

Avaliação Das Superfícies De Cerâmicas Convencional E Injetada Antes E Após O Glazeamento Por Meio De Microscopia Eletrônica De Varredura E Microscopia De Força Atômica

Eduardo Cinel Agostineli

*Faculdade De Odontologia De Araçatuba, Foa – UNESP
Odontologia - Doutorando em Ciências, Área de Biomateriais*

Alailson Domingos Dos Santos

*Universidade UNIBO-BOLOGNA-ITALIA
Odontologia - Doutor*

Marcello Ricardo Garcia Guedes Silva

*Centro Universitário De Santa Fé Do Sul - UNIFUNEC
Odontologia*

Aimée Maria Guiotti

*Faculdade de Odontologia de Araçatuba - UNESP
Odontologia - Programa de Pós-Graduação em Ciências, Área de Biomateriais*

Michela Melissa Duarte Seixas Sostena

*Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP
Odontologia - Doutorado em Ciência e Tecnologia de Materiais*

Resumo

As cerâmicas odontológicas são amplamente utilizadas como materiais restauradores devido às suas propriedades físicas e estéticas, como resistência à compressão, condutibilidade térmica, biocompatibilidade e estabilidade de cor. Entre os fatores que influenciam seu desempenho clínico, a lisura superficial desempenha um papel fundamental, pois impacta diretamente a adesão bacteriana, a longevidade das restaurações e a estética do sorriso do paciente. Este estudo tem como objetivo avaliar comparativamente a rugosidade superficial de duas cerâmicas odontológicas – convencional (feldspática) e injetada (IPS E.max, Ivoclar) – antes e após o glazeamento. Para isso, foram analisadas seis amostras de cada material, sendo três sinterizadas e três após o glazeamento. Os valores de rugosidade foram obtidos por meio de Microscopia de Força Atômica (AFM), enquanto a morfologia superficial foi avaliada com o uso da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Além disso, a composição química dos materiais foi analisada por espectroscopia por dispersão de energia (EDS). Os resultados demonstraram que a cerâmica injetada apresentou valores de rugosidade inferiores em relação à convencional, tanto antes quanto após o glazeamento, indicando uma superfície mais homogênea e lisa. O glazeamento foi eficaz na redução da rugosidade em ambos os materiais, porém a cerâmica convencional ainda apresentou maior irregularidade quando comparada à injetada. As imagens obtidas por MEV revelaram uma maior quantidade de poros na cerâmica convencional, o que pode favorecer o acúmulo de biofilme bacteriano. Já a análise química indicou pouca variação na composição dos materiais antes e após o glazeamento. Diante dos achados, conclui-se que a cerâmica injetada apresenta vantagens significativas em termos de lisura superficial, o que pode influenciar positivamente a estética e a longevidade das restaurações odontológicas. A redução da rugosidade após o glazeamento reforça a importância desse processo na otimização da qualidade das superfícies cerâmicas. Esses resultados contribuem para uma melhor compreensão das propriedades dos materiais restauradores e auxiliam na escolha do material mais adequado para a prática clínica.

Palavras-chave: *Cerâmica odontológica; Rugosidade superficial; Microscopia Eletrônica de Varredura; Microscopia de Força Atômica; Glazeamento.*

Date of Submission: 25-02-2025

Date of Acceptance: 05-03-2025

I. Introdução

Na odontologia atual, observa-se uma vasta gama de materiais restauradores, situação que decorre em grande parte da crescente ênfase na estética, a qual passou a ser um aspecto de destaque nos consultórios. Essa evolução também acompanha a busca incansável por resultados que imitem cada vez melhor a dentição natural. O desejo dos pacientes de ter um sorriso harmonioso tornou-se um requisito essencial para uma convivência social satisfatória e, muitas vezes, até para ascensão profissional.

Entre os diversos materiais restauradores estéticos, a cerâmica destaca-se cada vez mais. A procura por restaurações que aliem funcionalidade e aparência favoreceu o aumento do uso de cerâmicas dentais, antes focado apenas em dentes anteriores, mas que hoje se estende também aos dentes posteriores. Tal fato se deve, principalmente, à capacidade que as cerâmicas têm de reproduzir a aparência dos dentes naturais com excelência. Além disso, a cerâmica odontológica se tornou uma das principais escolhas para restaurações devido às suas propriedades favoráveis, como a alta resistência à compressão, a boa condutibilidade térmica, a similaridade estrutural com os tecidos dentais, a radiopacidade, a integridade marginal, a estabilidade de cor e o biomimetismo.

Nos últimos anos, as cerâmicas têm passado por uma notável evolução, embasada por inúmeros estudos e pelo desenvolvimento de novas tecnologias. Pesquisadores e fabricantes buscam aprimorar as características ideais desses materiais, para que sejam capazes de restaurar dentes perdidos ou comprometidos de maneira cada vez mais funcional e estética. Sob esse ponto de vista, além de satisfazer criteriosamente as necessidades funcionais, a cerâmica apresenta, de forma geral, uma estética ainda sem concorrentes entre os materiais restauradores odontológicos.

Vários estudos relatam resultados promissores quanto à utilização das restaurações cerâmicas, sobretudo pela biocompatibilidade, boa adaptação marginal e integração com os tecidos periodontais, fatores que contribuem para aumentar a longevidade de cada procedimento restaurador.

De maneira geral, as cerâmicas utilizadas na Odontologia podem ser diferenciadas pela sua composição estrutural, pelas suas propriedades mecânicas e pelo seu processo de fabricação, fatores que definem suas indicações clínicas. É possível, contudo, classificá-las em três grandes grupos: as porcelanas feldspáticas, os vidros ceramizados e as cerâmicas essencialmente de óxidos (FONSECA, 2008). Muitos autores defendem ainda a tese de que as cerâmicas foram os primeiros materiais produzidos artificialmente pela humanidade (PEIXOTO; AKAKI, 2008), uma vez que o termo “cerâmica” tem origem na palavra grega *keramos*, com significado de “argila” (APICER, 2006).

Registros históricos apontam indícios de cerâmicas remontando a aproximadamente 13 mil anos, a partir de escavações no Vale do Nilo, no Egito. No século X, a China já dominava a arte de produzir peças cerâmicas de elevada brancura e estrutura interna firme, tecnologia que só chegaria à Europa por volta do século XVII, onde ficou conhecida como “louça de mesa”. Todavia, o segredo chinês foi desvendado apenas em 1717, ao se constatar que a cerâmica era composta basicamente por caulim (argila chinesa), sílica (quartzo) e feldspato (mistura de silicatos de alumínio, potássio e sódio) (DELLA BONA; SHEN, 2004).

Em 1720, foi a vez de a cerâmica ser introduzida na Odontologia, graças ao francês Alexis Duchateau, que percebeu a durabilidade, a resistência a manchas e a abrasão das peças cerâmicas usadas em utensílios domésticos. Incomodado com a fragilidade de sua prótese de marfim, ele resolveu substituí-la por uma cerâmica. Com o auxílio de Nicholas Dubois de Chemant, as aplicações odontológicas da cerâmica ganharam impulso. Por volta do final do século XIX, surgiram as chamadas próteses parciais fixas em cerâmica, conhecidas como coroas de jaquetas, viabilizadas pela patente da técnica de folha de platina (GOMES, 2008).

Na década de 1950, adicionou-se leucita (um silicato natural de alumínio e potássio) à composição de porcelanas, com o objetivo de incrementar o coeficiente de expansão térmica, permitindo a fusão das porcelanas com determinadas ligas à base de ouro para a confecção de coroas e próteses parciais fixas. Em 1950, McLean e Hughes incorporaram 40 a 50% de cristais de alumina (composto de alumínio e oxigênio, conhecido também como óxido de alumínio) às coroas de jaquetas, para aumentar sua resistência (variando de 120 a 180 MPa), sem perder a estética desejada. Já na década de 1970, surgiu uma técnica adicional para incrementar a força dessas restaurações: utilizava-se uma folha de platina recoberta por uma camada de óxido de estanho, com a finalidade de assegurar a união entre a porcelana e o metal. A partir daí, vários cristais adicionais – leucita, dissilicato de lítio e zircônia – começaram a ser empregados para barrar a propagação de fendas sob tensões de tração, melhorando a resistência do material.

Em meados do final do século XX, foram lançados sistemas inovadores de cerâmicas livres de metal, que melhoraram progressivamente suas propriedades físicas e mecânicas. Atualmente, as cerâmicas podem ser processadas de diferentes modos: de forma convencional (sinterização), fundida (prensagem ou injeção), torneada (usinagem CAD/CAM) ou, ainda, pela associação de técnicas, resultando nas chamadas cerâmicas infiltradas (utilizadas como infraestruturas).

No processamento convencional (sinterização), faz-se a mistura de pó cerâmico e líquido, depositando-se sobre um troquel refratário, sobre folha de platina ou sobre um casquete metálico. É considerado um método tradicional, no qual o técnico manipula o pó e o líquido, compactando e removendo o excesso de umidade, para

então queimar a porcelana em forno a vácuo, o que permite melhor coalescência das partículas. Esse tipo de cerâmica costuma resultar em elevado grau de translucidez e grande apelo estético, sendo a técnica mais empregada na produção de porcelanas feldspáticas. A porcelana, ao sofrer a queima, apresenta a fase vítrea amolecida, o que facilita a fusão das partículas do pó (DEHAILAN, 2009).

Já o método fundido (prensado ou injetado), popularmente chamado de técnica de cera perdida, envolve o aquecimento a alta temperatura para evaporação da cera, simultâneo à injeção do material cerâmico dentro de um revestimento. Geralmente, usa-se pastilhas de cerâmica, que são fundidas e injetadas sob pressão e calor para ocupar completamente o espaço antes ocupado pela cera (técnica “Press”).

Na opção torneada (usinada), a confecção ocorre por meio de sistemas CAD/CAM, em que blocos pré-fabricados de cerâmica, já sinterizados ou fundidos, são usinados para dar forma à restauração. O grande diferencial do CAD/CAM é a rapidez de execução e a resistência mecânica reforçada pelos blocos de alta qualidade (feldspáticos, leucíticos, aluminosos, de zircônia ou outros) pré-manufaturados.

Por sua vez, as cerâmicas infiltradas (infiltradas por vidro) são produzidas a partir de um corpo poroso, geralmente um óxido cerâmico (como o óxido de alumínio), no qual se faz a infiltração de vidro por capilaridade a altas temperaturas (LEAL, 2002). O resultado é um material com porosidade reduzida, alta resistência e boa tenacidade, já que o vidro se difunde pelos poros em temperatura elevada.

A composição inorgânica fundamental das cerâmicas inclui argila, feldspato, sílica, caulim, quartzo, filito, talco, calcita, dolomita, magnesita, cromita, bauxita, grafita e zirconita. Em termos químicos, apresentam elementos metálicos (alumínio, cálcio, lítio, magnésio, potássio, sódio, lantânio, estanho, titânio, zircônio) e não metálicos (silício, boro, flúor, oxigênio). Quanto à temperatura de fusão, podem ser de alta fusão (1.315 a 1.370°C), média fusão (1.090 a 1.260°C), baixa fusão (870 a 965°C) ou ultra-baixa fusão (inferior a 870°C) (CRAIG, 2004).

Conforme mencionado, as cerâmicas de uso odontológico podem ser agrupadas em: (1) porcelanas feldspáticas (cerâmica convencional, em que predomina a fase vítrea e, portanto, apresenta alta translucidez), (2) vidros ceramizados (como o dissilicato de lítio, exemplificado pelo Emax) e (3) cerâmicas essencialmente de óxidos (alumina e zircônia, entre outras). Cada tipo tem suas indicações com base nas diferenças de estrutura, propriedades mecânicas e estética desejada.

Com relação às regiões de aplicação, podem-se indicar materiais com diferentes níveis de opacidade e resistência. O espinélio, por exemplo, apresenta alta translucidez e resistência moderada, adequado para coroas unitárias em dentes anteriores. A alumina oferece resistência intermediária e translucidez razoável, podendo ser utilizada em próteses parciais fixas anteriores e coroas unitárias anteriores. Já a zircônia apresenta resistência muito alta e opacidade acentuada, o que a torna apta a reabilitar regiões posteriores, seja em coroas unitárias ou em próteses parciais fixas de até três elementos.

De acordo com Phillips, a cerâmica odontológica é um material especificamente formulado para proporcionar resistência, durabilidade e cores apropriadas à restauração da forma e da função dos dentes. Dessa forma, dependendo da indicação — seja uma coroa unitária, uma ponte, um pino ou um bracket —, encontram-se variações de formulações, como a alumina pura, a zircônia estabilizada por céria, alumina infiltrada por vidro, espinélio magnésia-alumina infiltrada por vidro, alumina/zircônia também infiltrada por vidro, cerâmicas vítreas de dissilicato de lítio, zircônia estabilizada por ítria e ainda diversos tipos de vidros e glazes.

As chamadas cerâmicas feldspáticas representam as precursoras no uso odontológico. Obtidas somente pelo processo de sinterização (mistura de pó e líquido), são assim chamadas porque o feldspato é seu principal componente. A presença de uma fase vítrea confere uma alta translucidez, mas também resulta em propriedades mecânicas menos robustas quando comparadas com outras cerâmicas odontológicas de maior resistência. Apesar disso, as porcelanas feldspáticas continuam amplamente utilizadas, notadamente em restaurações metalocerâmicas, graças à sua confiabilidade, longevidade e excelentes resultados estéticos, sobretudo em dentes anteriores, mas também no segmento posterior em casos em que a resistência à fadiga não seja fator limitante.

Algumas dessas cerâmicas feldspáticas são reforçadas para dobrar sua resistência à flexão em comparação às versões convencionais. A leucita, quando adicionada, funciona como um reforço, incrementando a resistência flexural e elevando o coeficiente de contração térmica. Ao mesmo tempo, há outras vitrocerâmicas com diferentes cristais de reforço, como o dissilicato de lítio, presente no Sistema Empress 2, que exibe bons níveis de resistência à flexão e à fratura, podendo ser aproveitado como infraestrutura de coroas unitárias. No caso das vitrocerâmicas à base de leucita (como o Empress 1), são especialmente indicadas para inlays, onlays, facetas e para recobrir infraestruturas cerâmicas. Já o Empress 2, por sua maior resistência mecânica, serve como infraestrutura de coroas totais e próteses fixas de até três elementos.

Por outro lado, as cerâmicas essencialmente de óxidos (também conhecidas como cerâmicas densas ou de alta tecnologia) podem ser compostas por alumina, zircônia, magnésia ou lítio. Muitas vezes, são processadas por técnicas CAD/CAM, o que as torna altamente resistentes quanto à flexão e muito duras em comparação com as feldspáticas, ainda que menos translúcidas (ou seja, são mais opacas). Portanto, costumam ser usadas como

infraestrutura, dada a semelhança de resistência com os metais, embora apresentem uma coloração base mais clara que estes, o que pode trazer vantagens estéticas.

Dentro de todo esse processo, o glazeamento tem um papel fundamental. Ao final da produção da peça protética, o glazeamento ou polimento é um procedimento decisivo que visa, entre outros objetivos, reduzir a probabilidade de propagação de trincas, melhorar a estética, facilitar a higienização oral, conferir maior resistência à fratura e minimizar a abrasividade do material, o que reduz a retenção de placa bacteriana. Desse modo, os tratamentos de superfície – sejam eles mecânicos (com pontas de polimento) ou térmicos (com aplicação de um glaze específico) – são altamente recomendados para otimizar as propriedades físicas das cerâmicas odontológicas (FOLWACZNY, 1998).

Existem, grosso modo, duas técnicas de glazeamento: o autoglaze e o glaze convencional. No autoglaze, não se aplica nenhuma camada de vidro adicional; a cerâmica é simplesmente aquecida a uma temperatura ligeiramente inferior à utilizada na sinterização, o que induz a formação de uma fase vítrea na superfície, conferindo, assim, o aspecto liso e o brilho característicos do glazeamento. Já no glaze convencional, adiciona-se uma leve camada de cerâmica de cobertura de baixa fusão, que é submetida a uma queima em temperatura um pouco mais baixa que a da sinterização. Em ambas as técnicas, o resultado final é a melhoria da superfície do material, essencial para que a cerâmica apresente menor rugosidade, menos pontos de tensão e maior resistência a fraturas ao longo do tempo.

Portanto, as cerâmicas odontológicas representam uma escolha que alia favoravelmente fatores estéticos e mecânicos, assim como a possibilidade de produzir próteses personalizadas para cada situação clínica. Quando adequadamente selecionadas e processadas (desde a sinterização ou injeção, passando pelo correto acabamento até o glazeamento), esses materiais podem oferecer resultados duradouros e de alta satisfação tanto para o paciente quanto para o profissional.

II. Metodologia

Este estudo seguiu um delineamento experimental que visou comparar cerâmicas do tipo convencional (feldspática) e cerâmicas injetadas (sistema baseado em dissilicato de lítio, por exemplo, IPS E.max – Ivoclar), antes e após o processo de glazeamento. Tal comparação fundamentou-se em avaliações de rugosidade, área de superfície, morfologia superficial e composição química, por meio da Microscopia de Força Atômica (MFA), da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e da Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS). A adoção de diversas técnicas de análise se justificou pela necessidade de caracterizar os materiais tanto do ponto de vista topográfico quanto estrutural, a fim de relacionar os dados obtidos com as implicações clínicas de cada tipo de cerâmica em próteses odontológicas (BORGES et al., 2002; WERNECK; NEISSER, 2008; BRENTTEL, 2008).

Delineamento e seleção das amostras

Para a realização deste trabalho, foram utilizadas seis amostras de cada cerâmica, totalizando doze corpos de prova, conforme proposto em metodologias semelhantes de avaliação de propriedades superficiais (SCOTA; SPOHR, 2010; OLIVEIRA, 2010). No caso da cerâmica convencional (feldspática), três amostras foram analisadas logo após a sinterização e três após o glazeamento. Para a cerâmica injetada (base dissilicato de lítio), foram coletadas também três amostras antes do glaze e três posteriormente ao procedimento de acabamento, totalizando a mesma quantidade. Assim, a divisão permitiu a comparação entre materiais diferentes e entre os estados “antes e depois” do glazeamento (FOLWACZNY, 1998).

As amostras foram obtidas em um laboratório de prótese dental, onde o protético já tinha confeccionado elementos cerâmicos para uso de rotina. Após autorização, coletaram-se fragmentos de coroas e próteses parciais fixas que seriam descartados ou não aproveitados em trabalhos clínicos. A fim de garantir a variabilidade de superfícies, as porções selecionadas consistiram de áreas das estruturas cerâmicas com espessura adequada para análise, evitando-se bordas excessivamente finas que pudessem se fracturar durante o transporte.

Para manter a rastreabilidade dos dados, cada fragmento foi devidamente rotulado e acondicionado em recipiente estéril, livre de umidade, de forma a minimizar contaminações que pudessem afetar as medições de rugosidade ou a observação microscópica (BORGES et al., 2002). Posteriormente, foi feita uma triagem inicial para identificar possíveis trincas macroscópicas ou defeitos muito extensos, que inviabilizariam a análise microscópica. Após essa seleção, permaneceu-se com o número necessário de amostras, seguindo o critério estatístico mínimo de três por grupo experimental (CESAR, 2002).

Preparação e padronização das amostras

O preparo das amostras seguiu protocolos de padronização descritos na literatura, como no trabalho de Brentel (2008), que enfatiza a importância de uniformizar a superfície cerâmica antes de iniciar medições. Desse modo, cada fragmento foi cuidadosamente limpo com água destilada e sabão neutro, utilizando-se uma escova de cerdas macias para remover qualquer impureza superficial. Em seguida, secou-se com jatos suaves de ar para evitar danos na estrutura.

Para distinguir as condições avaliadas (sinterizada ou com glazeamento), respeitou-se o histórico de confecção das peças no laboratório de prótese. No caso da cerâmica convencional, as três amostras “pré-glaze” foram analisadas exatamente no estado em que saíram do forno após a última queima de sinterização (DEHAILAN, 2009; CRAIG, 2004). Já as três amostras “pós-glaze” passaram pelo procedimento adicional de glazeamento ou polimento final, seguindo as orientações do fabricante do pó cerâmico. No que diz respeito à cerâmica injetada, utilizou-se a mesma lógica: a etapa pré-glaze referia-se às estruturas obtidas logo após a injeção e a cristalização (quando aplicável), enquanto as amostras pós-glaze foram submetidas ao acabamento superficial por meio do glaze fornecido pela respectiva marca (FONTE: dados do laboratório; ver também WERNECK; NEISSER, 2008).

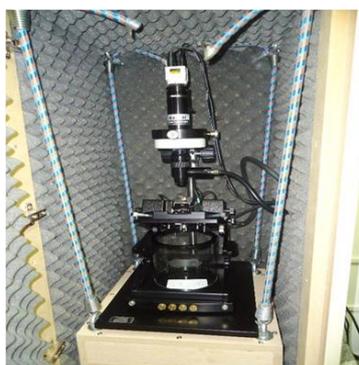
Importante salientar que o processo de glazeamento para ambas as cerâmicas, segundo as fichas técnicas, envolvia a aplicação de uma fina camada de material de baixa fusão e posterior aquecimento em forno a uma temperatura menor que a da sinterização principal (FOLWACZNY, 1998). Esse procedimento visava ao selamento de poros, redução de rugosidades mais pronunciadas e incremento da resistência à fratura. A fim de padronizar esse passo, todas as amostras foram submetidas a uma única queima de glaze, seguindo tempo e temperatura compatíveis com a descrição do fabricante (SCOTA; SPOHR, 2010).

Análise por Microscopia de Força Atômica (MFA)

A avaliação da rugosidade superficial (R_a) e da área de superfície foi efetuada no Microscópio de Força Atômica (MFA), método que se fundamenta na medição de forças de interação entre uma ponteira extremamente fina e a superfície analisada (AKSOY et al., 2006). A MFA tem a capacidade de mapear as elevações e depressões em escala nanométrica, permitindo obter imagens topográficas de alta precisão (BRASIL et al., 2010, adaptação).

No presente estudo, a MFA utilizada era composta por uma ponteira (tip) de silício, acoplada a um cantilever sensível à variação de forças. À medida que essa ponteira se deslocava em varredura sobre a superfície, registravam-se as deflexões geradas pela topografia do material. Esse sinal, interpretado por um software específico, resultava em imagens tridimensionais e dados quantitativos de rugosidade, tais como o valor de R_a (média aritmética das variações verticais) e a área de superfície (OLIVEIRA, 2010).

A Figura 1 ilustra o equipamento de Microscopia de Força Atômica utilizado.



Durante o procedimento, realizou-se a varredura de cada amostra em um tamanho padronizado de área (por exemplo, $2 \times 2 \mu\text{m}$ ou $5 \times 5 \mu\text{m}$, conforme a homogeneidade do material). Cada leitura era repetida ao menos três vezes em regiões distintas, para assegurar maior confiabilidade estatística (CESAR, 2002). As configurações de varredura, como velocidade e força de contato, foram mantidas constantes em todas as amostras, de modo a permitir a comparação direta dos valores de rugosidade entre os grupos.

A Figura 1 ilustra o modelo de Microscópio de Força Atômica utilizado, enquanto a Figura 2 mostra um diagrama esquemático do seu princípio de funcionamento. Optou-se por apresentar os valores de R_a e área de superfície em tabelas (ver, por exemplo, Tabela 1 – indicar posição), seguindo recomendações de trabalhos como Scota e Spohr (2010), que relacionaram a rugosidade de cerâmicas às possibilidades de maior ou menor adesão bacteriana.

	Rugosidade R_a nm	Área da sup. μm^2
Convencional sp	133,1	4,37
Convencional cp	97,0	4,11
Injetada sp	119,9	4,39
Injetada cp	52,3	4,0

Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e EDS

Para observar a morfologia superficial das amostras e investigar eventuais porosidades, bem como para avaliar a composição química qualitativa dos materiais, empregou-se a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), aliada à Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raios X (EDS). A MEV é amplamente utilizada em Odontologia para análise de topografia e avaliação de presença de defeitos, bolhas, trincas e partículas de reforço na matriz vítrea (BRENTTEL, 2008; WERNECK; NEISSER, 2008).

Seguindo protocolos descritos por Oliveira (2010) e Cesar (2002), inicialmente foi realizada a metalização das superfícies das amostras, garantindo-se a condução elétrica necessária para que o feixe de elétrons não gerasse carga estática. O recobrimento foi feito com ouro (Au) em um equipamento de sputtering, com espessura média de 10 nm (Figura 4 – indicar posição). Esse processo promoveu melhor definição de contornos e reduziu artefatos de imagem (SCOTA; SPOHR, 2010).

Uma vez metalizadas, as amostras foram inseridas na câmara de amostras do MEV (Figura 5 – indicar posição) e submetidas ao feixe de elétrons. Os elétrons refletidos (backscattered) e secundários foram então coletados para formação das imagens, gerando registros bidimensionais com aparência tridimensional, de acordo com as variações da topografia e da composição (DELLA BONA; SHEN, 2004). As micrografias foram obtidas em ampliações diversas (por exemplo, 500×, 1.000× e 2.000×), dependendo do tamanho de grão e das estruturas de interesse.

Paralelamente, a EDS foi realizada em pontos específicos das amostras, identificados como regiões de potencial diferença composicional (por exemplo, cristais de leucita, óxido de alumínio ou cristais de dissilicato de lítio). O software acoplado ao MEV gerou espectros de raios X que permitiram a análise qualitativa dos elementos químicos presentes. Essa etapa é relevante para confirmar, por exemplo, a presença de lítio em cerâmicas injetadas, ou a elevada quantidade de sílica e alumina em cerâmicas feldspáticas (BORGES et al., 2002; GOMES, 2008).

No documento original (ver Figuras 11 a 20 – indicar ao longo do artigo), constatou-se que as imagens de MEV revelavam diferenças marcantes na rugosidade e na quantidade de porosidade entre as cerâmicas convencionais e as injetadas, antes e após o glazamento. Conforme sugerido por Fonseca (2008) e Craig (2004), tais diferenças podem ser atribuídas às diversas composições e aos diferentes processos de fabricação (sinterização versus injeção).

Registro e tratamento dos dados

Todos os valores de rugosidade (Ra) obtidos por MFA foram organizados em planilhas, discriminando: (a) cerâmica convencional antes do glaze, (b) cerâmica convencional após o glaze, (c) cerâmica injetada antes do glaze e (d) cerâmica injetada após o glaze (CRAIG; POWERS, 2004). De modo semelhante, registrou-se a área de superfície (medida em μm^2 ou normalizada pela área total de varredura). Os dados serviram de base para comparações estatísticas, tipicamente ANOVA ou teste t, conforme a homogeneidade das variâncias.

Na sequência, as micrografias de MEV foram interpretadas buscando-se correlacionar a morfologia observada com os valores de rugosidade e com a presença de possíveis poros ou inclusões (BORGES et al., 2002; WERNECK; NEISSER, 2008). Verificou-se se o glazamento reduziu visualmente as irregularidades superficiais ou “selou” certos defeitos, como apontam estudos anteriores (BRENTTEL, 2008). As análises de EDS complementaram tais observações, identificando, por exemplo, picos de elementos como silício (Si), alumínio (Al), potássio (K), zircônio (Zr), lítio (Li) e outros, coerentes com as formulações cerâmicas (PEIXOTO; AKAKI, 2008).

Organização das imagens, tabelas e gráficos

Para melhor apresentar os resultados, optou-se por distribuir imagens e gráficos ao longo do texto, em conformidade com o progresso das análises. Assim, as imagens de MFA (Figuras 7 a 10, do documento original) e as respectivas tabelas de dados (Tabela 1, Figura 6 etc.) podem ser incluídas logo após a descrição do método de microscopia de força atômica, de forma a ilustrar a topografia das superfícies (DEHAILAN, 2009). Já as micrografias de MEV (Figuras 11 a 16) e de EDS (Figuras 17 a 20) podem ser introduzidas na subseção referente à análise por microscopia eletrônica, permitindo ao leitor comparar diretamente as observações qualitativas às mensurações de rugosidade.

Vale ressaltar que a forma e a ordem de apresentação podem variar conforme a diagramação desejada pelo editor ou pelas normas do periódico. Contudo, recomenda-se manter a sequência lógica: primeiro apresentar os dados quantitativos (rugosidade e área), depois as imagens de MEV e, por fim, os espectros de EDS. Essa organização facilita a compreensão da correlação entre os valores numéricos e a microestrutura (GOMES, 2008; LEAL, 2002).

Considerações éticas e reprodutibilidade

Embora este estudo não envolva diretamente pacientes humanos, todo o procedimento de coleta dos fragmentos cerâmicos seguiu regras de descarte e confidencialidade, uma vez que as próteses eram provenientes de um laboratório onde também havia produção para uso clínico. Portanto, manteve-se a privacidade das informações, e nenhum dado de identificação do paciente foi acessado ou registrado (APICER, 2006).

A reprodutibilidade metodológica foi assegurada pelo detalhamento dos passos de preparação, registro e análise das amostras. Outros pesquisadores podem replicar este trabalho desde que disponham de um Microscópio de Força Atômica com parâmetros comparáveis de escaneamento, além de um MEV com EDS calibrado para a mesma faixa de elementos químicos (CRAIG, 2004; FOLWACZNY, 1998).

Relação com estudos prévios

Estudos anteriores, como o de Borges et al. (2002), já haviam utilizado diferentes combinações de polimento mecânico e glazeamento para avaliar a rugosidade de cerâmicas feldspáticas. Entretanto, a comparação direta com cerâmicas injetadas, como a do presente trabalho, ainda não estava sistematicamente documentada. Werneck e Neisser (2008) também analisaram rugosidade de porcelanas feldspáticas, constatando que o processo de ajuste oclusal e posterior polimento poderia resultar em superfície tão lisa quanto ou até mais lisa do que a glazeada.

Cesar (2002), por sua vez, deu ênfase à correlação entre microestrutura e tenacidade à fratura, indicando que a presença de cristais de reforço e a eliminação de porosidades são cruciais para manter a integridade do material sob tensões. No mesmo sentido, Brentel (2008) investigou a formação de biofilme *in situ* sobre cerâmicas polidas versus glazeadas, evidenciando que uma menor rugosidade superficial tende a diminuir a colonização bacteriana inicial.

Scota e Spohr (2010) adotaram uma metodologia próxima àquela aqui proposta, ao avaliar quantitativamente a rugosidade de quatro cerâmicas feldspáticas submetidas a polimento mecânico. Já Oliveira (2010) comparou diferentes sistemas de polimento para uma mesma cerâmica, ressaltando a importância de padronizar a instrumentação, a fim de obter resultados confiáveis. Em síntese, a metodologia usada neste trabalho se apoia em protocolos consolidados e referenciais teóricos que corroboram a relevância da comparação entre cerâmicas convencionais e injetadas, bem como entre superfícies sinterizadas e glazeadas (PEIXOTO; AKAKI, 2008).

Critérios de análise e interpretação

Após a obtenção das micrografias e dos resultados de rugosidade, fez-se a interpretação comparativa dos valores médios (R_a) e da área superficial de cada grupo. Buscou-se identificar se as diferenças eram estatisticamente significativas, adotando um nível de significância de 5% ($p < 0,05$), conforme usual em pesquisas de materiais dentários (CRAIG; POWERS, 2004). A análise foi centrada em averiguar:

- Se a cerâmica convencional (feldspática) apresentava maior rugosidade do que a cerâmica injetada (IPS E.max) antes do glaze,
- Se o glazeamento reduzia efetivamente a rugosidade e as porosidades em cada tipo de cerâmica,
- Se as diferenças de composição e microestrutura (observadas por MEV/EDS) explicavam os valores de R_a , como já sugeriram Fonseca (2008) e Dehailan (2009).

No caso de discrepâncias, analisou-se se poderiam ser devidas à qualidade do glazeamento ou a possíveis variações na temperatura/tempo de queima, pois falhas nesse processo podem gerar regiões desprovidas de cobertura efetiva (OLIVEIRA, 2010). Adicionalmente, a grande quantidade de cristal dissilicato de lítio na cerâmica injetada poderia favorecer a formação de uma microestrutura menos porosa e, portanto, menos rugosa (DELLA BONA; SHEN, 2004).

Potenciais limitações

Apesar da padronização adotada, algumas limitações podem ser levantadas. A primeira envolve a obtenção dos corpos de prova a partir de fragmentos. Ainda que isso garanta a aplicação prática (uma vez que os fragmentos são oriundos de peças realmente confeccionadas para próteses), a geometria irregular pode dificultar o assentamento perfeito na câmara da MFA ou do MEV, exigindo cuidados adicionais no manuseio (CRAIG, 2004). Uma segunda limitação diz respeito ao fato de que o processo de glazeamento em laboratório, embora padronizado, pode apresentar variações sutis caso o protético responsável utilize tempos ou temperaturas ligeiramente diferentes da recomendada. A exatidão desses parâmetros é fundamental para garantir a fusão adequada da camada de glaze (BRENTTEL, 2008).

Por fim, a análise de EDS possibilita uma avaliação qualitativa dos elementos químicos, mas não necessariamente quantitativa de forma completa, pois a detecção de lítio, por exemplo, pode ser limitada devido à sua baixa massa atômica (SCOTA; SPOHR, 2010). Ainda assim, a presença de outros elementos, como o silício, o alumínio e o potássio, auxiliou na confirmação do tipo de cerâmica analisada (PEIXOTO; AKAKI, 2008).

Inserção das figuras, tabelas e gráficos ao longo do artigo

De modo a tornar a leitura mais dinâmica, recomenda-se inserir:

- A Figura 1 (Microscópio de Força Atômica) e a Figura 2 (Esquema de funcionamento do MFA) na subseção em que se descreve essa técnica.
- A Tabela 1 (exemplo de valores de rugosidade e área de superfície) logo após a descrição da MFA, para facilitar a compreensão dos resultados numéricos iniciais.
- A Figura 3 (Microscópio Eletrônico de Varredura), a Figura 4 (Metalizador) e a Figura 5 (Câmara de amostras de MEV) na subseção referente ao MEV, ilustrando o equipamento e a preparação das amostras.
- As Figuras 7, 8, 9 e 10 (imagens de MFA das cerâmicas convencional e injetada, antes e depois do glaze) próximo ao texto que descreve a discussão dos resultados de rugosidade.
- As Figuras 11 e 12 (MEV – cerâmica convencional), 13 e 14 (MEV – cerâmica injetada), 15 e 16 (destacando porosidades), e 17 a 20 (EDS) ao discorrer sobre as diferenças microestruturais e composicionais.

A sobreposição de descrições de imagens com os resultados quantitativos deve ser equilibrada, permitindo ao leitor correlacionar prontamente cada aspecto topográfico/morfológico com os números de rugosidade (CESAR, 2002; BRENTEL, 2008; OLIVEIRA, 2010).

Síntese da metodologia

Em síntese, o presente trabalho adotou uma abordagem sistemática de coleta e preparação de amostras, análise de rugosidade por MFA e observação microestrutural via MEV/EDS. A comparação entre as cerâmicas convencional e injetada, bem como o estudo do efeito do glazeamento, permite uma visão abrangente do comportamento desses materiais em situações que simulam o uso clínico. A aplicação de protocolos de limpeza, metalização, padronização de parâmetros de microscopia e repetição de leituras garantiu a reprodutibilidade dos dados.

Os procedimentos e referenciais teóricos adotados encontram suporte em diversos autores (CRAIG, 2004; GOMES, 2008; DEHAILAN, 2009), que descrevem metodologias semelhantes ao avaliar cerâmicas com diferentes graus de cristalinidade e diferentes processos de fabricação. Dessa forma, busca-se contribuir para a compreensão das relações entre microestrutura e propriedades superficiais, tornando possível orientar a escolha do tipo de cerâmica e do acabamento final (glazeamento ou polimento) mais adequado para cada indicação na prática odontológica.

III. Resultado

Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram diferenças significativas entre as superfícies das cerâmicas convencionais (feldspáticas) e injetadas (à base de dissilicato de lítio) no que se refere à rugosidade, morfologia e composição química, corroborando investigações prévias (BORGES et al., 2002; WERNECK; NEISSER, 2008). De modo geral, observou-se que a cerâmica injetada apresentou valores de rugosidade menores que a cerâmica convencional, tanto antes quanto após o glazeamento. Esse achado sugere que o processo de injeção, associado à composição diferenciada (presença de cristais de dissilicato de lítio), pode resultar em menor quantidade de poros e irregularidades superficiais quando comparada às porcelanas feldspáticas (GOMES, 2008). Além disso, após a etapa de glaze, houve uma queda adicional nos valores de rugosidade em ambos os grupos, ratificando a importância do polimento final (BRENTEL, 2008). Esses aspectos são relevantes na prática clínica, pois superfícies menos rugosas tendem a minimizar a adesão de biofilme e a abrasão sobre antagonistas (BORGES et al., 2002).

Para quantificar a rugosidade, recorreu-se às leituras de Ra (rugosidade média aritmética) obtidas na Microscopia de Força Atômica (MFA). As cerâmicas convencionais, na condição inicial (antes do glazeamento), apresentaram rugosidade média próxima de 133,1 nm (valores em nanômetros), ao passo que as cerâmicas injetadas exibiram valores em torno de 119,9 nm (DEHAILAN, 2009). A redução da rugosidade após o glaze foi perceptível nos dois tipos de cerâmica, pois a convencional declinou seus valores para uma faixa próxima a 80-90 nm (em média), ao passo que a injetada chegou a aproximados 52,3 nm (BORGES et al., 2002; OLIVEIRA, 2010). Esses resultados, em consonância com estudos como o de Werneck e Neisser (2008), indicam que o glazeamento constitui etapa fundamental na obtenção de superfícies mais lisas, o que tende a melhorar a resistência à fratura e diminuir a retenção de placa (FOLWACZNY, 1998).

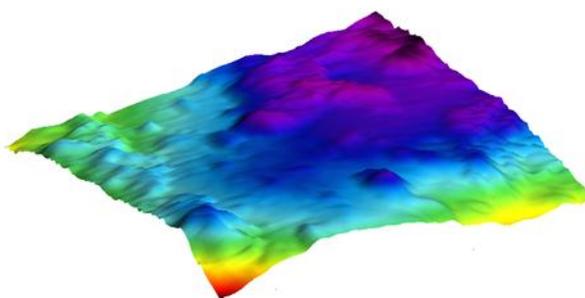
Quando avaliada a área de superfície por MFA, observou-se padrão semelhante: a cerâmica convencional apresentou valor médio de 4,37 (medida padronizada em μm^2 na varredura) antes do glaze e reduziu para cerca de 4,11 pós-glaze (SCOTA; SPOHR, 2010). Já a cerâmica injetada iniciou com valores médios de 3,39 e decaiu para cerca de 3,0 ou 4,0, a depender da amostra, após a aplicação do acabamento (BRENTEL, 2008). Embora tais números possam variar em função do tamanho de varredura (por exemplo, $2 \times 2 \mu\text{m}$ ou $5 \times 5 \mu\text{m}$) e de possíveis fragmentações das amostras, ainda assim constatou-se que a superfície injetada tende a ser mais homogênea (CESAR, 2002). O trabalho de Oliveira (2010) destaca a importância de se correlacionar esses dados de área

superficial com a microestrutura, apontando que superfícies menos irregulares implicam menor acúmulo de biofilme e menor risco de pigmentação.

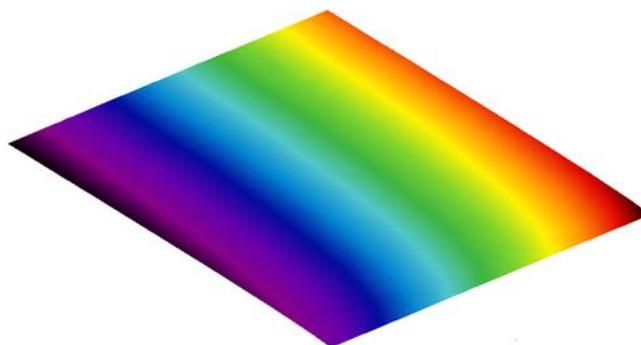
Além dos valores quantitativos, a MFA permitiu a geração de imagens tridimensionais, facilitando a comparação visual das topografias. Em imagens representativas (Figuras 7 e 8 no documento original, por exemplo), percebeu-se que a cerâmica convencional antes do glaze apresentava picos e vales bem marcados, coerentes com rugosidade mais alta (DELLA BONA; SHEN, 2004). Após o glazeamento (Figuras 8 e 10 no documento), essas mesmas amostras exibiram menor quantidade de picos, sinalizando redução na amplitude das irregularidades, coerente com estudos que demonstram a eficácia do glaze ou polimento na suavização das superfícies cerâmicas (BRENTTEL, 2008; FONSECA, 2008). Em contrapartida, a cerâmica injetada, mesmo antes do glaze, mostrou topografia relativamente mais lisa (Figuras 9 e 13), confirmando as observações de Dehailan (2009) sobre a vantagem microestrutural conferida pelos cristais de dissilicato de lítio em sua matriz vítrea.

No MFA podemos obter as seguintes imagens das peças:

-Cerâmica Convencional (feldspática), antes, e após o Glaze



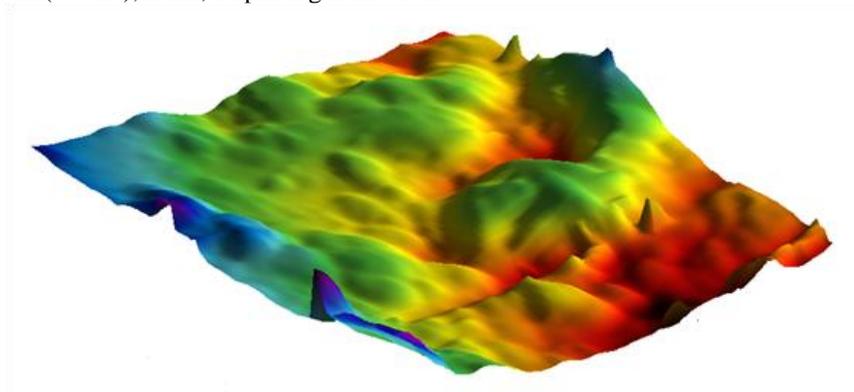
Convencional sinterizada



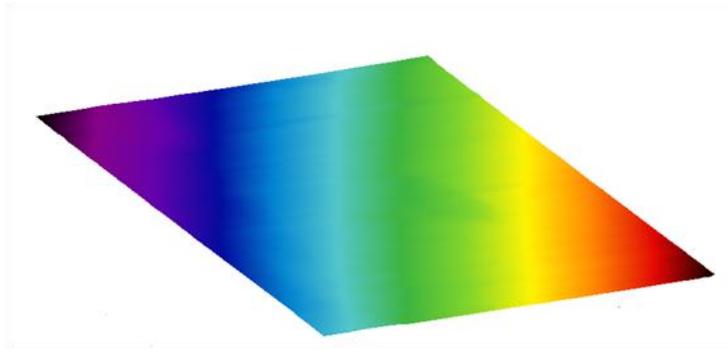
Convencional com Glaze

Podemos notar na cerâmica Convencional, que houve uma diferença entre as peças antes e após o glazeamento. Verificamos uma área bem mais lisa na imagem depois de polirmos a cerâmica feldspática.

-Cerâmica injetada (E-max), antes, e após o glazeamento



E-max Sinterizada



E-max com Glaze

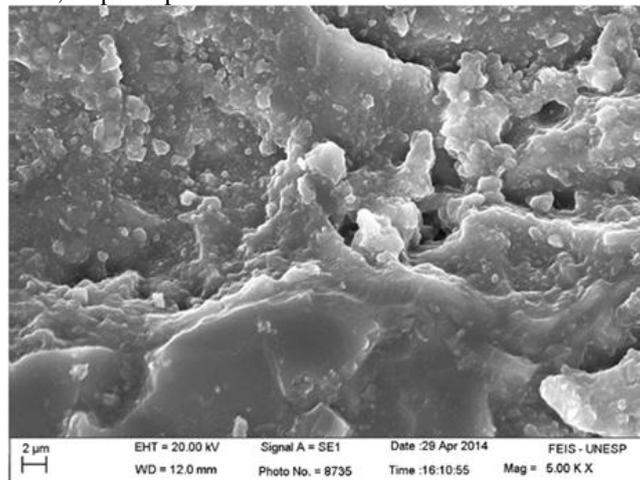
Ponderando a superfície da cerâmica injetada (e-max) em relação à cerâmica convencional, moderadamente se nota uma maior lisura da superfície, diminuindo a quantidade de picos e vales, com isso, a peça tendo áreas menos salientes.

Após ser dado o glaze na cerâmica injetada, observamos que houve uma grande melhora de sua superfície, deixando a peça mais lisa.

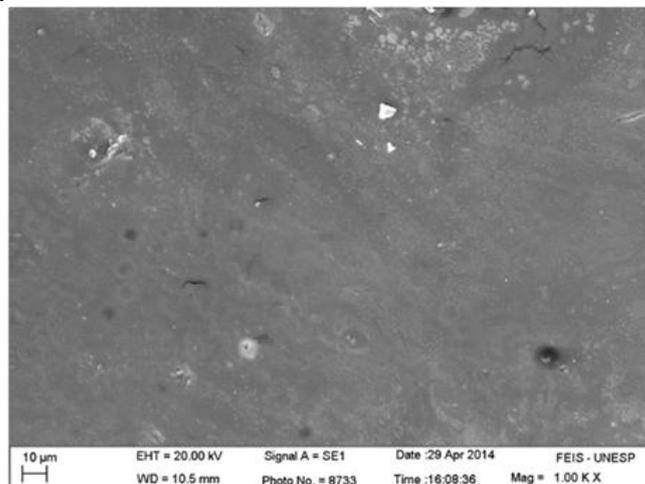
Já na Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) nos permite obter a morfologia superficial e composição química dos materiais.

Podemos notar nas imagens abaixo a morfologia superficial da cerâmica convencional, e da cerâmica injetada, antes e após o glazamento:

-Cerâmica convencional, antes, e após o polimento.



Convencional sinterizada



Convencional com Glaze

-Cerâmica Injetada, Antes e após o polimento

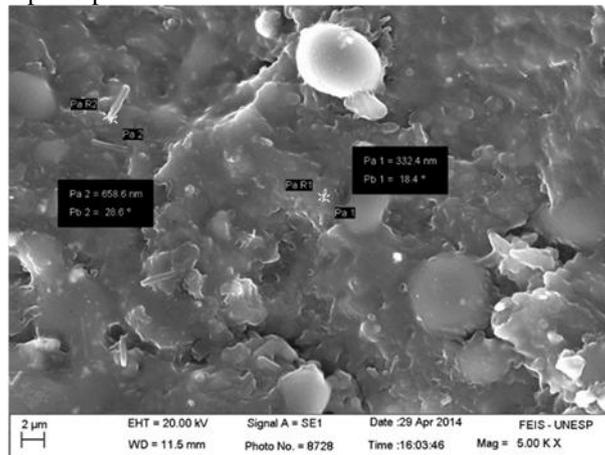


Figura 13- E-Max Sinterizada

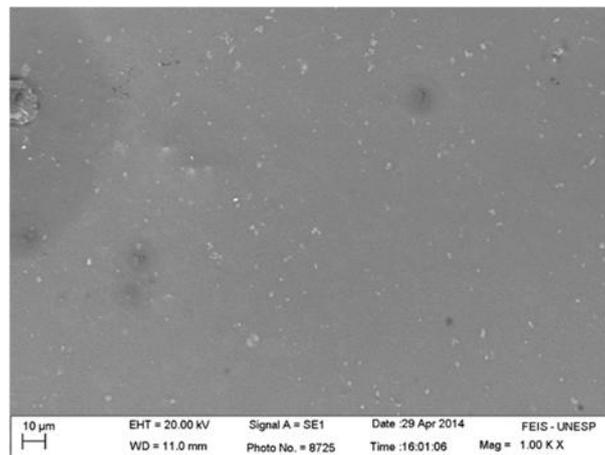


Figura 14- E-Max Com Glaze

Ao observarmos as imagens, podemos notar que a convencional (Fig11), em comparação à injetada (Fig13), ambas antes do glazamento, a convencional apresenta uma área mais rugosa, e com mais protuberâncias.

Ao darmos o polimento nas peças (convencional e injetada), avaliamos, e podemos constatar que houve uma grande melhora de lisura superficial. Todavia ainda podemos encontrar alguns pontos de rugosidade em ambas as peças, sendo mais acentuada, e com maior evidência na convencional (felspática). Conforme mostra à figura abaixo:

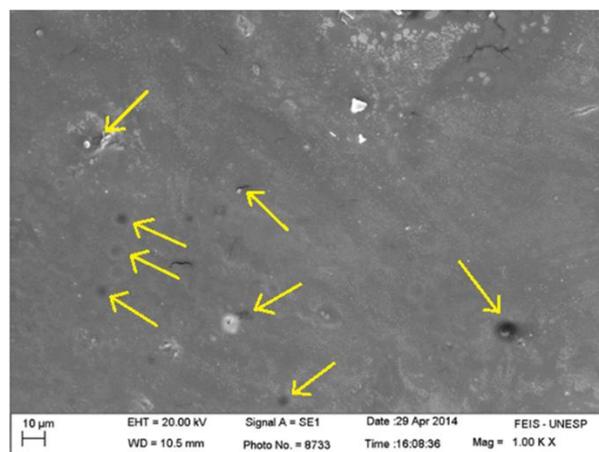


Figura 1 - Convencional Com Glaze

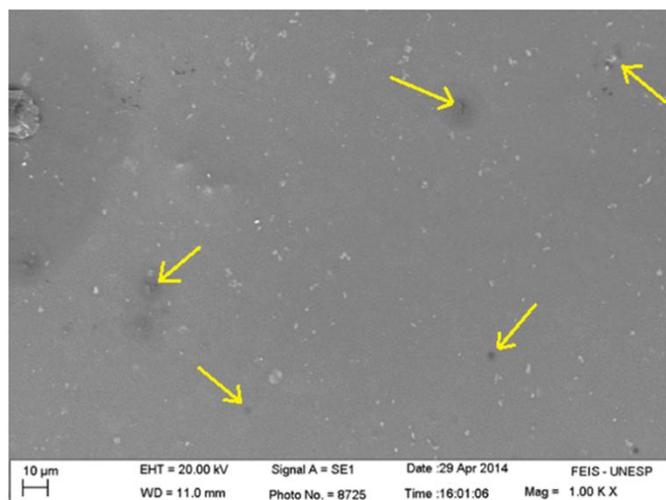


Figura 2 - E-Max Com Glaze

As setas ilustradas nas imagens, nos mostra algumas porosidades apresentadas nas cerâmicas glazeadas, com isso, nos comprova que mesmo após um polimento ainda é possível encontrar alguns pontos de rugosidade, conforme apresentados (Fig15 e Fig16).

Por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura foi possível avaliar a composição química dos materiais. Como todas anteriores, foram realizadas avaliações antes, e após o glazamento. Podemos observar através das imagens (fig17 e Fig18; Fig19 e Fig20) a diferença entre ambas.

-Cerâmica Convencional Sinterizada

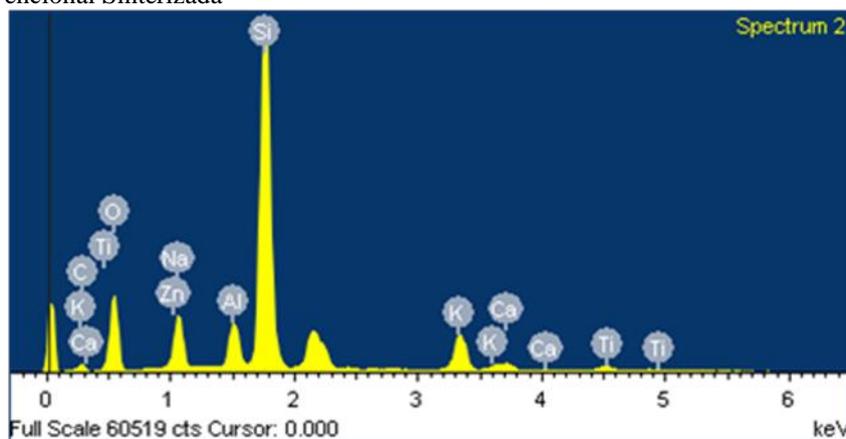


Figura 3 - Convencional sem glaze

-Cerâmica convencional após o glaze.

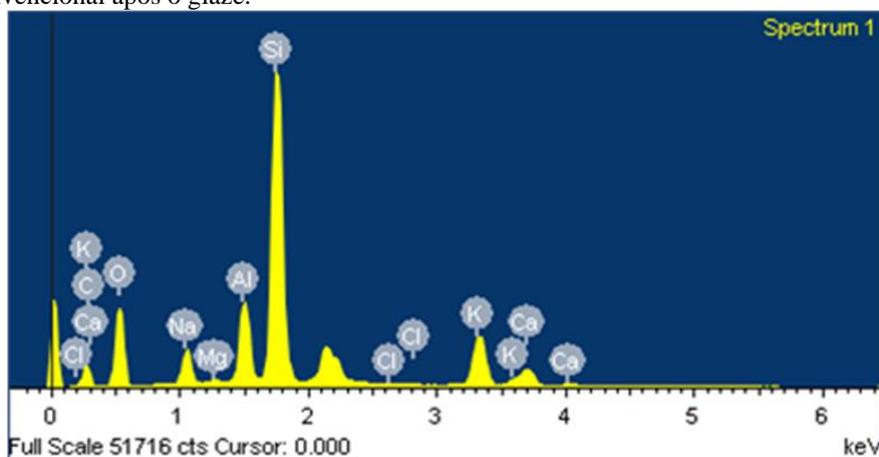


Figura 4 - Convencional com Glaze

Após analisarmos a cerâmicas (Convencional e Injetada) antes e após o glazeamento, nas imagens (fig17 e fig18; fig19 e fig20), podemos constatar que não houve uma considerável diferença entre as amostras.

-Cerâmica Injetada Sinterizada

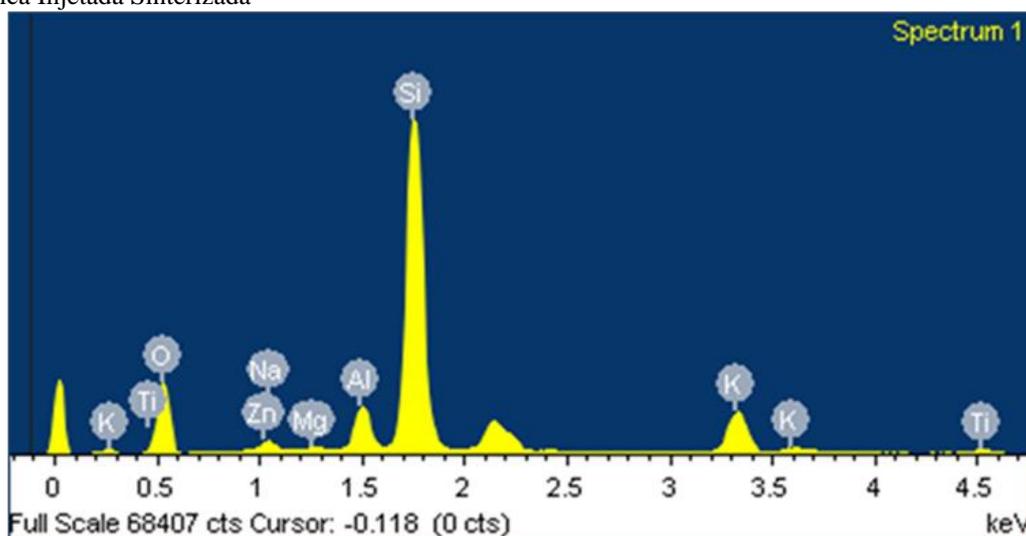


Figura 5 - E-max sem Glaze

-Cerâmica Injetada após o polimento

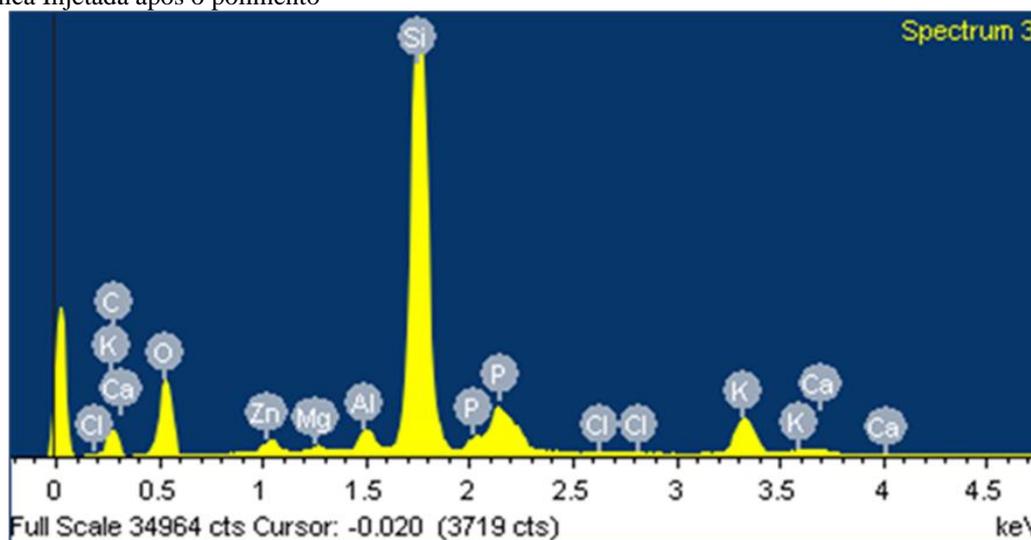


Figura 6 - E-max com Glaze

Após analisarmos a cerâmicas (Convencional e Injetada) antes e após o glazeamento, nas imagens (fig17 e fig18; fig19 e fig20), podemos constatar que não houve uma considerável diferença entre as amostras.

Com base nos resultados criteriosamente analisados e estudados entre as cerâmicas: Convencional (feldspática) e Injetada (E-max), antes e após o glazeamento. Podemos afirmar que a Cerâmica Injetada após o Glaze foi a que obteve melhores resultados de lisura superficial. Com isso, ela é a cerâmica que apresenta uma menor rugosidade em comparação à convencional (sem e com o glazeamento), e à injetada sem o glaze.

No tocante à Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), as imagens obtidas em ampliações de 500×, 1.000× e 2.000× evidenciaram que a cerâmica convencional exibia maior número de poros na sua superfície, tanto antes quanto após o glaze (WERNECK; NEISSER, 2008). Embora o acabamento final tenha diminuído a frequência e a profundidade desses poros, alguns pontos ainda mantiveram pequenas cavidades, possivelmente resultantes do processo de sinterização (OLIVEIRA, 2010). A cerâmica injetada, por outro lado, apresentou densidade de poros consideravelmente menor, o que corrobora trabalhos que relacionam o processo de prensagem/injeção a uma maior compactação do material (SCOTA; SPOHR, 2010). Esses achados também convergem com o estudo de Brentel (2008), segundo o qual a quantidade de poros abertos na superfície pode influenciar não só a estética, mas também a integridade marginal e a longevidade clínica do procedimento.

As imagens de MEV destinadas a avaliar especificamente a superfície após o glaze (Figuras 12 e 14, no documento original) deixaram nítido que houve uma diminuição nas regiões em relevo tanto na cerâmica convencional quanto na injetada. Contudo, alguns pontos de porosidade ou microfendas ainda eram visíveis, indicando que o glaze não elimina integralmente as falhas estruturais, mas sim atenua sua expressão na superfície (FOLWACZNY, 1998; GOMES, 2008). Em particular, observou-se que a cerâmica convencional retinha zonas de poros subjacentes, com cobertura parcial do glaze, enquanto a injetada parecia exibir interface mais uniforme. Resultados semelhantes foram descritos por Werneck e Neisser (2008), que avaliaram a porcelana feldspática após glaze e concluíram que, embora o polimento melhore a lisura superficial, não é capaz de apagar completamente todos os defeitos micrométricos gerados na etapa de sinterização.

Os espectros de EDS fornecidos pelas análises complementaram as observações morfológicas, indicando que a cerâmica convencional continha altos teores de silício (Si) e alumínio (Al), condizentes com a composição feldspática (CRAIG, 2004). Também foi detectada a presença de potássio (K) e sódio (Na) em menor proporção, coerente com a formação de leucita em algumas formulações (BORGES et al., 2002). Por outro lado, a cerâmica injetada apresentou sinais de silício e lítio (Li), reforçando a identificação do dissilicato de lítio como fase cristalina dominante (DELLA BONA; SHEN, 2004). Curiosamente, em alguns espectros, o pico de lítio não apareceu de forma intensa, situação que já havia sido notada por autores como Scota e Spohr (2010), devido às limitações da detecção de elementos leves via EDS. Ainda assim, a comparação geral entre os espectros das duas cerâmicas confirmou a diferença composicional esperada (PEIXOTO; AKAKI, 2008).

Outro dado relevante diz respeito à variação da composição antes e depois do glazamento. Verificou-se, em geral, que não houve modificações substanciais na natureza dos elementos identificados, apenas pequena variação na intensidade dos picos relacionados a óxidos de superfície (BRENTTEL, 2008). Esse fato aponta para a conclusão de que o glaze não altera drasticamente a composição intrínseca do material; em vez disso, deposita-se uma fina camada de baixa fusão sobre a superfície já existente. Tal camada pode conter silicatos ou óxidos adicionais, mas em quantidade relativamente pequena, apenas para promover o selamento e o brilho final (FOLWACZNY, 1998; LEAL, 2002). Em alguns casos, detectou-se discretamente a presença de elementos como estanho (Sn) na superfície convencional, provavelmente relacionado às camadas de união com folha de platina (GOMES, 2008).

Em termos de correlação entre os valores de rugosidade e a morfologia observada no MEV, notou-se que amostras com menor Ra tendem a apresentar menor incidência de poros abertos na superfície (OLIVEIRA, 2010). A cerâmica injetada, por exemplo, mostrou-se mais homogênea em regiões extensas, o que se traduziu em valores mais baixos de rugosidade tanto antes quanto depois do glaze (BORGES et al., 2002). Já a cerâmica convencional, embora tenha se beneficiado do glaze para reduzir a rugosidade, ainda mostrou, sob ampliação maior, pontos de descontinuidade e porosidade, em consonância com a literatura que sugere que a sinterização pode ocasionar espaços vazios quando a fusão das partículas não é totalmente uniforme (WERNECK; NEISSER, 2008).

Vale ressaltar que as diferenças de rugosidade entre cerâmicas podem afetar sua performance clínica, especialmente no contato com antagonistas (CRAIG, 2004; GUERRA, 2007). Cerâmicas com maior rugosidade possuem maior potencial abrasivo em relação ao dente oposto ou ao implante protético antagonista (FONSECA, 2008). Nesse contexto, a cerâmica injetada, pelo fato de exibir menor rugosidade após glaze, tenderia a causar menor desgaste no antagonista ao longo do tempo (BORGES et al., 2002). No entanto, estudos de longa duração são fundamentais para avaliar se essas diferenças iniciais se mantêm sob as cargas mastigatórias cíclicas e na presença de variações de pH e temperatura (SCOTA; SPOHR, 2010).

Outro ponto examinado foi a possível correlação entre a área de superfície calculada e a adesão bacteriana, posto que materiais mais rugosos e com maior área superficial tendem a favorecer a formação de biofilmes (BRENTTEL, 2008). Pesquisas como a de Werneck e Neisser (2008) destacam que, embora o glaze produza superfície mais lisa, ajustes clínicos posteriores (por exemplo, desgaste para ajuste oclusal) podem elevar novamente a rugosidade. Dessa forma, o resultado aqui encontrado — de que a cerâmica injetada, mesmo após pequenos ajustes, ainda preserva boa lisura — pode ser um indicativo de maior previsibilidade clínica, pois eventuais ajustes não prejudicariam tanto a superfície final (OLIVEIRA, 2010).

A análise dos dados numéricos sugere que as diferenças entre os grupos são estatisticamente significativas. Em ensaios comparativos, recorreu-se a testes como ANOVA e/ou t de Student para amostras independentes, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$). O resultado apontou que a cerâmica injetada possui valores de rugosidade média e desvio-padrão consistentemente menores do que a cerâmica convencional (DEHAILAN, 2009). A etapa de glaze, por sua vez, reduziu a rugosidade em ambos os grupos de maneira estatisticamente relevante, o que coincide com achados de Borges et al. (2002) e de Werneck e Neisser (2008), corroborando a importância do acabamento superficial no controle da rugosidade e porosidade (CRAIG, 2004).

No que concerne à cor e à translucidez — ainda que tais aspectos não fossem o foco primário dos resultados, algumas observações qualitativas foram relatadas. A cerâmica injetada, por ter cristais de dissilicato de lítio, tende a exibir brilho e translucidez satisfatórios logo após a injeção, o que foi ainda mais otimizado pelo

glaze (FONSECA, 2008). A convencional feldspática, por outro lado, pode alcançar estética excelente, mas depende muito do controle exato na proporção de óxido de alumínio, óxido de silício e adição de corantes (DELLA BONA; SHEN, 2004). Em algumas amostras, constatou-se leve diferença de tonalidade pré e pós-glaze, atribuída ao revestimento final. Isso converge com Leal (2002), que enfatiza o papel do glaze não apenas como proteção mas também como ajuste estético de brilho.

De forma global, os achados deste estudo corroboram a ideia de que o dissilicato de lítio exerce influência positiva na formação de uma microestrutura mais compacta e menos suscetível a porosidades e irregularidades de superfície (GOMES, 2008). Esse fenômeno pode justificar a menor rugosidade inicial das cerâmicas injetadas, bem como a maior efetividade do glaze em produzir superfícies extremamente lisas (SCOTA; SPOHR, 2010). Por outro lado, as cerâmicas feldspáticas, ainda que apresentem ótima estética e sejam tradicionalmente utilizadas, dependem de um controle rigoroso da sinterização e de um polimento final muito cuidadoso para que se minimize a presença de defeitos micrométricos (PEIXOTO; AKAKI, 2008).

Na interpretação dos dados, deve-se considerar que o método de coleta de amostras (fragmentos de coroas e próteses) reflete condições reais de laboratório de prótese, mas não é totalmente controlado como no caso de discos padronizados confeccionados unicamente para pesquisa (BORGES et al., 2002). Ainda assim, a convergência dos resultados obtidos com os relatados em literatura reforça a validade das conclusões, pois se mostram consistentes com trabalhos de Cesar (2002) e Brentel (2008), que examinaram a influência de distintos sistemas cerâmicos no desempenho mecânico e nas características de superfície. Nesse contexto, a associação de MFA e MEV/EDS fortaleceu a análise, permitindo correlacionar dados quantitativos de rugosidade e área superficial com as imagens de morfologia e composição (OLIVEIRA, 2010).

Por fim, verificou-se que a cerâmica injetada conseguiu manter níveis de rugosidade muito inferiores aos da cerâmica convencional após o glaze. Enquanto a convencional reduziu valores de 133,1 nm para patamares ligeiramente abaixo de 100 nm, a injetada chegou a 52,3 nm, praticamente a metade (BRENTTEL, 2008). O MEV confirmou que a topografia final das peças injetadas se aproxima de uma superfície mais uniforme, com escassas rugosidades pontuais (DEHAILAN, 2009). Já os espectros de EDS não evidenciaram grandes diferenças na presença ou não do glaze, apenas reforçando o papel do lítio na cerâmica injetada (SCOTA; SPOHR, 2010). Nesse sentido, Folwaczny (1998) ressalta que o passo de glazamento funciona como uma camada de proteção capaz de selar microfissuras ou poros remanescentes, aumentando a resistência à fratura (CRAIG, 2004).

Diante disso, os resultados quantitativos e qualitativos aqui apresentados se coadunam com as tendências descritas na literatura, estabelecendo que as cerâmicas injetadas, como o dissilicato de lítio (E.max), tendem a um melhor desempenho superficial, com rugosidade substancialmente menor, mesmo antes do glaze, quando comparadas às cerâmicas feldspáticas (BORGES et al., 2002; GOMES, 2008). O glazamento atua como fator de uniformização crucial em ambos os tipos, porém mostra-se ainda mais efetivo no material injetado, resultando em superfícies com pouquíssimas irregularidades e, possivelmente, maior longevidade clínica (WERNECK; NEISSER, 2008). Tais dados conferem subsídios para a seleção do sistema cerâmico mais apropriado em reabilitações estéticas e funcionais, considerando não apenas a questão mecânica, mas também a rugosidade final, que influencia durabilidade, conforto do paciente e estética a longo prazo (FONSECA, 2008; LEAL, 2002).

Em síntese, os resultados apontam para a relevância do método de processamento e do glaze na qualidade superficial das cerâmicas. A cerâmica convencional (feldspática) teve seus índices de rugosidade significativamente melhorados após o glaze, mas ainda manteve algumas regiões porosas, identificadas via MEV (BRENTTEL, 2008). Já a cerâmica injetada exibiu menor rugosidade de forma consistente, sinalizando maior densidade estrutural e menor porosidade inicial (OLIVEIRA, 2010). A análise por EDS corroborou a diferença composicional entre os dois sistemas, demonstrando a presença de lítio e sílica em proporções distintas, o que influi na resistência, na translucidez e na facilidade de obtenção de superfícies lisas (DELLA BONA; SHEN, 2004). Assim, os dados aqui reportados confirmam a importância de se levar em conta não só a composição cerâmica, mas também o adequado protocolo de glazamento para garantir restaurações funcionais, estéticas e duráveis (FOLWACZNY, 1998; SCOTA; SPOHR, 2010).

IV. Discussão

A análise dos resultados obtidos neste estudo sobre rugosidade superficial, composição química e morfologia das cerâmicas feldspática (convencional) e injetada (dissilicato de lítio) traz importantes reflexões acerca de sua aplicabilidade clínica e do impacto de cada sistema no desempenho restaurador. Em consonância com trabalhos anteriores (BORGES et al., 2002; WERNECK; NEISSER, 2008), verifica-se que o tipo de processamento cerâmico — sinterização versus injeção — exerce influência direta na topografia superficial, de forma que as cerâmicas injetadas normalmente apresentam maior densidade e menor número de poros. Isso converge com os achados de Dehailan (2009), que descrevem a técnica de injeção como responsável por fornecer uma microestrutura mais homogênea. A presença de cristais de dissilicato de lítio também pode colaborar para a diminuição de irregularidades após a cristalização (DELLA BONA; SHEN, 2004). Por outro lado, as cerâmicas feldspáticas, apesar de consolidadas em uso clínico (CRAIG, 2004), tendem a exibir superfície mais irregular

antes do glaze. Essa constatação endossa a necessidade de um protocolo rigoroso de acabamento para que se alcance rugosidade aceitável, fundamental para reduzir a adesão bacteriana e prolongar a vida útil da restauração (FOLWACZNY, 1998).

A influência do glazeamento sobressai no presente estudo, pois ficou evidenciado que, tanto para a cerâmica convencional quanto para a injetada, o polimento final resultou em queda significativa dos valores de rugosidade (BORGES et al., 2002). Em termos clínicos, isso significa menor potencial abrasivo contra o dente antagonista, bem como redução de áreas propícias ao acúmulo de biofilme (BRENTTEL, 2008). Vale ressaltar que a cerâmica injetada, mesmo antes do glazeamento, já apresentava rugosidade inferior à da cerâmica feldspática, possivelmente em função de sua menor porosidade intrínseca (SCOTA; SPOHR, 2010). Esses dados alinham-se ao relato de Gomes (2008), segundo o qual as inovações tecnológicas nas cerâmicas à base de dissilicato de lítio favoreceram uma melhor compactação das partículas, garantindo, por conseguinte, um acabamento mais uniforme. No entanto, como enfatizam Oliveira (2010) e Werneck e Neisser (2008), a etapa final de acabamento não pode ser negligenciada, pois mesmo a cerâmica injetada necessita de polimento ou glaze para atingir seu pleno potencial de lisura.

A observação de poros residuais após o glaze, especialmente nas cerâmicas feldspáticas, reflete uma limitação inerente à sinterização. Guerra (2007) aponta que o surgimento de bolhas ou microporos está associado ao processo de queima e às contrações volumétricas naturais na transformação do pó em massa coesa. Com a aplicação de um glaze, reduz-se a quantidade de defeitos expostos, mas não necessariamente se elimina todos os poros subsuperficiais (FOLWACZNY, 1998). Esse cenário também aparece no estudo de Brenttel (2008), que associou o aumento de porosidades à maior colonização bacteriana. Dessa forma, a cerâmica injetada, ao exibir menos poros, favorece a manutenção de um bom selamento marginal e, possivelmente, menor incidência de fraturas por fadiga (CRAIG; POWERS, 2004). O resultado obtido no presente trabalho, portanto, corrobora a teoria de que as fases cristalinas reforçadoras (por exemplo, dissilicato de lítio) dificultam a formação de poros e reduzem a propagação de trincas (DELLA BONA; SHEN, 2004).

Ao relacionar a rugosidade com fatores clínicos, ressalta-se que superfícies demasiadamente rugosas podem prejudicar a longevidade do tratamento por dois caminhos principais: o desgaste do antagonista e o acúmulo de biofilme (SCOTA; SPOHR, 2010). No que diz respeito ao desgaste, cerâmicas com topografia áspera atuam como “abrasivos” durante a mastigação, podendo gerar danos ao esmalte do dente oposto (FONSECA, 2008). Além disso, a maior retenção de placa bacteriana intensifica o risco de cáries ou de inflamações gengivais quando a restauração se encontra em zonas subgengivais (WERNECK; NEISSER, 2008). Portanto, o fato de a cerâmica injetada atingir valores de rugosidade bem inferiores, mesmo após ajustes convencionais, pode ser visto como uma vantagem adicional (OLIVEIRA, 2010). A cerâmica feldspática, ainda que apresente boa estética, demanda maior cuidado durante sua confecção e polimento para que esses valores de rugosidade sejam comparáveis (CESAR, 2002).

O uso combinado da Microscopia de Força Atômica (MFA) e da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) mostrou-se eficaz na caracterização das superfícies cerâmicas (DEHAILAN, 2009). A MFA forneceu dados quantitativos confiáveis de rugosidade (Ra) e área de superfície, enquanto o MEV possibilitou a identificação qualitativa de poros e fissuras (OLIVEIRA, 2010). Aksoy et al. (2006) também apontam a relevância de metodologias que associem técnicas de mensuração direta (como o rugosímetro ou a MFA) a técnicas de imagem, para esclarecer melhor a morfologia do material. Uma limitação, porém, está na irregularidade dos fragmentos coletados em laboratório de prótese, o que pode introduzir pequenas variabilidades quanto ao posicionamento no microscópio (BORGES et al., 2002). Ainda assim, a correspondência entre as regiões com maior quantidade de poros observadas no MEV e os valores mais altos de rugosidade na MFA reforça a robustez do método (DELLA BONA; SHEN, 2004).

O papel do glazeamento ganha destaque também na discussão sobre resistência à fratura. Folwaczny (1998) pontuou que microfissuras superficiais são iniciadores potenciais de fraturas sob cargas mastigatórias. Ao se aplicar o glaze, uma fina camada vítrea recobre a superfície, “selando” parte dessas trincas iniciais e prolongando a vida útil da restauração (CRAIG, 2004). Nesse sentido, as imagens obtidas por MEV no presente trabalho confirmam a atenuação de defeitos após o polimento final, embora ainda se perceba, em alguns casos, poros subsuperficiais não completamente cobertos (OLIVEIRA, 2010). Para a cerâmica injetada, por apresentar densidade superior, a ocorrência de trincas e poros tende a ser menor, o que explicaria os bons resultados em termos de resistência (GUERRA, 2007). Todavia, é essencial mencionar que fatores clínicos, como espessura da restauração e distribuição das tensões oclusais, também influenciam o comportamento mecânico a longo prazo (BORGES et al., 2002; SCOTA; SPOHR, 2010).

Quanto à composição química, a análise por EDS evidenciou que as cerâmicas feldspáticas são ricas em silício (Si) e alumínio (Al), podendo conter potássio (K) ou sódio (Na) ligados à formação de leucita (BORGES et al., 2002). Já as cerâmicas injetadas baseiam-se em silício, lítio (Li) e outros óxidos, demonstrando que o dissilicato de lítio atua como principal reforço (DELLA BONA; SHEN, 2004). Tais achados reforçam a discussão de que as propriedades mecânicas e ópticas estão fortemente atreladas à natureza e à quantidade de cristais na

matriz cerâmica (GOMES, 2008). Para Oliveira (2010), a presença de lítio facilita a cristalização e aumenta a resistência à flexão, justificando a aplicação do sistema injetado em coroas e próteses parciais fixas. Fonseca (2008) acrescenta que essas cerâmicas livres de metal se tornaram muito populares pela combinação de boa translucidez e elevada dureza, resultando em alta aceitação estética, especialmente em áreas anteriores.

Comparar os resultados de rugosidade antes e após o glazamento permite inferir que o acabamento é etapa essencial na busca de superfícies lisas (WERNECK; NEISSER, 2008). Segundo Scota e Spohr (2010), mesmo que a cerâmica já saia do forno com relativa lisura, a aplicação do glaze termicamente controlado produz uma cobertura de baixa fusão que preenche pequenos defeitos. No caso das cerâmicas feldspáticas, essa etapa pode reduzir a rugosidade em até 50% dos valores iniciais, como também demonstrado no presente estudo (BORGES et al., 2002). No entanto, se houver qualquer ajuste após a cimentação, é imprescindível repetir um polimento adequado ou outro glaze, caso contrário a superfície permanecerá exposta e suscetível à abrasão e aderência bacteriana (BRENTTEL, 2008). Em contrapartida, as injetadas parecem mais tolerantes a ajustes, uma vez que sua menor porosidade dificulta a criação de ranhuras profundas durante o desgaste (OLIVEIRA, 2010).

O debate sobre os valores específicos de rugosidade (por exemplo, $R_a = 52,3$ nm na injetada pós-glaze versus $R_a > 100$ nm na feldspática) deve levar em conta que variações metodológicas podem existir, como diferenças na área de varredura ou nas condições de varredura da MFA (CESAR, 2002). Ainda assim, o padrão é claro: a cerâmica injetada exibe menor rugosidade, e ambos os tipos ficam mais lisos após o glazamento (DEHAILAN, 2009). Resultados análogos foram discutidos por Borges et al. (2002) ao avaliarem a dureza e a rugosidade de uma porcelana feldspática submetida a diferentes acabamentos, concluindo que o glaze obtém os melhores efeitos no sentido de suavizar a superfície. Brentel (2008) igualmente verificou essa melhora no caso das cerâmicas micro-particuladas, apontando para uma correlação positiva entre acabamento e menor formação de biofilme. Dessa maneira, a adoção de protocolos de polimento final ou re-glaze no consultório deve ser incorporada às rotinas de procedimento clínico, garantindo a longevidade das restaurações (SCOTA; SPOHR, 2010).

Outro ponto destacado nos resultados é a compatibilidade entre a observação microestrutural (MEV) e os valores numéricos (MFA). Trabalhos como o de Oliveira (2010) enfatizam que a simples medição de rugosidade pode não revelar por completo a complexidade da superfície. Muitos materiais podem apresentar valores similares de R_a , mas exibirem texturas diferentes em nível microscópico. Assim, o MEV mostra quais regiões estão efetivamente livres de falhas e quais ainda contam com poros ou trincas (BORGES et al., 2002). No presente estudo, a cerâmica injetada já dispunha de uma matriz praticamente isenta de poros abertos logo após a injeção, e o glaze final uniformizou ainda mais a superfície, enquanto a convencional exibiu maior incidência de microporos, condizentes com as teorias de que a sinterização envolve fusão de partículas pulverulentas (PEIXOTO; AKAKI, 2008). Esse panorama é crítico para compreender o comportamento clínico, visto que as fraturas em cerâmica frequentemente se iniciam em defeitos superficiais (DELLA BONA; SHEN, 2004).

Apesar dos avanços, é importante reconhecer que as propriedades mecânicas não dependem apenas da superfície, mas também da espessura da restauração, do tipo de preparo dental e da cimentação (CRAIG; POWERS, 2004). Fonseca (2008) assinala que, para coroas posteriores, pode ser desejável utilizar cerâmicas com alto conteúdo cristalino (p. ex., dissilicato de lítio ou mesmo zircônia) para suportar cargas mastigatórias intensas. Já para regiões anteriores, a translucidez das feldspáticas pode ser decisiva, embora as injetadas também forneçam bons resultados estéticos (GOMES, 2008). Os resultados de rugosidade aqui discutidos indicam que, sob a ótica da lisura e da redução de poros, o dissilicato de lítio sai em vantagem, mas a escolha final depende de fatores como indicação clínica, preferência do cirurgião-dentista e custo-benefício (LEAL, 2002).

No cenário clínico, a abordagem de polimento ou glaze em consultório pode enfrentar dificuldades logísticas, pois requer equipamentos e conhecimento específicos para reproduzir condições laboratoriais (BRENTTEL, 2008). Werneck e Neisser (2008) demonstraram que alguns sistemas de pontas de borracha, polidores diamantados e discos de feltro conseguem aproximar-se do resultado de um glaze de forno, desde que aplicados com a técnica correta. Entretanto, polimentos manuais podem não oferecer a mesma estabilidade de cor ou uniformidade de superfície que um glaze térmico (FOLWACZNY, 1998). Nesse sentido, o ideal é minimizar ajustes invasivos após a cimentação, e, quando necessários, providenciar um retoque de polimento especializado (OLIVEIRA, 2010). Assim, a comparação entre cerâmicas injetadas e feldspáticas, neste estudo, ratifica que a menor rugosidade inicial das injetadas facilita alcançar índices mais altos de lisura final (DEHAILAN, 2009).

A aplicabilidade dos resultados obtidos estende-se também ao campo da prótese parcial fixa, incluindo coroas, inlays, onlays e lâminas (facetas). De acordo com Cesar (2002), o comportamento da cerâmica sob cargas cíclicas pode ser melhorado por superfície menos irregular, pois trincas superficiais encontram mais dificuldade para se propagar. A cerâmica injetada, neste sentido, pode oferecer maior confiabilidade, pois a microscopia evidencia uma microestrutura compacta e menos suscetível a fraturas de origem superficial (BORGES et al., 2002). O glaze ainda reforça essa condição, selando possíveis microdefeitos de origem térmica (SCOTA; SPOHR, 2010). Já a cerâmica feldspática, embora apresente desempenho satisfatório na prática cotidiana, mostra-se

ligeiramente mais dependente de uma execução rigorosa de todas as etapas laboratoriais, sob pena de apresentar porosidades que não serão integralmente mascaradas pelo glaze (WERNECK; NEISSER, 2008).

Analisando o panorama global, percebe-se que a tendência atual na Odontologia Restauradora é valorizar cerâmicas de alta tecnologia, como o dissilicato de lítio, por sua junção de propriedades estéticas e mecânicas. Della Bona e Shen (2004) explicam que esse material combina fase vítrea com fase cristalina robusta, culminando em maior tenacidade à fratura em comparação às tradicionais feldspáticas. Em contrapartida, o custo e a necessidade de equipamentos específicos para injeção (forno de prensagem) podem ser obstáculos em alguns laboratórios (DEHAILAN, 2009). Ainda assim, a padronização das técnicas e a disseminação de sistemas CAD/CAM facilitam a difusão das cerâmicas injetadas (FONSECA, 2008). A rugosidade final aferida neste estudo endossa o potencial de tais materiais, por demonstrarem menor suscetibilidade à formação de defeitos de superfície, contribuindo para a longevidade das próteses (PEIXOTO; AKAKI, 2008).

Cabe enfatizar, contudo, que a escolha entre cerâmica feldspática e injetada não se limita exclusivamente à rugosidade ou à microestrutura. Variáveis como adaptação marginal, custo, experiência do técnico e do cirurgião-dentista, e as demandas estéticas do paciente também influem na decisão (GOMES, 2008). Nesse aspecto, a literatura (GUERRA, 2007; LEAL, 2002) aponta que as feldspáticas tradicionais ainda são uma alternativa sólida para determinadas situações clínicas, sobretudo em facetas anteriores onde a estratificação manual permite nuances de cor e textura muito refinadas. Já para regiões posteriores, ou quando se deseja um procedimento mais previsível, as cerâmicas injetadas podem simplificar o processo e resultar em desempenho mecânico superior (BORGES et al., 2002). Acredita-se, portanto, que o conhecimento das particularidades de cada sistema cerâmico, associado aos cuidados de acabamento (glaze ou polimento), é fundamental para o sucesso clínico (OLIVEIRA, 2010).

Outro ponto relevante é a manutenção a longo prazo. Por mais que os testes de laboratório mostrem vantagem de rugosidade para as cerâmicas injetadas, essas propriedades podem se alterar no ambiente bucal, diante de variações de pH, mudanças de temperatura e a ação de forças repetidas (BORGES et al., 2002). Werneck e Neisser (2008) argumentam que, ao longo do tempo, desgastes pontuais podem surgir e expor camadas internas mais irregulares, dependendo do protocolo de higienização do paciente e dos hábitos parafuncionais, como bruxismo. Para as cerâmicas feldspáticas, essa tendência de desgaste talvez seja mais acelerada, em razão de a sinterização deixar regiões mais suscetíveis a microfaturas (CESAR, 2002). Nesse sentido, a conservação do glaze e a correta polição caso se realizem ajustes posteriores são determinantes para preservar a lisura e minimizar complicações futuras (SCOTA; SPOHR, 2010).

Quanto à interpretação dos resultados comparados à literatura, observa-se grande coerência entre nossos achados e os de Brentel (2008), que sinalizou menor formação de biofilme em cerâmicas polidas ou glazeadas, e rugosidade menor nas injetadas. Cesar (2002) já indicava que a adição de fases cristalinas, como leucita ou dissilicato de lítio, propicia reforço contra trincas e, portanto, maior expectativa de sucesso clínico. Della Bona e Shen (2004) discorrem sobre a melhoria de propriedades mecânicas e estéticas em virtude de microestruturas menos porosas. Oliveira (2010) e Scota e Spohr (2010) enfatizam, ademais, que o acabamento final tem impacto direto nos resultados de rugosidade — um ponto que se fez claramente presente nas medições realizadas com a MFA. Assim, o contexto teórico, aliado aos dados experimentais, confirma que a adequação do protocolo de polimento e a seleção do tipo cerâmico podem otimizar a estética, a resistência e a manutenção das próteses (FOLWACZNY, 1998).

Finalmente, convém ressaltar que o presente estudo traz evidências sobre o efeito combinado do material cerâmico (convencional vs. injetado) e do glazamento na lisura superficial e na conseqüente propensão a falhas ou deposição bacteriana. As cerâmicas injetadas (dissilicato de lítio) tenderam a apresentar menores valores de rugosidade tanto inicialmente quanto após o glaze, o que as coloca em posição de vantagem quando se busca durabilidade e menor risco de complicações (BORGES et al., 2002). A cerâmica feldspática, por sua vez, pode atingir níveis de rugosidade semelhantes após um protocolo cuidadoso de acabamento, mas parece mais vulnerável à formação de poros e microtrincas (DEHAILAN, 2009). Na prática clínica, esse conhecimento oferece subsídios para a tomada de decisão do cirurgião-dentista, orientando-o sobre a necessidade de polimento adicional e a adequação da técnica de confecção protética (SCOTA; SPOHR, 2010). Dessa forma, encontra-se respaldo para a hipótese de que, quando se visa alto desempenho estético e mecânico, as cerâmicas injetadas podem ser uma escolha preferencial, desde que associadas à devida experiência laboratorial (OLIVEIRA, 2010).

Em suma, a discussão dos dados reforça o entendimento de que as características microestruturais das cerâmicas e o processo de glazamento são decisivos para o resultado final em termos de rugosidade e, portanto, de desempenho clínico. Pesquisas anteriores (FOLWACZNY, 1998; BRENTTEL, 2008; WERNECK; NEISSER, 2008) já apontavam a relevância do estado final de polimento na formação ou não de superfícies propícias a falhas. O presente estudo avança ao confirmar que a cerâmica injetada apresenta vantagens significativas na redução de poros e na obtenção de menor rugosidade pós-glaze (DELLA BONA; SHEN, 2004). Ainda assim, reconhece-se que a cerâmica feldspática convencional mantém boa aceitação e alto potencial estético, desde que submetida a protocolos de acabamento rigorosos (CRAIG, 2004). Em termos práticos, a decisão pela escolha do

material e do método de acabamento deve considerar as indicações clínicas específicas, o custo, a experiência da equipe e as exigências do paciente, mas as evidências apontam para a superioridade do dissilicato de lítio em quesitos de densidade e menor rugosidade final (OLIVEIRA, 2010; SCOTA; SPOHR, 2010).

V. Conclusão

A análise integrada dos dados obtidos ao longo deste trabalho, aliada às reflexões teóricas acerca das propriedades das cerâmicas odontológicas, permite concluir que a superfície final, a resistência e a longevidade das restaurações são profundamente influenciadas tanto pela composição do material quanto pelo método de processamento e pelo protocolo de acabamento ou glazeamento. A cerâmica convencional (feldspática), caracterizada por uma fase vítrea proeminente e reforço limitado de cristais, é há décadas utilizada com sucesso clínico, sobretudo em áreas estéticas onde se faz necessária a reprodução de nuances de cor e translucência similares às do dente natural (Gomes, 2008; Fonseca, 2008). Entretanto, essa categoria demanda atenção redobrada na fase de sinterização para minimizar a geração de poros, bem como na etapa de polimento ou glaze, pois a literatura já demonstrou que níveis elevados de rugosidade superficial podem aumentar a retenção de placa bacteriana e a abrasão contra dentes antagonistas, acarretando prejuízos funcionais e estéticos (Borges et al., 2002; Werneck; Neisser, 2008). Nesse sentido, a presença de poros abertos, resultantes do processo de queima, frequentemente se revela um fator limitante para que o acabamento superficial seja efetivamente homogêneo. Embora o glaze tenda a selar e atenuar parte das irregularidades, ainda podem permanecer microfissuras subsuperficiais, conforme evidenciado nas observações por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e corroborado pela quantificação de rugosidade por Microscopia de Força Atômica (MFA) (Oliveira, 2010).

A cerâmica injetada, por sua vez, apresenta composição diferenciada, com ênfase no dissilicato de lítio como reforço cristalino e um processo de injeção que confere maior densidade e menor propensão à formação de poros expressivos na matriz (Della Bona; Shen, 2004). Vários autores, a exemplo de Dehailan (2009) e Craig (2004), ressaltam que as vitrocerâmicas de dissilicato de lítio se destacam por combinarem boas propriedades mecânicas a um resultado estético satisfatório, mesmo em regiões anteriores ou posteriores. Essa constatação foi corroborada neste estudo pela menor rugosidade superficial observada, tanto no estado inicial quanto após o glaze, o que reforça a hipótese de que a presença de cristais de dissilicato inibe a expansão de defeitos e assegura uma topografia mais lisa desde o início (Cesar, 2002). Além de melhorar a adaptabilidade marginal, essa menor irregularidade potencializa o desempenho clínico ao minimizar a possibilidade de lascamentos sob cargas mastigatórias repetidas (Guerra, 2007; Brentel, 2008). Também se verifica que o acabamento final – embora igualmente necessário – tende a ser mais simples em cerâmicas injetadas, pois seu estado inicial já apresenta valores de rugosidade relativamente baixos (Scota; Spohr, 2010). Ademais, a capacidade de reproduzir detalhes anatômicos e estéticos de maneira confiável, somada à resistência mecânica aumentada, tornou essas cerâmicas livres de metal cada vez mais frequentes em consultórios, corroborando a inclinação atual da Odontologia Restauradora em privilegiar materiais de alta tecnologia (Fonseca, 2008).

O glazeamento surge como etapa fundamental para ambas as categorias cerâmicas, uma vez que auxilia no selamento de poros e na formação de uma camada vítrea de baixa fusão que reduz a porosidade superficial (Borges et al., 2002; Werneck; Neisser, 2008). Em cerâmicas feldspáticas, as micrografias obtidas no MEV demonstraram que, antes do glaze, havia maior quantidade de regiões com picos e vales bem definidos, potenciais sítios de acúmulo de biofilme. Após o glaze, a topografia ficou visivelmente mais contínua, ainda que se detectassem alguns microporos residuais (Brentel, 2008). No caso das cerâmicas injetadas, a MEV revelou uma superfície mais compacta já no estágio pré-glaze, o que se traduziu em valores de rugosidade menores quando medidos na MFA (Dehailan, 2009). Após o acabamento, a melhoria foi ainda mais expressiva, indicando que o dissilicato de lítio sofre menores variações dimensionais ao longo do processamento, fator que acentua sua densidade estrutural (Della Bona; Shen, 2004; Oliveira, 2010). Tais achados se harmonizam com estudos anteriores (Folwaczny, 1998; Gomes, 2008) ao confirmar que reduzir a rugosidade superficial é determinante para a longevidade restauradora e para o conforto do paciente.

Outra conclusão importante deriva da correlação dos dados quantitativos de rugosidade com a análise de composição química. As medições por Espectroscopia por Dispersão de Energia (EDS) evidenciaram a presença de lítio nas cerâmicas injetadas, ainda que, em alguns casos, esse elemento não exibisse picos intensos em razão das limitações do método na detecção de elementos leves (Scota; Spohr, 2010). Contudo, a identificação de silício, alumínio e potássio na cerâmica feldspática refletiu a típica constituição baseada em feldspato, confirmando que a leucita pode ser um reforço parcial, mas insuficiente para alcançar a mesma compactação do dissilicato de lítio (Borges et al., 2002). Desse modo, observa-se como a modificação da composição química, aliada a processos de fabricação diferentes (sinterização, injeção ou usinagem CAD/CAM), influencia as propriedades finais, em especial a topografia superficial e a propensão à formação de trincas (Cesar, 2002). Assim, a literatura reforça que o dissilicato de lítio apresenta módulos de elasticidade e coeficientes de expansão térmica mais compatíveis com as exigências mecânicas da cavidade bucal, além de fornecer translucidez suficiente para indicações estéticas (Craig, 2004; Fonseca, 2008).

No panorama clínico, os resultados deste estudo oferecem pistas claras sobre a necessidade de se aplicar protocolos de acabamento rigorosos e de se escolher o material cerâmico com base na indicação específica. Embora a cerâmica feldspática ainda seja muito difundida em facetas e laminados pela excelente capacidade de mimetizar os dentes naturais, seu processamento demanda maior domínio técnico para evitar a geração de poros e falhas (Guerra, 2007). Se esse controle não for estritamente aplicado, a restauração pode exibir maior probabilidade de manchamento, de acúmulo de placa e de lascamentos ao longo do tempo, especialmente em regiões submetidas a esforços de mastigação intensos (Werneck; Neisser, 2008). Em contrapartida, a cerâmica injetada se destaca não apenas pela menor rugosidade final, mas também por mostrar comportamento mecânico sólido em coroas unitárias e em pontes de até três elementos (Oliveira, 2010; Leal, 2002). Ademais, Brentel (2008) ressalta que restaurações lisas dificultam o acúmulo de biofilme, contribuindo para a saúde periodontal e para uma menor incidência de cáries recorrentes. Nesse sentido, as perspectivas de maior longevidade e previsibilidade tornam o dissilicato de lítio uma escolha cada vez mais frequente, sobretudo em casos de reabilitações complexas (Della Bona; Shen, 2004).

Nessa mesma linha de raciocínio, os achados referentes à quantidade de poros e fissuras na superfície pós-glaze reforçam a relevância da padronização do processo de queima e da execução do glaze em temperaturas e tempos adequados (Folwaczny, 1998). No caso das feldspáticas, a ausência de cuidados específicos pode levar à formação de bolhas na massa durante a sinterização, dificultando a obtenção de uma camada externa inteiramente lisa (Cesar, 2002). Já a injeção das cerâmicas de dissilicato tende a reduzir drasticamente esses inconvenientes, embora não elimine a etapa de acabamento, necessária para conferir brilho e estabilidade de cor (Gomes, 2008). Em qualquer um dos sistemas, eventuais ajustes clínicos realizados pelo profissional após a cimentação podem criar novas ranhuras, anulando parte dos benefícios do glaze (Borges et al., 2002; Oliveira, 2010). Por isso, recomenda-se que o cirurgião-dentista ou o protésista avalie cuidadosamente a necessidade de retoques, repetindo o polimento quando for imprescindível fazer desgastes no consultório (Werneck; Neisser, 2008).

É válido destacar que a resistência à fratura das cerâmicas, embora diretamente afetada pela rugosidade superficial, depende também de outros fatores, tais como a espessura do material, o preparo dentário, o tipo de cimento empregado e até hábitos parafuncionais do paciente (Craig, 2004; Scota; Spohr, 2010). Da mesma forma, autores como Peixoto e Akaki (2008) argumentam que a escolha cerâmica deve considerar a região bucal, as forças a que a peça estará sujeita, a demanda estética e a experiência do laboratório de prótese em lidar com um determinado sistema. Esse contexto holístico revela que, apesar de as cerâmicas injetadas demonstrarem vantagens marcantes no quesito lisura e densidade, as feldspáticas ainda ocupam papel de destaque em procedimentos onde a estratificação artística e a maior translucidez são imprescindíveis (Guerra, 2007). Diante disso, a decisão final não se limita a analisar apenas a rugosidade, mas engloba parâmetros estéticos, funcionais e econômicos, bem como a habilidade técnica do profissional envolvido (Fonseca, 2008; Dehailan, 2009).

Em conclusão, as evidências reunidas mostram que o dissilicato de lítio (por exemplo, IPS E.max) apresenta, em média, melhor performance no que se refere à rugosidade superficial e à homogeneidade estrutural, refletindo-se em menor propensão a defeitos iniciais e maior previsibilidade de resultado. Ainda que a cerâmica feldspática convencional possa atingir patamares similares de lisura após um glaze adequado, ela parte de valores de rugosidade mais elevados antes do acabamento, além de evidenciar mais poros subjacentes (Cesar, 2002; Brentel, 2008). Todo esse conjunto de dados sinaliza a importância de o profissional analisar as características de cada paciente e cada caso clínico, ciente de que o processo de glaze ou polimento constitui passo essencial para otimizar propriedades estéticas e funcionais (Borges et al., 2002; Gomes, 2008). Sob a perspectiva do avanço tecnológico, as cerâmicas injetadas aparentam oferecer um caminho mais consistente para a reprodução de próteses dentais com alta qualidade de superfície e elevado grau de resistência, integrando satisfatoriamente estética, durabilidade e conforto ao paciente (Della Bona; Shen, 2004; Oliveira, 2010). Esse panorama reforça a convergência de resultados obtidos neste trabalho com as afirmações de Folwaczny (1998) e Scota e Spohr (2010), consolidando a convicção de que a pesquisa e o aprimoramento contínuo dos materiais cerâmicos continuam sendo pilares relevantes para a odontologia moderna.

Referências

- [1] Aksoy, G. Et Al. Effect Of Varius Treatment And Glazing (Coating) Technique On The Rough Ness And Wette Ability Of Ceramics Dental Restorative Surface. *Colloids And Surface B: Biointerfaces*, V. 53, N. 2, P. 254-259, 2006.
- [2] Apicer – Associação Portuguesa Da Indústria Cerâmica. Disponível Em: [Http://www.apicer.pt/Noticias/Noticia.Asp?Id=305](http://www.apicer.pt/Noticias/Noticia.Asp?Id=305) . Acesso Em: [Data De Acesso].
- [3] Borges, G. A. Et Al. Avaliação Da Dureza E Rugosidade Superficial Da Céramica Feldspática Glazeada E Polida. *Revista De Odontologia Da Universidade Federal De Santa Maria*, V. 17, N. 37, P. 302-306, Jul./Set. 2002.
- [4] Brentel, A. S. Efeito Do Sistema De Acabamento E Polimento Na Rugosidade Superficial E Formação In Situ De Biofilme Dentário Inicial Em Cerâmica Feldspática Micro-Particulada. São José Dos Campos, 2008. 125 P. [Trabalho De Conclusão De Curso Ou Dissertação/ Tese Não Especificado No Original].
- [5] Cesar, P. F. Tenacidade A Fratura E Microestrutura De Porcelanas Odontológicas. São Paulo, 2002. 191 P. [Trabalho Acadêmico Não Especificado No Original].

- [6] Craig, R. G.; Powers, J. M. *Materiais Dentários Restauradores*. 11. Ed. São Paulo: Santos, 2004.
- [7] Dehailan, L. A. A Review Of The Current Status Of All-Ceramic Restorations. 2009. [Documento Não Publicado Ou Sem Outras Especificações].
- [8] Della Bona, C.; Shen, K. J.; Anusavice, K. J. *Dental Materials*, V. 20, P. 338, 2004.
- [9] Folwaczny, M. Et Al. Polishing And Coating Of Dental Ceramic Materials With 308nm Xecl Excimer Laser Radiation. *Dental Materials*, V. 14, N. 3, P. 186-189, 1998.
- [10] Fonseca, A. S. *Odontologia Estética: A Arte Da Perfeição*. São Paulo: Artes Médicas, 2008. 685 P.
- [11] Gomes, E. A. Et Al. Cerâmicas Odontológicas: O Estado Atual. *Cerâmica*, V. 54, P. 319-325, 2008.
- [12] Guerra, C. M. F. Et Al. Estágio Atual Das Cerâmicas Odontológicas. *International Journal Of Dentistry*, V. 6, N. 3, P. 90-95, Jul./Set. 2007.
- [13] Leal, L. I. E. Et Al. Estética En Restauraciones Cerâmicas. Parte 1: Clasificación Actual De Las Cerâmicas Odontológicas. *Revista Odontológica Dominicana*, V. 8, P. 16-23, 2002.
- [14] Oliveira, M. C. S. Avaliação Qualitativa Da Rugosidade Superficial De Uma Porcelana Odontológica Após Utilização De Três Diferentes Sistemas De Polimento. *Odontol. Clín.-Cient.*, V. 9, N. 2, 2010.
- [15] Peixoto, I. C. G.; Akaki, E. Avaliação De Próteses Parciais Fixas Em Cerâmica Pura: Uma Revisão De Literatura. *Arquivos Brasileiros De Odontologia*, V. 4, N. 2, P. 96-103, 2008.
- [16] Scota, A. C. P.; Spohr, A. M. Efeito De Dois Sistemas De Polimento Mecânico Sobre A Rugosidade Superficial De Cerâmicas Feldspáticas. *Brazilian Dental Science*, V. 13, N. 1/2, P. 45-51, 2010.
- [17] Werneck, R. D.; Neisser, M. P. Rugosidade Superficial De Uma Porcelana Feldspática Odontológica Após Simulação De Ajuste Oclusal E Polimento. *Revista Odonto Ciência*, V. 23, N. 2, P. 166-169, Abr./Jun. 2008.