mais rugoso maior será o desgaste do esmalte. Por

outro lado, os materiais mais duros são mais resistentes a riscos na superfície, mantendo lisura superficial por mais tempo.

Embora o acúmulo de placa bacteriana na superfície das restaurações cerâmicas seja um problema relacionado principalmente à técnica de higienização, é importante considerar que uma superfície mais rugosa exercerá não somente condições de desenvolvimento de cáries em regiões críticas, mas também propiciar doença periodontal (Kawai *et al.*, 2000). Dentro dessas considerações, o presente trabalho mostra que o polimento com o sistema Shofu seguido por pasta de diamante seria mais favorável em impedir tais problemas, diferindo dos resultados de Barghi *et al.* (1976) e Patterson (1992), os quais encontraram menores valores de rugosidade e menor acúmulo de placa bacteriana na superfície de cerâmica glazeada.

Frente aos resultados obtidos neste estudo, pode-se observar a importância do tratamento superficial nas propriedades de superfície das cerâmicas. Todos os materiais responderam favoravelmente ao polimento mecânico, com diminuição do tamanho das partículas abrasivas até 6 μm e o glazeamento proporcionou superfície mais rugosa, dependendo da cerâmica utilizada. Outro aspecto importante a ser considerado é que os tratamentos foram realizados em condições favoráveis. Dessa forma, no polimento intrabucal da restauração submetida ao ajuste, a dificuldade é maior e mais crítica, sobretudo em regiões posteriores. Assim, o clínico precisa ser extremamente criterioso no momento de realizar o polimento, devido à dificuldade em restabelecer à superfície adequada, devendo empregar o polimento com pasta de diamante para propiciar superfícies adequadas. Frente às diversas variáveis surgidas durante o estudo, pesquisas futuras devem ser desenvolvidas para avaliar outros materiais de polimento com partículas ainda menores, outras cerâmicas disponíveis, bem como outros parâmetros de rugosidade (Rz, Rpm e Rpm/Rz), correlacionando com o desgaste produzido no esmalte dental antagonista.

7 CONCLUSÕES

7.1 Rugosidade de Superfície

1 – Para o tratamento de superfície com glaze e polimento com sistema Shofu + glaze, a cerâmica Vintage Halo apresentou os maiores valores de rugosidade, enquanto o Will Ceram os menores.

2 – A rugosidade superficial sofreu influência do tratamento de superfície em todas as cerâmicas utilizadas. O polimento com o sistema Shofu e pasta diamantada proporcionou as menores médias de rugosidade em todas as cerâmicas utilizadas, enquanto o tratamento com o glaze e polimento com sistema Shofu, as maiores.

3 – O polimento com o sistema Shofu e polimento com pasta diamantada, não mostrou diferença estatística entre todas as cerâmicas.

7.2 Dureza Vickers

1 – Para o tratamento de superfície com o sistema Shofu, a cerâmica Vintage Halo apresentou os menores valores de dureza. Na superfície tratada com o glaze, os maiores valores de dureza foram obtidos com as cerâmicas Dsign, Finesse, Vision e Vision Esthetic e a menor com a cerâmica Cercon.

2 – No tratamento polimento + glaze, os maiores valores de dureza foram obtidos com as cerâmicas Finesse, Will Ceram, Vision Esthetic e Ceramco e os menores com o Cercon. Para o polimento + pasta diamantada, os maiores valores de dureza Vickers foram obtidos com as cerâmicas Finesse, Vision, Will Ceram, Dsign, Vision Esthetic e Ceramco e os menores com a cerâmica Cercon.

3 – As cerâmicas Finesse e Vision Esthetic não sofreram influência do tratamento de superfície na dureza Vickers.

REFERÊNCIAS*

Adair PJ, Grossman DG. The Castable Ceramic Crown. **Inter J Period Rest Dent** 1984; 2: 33-45.

Albakry M, Guazzato M, Swain MV. Fracture toughness and hardness evaluation of three pressable all-ceramic dental materials. **J Dent** 2003; 31(3): 181-8.

Alkhiary YM, Morgano SM, Giordano RA. Effects of acid hydrolysis and mechanical polishing on surface residual stresses of low-fusing dental ceramics. **J Prosthet Dent** 2003; 90(2): 133-42.

Al-Wahadni AM, Martinn DM. An in vitro investigation into the wear effects of glazed, unglazed and refinished dental porcelain on an opposing material. **J Oral Rehabil** 1999; 26: 538-46.

Anderson JC. **Materials science**. London: Chapman and Hall; 1990.

Anusavice KJ. Degradability of dental ceramics. **Adv Dent Res** 1992; 6: 82-9.

Anusavice KJ, Phillips RW. **Phillips' science of dental materials**. St. Louis, MO: W.B. Saunders; 2003.

Arruda JJA. **História Antiga e Medieval**. 11 ed São Paulo: Editora Ática, 1989: 35-7.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Norma NBR ISO 4287: Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Termos, definições e parâmetros da rugosidade**. Rio de Janeiro. ABNT; 2002.

* De acordo com a norma da UNICAMP/FOP, baseada no modelo Vancouver. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o Madline

Baharav H, Laufer B, Pilo R, Cardash HS. Effect of glaze thickness on the fracture toughness and hardness of alumina-reinforced porcelain. **J Prosthet Dent** 1999; 81(5): 515-19.

Bargui N, Alexander L, Draughin RA. When to glaze – An elétron microscope study. **J Prosthet Dent** 1976; 35(6): 648-53.

Bargui N, King CJ, Draughin RA. A study of porcelain surfaces as utilized in fixed prosthodontics. **J Prosthet Dent** 1975; 34(3): 314-9.

Bessing C, Wiktorsson A. Comparison of two different methods of polishing porcelain. **Scand J Dent Res** 1983; 91(6): 482-7.

Borges GA, Sobrinho LC, Almeida MAB. Avaliação da dureza e rugosidade superficial da cerâmica feldspática glazeada e polida. **Rev Odonto Ciência** 2002; (37): 302-6.

Brewer JD, Garlapo DA, Chipps EA, Tedesco LA. Clinical discrimination between autoglazed and polished porcelain surfaces. **J Prosthet Dent** 1990; 64(6): 631-4.

Campbell SD. Evaluation of surface roughness and polishing techniques for new ceramic materials. **J Prosthet Dent** 1989; 61(5): 563-8.

Christensen GJ. The use of porcelain-fused-to-metal restorations in current dental practice: a survey. **J Prosthet Dent** 1986; 56(1): 1-3.

Clayton JA, Green E. Roughness of pontic materials and dental plaque. **J Prosthet Dent** 1970; 23(4): 407-11.

Craic RG, Powers, JM. **Materiais Dentários Restauradores**. 11 ed São Paulo: Editora Santos, 2004.

Dahl BL, Oilo G. In vivo wear ranking of some restorative materials. **Quintessence Int** 1994; 25(8): 561-5.

DeLong R, Douglas WH, Sakaguchi RL, Pintado MR. The wear of dental porcelain in an artificial mouth. **Dent Mater** 1986; 2(5): 214-9.

Derand P, Vereby P. Wear of low-fusing dental porcelains. **J Prosthet Dent** 1999; 81(4): 460-3.

Ferracane JL. **Materials in dentistry: principles and applications**. Philadelphia: LW & W, 292-311, 1995 *Apud* Borges GA, Sobrinho LC, Almeida MAB. Avaliação da dureza e rugosidade superficial da cerâmica feldspática glazeada e polida. **Rev Odonto Ciência** 2002; (37): 302-6.

Fuzzi M, Zaccheroni Z, Vallania G. Scanning electron microscopy and profilometer evaluation of glazed and polished dental porcelain. **Int J Prosthodont** 1996; 9(5): 452-8.

Gill JR. Methods and results in condensation of dental porcelain. **J Am Dent Assoc** 1932: 1147-55.

Goldstein GR, Barnhard BR, Penugonda B. Profilometer, SEM, and visual assessment of porcelain polishing methods. **J Prosthet Dent** 1991; 65(5): 627-34.

Graig RC, Powers JM. Wear of dental tissues and materials. **Int Dent J** 1976; 26(2): 121-33.

Graig RG. **Restorative Dental Materials**. St. Louis: C. V. Mosley, 1980.

Gúzman MR. El ultimo alfarero de Medina Sidonia. **Revista Puerta del Sol** 2002(5).Disponível em:

URL: <http://revistapuertadelsol.zerjio.com/numero5/ocho/ocho.html>, [2004/Dez/01].

Hacker CH, Wagner WC, Razzoog ME. An in vitro investigation of the wear of enamel on porcelain and gold in saliva. **J Prosthet Dent** 1996; 75(1): 14-7.

Haywood VB, Heymann HO, Kusy RP, Whitley JQ, Andreaus SB. Polishing porcelain veneers: an SEM and specular reflectance analysis. **Dent Mater** 1988; 4(3): 116-21.

Haywood VB, Heymann HO, Scurria MS. Effects of water, speed, and experimental instrumentation on finishing and polishing porcelain intra-orally. **Dent Mater** 1989; 5(3): 185-8.

Hulterstrom AK, Bergman M. Polishing systems for dental ceramics. **Acta Odontol Scand** 1993; 51(4): 229-34.

Internacional Organization for Standartzation. **Dental ceramic ISO 6872**: 1995 (E) / Amd. 1: 1997 (E). Switzerland: ISO; 1997.

Jacobi R, Shillingburg HTJr, Duncanson MGJr. A comparison of the abrasiveness of six ceramic surfaces and gold. **J Prosthet Dent** 1991; 66(3): 303-9.

Jagger DC, Harrison A. An in vitro investigation into the wear effects of unglazed, glazed, and polished porcelain on human enamel. **J Prosthet Dent** 1994; 72(3): 320-3.

Jones DW, Wilson HJ. Porosity in dental ceramics. **Br Dent J** 1975; 138(1): 16-21.

Kawai K, Urano M, Ebisu S. Effect of surface roughness of porcelain on adhesion of bacteria and their synthesizing glucans. **J Prosthet Dent** 2000; 83(6): 664-7.

Kelly JR, Nishimura I, Campbell SD. Ceramics in dentistry: historical roots and current perspectives. **J Prosthet Dent** 1996; 75(1): 18-32.

Klausner LH, Cartwright CB, Charbeneau GT. Polished versus autoglazed porcelain surfaces. **J Prosthet Dent** 1982; 47(2): 157-62.

Kon M, Kawano F, Asaoka K, Matsumoto N. Effect of leucite crystals on the strength of glassy porcelain. **Dent Mater J** 1994; 13(2): 138-47.

Koran A, Craig RG, Tillitson EW. Coefficient of friction of prosthetic tooth materials. **J Prosthet Dent** 1972; 27(3): 269-74.

Lambrechts P, Braem M, Vanherle G. Buonocore memorial lecture. Evaluation of clinical performance for posterior composite resins and dentin adhesives. **Oper Dent** 1987; 12(2): 53-78.

Lawn BR, Marshal DB. Hardness, Toughness, and Brittleness: An Indentation Analysis. **J Am Ceram Soc** 1979; 62(7-8): 347-50.

Leitão J, Heddahl T. On the measuring of roughness. **Acta Odontol Scand** 1981; 40(1): 379-84.

Li Z, Ghsh A, Kobayashi AS, Bradt RC. Indentation fracture toughness of sintered silicon carbide in the Palmqvist regime. **J Am Ceram Soc** 1989; 72(6): 904-11.

Magne P, Oh WS, Pintado MR, DeLong R. Wear of enamel and veneering ceramics after laboratory and chairside finishing procedures. **J Prosthet Dent** 1999; 82(6): 669-79.

Mahoney E, Holt A, Swain M, Kilpatrick N. The hardness and modulus of elasticity of primary molar teeth: an ultra-micro-indentation study. **J Dent** 2000; 28(8): 589-94.

Mair LH, Stolarski TA, Vowles RW, Lloyd CH. Wear: mechanisms, manifestations and measurement. Report of a workshop. **J Dent** 1996; 24(1-2): 141-8.

McLean JW. New dental ceramics and esthetics. **J Esthet Dent** 1995; 7(4): 141-9.

McLean JW. Evolution of dental ceramics in the twentieth century. **J Prosthet Dent** 2001; 85(1): 61-6.

McLean JW, Hughes TH. The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. **Br Dent J** 1965; 119(6): 251-67.

Monasky GE, Taylor DF. Studies on the wear of porcelain, enamel, and gold. **J Prosthet Dent** 1971; 25(3): 299-306.

Newitter DA, Schlissel ER, Wolff MS, An avaluation of adjustment and postadjustment finishing techniques on the surface of porcelain-bonded-to-metal crowns. **Oper Dent** 1982; 48(4): 388-95.

O'Brien WJ. **Dental materials: properties and selection**. Chicago: Quintessence Pub.; 1997.

Palin WM, Fleming GJ, Marquis PM. An evaluation of the technique sensitivity of a hydrothermal low-fusing dental ceramic. **J Dent** 2001; 29(6): 443-9.

Palin WM, Fleming GJ, Marquis PM. An evaluation of the mechanical properties of 'hydrothermal' dental glass after water immersion and surface polishing. **Dent Mater** 2003; 19(2): 92-100.

Patterson CJ, McLundie AC, Stirrups DR, Taylor WG. Refinishing of porcelain by using a refinishing kit. **J Prosthet Dent** 1991; 65(3): 383-8.

Pröbster L, Geis-Gerstorfer J, Kirchner E, Kanjantra P. In vitro evaluation of a glass-ceramic restorative material. **J Oral Rehabil** 1997; 24: 636-645.

Quin JB, Quinn GD. Indentation brittleness of ceramics: a fresh approach. **J Mater Sci** 1997; 32: 4331-46.

Raimondo RL, Richardson JT, Wiedner B. Polished versus autoglazed dental porcelain. **J Prosthet Dent** 1990; 64(5): 553-7.

Ribeiro FC. **Avaliação da rugosidade da superfície de cerâmicas dentárias frente ao uso de diferentes sistemas de polimento.** [Tese]. São Paulo: USP/FO; 1998.

Rizkalla AS, Jones DW. Indentation fracture toughness and dynamic elastic moduli for commercial feldspathic dental porcelain materials. **Dent Mater** 2004; 20(2): 198-206.

Rosenstiel SF, Baiker MA, Johnston WM. Comparison of glazed and polished dental porcelain. **Int J Prosthodont** 1989; 2(6): 524-9.

Sasahara RMC. **Avaliação da rugosidade superficial, da dureza e da tenacidade à fratura de cerâmicas odontológicas frente ao polimento e ao glaze.** [Dissertação]. São Paulo: USP/FO; 2003.

Schlissel ER, Newitter DA, Renner RR, Gwinnett AJ. An evaluation of postadjustment polishing techniques for porcelain denture teeth. **J Prosthet Dent** 1980; 43(3): 258-65.

Scurria MS, Powers JM. Surface roughness of two polished ceramic materials. **J Prosthet Dent** 1994; 71(2): 174-7.

Seghi RR, Denry IL, Rosenstiel SF. Relative fracture toughness and hardness of new dental ceramics. **J Prosthet Dent** 1995; 74(2): 145-50.

Seghi RR, Rosenstiel SF, Bauer P. Abrasion of human enamel by different dental ceramics in vitro. **J Dent Res** 1991; 70(3): 221-5.

Shortall AC, Hu XQ, Marquis PM. Potential countersample materials for in vitro simulation wear testing. **Dent Mater** 2001; 18: 246-54.

Sorensen JA. A rationale for comparison of plaque-retaining properties of crown systems. **J Prosthet Dent** 1989; 62(3): 264-9.

Sulik WD, Plekavich EJ. Surface finishing of dental porcelain. **J Prosthet Dent** 1981; 46(2): 217-21.

Van Noort R. **Introduction to dental materials**. London: Mosby; 1994.

Ward MT, Tate WH, Powers JM. Surface roughness of opalescent porcelains after polishing. **Oper Dent** 1995; 20(3): 106-10.

Wassel RW, McCabe JF, Walls AWG. Subsurface deformation associated with hardness measurements of composites. **Dent Mater** 1992; 4: 218-23.

Whitehead SA, Shearer AC, Watts DC, Wilson NH. Comparison of methods for measuring surface roughness of ceramic. **J Oral Rehabil** 1995; 22(6): 421-7.

Whitehead SA, Shearer AC, Watts DC, Wilson NH. Comparison of two stylus methods for measuring surface texture. **Dent Mater** 1999; 15(2): 79-86.

Wiley MG. Effects of porcelain on occluding surfaces of restored teeth. **J Prosthet Dent** 1989; 61(2): 133-7.

Wohlwend A, Scharer P, Strub JR. Metallo-ceramic and full ceramic restorations (1). **Quintessenz** 1990; 41(6): 981-91.

Wohlwend A, Strub JR. Metal ceramic and full ceramic restorations (2). **Quintessenz** 1990; 41(7): 1161-75.

Zalkind M, Lauer S, Stern N. Porcelain surface texture after reduction and natural glazing. **J Prosthet Dent** 1986; 55(1): 30-33.

Zhang Y, Griggs JA, Benham AW. Influence of powder/liquid mixing ratio on porosity and translucency of dental porcelains. **J Prosthet Dent** 2004; 91(2): 128-35.

APÊNDICE

Quadro 4 – Resultados individuais de rugosidade média (μm) e dureza Vickers para quatro tratamentos de superfície para CERAMCO.

CERAMCO	Repetições	Glaze	Polimento	Polimento + Glaze	Polimento + Pasta
Rugosidade Superficial Ra(μm)	1	0,463	0,349	0,288	0,098
	2	0,603	0,307	0,227	0,164
	3	0,617	0,329	0,155	0,102
	4	0,533	0,372	0,156	0,076
	5	0,356	0,302	0,255	0,087
	6	0,589	0,358	0,172	0,074
	7	0,416	0,344	0,155	0,307
	8	0,736	0,339	0,295	0,079
	9	0,47	0,377	0,224	0,101
	10	0,44	0,242	0,275	0,075
Dureza Vickers	1	469,2	574,2	448	485,6
	2	435,6	502,6	548,4	529,8
	3	504,4	536,8	550,8	506,6
	4	470,2	509,6	551,4	564,2
	5	388,8	557	545,4	423,6
	6	438,6	590,4	614,8	505
	7	484,6	539,2	547,6	452,6
	8	406,2	611,8	561,2	528,8
	9	406	534,4	512	500,6
	10	373,2	526,2	503,8	528,4

Quadro 5 – Resultados individuais de rugosidade média (μm) e dureza Vickers para quatro tratamentos de superfície para CERCON.

CERCON	Repetições	Glaze	Polimento	Polimento + Glaze	Polimento + Pasta
Rugosidade Superficial Ra(μm)	1	0,113	0,722	0,619	0,103
	2	0,502	0,3	0,573	0,142
	3	0,501	0,497	0,242	0,157
	4	0,561	0,366	0,578	0,169
	5	0,267	0,498	0,601	0,17
	6	0,208	0,571	0,245	0,26
	7	0,403	0,504	0,232	0,146
	8	0,648	0,438	0,631	0,157
	9	0,114	0,475	0,48	0,348
	10	0,344	0,464	0,343	0,324
Dureza Vickers	1	426,4	551,6	370	407,4
	2	537,6	570,4	277,8	469,2
	3	390,8	469,4	283,4	463,4
	4	460,8	533,4	411	493,4
	5	416,2	568,4	324,4	513
	6	487,4	556	259,6	493,6
	7	410,4	585,2	421,2	385,8
	8	472,8	474,4	447,2	488,4
	9	402,4	532,8	458,2	378
	10	472,2	523,8	387,2	470,2

Quadro 6 – Resultados individuais de rugosidade média (μm) e dureza Vickers para quatro tratamentos de superfície para DSIGN.

DSIGN	Repetições	Glaze	Polimento	Polimento + Glaze	Polimento + Pasta
Rugosidade Superficial Ra(μm)	1	0,341	0,437	0,204	0,106
	2	0,512	0,418	0,382	0,183
	3	0,603	0,398	0,377	0,138
	4	0,564	0,463	0,255	0,136
	5	0,353	0,383	0,187	0,107
	6	0,274	0,365	0,207	0,084
	7	0,434	0,395	0,447	0,08
	8	0,332	0,464	0,612	0,201
	9	0,413	0,5	0,701	0,187
	10	0,295	0,422	0,446	0,203
Dureza Vickers	1	573	587,6	449,6	555,6
	2	485	519	477,4	569
	3	535,2	546	487	758
	4	614	608,8	495	560,6
	5	536	572,4	501,8	548,8
	6	519	589,2	468	512,6
	7	515,4	590,2	524,2	536,4
	8	702,4	633	530,2	415,4
	9	561,4	557,2	543	523,4
	10	545,8	551,6	509	585

Quadro 7 – Resultados individuais de rugosidade média (μm) e dureza Vickers para quatro tratamentos de superfície para FINESSE.

FINESSE	Repetições	Glaze	Polimento	Polimento + Glaze	Polimento + Pasta
Rugosidade Superficial Ra(μm)	1	0,526	0,429	0,41	0,242
	2	0,512	0,477	0,431	0,096
	3	0,729	0,442	0,423	0,191
	4	0,845	0,432	0,247	0,17
	5	0,484	0,544	0,354	0,137
	6	0,371	0,408	0,306	0,089
	7	0,6	0,533	0,333	0,261
	8	0,681	0,573	0,449	0,151
	9	0,564	0,486	0,335	0,166
	10	0,331	0,452	0,31	0,137
Dureza Vickers	1	556,6	538,4	547,6	477,8
	2	536	664,6	548,8	544
	3	423	0,584	568,4	572,2
	4	544,6	570,8	550	558,6
	5	644,4	635,8	481,8	568
	6	524,8	590,4	609,4	521,6
	7	524	475,8	591,8	564,6
	8	540,4	540,4	585,2	581,2
	9	582,2	563,6	609	579,2
	10	524,6	557,4	574,8	517,4

Quadro 8 – Resultados individuais de rugosidade média (μm) e dureza Vickers para quatro tratamentos de superfície para VINTAGE HALO.

VINTAGE HALO	Repetições	Glaze	Polimento	Polimento + Glaze	Polimento + Pasta
Rugosidade Superficial Ra(μm)	1	1,61	0,257	1,365	0,108
	2	2,174	0,423	1,128	0,227
	3	2,075	0,323	1,707	0,18
	4	2,187	0,441	1,19	0,132
	5	1,159	0,431	1,013	0,094
	6	1,007	0,364	1,031	0,078
	7	1,495	0,253	2,585	0,208
	8	2,667	0,349	2,104	0,244
	9	1,177	0,34	1,727	0,139
	10	0,625	0,441	1,553	0,178
Dureza Vickers	1	500,6	495	438,4	470,2
	2	450,8	361	409,8	445,4
	3	466,8	497,6	483,8	496,4
	4	610	420,4	310,4	519,4
	5	517,8	350,2	461,2	525
	6	434	470	453	482,4
	7	560,8	485	462,6	505,8
	8	446,4	423,4	426,8	501
	9	387,6	565,6	498,8	473,4
	10	472,6	458,6	391,6	397,2

Quadro 9 – Resultados individuais de rugosidade média (μm) e dureza Vickers para quatro tratamentos de superfície para VISION.

VISION	Repetições	Glaze	Polimento	Polimento + Glaze	Polimento + Pasta
Rugosidade Superficial Ra(μm)	1	0,497	0,501	0,091	0,09
	2	0,447	0,392	0,092	0,118
	3	0,493	0,385	0,087	0,131
	4	0,349	0,409	0,082	0,129
	5	0,604	0,994	0,196	0,125
	6	0,099	0,429	0,113	0,148
	7	0,451	0,498	0,566	0,164
	8	0,493	0,423	0,386	0,141
	9	0,489	0,367	0,164	0,091
	10	0,349	0,471	0,279	0,084
Dureza Vickers	1	532,8	518	523,4	523,4
	2	549,4	573,4	532,2	560,4
	3	500	569,6	493,8	530
	4	565,8	547,8	527	551,4
	5	538,2	546,4	407,2	539,6
	6	538,8	596	530,6	557,4
	7	512,4	610,2	514,2	489,8
	8	513	572	516,2	531,2
	9	485,2	504	519,8	545,2
	10	542,4	637,8	504,8	565

Quadro 10 – Resultados individuais de rugosidade média (μm) e dureza Vickers para quatro tratamentos de superfície para VISION ESTHETIC.

VISION ESTHETIC	Repetições	Glaze	Polimento	Polimento + Glaze	Polimento + Pasta
Rugosidade Superficial Ra(μm)	1	0,854	0,448	0,647	0,116
	2	0,864	0,398	0,783	0,134
	3	0,886	0,401	0,478	0,112
	4	0,501	0,483	0,47	0,205
	5	0,471	0,472	0,382	0,115
	6	0,577	0,569	0,662	0,12
	7	0,683	0,617	0,889	0,154
	8	0,8	0,394	0,893	0,116
	9	0,839	0,451	1,09	0,119
	10	0,442	0,624	0,38	0,143
Dureza Vickers	1	534,2	603	563,6	514
	2	503,2	560,4	520,8	537,8
	3	533,8	467,4	514,2	461
	4	538,4	556,8	529,2	512,4
	5	532	515,8	550,4	529,2
	6	530,8	540,4	547,6	466
	7	494,2	537,2	542	511,4
	8	552,2	671	549,6	517,2
	9	513	511,2	555,8	563,4
	10	479,8	610,6	539,8	539

Quadro 11 – Resultados individuais de rugosidade média (μm) e dureza Vickers para quatro tratamentos de superfície para WILL CERAM.

WILL CERAM	Repetições	Glaze	Polimento	Polimento + Glaze	Polimento + Pasta
Rugosidade Superficial Ra(μm)	1	0,093	0,366	0,084	0,08
	2	0,115	0,386	0,099	0,129
	3	0,377	0,476	0,229	0,187
	4	0,124	0,451	0,077	0,119
	5	0,215	0,402	0,073	0,08
	6	0,104	0,402	0,141	0,108
	7	0,134	0,351	0,141	0,083
	8	0,097	0,341	0,083	0,089
	9	0,084	0,455	0,139	0,152
	10	0,08	0,464	0,061	0,117
Dureza Vickers	1	420	571,6	537,8	542,8
	2	427,8	579,2	517,2	516,8
	3	484,8	543,8	518,8	515,4
	4	495,8	522,4	560,2	505,8
	5	448,4	602,2	558,4	596,6
	6	492	558,2	560,6	515
	7	527,2	593	538,4	539
	8	437,4	553,4	581	581
	9	485,2	549,4	556	527,2
	10	419,4	519,4	532,2	540,2

SANEST – SISTEMA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA
 Autores: Elío Paulo Zonta- Amauri Almeida Machado
 Instituto Agronômico de Campinas – IAC
 Análise da Variável Teste – ARQUIVO: Dissertação
 Código de Projeto: MMz
 Responsável: Marcelo Muzilli
 Delineamento Experimental: **Rugosidade Ra**
 Observações Não Transformadas

Nome dos Fatores	
FATOR	NOME
A	CERÂMICA
B	GRUPO

Tabela 4 - Análise de Variância.

Causas da variação	G.L	S.Q	Q.M	Valor F	Prob.>F
CERAMICA	7	13,6808737	1,9544105	58,7042	0,00001
GRUPO	3	8,9328793	2,9776264	89,4382	0,00001
CER*GRU	21	15,0445298	0,7164062	21,5185	0,00001
RESÍDUO	288	9,5882525	0,0332925		
Total	319				

Média Geral: 0,415516

Coefficiente de variação = 43,912%

Tabela 5 - Teste de Tukey para médias das cerâmicas dentro de Polimento do fator tratamento.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5%	1%
1	6	Vision	10	0,486900	0,486900	a	A
2	7	Vision Est.	10	0,485700	0,485700	a	A
3	2	Cercon	10	0,483500	0,483500	a	A
4	4	Finesse	10	0,477600	0,477600	a	A
5	3	Dsign	10	0,424500	0,424500	a	A
6	8	Will Ceram	10	0,409400	0,409400	a	A
7	5	Vintage	10	0,362200	0,362200	a	A
8	1	Ceramco	10	0,331900	0,331900	a	A

Tabela 6 - Teste de Tukey para médias das cerâmicas dentro de Polimento + Pasta do fator tratamento.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5%	1%
1	2	Cercon	10	0,197600	0,197600	a	A
2	4	Finesse	10	0,164000	0,164000	a	A
3	5	Vintage	10	0,158000	0,158000	a	A
4	3	Sign	10	0,142500	0,142500	a	A
5	7	Vision Est.	10	0,133400	0,133400	a	A
6	6	Vision	10	0,12200	0,12200	a	A
7	1	Ceramco	10	0,116300	0,116300	a	A
8	8	Will Ceram	10	0,114400	0,114400	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

Tabela 7 - Teste de Tukey para médias das cerâmicas dentro de Polimento + Glaze do fator tratamento.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5%	1%
1	5	Vintage	10	1,540300	1,540300	a	A
2	7	Vision Est.	10	0,667400	0,667400	b	B
3	2	Cercon	10	0,454400	0,454400	bc	BC
4	3	Sign	10	0,381800	0,381800	cd	CD
5	4	Finesse	10	0,359800	0,359800	cd	CD
6	1	Ceramco	10	0,220200	0,220200	cde	CD
7	6	Vision	10	0,205600	0,205600	de	CD
8	8	Will Ceram	10	0,112700	0,112700	e	D

Tabela 8 - Teste de Tukey para médias das cerâmicas dentro de Glaze do fator tratamento.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	5	Vintage	10	1,617600	1,617600	a	A
2	7	Vision Est.	10	0,691700	0,691700	b	B
3	4	Finesse	10	0,564300	0,564300	bc	BC
4	1	Ceramco	10	0,522300	0,522300	bc	BC
5	6	Vision	10	0,427100	0,427100	c	BC
6	3	Dsign	10	0,412100	0,412100	c	BCD
7	2	Cercon	10	0,366100	0,366100	cd	CD
8	8	Will Ceram	10	0,142300	0,142300	d	D

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 0,24479 – D.M.S. 1% = 0,28282

Tabela 9 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Ceramco do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	4	G	10	0,522300	0,522300	a	A
2	1	P	10	0,331900	0,331900	ab	AB
3	3	PG	10	0,220200	0,220200	bc	B
4	2	PP	10	0,116300	0,116300	c	B

Tabela 10 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Cercon do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	1	P	10	0,483500	0,483500	a	A
2	3	PG	10	0,454400	0,454400	a	A
3	4	G	10	0,366100	0,366100	ab	AB
4	2	PP	10	0,197600	0,197600	b	B

Tabela 11 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Dsign do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	1	P	10	0,424500	0,424	a	A
2	4	G	10	0,412100	0,412100	a	A
3	3	PG	10	0,381800	0,381800	a	AB
4	2	PP	10	0,142500	0,142500	b	B

Tabela 12 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Finesse do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
-----------	----------	------	-----------	--------	------------------	-----	----

	Trat		Repet		Originais	%	
1	4	G	10	0,564300	0,564300	a	A
2	1	P	10	0,477600	0,477600	a	A
3	3	PG	10	0,359800	0,359800	ab	AB
4	2	PP	10	0,164000	0,164000	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

Tabela 13 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Vintage do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	4	G	10	1,617600	1,617600	a	A
2	3	PG	10	1,540300	1,540300	a	A
3	1	P	10	0,362200	0,362200	b	B
4	2	PP	10	0,158800	0,158800	b	B

Tabela 14 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Vision do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	1	P	10	0,486900	0,486900	a	A
2	4	G	10	0,427100	0,427100	a	AB
3	3	PG	10	0,205600	0,205600	b	BC
4	2	PP	10	0,122100	0,122100	b	C

Tabela 15 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Vision E. do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	4	G	10	0,691700	0,691700	a	A
2	3	PG	10	0,667400	0,667400	a	A
3	1	P	10	0,485700	0,485700	a	A
4	2	PP	10	0,133400	0,133400	b	B

Tabela 16 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Will C. do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	1	P	10	0,409400	0,409400	a	A
2	4	G	10	0,142300	0,142300	b	B
3	2	PP	10	0,114400	0,114400	b	B
4	3	PG	10	0,112700	0,112700	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 0,20710 – D.M.S. 1% = 0,24996

SANEST – SISTEMA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA

Autores: Elío Paulo Zonta- Amauri Almeida Machado

Instituto Agrônomo de Campinas – IAC

Análise da Variável Teste – ARQUIVO: Dissertação

Código de Projeto: MMz

Responsável: Marcelo Muzilli

Delineamento Experimental: **Dureza Vickers**

Observações Não Transformadas

Nome dos Fatores

FATOR	NOME
A	CERÂMICA
B	GRUPO

Tabela 17 - Análise de Variância.

Causas da variação	G.L	S.Q	Q.M	Valor F	Prob.>F
CERAMICA	7	399105,0243418	57015,0034774	31,7589	0,00001
GRUPO	3	126835,3169929	42278,4389976	23,5502	0,00001

CER*GRU	21	237694,8165991	11318,8007904	6,3049	0,00001
RESÍDUO	288	517030,5004778	1795,2447933		
Total	319	1280665,6584116			

Média Geral: 513,874390

Coefficiente de variação = 8,245%

Tabela 18 - Teste de Tukey para médias das cerâmicas dentro de Polimento do fator tratamento.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5%	1%
1	3	Dsign	10	575,500000	575,500000	a	A
2	4	Finesse	10	572,120020	572,120020	a	A
3	6	Vision	10	567,520020	567,520020	a	A
4	8	Will Ceram	10	559,259961	559,259961	a	A
5	7	Vision Est.	10	557,380029	557,380029	a	A
6	1	Ceramco	10	548,220020	548,220020	a	A
7	2	Cercon	10	536,539990	536,539990	a	A
8	5	Vintage	10	452,679980	452,679980	b	B

Tabela 19 - Teste de Tukey para médias das cerâmicas dentro de Polimento + Pasta do fator tratamento.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5%	1%
1	4	Finesse	10	548,460059	548,46005	a	A

2	6	Vision	10	539,340039	539,340039	a	AB
3	8	Will Ceram	10	537,980029	537,980029	ab	AB
4	3	Dsign	10	533,379980	533,379980	ab	AB
5	7	Vision Est.	10	515,139990	515,139990	ab	ABC
6	1	Ceramco	10	502,520020	502,52002	abc	ABC
7	5	Vintage	10	481,620020	0	bc	BC
8	2	Cercon	10	456,239990	481,620020	c	C
					456,239990		

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

Tabela 20 - Teste de Tukey para médias das cerâmicas dentro de Polimento + Glaze do fator tratamento.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5%	1%
1	4	Finesse	10	566,679980	566,679980	A	A
2	8	Will Ceram	10	546,060010	546,060010	ab	AB
3	7	Vision Est.	10	541,299951	541,299951	ab	AB
4	1	Ceramco	10	538,339990	538,339990	ab	AB
5	6	Vision	10	506,919971	506,919971	b	AB
6	3	Dsign	10	498,520020	498,52002	b	BC
7	5	Vintage	10	433,640039	0	c	C
8	2	Cercon	10	363,999976	433,640039	d	D
					9		
					363,999976		

Tabela 21 - Teste de Tukey para médias das cerâmicas dentro de Glaze do fator tratamento.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5%	1%
1	3	Dsign	10	541,679980	541,679980	a	A
2	4	Finesse	10	540,060059	540,06005	ab	A
3	6	Vision	10	527,800000	527,80000	ab	AB
4	7	Vision Est.	10	521,160010	521,160010	ab	AB
5	5	Vintage	10	484,739990	484,739990	bc	ABC
6	8	Will Ceram	10	463,799951	463,799951	c	BC
7	2	Cercon	10	447,700000	447,700000	c	C
8	1	Ceramco	10	437,680029	437,680029	c	C

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 0,24479 – D.M.S. 1% = 0,28282

Tabela 22 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Ceramco do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5%	1%
1	1	P	10	548,220020	548,220020	a	A
2	3	PG	10	538,339990	538,339990	a	A
3	2	PP	10	502,520020	502,520020	a	A
4	4	G	10	437,680029	437,680029	b	B

Tabela 23 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Cercon do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	1	P	10	536,539990	536,539990	a	A
2	2	PP	10	456,23990	456,23990	b	B
3	4	G	10	447,70000	447,70000	b	B
4	3	PG	10	363,999976	363,999976	c	C

Tabela 24 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Dsign do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	1	P	10	575,500000	575,500000	a	A
2	4	G	10	541,679980	541,679980	ab	AB
3	2	PP	10	533,379980	533,379980	ab	AB
4	3	PG	10	498,520020	498,520020	b	B

Tabela 25 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Finesse do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	1	P	10	572,120020	572,120020	a	A
2	3	PG	10	566,679980	566,679980	a	A
3	2	PP	10	548,460059	548,460059	a	A
4	4	G	10	540,060059	540,060059	a	A

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

Tabela 26 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Vintage do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	4	G	10	484,739990	484,739990	a	A
2	2	PP	10	481,620020	481,620020	ab	A

3	1	P	10	452,679980	452,679980	ab	A
4	3	PG	10	433,640039	433,640039	b	A

Tabela 27 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Vision do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	1	P	10	567,520020	567,520020	a	A
2	2	PP	10	539,340039	539,340039	ab	AB
3	4	G	10	527,800000	527,800000	ab	AB
4	3	PG	10	506,919971	506,919971	b	B

Tabela 28 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Vision E. do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	1	P	10	557,380029	557,380029	a	A
2	3	PG	10	541,299951	541,299951	a	A
3	4	G	10	521,160010	521,160010	a	A
4	2	PP	10	515,139990	515,139990	a	A

Tabela 29 - Teste de Tukey para médias de tratamento dentro de Will C. do fator cerâmica.

Num.Ordem	Num Trat	Nome	Num Repet	Médias	Médias Originais	5 %	1%
1	1	P	10	559,259961	559,259961	a	A
2	3	PG	10	546,060010	546,060010	a	A
3	2	PP	10	537,980029	537,980029	a	A
4	4	G	10	463,799951	463,799951	b	B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado

D.M.S. 5% = 48,09052 – D.M.S. 1% = 58,04306