

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE ODONTOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

**ANA CLÁUDIA LUSTOSA PEREIRA**

**Análise de superfícies dentinárias apicectomizadas com broca, LASER CO<sub>2</sub>  
e LASER Er:YAG por meio de MEV e EDS**

**PORTO ALEGRE  
2008**

**ANA CLÁUDIA LUSTOSA PEREIRA**

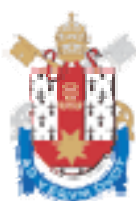
**Análise de superfícies dentinárias apicectomizadas com broca, LASER CO<sub>2</sub>  
e LASER Er:YAG por meio de MEV e EDS**

Tese apresentada como parte dos requisitos obrigatórios para a obtenção do título de doutora em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marília Gerhardt de Oliveira

**PORTO ALEGRE**

**2008**



**DEDICATÓRIA**

---

Dedico este trabalho a três pessoas muito especiais em minha vida:

**Meus pais: Divino e Hilda.**

Muito obrigada pelo apoio e pelo que sou. Sem vocês, com certeza este sonho não seria possível. Faço desta a realização de vocês. Amo vocês!

**Meu marido Augusto.**

Obrigada por fazer parte da minha vida, pela confiança e pela paciência em dividir os momentos difíceis. Te amo e te admiro muito!





## **AGRADECIMENTOS**

---

## AGRADECIMENTOS

À minha orientadora e amiga **Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marília Gerhardt de Oliveira**. Professora, muito obrigada pelo incentivo e por acreditar no meu potencial. És um exemplo profissional. Meu sincero carinho, gratidão e, acima de tudo, admiração.

Aos meus irmãos **Alexandre, Adriana e Lorena**. Vocês também fazem parte desta conquista.

Aos meus sobrinhos **Arthur, Lucas e Henrique**.

À **família do Augusto**, pela atenção e apoio dispensados.

Às minhas grandes amigas **Taís, Mariana, Anacláudia, Daniela Fávero, Carolina e Camila**, pelos momentos especiais de convívio diário e apoio para a superação dos obstáculos.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da PUCRS **Airton, Bruna, Henrique, Otacílio e Taís**.

A todos os colegas da **Policlínica Militar de Porto Alegre**. Muito obrigada pelo incentivo.

Ao colega **Dr. Daniel Humberto Pozza**, pesquisador da Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, pela disponibilidade de auxílio.

Ao colega **Alexandre Cunha**, pelo apoio na realização deste trabalho. Muito obrigada!

Ao colega **Fabício Poletto**, pela presteza e ajuda na realização desta pesquisa.

Ao Centro de Microscopia e Microanálises da PUCRS - CEMM, na pessoa de sua coordenadora, **Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Berenice Anina Dedavid** e de sua funcionária, **Miriam**.

Ao **Prof. Dr. João Feliz Duarte de Moraes** da Faculdade de Matemática da PUCRS, pelo auxílio na análise dos resultados deste trabalho e, principalmente, pela atenção e disponibilidade. Muito obrigada!

Ao Grupo de Estudo de Propriedades de Superfícies e Interfaces – GEPSI, na pessoa de seu coordenador **Prof. Dr. Roberto Hübler**.

À **Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS**.

Aos **Professores** do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da PUCRS.

Aos **Funcionários** da Faculdade de Odontologia da PUCRS.

Aos funcionários da Secretaria de Pós-Graduação da Faculdade de Odontologia da PUCRS, **Ana, Marcos, Davenir e Carlos**.

À **CAPES**, pelo financiamento deste curso de pós-graduação.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.



**RESUMO**

---

## RESUMO

A apicectomia é um procedimento cirúrgico em que o ápice radicular pode ser removido por meio da utilização de brocas em alta ou baixa rotação. Os LASERs de alta potência vêm sendo utilizados como recurso tecnológico na execução deste procedimento. O objetivo deste trabalho foi avaliar, *in vitro*, a presença de falhas na interface dente/material obturador (adaptação marginal) nos canais radiculares, as superfícies apicectomizadas e os elementos químicos presentes nas superfícies cortadas de 24 ápices dentários de caninos humanos permanentes, submetidos a tratamento endodôntico, com posterior ablação com o uso de broca, LASERs CO<sub>2</sub> e Er:YAG, divididos em três grupos: **Br** – apicectomia por broca em 90°, sob refrigeração constante com cloreto de sódio a 0,9%, **CO<sub>2</sub>** – apicectomia por LASER CO<sub>2</sub> (5 W, CW/SP), sem irrigação e **Er** – apicectomia por LASER Er:YAG (400 mJ, 10 Hz), sob refrigeração constante com *spray* ar/água. Obtiveram-se imagens de microscopia eletrônica de varredura para avaliar as superfícies apicectomizadas e espectros de EDS para identificação dos elementos químicos presentes em cada superfície apicectomizada. O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado aos percentuais dos elementos químicos carbono, oxigênio, magnésio, fósforo e cálcio presentes nos ápices dentários dos três grupos para verificar a distribuição normal das variáveis. Utilizou-se o teste de ANOVA, seguido pelo teste de Tukey ou de Games-Howell, para as variáveis que se apresentaram distribuídas normalmente e o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido pelo de Dunn, para as variáveis que não seguiram uma distribuição normal de probabilidade. Os resultados foram considerados significativos estatisticamente no nível de 5%. Os resultados demonstraram que as amostras apicectomizadas por broca apresentaram menor irregularidade da superfície dentinária quando comparadas aos grupos LASER. As superfícies dentinárias apicectomizadas por LASER CO<sub>2</sub> mostraram intensa carbonização, o que resultou em um maior percentual do elemento carbono para este grupo em relação aos demais. O grupo LASER CO<sub>2</sub> apresentou a maior falha na adaptação marginal, exibindo as maiores fendas entre dente/material obturador quando comparado aos outros grupos. Extrapolando para a prática clínica, o grupo broca apresentou os melhores resultados nesta pesquisa devido à menor

irregularidade das superfícies apicectomizadas por este método e à melhor adaptação marginal do material obturador.

**Palavras-chave**<sup>1</sup>: Apicectomia. LASER. Microscopia Eletrônica de Varredura.

---

<sup>1</sup> BIREME – Centro Latino-Americano e do Caribe de Informações em Ciências da Saúde. DeCS: Descritores em Ciências da Saúde. São Paulo. BIREME/OPAS, 2008. Disponível em: <http://decsv.bvs.br>. Acesso em: 6 jul. 2008.



**ABSTRACT**

---

## ABSTRACT

Apicoectomy is a surgery in which the root apex is resected using slow- or high-speed burs. High power LASERs have been used as a technological alternative to perform resections. This in-vitro study evaluated resected surfaces to identify failures in the tooth/filling material interface (marginal adaptation) of the root canals and the chemical elements found on the sectioned surfaces of 24 apices of permanent human canines. Specimens were treated endodontically using posterior ablation with burs, CO<sub>2</sub> or Er:YAG LASERs, and were divided in three groups: **Br** – apicoectomy at a 90-degree angle using burs and under constant irrigation with 0.9% sodium chloride; **CO<sub>2</sub>** – apicoectomy using CO<sub>2</sub> LASER (5 W, CW/SP) without irrigation; **Er** – apicoectomy using Er:YAG LASER (400 mJ, 10 Hz) under constant air/water irrigation. Scanning electron microscopy images were obtained to evaluate resected surfaces, and EDS spectra, to identify minerals on each resected surface. To test variables for normality, the Shapiro-Wilk test was applied to the percentages of carbon, oxygen, magnesium, phosphorus and calcium found in dental apices of the three groups. ANOVA followed by the Tukey or the Games-Howell test was used for the normally distributed variables, and the Kruskal-Wallis test followed by the Dunn test, for nonnormal variables. The level of significance was set at 5%. Results showed that the surface of specimens resected with burs were less rough than those in the LASER groups. Surfaces that underwent apicoectomy with CO<sub>2</sub> LASER showed severe carbonization, which might have probably resulted in a greater percentage of carbon in this group than in the others. The comparison between groups revealed that the CO<sub>2</sub> LASER group had the worst marginal adaptation results and the largest failures in the tooth/filling material interface. Considering clinical practice, the bur group had the best results because surfaces were less rough in specimens that underwent apicoectomy with burs, and marginal adaptation of the filling material was better than in the other groups.



**Keywords**<sup>2</sup>: Apicoectomy. LASER. Scanning Electron Microscopy.

---

<sup>2</sup> BIREME – Centro Latino-Americano e do Caribe de Informações em Ciências da Saúde. DeCS: Descritores em Ciências da Saúde. São Paulo. BIREME/OPAS, 2008. Disponível em: <http://decsv.bvs.br>. Acesso em: 6 jul. 2008.



## **LISTA DE FIGURAS**

---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) .....	41
Figura 2	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B, C, D, E e F) .....	42
Figura 3	Representação gráfica, em barras, do percentual médio para o elemento carbono (eixo y), de acordo com o grupo experimental (eixo x) .....	44
Figura 4	Representação gráfica, em barras, do percentual médio para o elemento oxigênio (eixo y), de acordo com o grupo experimental (eixo x) .....	46
Figura 5	Representação gráfica, em barras, do percentual médio para o elemento fósforo (eixo y), de acordo com o grupo experimental (eixo x) .....	47
Figura 6	Espectros de EDS mostrando a diferença da quantidade do elemento carbono entre os grupos .....	48
Figura 7	Representação gráfica, em barras, da distribuição das médias dos elementos em percentual (eixo y), de acordo com o grupo experimental (eixo x) .....	50
Figura 8	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 1 .....	68
Figura 9	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 2 .....	69
Figura 10	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 3 .....	70
Figura 11	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 4 .....	71
Figura 12	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 5 .....	72
Figura 13	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 6 .....	73
Figura 14	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 7 .....	74
Figura 15	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 8 .....	75
Figura 16	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo CO <sub>2</sub> – dente 9 .....	76
Figura 17	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo CO <sub>2</sub> – dente 10 .....	77

Figura 18	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo CO <sub>2</sub> – dente 11 .....	78
Figura 19	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo CO <sub>2</sub> – dente 12 .....	79
Figura 20	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo CO <sub>2</sub> – dente 13 .....	80
Figura 21	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo CO <sub>2</sub> – dente 14 .....	81
Figura 22	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo CO <sub>2</sub> – dente 15 .....	82
Figura 23	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo CO <sub>2</sub> – dente 16 .....	83
Figura 24	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 17 .....	84
Figura 25	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 18 .....	85
Figura 26	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 19 .....	86
Figura 27	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 20 .....	87
Figura 28	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 21 .....	88
Figura 29	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 22 .....	89
Figura 30	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 23 .....	90
Figura 31	Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 24 .....	91

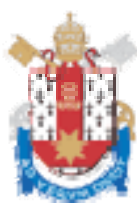


## **LISTA DE TABELAS**

---

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Teste de Shapiro-Wilk para avaliação do comportamento da percentagem dos elementos químicos por grupo .....	43
Tabela 2	ANOVA para avaliação da diferença na média dos grupos para o elemento carbono .....	44
Tabela 3	ANOVA para avaliação da diferença na média dos grupos para os elementos oxigênio e fósforo .....	45
Tabela 4	Teste de Kruskal-Wallis para avaliação do comportamento dos grupos para o elemento cálcio .....	47
Tabela 5	Análise descritiva das médias dos elementos químicos em percentual, de acordo com os grupos avaliados .....	49



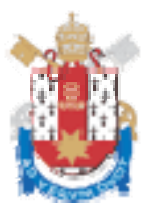
## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

BSE	Back scattering (detector de elétrons retroespalhados)
Br	Grupo broca
cm	Centímetro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CW	Modo contínuo
EDS	Espectroscopia por dispersão de energia
EDTA	Ácido etilenodiaminotetraceticotetracemato
Er	Grupo érbio
Er:YAG	Érbio: ítrio, alumínio, granada
Er <sup>+3</sup>	Íon érbio
et al.	e colaboradores
Ho:YAG	Hólmio: ítrio, alumínio, granada
Hz	Hertz
J/cm <sup>2</sup>	Joule por centímetro quadrado
K	Kelvin
keV	quiloeltronvolt
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
min	minuto
mm	milímetro
mJ	milijoule
µm	micrômetro
µs	microsegundo
NaCl	Cloreto de sódio
Nd:YAG	Neodímio: ítrio, alumínio, granada
nm	nanômetro
PQM	Preparo químico-mecânico
PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
s	segundo
SE	Secondary electrons (detector de elétrons secundários)
Si (Li)	Silício, lítio
SP	Superpulsado
W	Watt



x	Vezes
° C	Graus Celsius
%	Percentagem
®	Marca registrada



## SUMÁRIO

---

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	24
<b>2 REVISTA DA LITERATURA</b> .....	27
2.1 CIRURGIA APICAL UTILIZANDO BROCAS .....	27
2.2 CIRURGIA APICAL COM APLICAÇÃO DE LASER .....	28
2.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) .....	33
2.4. ESPECTROSCOPIA POR DISPERSÃO DE ENERGIA (EDS) .....	34
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	36
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	38
3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	39
<b>4 RESULTADOS</b> .....	41
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	52
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	58
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	60
<b>APÊNDICE A – MICROGRAFIAS ELETRÔNICAS DE VARREDURA E ESPECTROSCOPIAS POR DISPERSÃO DE ENERGIA DA PESQUISA</b> .....	68
<b>ANEXO A – APROVAÇÃO DO PROJETO PELO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA PUCRS</b> .....	93



## **INTRODUÇÃO**

---

## 1 INTRODUÇÃO

O termo apicoplastia foi proposto por Marzola, Kluger e Toledo Filho (2000) e novamente por Marzola (2005) para designar os procedimentos realizados no periápice dentário, com o objetivo de restaurar sua condição funcional.

A ressecção radicular, também chamada de apicectomia, é um procedimento cirúrgico em que o ápice radicular é removido, podendo ser realizada por vários métodos, a maioria envolvendo brocas em alta ou baixa rotação (PAGHDIWALA, 1993). Recentemente, LASERs de alta potência vêm sendo utilizados como recurso tecnológico na execução deste procedimento (MELLO et al., 2007).

Segundo Oliveira et al. (2004), a cirurgia apical é considerada uma alternativa terapêutica para pacientes com canais radiculares calcificados ou perfurados, assim como para aqueles indivíduos com canais contaminados e alto nível de anatomia radicular complexa, diante de pinos radiculares que não podem ser removidos e canais radiculares com colonização bacteriana estável e refratária ao tratamento endodôntico convencional.

Deve-se, também, considerar a possibilidade dos túbulos apicais cortados e abertos serem contaminados; da inadequabilidade das técnicas convencionais de limpeza e selamento dos mesmos; da existência de falhas nas apicectomias, com ou sem preparo e retrobturação, podendo, então, ocorrer recorrências a longo prazo (ARENS; LEVY, 1993).

Falhas do tratamento cirúrgico por apicectomia podem ser decorrentes da presença de microrganismos associados com a permeabilidade dos túbulos dentinários expostos na superfície de corte. Por esta razão, a eliminação ou a redução máxima dos microrganismos na região apical é extremamente importante para o sucesso do tratamento. Da mesma forma é importante obter uma superfície de ressecção não-permeável, regular e lisa (OLIVEIRA et al., 2004).

O LASER pode causar alterações morfológicas na dentina, sendo que tais alterações podem influenciar no selamento marginal da obturação dos canais radiculares (TALGE-CARVALHO et al., 2002).

A apicectomia com LASER pode oferecer determinadas vantagens como esterilização dos túbulos dentinários pela vaporização das bactérias, derretimento e recristalização da dentina irradiada com selamento dos túbulos (ARENS; LEVY,

1993). Tal modalidade também propicia ausência de vibração, vaporiza a lesão periapical, oferece maior conforto para o paciente e apresenta propriedades anti-inflamatórias e bioestimuladoras (POZZA et al., 2005).

O objetivo deste trabalho foi estudar o uso de broca e de tecnologias LASER na realização de apicectomias, avaliando: a presença de falhas na interface dente/material obturador (adaptação marginal) nos canais radiculares de ápices dentários e as superfícies apicectomizadas, após ablação dos materiais com o uso de broca, LASERs CO<sub>2</sub> e Er:YAG, por meio de análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV); bem como de elementos químicos presentes nas superfícies apicectomizadas, por meio de espectroscopia por dispersão de energia (EDS).



**REVISTA DA LITERATURA**

---

## 2 REVISTA DA LITERATURA

A lesão periapical refratária ao tratamento endodôntico convencional apresenta predomínio de anaeróbios e as lesões periapicais maiores estão associadas com um maior número de espécies e densidade bacteriana quando comparadas às lesões menores (GOUW-SOARES et al., 2001).

A cirurgia apical tem por objetivos corrigir, melhorar ou reparar defeitos anatômicos ou produzidos de forma iatrogênica; eliminar as patologias formadas na área perirradicular como resultado da resposta inflamatória do canal radicular infectado, bem como eliminar a liberação de toxinas por intermédio da ressecção do segmento apical com canais laterais e acessórios (ARENS; LEVY, 1993).

A cirurgia, entretanto, não é garantia de sucesso terapêutico. Rapp, Brown e Newton (1991) analisaram radiografias de 715 pacientes para determinar a taxa de sucesso e falha em apicectomias. Cicatrização completa foi encontrada em 65% dos casos, enquanto cicatrizações incompleta ou insatisfatória ocorreram em 29,4% e 5,6% respectivamente.

Lin, Gaengler e Langeland (1996) sugeriram que um tratamento bem sucedido só é possível com a remoção total dos agentes irritantes. Quando a microbiota não é eliminada com apicectomia, curetagem apical pode ser utilizada para remover tecido infectado no periápice. Porém, a remoção do cimento infectado e do tecido circunjacente não é fácil, o que pode explicar a persistência de um pequeno número de lesões que não cicatrizam após a cirurgia apical convencional (ARAKI et al., 2006).

### 2.1 CIRURGIA APICAL UTILIZANDO BROCAS

Técnicas cirúrgicas empregam brocas montadas em peças de mão em alta rotação para amputação radicular e curetas para debridamento do sítio cirúrgico periapical. Em decorrência da natureza altamente vascularizada dessas lesões e da presença de patógenos, a hemostasia é limitada e a manutenção de um sítio



cirúrgico asséptico é dificultada durante procedimentos convencionais (MISERENDINO, 1988).

Para o corte apical, são utilizadas alta ou baixa rotação sob intensa refrigeração com solução salina. Dependendo do tipo e inclinação da broca que está sendo usada, irregularidades de superfície aparecem, assim como exposição dos túbulos dentinários, fatores que podem predispor à falha do procedimento (FRANCISCHONE et al., 2005).

Uma ressecção apical realizada com brocas em alta rotação produz uma superfície de corte coberta por lama dentinária, que representa uma presença contínua de microrganismos na região apical (OLIVEIRA et al., 2004).

McComb e Smith (1975) foram os primeiros pesquisadores a mostrar a presença de lama dentinária em canais radiculares instrumentados. A lama dentinária é composta de estrutura dentária e alguns componentes inorgânicos inespecíficos. Os componentes orgânicos podem consistir de proteínas coaguladas, tecido pulpar vital ou necrosado, saliva, células sangüíneas e microrganismos (CZONSTKOWSKY; WILSON; HOLSTEIN, 1990).

## 2.2 CIRURGIA APICAL COM APLICAÇÃO DE LASER

A introdução do LASER em endodontia tem melhorado a eficácia e taxa de sucesso do tratamento do canal radicular. Em geral, o LASER fornece maior acessibilidade às partes não atingidas pela instrumentação graças à melhor penetração do mesmo nos tecidos dentinários (SCHOOP et al., 2004).

Os efeitos da aplicação de LASER sobre a redução bacteriana têm sido explorados por ser um método de fácil aplicação e eliminar o tempo de medicação intracanal antes da obturação do canal radicular (TALGE-CARVALHO et al., 2002).

O LASER CO<sub>2</sub> diminui a permeabilidade dentinária após a irradiação (ARENS; LEVY, 1993), podendo induzir formação de dentina secundária; promove excelente hemostasia e permite a visualização do campo operatório, com redução de edema e dor pós-operatórios (BRUGNERA JÚNIOR; PINHEIRO, 1998).

A aplicação do LASER CO<sub>2</sub> para o tratamento dos tecidos duros pode resultar em efeitos deletérios como carbonização, fusão e desnaturação das proteínas, com

conseqüente formação de substâncias tóxicas, assim como mudanças na composição dos tecidos irradiados (SASAKI et al., 2002a).

A capacidade do LASER CO<sub>2</sub> de vaporizar, cortar e coagular está relacionada à absorção preferencial de água pelo feixe de LASER. Seus efeitos sobre o esmalte resultam em fusão e recristalização da matriz, que produz uma alteração marcante em suas propriedades físicas (MISERENDINO, 1988).

A irradiação com LASER CO<sub>2</sub> no modo pulsado e comprimento de onda 9,6 - 10,6 µm tem a capacidade de remover o tecido duro dentário pelo processo de ablação, em geral seguido por fusão, já que este comprimento de onda é altamente absorvido pela água e hidroxiapatita dos tecidos dentários (GOUW-SOARES et al., 2004).

Na dentina, foram verificadas mudanças estruturais muito semelhantes às do esmalte. Também se observou uma resistência aumentada à penetração ácida em superfícies dentárias expostas à irradiação LASER, que pode reduzir a colonização bacteriana e aumentar a resistência às cáries (MISERENDINO, 1988).

Em procedimentos cirúrgicos, o LASER CO<sub>2</sub> tem a capacidade de esterilizar superfícies contaminadas. Existe menos contaminação do sítio cirúrgico e menor dispersão de microrganismos aos tecidos adjacentes durante a excisão de um foco cirúrgico (MISERENDINO, 1988).

Quando utilizado em canais radiculares e em cirurgias parendodônticas, o LASER CO<sub>2</sub> promove coagulação, volatilização, fusão dos tecidos dentários, esterilização e auxilia na reparação periapical, por meio dos efeitos bioestimuladores. A superfície dentária irradiada mostra presença de crateras e fissuras, fusão não homogênea e canalículos não perfeitamente obliterados. A superfície torna-se estéril, ácido-resistente e com microdureza semelhante à do esmalte (POZZA et al., 2005).

Miserendino (1988) realizou uma apicectomia com LASER CO<sub>2</sub>. O autor observou cristalização da dentina radicular e carbonização do material orgânico. A dentina recristalizada uniu-se fracamente à parte dentária subjacente e pôde ser facilmente removida. O coto remanescente tinha uma superfície dura, lisa e ficou disponível para retrobturação.

Para uso clínico, o LASER CO<sub>2</sub> pode preservar o tecido e ser tão eficiente quanto uma peça de mão convencional. Para prevenir o dano térmico ao tecido pulpar, a temperatura pulpar não pode exceder 5,6° C (KELLER et al., 2003).

Lesões periapicais com imagens radiográficas de tamanhos variados foram tratadas cirurgicamente, com auxílio do LASER CO<sub>2</sub>, obtendo-se 98% de sucesso. Os critérios avaliados foram a neoformação óssea periapical pelo aumento na radiopacidade radiográfica (reavaliadas após dois e seis meses) e ausência de sintomatologia clínica (KESSLER; KOREN; KESSLER, 1999).

Friedman, Rotstein e Mahamid (1991) realizaram apicectomias em cães com LASER CO<sub>2</sub>. Os autores não obtiveram melhores resultados do que aqueles alcançados com o tratamento convencional, atribuindo o resultado ruim ao fato de o LASER estar no modo pulsado (15 W, com duração de 0,05 s cada pulso); razão pela qual nem todos os túbulos foram selados. A liberação parcial de energia dos LASERs no modo pulsado, neste caso, é muito alta e pode danificar os tecidos duros.

A emissão estimulada de íons Er<sup>3+</sup> em cristais de ítrio, alumínio e granada foi apresentada em 1975, preparando para um novo tipo de LASER, denominado Er:YAG, responsável pela emissão de ondas com comprimento de 2940 nm (2,94 µm), com absorção máxima em água, sendo cerca de 15 vezes maior do que a absorção do LASER CO<sub>2</sub> e 20.000 vezes superior à do LASER Nd:YAG (BADER; KREJCI, 2006).

O LASER Er:YAG de comprimento de onda 2,94 µm é fortemente absorvido pela água. Pode ser utilizado para vários tratamentos clínicos dentários, com aplicações sobre os tecidos duros como nas apicectomias, na remoção de cálculo superficial e na remoção de cimento apical, além de possuir ação bactericida (ARAKI et al., 2006).

O LASER Er:YAG pode ser usado em cirurgias de tecidos moles e duros. Entretanto, devido à pequena capacidade de se obter hemostasia, seu uso em tecidos moles não é muito indicado. É mais bem-indicado para cortar tecidos duros, tais como osso e estruturas dentárias. Este LASER promove descontaminação da área irradiada e uma superfície livre de lama dentinária (MELLO et al., 2007).

O LASER Er:YAG é bem-absorvido por água e hidroxiapatita. A energia absorvida pelos tecidos duros promove uma rápida elevação de temperatura e pressão, causando microexplosões responsáveis pela ablação tecidual. Pouca energia permanece no tecido, o que evita dano térmico a ele (POZZA et al., 2005).

Uma propriedade muito importante dos tecidos dentários é a absorção da radiação LASER. Os tecidos duros dentários consistem em água (esmalte: 2,5%;

dentina: 13,5% e osso: 32%), matriz orgânica como proteínas ou colágeno e componentes inorgânicos como hidroxiapatita (esmalte: 96%; dentina: 69% e osso 46%) (HIBST; KELLER, 1989).

Gouw-Soares et al. (2001) afirmam que o LASER Er:YAG é altamente absorvido tanto pela água quanto pela hidroxiapatita, além de ser considerado eficiente para cortar o osso e tecidos duros dentários com dano térmico muito baixo.

Para Bader e Krejci (2006), o LASER Er:YAG é muito eficiente na remoção de esmalte e dentina, limitando seus efeitos nesses tecidos a uma camada superficial de poucos micrômetros. Segundo os mesmos autores, a variação da ablação do LASER Er:YAG variam entre 6 J/cm<sup>2</sup> para pulsos de 100 µs e 10 J/cm<sup>2</sup> para pulsos de 700 µs. Isto significa que o LASER Er:YAG é o mais eficiente para a remoção de tecidos duros dentários.

Este LASER tem a capacidade de cortar os tecidos duros dentários sem provocar danos térmicos ou estruturais significativos, o que eliminaria a necessidade de fresas mecânicas (PAGHDIWALA, 1993).

O LASER Er:YAG é bem-absorvido nos tecidos duros pela água e pelos componentes inorgânicos, causando aquecimento rápido de pequenos volumes. Tanto o esmalte quanto a dentina são removidos por uma vaporização contínua e na forma de microexplosões (HIBST; KELLER, 1989).

Araki et al. (2006) observaram que a irradiação com LASER Er: YAG de áreas apicais contaminadas permitiu a vaporização superficial dos microrganismos aderidos. Outro aspecto favorável foi que o LASER agiu somente sobre a superfície cementária, não reagindo com a dentina subjacente.

Moritz et al. (1999) compararam o LASER Nd:YAG, Er:YAG e Ho:YAG em dentes extraídos, tratados endodonticamente e irradiados com os mesmos. O Er:YAG foi o mais eficaz em termos de erradicação bacteriana, com desempenho superior aos outros sistemas.

Pécora et al. (2000) avaliaram a permeabilidade dentinária das paredes do canal radicular após instrumentação associada com hipoclorito de sódio a 1% e água destilada, com e sem aplicação de LASER Er:YAG após instrumentação. Concluíram que os canais irrigados com água destilada, seguidos de irradiação com LASER Er:YAG, tiveram o maior aumento na permeabilidade dentinária. O uso de água destilada como solução irrigadora, sem irradiação com LASER Er:YAG, promoveu a menor permeabilidade dentinária.

O LASER Er:YAG é muito utilizado para debridamento de superfície radicular em decorrência de sua capacidade de ablação do tecido dentário duro (SASAKI et al., 2002a).

As vantagens do LASER Er:YAG em cirurgia de tecido ósseo são ausência do mecanismo de vibração e pressão; pode ser uma alternativa para brocas de alta e baixa rotações, possibilidade de remoção de tecido ósseo em locais de difícil acesso para os métodos convencionais, além de ablação do tecido ósseo com corte preciso, rápido e seletivo (MELLO et al., 2007).

Gouw-Soares, Lage-Marques e Eduardo (1996), em um estudo *in vitro* de apicectomia com LASER Er:YAG e avaliação com microscopia eletrônica de varredura (MEV), demonstraram uma superfície de corte de dentina limpa, sem fissuras, sem carbonização, sem lama dentinária e com exposição dos túbulos dentinários.

Os canais radiculares instrumentados com água e irradiados com LASER Er:YAG apresentam um maior aumento na permeabilidade da dentina radicular, quando comparado com outros métodos. O LASER Er:YAG tem alta afinidade e interage bem com a água, promovendo maior abertura dos canalículos dentinários (BRUGNERA JÚNIOR et al., 2003).

De acordo com Sasaki et al. (2002b), o uso de água durante a irradiação com LASER Er:YAG melhora o processo de ablação do tecido, que mostra uma superfície com aparência mais limpa e homogênea. Segundo os mesmos autores, a irrigação foi efetiva na redução dos efeitos térmicos e limpeza da superfície irradiada.

O uso do LASER Er:YAG em ostectomia e ressecção radicular em cirurgias periapicais tem a vantagem de provocar menos contaminação do sítio cirúrgico pela diminuição do aerossol, quando comparado às peças de mão, e ausência de vibração devido à ausência de contato direto (GOUW-SOARES et al., 2001).

Este LASER tem como desvantagem o fato de apresentar uma velocidade de corte levemente menor que nos métodos comuns (brocas em turbina de alta rotação) (KOMORI et al., 1997).

Os mecanismos de interação nos tecidos duros produzidos pelos LASERs CO<sub>2</sub> e Er:YAG são classificadas como vaporização foto-térmica e ablação fototérmico-mecânica, respectivamente, do tecido. Tais mecanismos produzem diferentes morfologias de superfície após o tratamento. A irradiação com o LASER

CO<sub>2</sub> mostra efeitos térmicos sobre a dentina e cimento, enquanto que o LASER Er:YAG remove a dentina e o cimento com seus efeitos mecânicos e causa mínimos efeitos térmicos (SASAKI et al., 2002b).

A irradiação com o LASER CO<sub>2</sub> 9,6 µm e com o Er:YAG 2,94 µm de comprimento de onda para a ressecção apical e tratamento superficial da dentina seccionada diminuiu a permeabilidade dentinária marginal e superficial, levando a menos infiltração de corante quando comparado com ápices cortados com brocas em alta rotação. Por esta razão, o uso desses dois LASERs promove menos superfícies permeáveis e menor grau de percolação entre o canal radicular e o periodonto apical (GOUW-SOARES et al., 2004).

### 2.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

O microscópio eletrônico de varredura utiliza um feixe de elétrons no lugar de fótons utilizados em um microscópio óptico convencional. Como resultado tem-se que os aparelhos modernos permitem aumentos de 300.000 vezes ou mais, para a maior parte de materiais sólidos, conservando a profundidade de campo compatível com a observação de superfícies rugosas (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

O MEV é um aparelho que pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação dos elementos químicos de uma amostra sólida. Sua utilização é comum em Odontologia. É um dos mais versáteis instrumentos disponíveis para a observação e análise de características microestruturais de objetos sólidos. A principal razão de sua utilidade é a alta resolução que pode ser obtida quando as amostras são observadas (NAGATANI et al., 1987).

Outra característica importante do MEV é a aparência tridimensional da imagem das amostras, resultado direto da grande profundidade de campo. Permite, também, o exame em pequenos aumentos e com grande profundidade de foco, o que é extremamente útil, pois a imagem eletrônica complementa a informação dada pela imagem óptica (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

O princípio de um MEV consiste em utilizar um feixe de elétrons de pequeno diâmetro para explorar a superfície da amostra, ponto a ponto, por linhas sucessivas

e transmitir o sinal do detector a uma tela catódica cuja varredura está perfeitamente sincronizada com aquela do feixe incidente (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

Quando o feixe primário incide na amostra, parte dos elétrons difunde-se e constitui um volume de interação cuja forma depende principalmente da tensão de aceleração e do número atômico da amostra. Neste volume, os elétrons e as ondas eletromagnéticas produzidos são utilizados para formar as imagens ou efetuar análises físico-químicas (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

#### 2.4. ESPECTROSCOPIA POR DISPERSÃO DE ENERGIA (EDS)

A análise por EDS é uma ferramenta muito importante do MEV para a caracterização de materiais metálicos e semicondutores, pois permite ao pesquisador identificar a composição de sua amostra, mesmo que qualitativamente, em pontos específicos da imagem (CRUZ et al., 2006).

A técnica de EDS considera o princípio de que a energia de um fóton ( $E$ ) está relacionada com a frequência eletromagnética ( $\nu$ ). Fótons com energias correspondentes a todo espectro de raios-X atingem o detector de raios-X quase que simultaneamente, e o processo de medida é rápido, o que permite analisar os comprimentos de onda de modo simultâneo (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

A zona analisada será aquela que é percorrida pelo feixe de elétrons. Se estiver sendo utilizado o modo de varredura (formação de uma imagem), então a análise será de toda a superfície da imagem. É possível, também parar a varredura e analisar em um ponto (*spot*), área ou linha selecionada na imagem (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

O detector é capaz de determinar a energia dos fótons que ele recebe. Fica possível, portanto, traçar um histograma com a abscissa sendo a energia dos fótons (keV) e a ordenada o número de fótons recebidos (contagens). O tempo necessário para adquirir o espectro fica em torno de 2 minutos (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).



## **METODOLOGIA**

---



### 3 METODOLOGIA

O projeto para a realização desta tese foi avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (1061/05) (ANEXO A).

A amostragem desta investigação foi constituída de 24 ápices dentários, obtidos a partir de dentes caninos humanos permanentes (superiores e inferiores), de pacientes com idades entre 30 e 50 anos, utilizados na pesquisa de Pozza (2005).

As amostras foram randomizadas, segundo uma seleção ao acaso de oito (8) ápices dentários por grupo, tendo os mesmos sido submetidos a procedimento periapical, de acordo com o grupo ao qual pertenciam (Quadro 1). As apicectomias dos grupos LASER foram realizadas de vestibular para palatino/lingual, em ângulo de 90° em relação ao longo eixo da raiz dentária, a 3 mm do extremo apical.

PROCEDIMENTOS DE APICECTOMIA	GRUPOS
Broca	Br - controle
LASER CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
LASER Er:YAG	Er

Quadro 1 - Divisão dos grupos de pesquisa de acordo com as seqüências de rotinas técnicas para a realização de apicectomia

Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS 2008).

No **grupo Br** (controle) foram utilizados oito (8) ápices dentários, numerados de 1 a 8, removidos com auxílio de broca diamantada cilíndrica 4138<sup>3</sup>, em 380.000 rpm, em ângulo de 90° em relação ao longo eixo da raiz dentária, sob refrigeração constante com solução de cloreto de sódio a 0,9%, iniciando na face mesial e terminando na distal. A apicectomia foi realizada a 3 mm do extremo apical e o tempo médio para a ressecção apical de 14,42 s.

<sup>3</sup> KG® Sorensen.

No **grupo CO<sub>2</sub>** utilizaram-se oito (8) ápices dentários, numerados de 9 a 16, removidos com auxílio do LASER CO<sub>2</sub>, no modo contínuo (CW/SP), sem refrigeração, a uma potência de 5 W. Foi mantida uma distância focal de aproximadamente 12 mm. Não foi usado adaptador para manter a distância constante, pois o mesmo, em contato com a superfície radicular, impediria a manutenção do LASER focado nas regiões mais profundas, após a ablação superficial. O tempo médio para a ressecção apical foi de 31,42 s. A superfície irradiada, que se apresentou carbonizada (cerca de 0,5 mm), foi removida com o auxílio de uma cureta periodontal de número 1-2 e solução de cloreto de sódio a 0,9%, deixando a superfície limpa, lisa e com um aspecto vitrificado (MISERENDINO, 1988; PINHEIRO; CAVALCANTI; BRUGNERA JÚNIOR, 1998; POZZA et al., 2003).

No **grupo Er** foram utilizados oito (8) ápices dentários, numerados de 17 a 24, removidos com auxílio do LASER Er:YAG<sup>4</sup>, no modo pulsado, com frequência de 10 Hz, energia por pulso de 400 mJ (potência de 4 W) e sob refrigeração constante de *spray* ar-água. Manteve-se uma distância focal de aproximadamente 8 a 10 mm. Não foi usado adaptador para manutenção da distância constante pelo mesmo motivo explicitado para o grupo LASER CO<sub>2</sub>. O tempo médio para a ressecção apical foi de 36,92 s. O cristal de safira presente na peça de mão recebia uma limpeza constante com gaze úmida, removendo os *debris* gerados durante a irradiação (MELLO et al., 2000; PARADELLA et al., 2001; KIM; DEUK-JIN; KI-SUK, 2003; POZZA et al., 2003).

Os tratamentos endodônticos e as apicectomias com broca foram realizados na Faculdade de Odontologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre, RS. As apicectomias com LASER Er:YAG efetivaram-se na clínica particular do Dr. Guilherme Mello, em São José dos Campos, SP, enquanto os cortes apicais com LASER CO<sub>2</sub> na Clínica de LASER da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal da Bahia, em Salvador, BA.

O LASER foi utilizado de acordo com as normas de segurança preconizadas por Pinheiro (1995, 1996), Brugnera Júnior e Pinheiro (1998) e Fader e Ratner (2000).

---

<sup>4</sup> Twinlight LASER Dental, Fotona<sup>®</sup>,  $\lambda=2.940\text{nm}$ .

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras foram levadas para análise no Centro de Microscopia e Microanálises da Pontifícia Universidade do Rio Grande do Sul e analisadas em um microscópio eletrônico de varredura, Philips, modelo XL 30. Esse aparelho possui ainda um sistema de EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy), utilizado para identificar a composição química das amostras, além de permitir o mapeamento dos mesmos em toda a área selecionada. As amostras foram posicionadas convenientemente em porta-amostras do microscópio (*stubs*) para uma boa visualização da superfície do ápice que sofreu apicectomia. Para tanto, utilizaram-se oito *stubs*, sendo colocados três ápices para cada *stub*, e posteriormente separados por grupo. Afim de que os ápices permanecessem na posição adequada, empregou-se cianoacrilato de etila<sup>5</sup> para fixá-los. Os ápices foram levados aos *stubs* por meio de uma pinça para mantê-los imobilizados até a secagem do adesivo.

Procedeu-se à limpeza das amostras com um jato de nitrogênio e as mesmas foram deixadas por duas semanas no dessecador. Quanto mais lenta a desidratação, menores os riscos de que as células se apresentem contraídas ou danificadas no resultado final.

Retiraram-se as amostras do dessecador que, posteriormente, foram metalizadas por um filme de ouro por meio de uma técnica de deposição de íons (Sputter Coater), devido à não-condução elétrica de amostras biológicas.

Foram obtidas imagens de MEV das superfícies apicectomizadas dos 24 ápices dentários visando à observação da totalidade da face cortada e da adaptação do material obturador do canal radicular em cada grupo. A energia do feixe de elétrons foi de 20 keV e o diâmetro do feixe, de 4,9. A morfologia da superfície das amostras foi avaliada com o detector de elétrons secundários (SE), em magnificação de 70x. A adaptação do material obturador no canal radicular foi avaliada com o mesmo detector de elétrons, em magnificação de 1000x.

Igualmente, obtiveram-se imagens de MEV com o detector de elétrons retroespalhados (BSE) por exibir melhor contraste entre materiais com significativas diferenças de pesos atômicos. Análises por EDS para a identificação dos elementos

---

<sup>5</sup> Superbond® – Loctite® Ltda, Itapevi, SP, Brasil.

químicos presentes em cada superfície apicectomizada foram realizadas com um detector de estado sólido de Si (Li). O tempo médio de aquisição dos espectros foi de 11 s.

As imagens de MEV e espectros de EDS de todos os grupos estão ilustrados no Apêndice A.

### 3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado aos percentuais dos elementos químicos carbono, oxigênio, fósforo e cálcio presentes nos ápices dentários dos três grupos para verificar a distribuição normal das variáveis. Foi utilizado o teste de ANOVA, seguido pelo de Tukey ou de Games-Howell, para as variáveis que se apresentaram distribuídas normalmente, e o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido pelo de Dunn, para as variáveis que não seguiram uma distribuição normal de probabilidade.

Os percentuais dos cinco elementos químicos correspondentes ao ápice número 9 no grupo CO<sub>2</sub> foram excluídos das análises em virtude de seu comportamento anômalo em relação aos demais percentuais encontrados no grupo.

Utilizaram-se os programas SPSS<sup>®</sup> 11.5<sup>6</sup> e BioEstat<sup>®</sup> 5.0<sup>7</sup> para as análises estatísticas. Os resultados foram considerados significativos estatisticamente ao nível de 5%.

---

<sup>6</sup> SPSS Inc., Chigaco, Estados Unidos.

<sup>7</sup> Bioestat, Belém, Brasil.



## **RESULTADOS**

---

## 4 RESULTADOS

De acordo com análise qualitativa por MEV, foram observadas falhas na interface dente/material obturador (adaptação marginal) e as superfícies apicectomizadas com broca, LASER CO<sub>2</sub> e LASER Er:YAG. Constatou-se que o grupo LASER CO<sub>2</sub> apresentou a maior falha na adaptação marginal, exibindo as maiores fendas entre dente/material obturador quando comparado aos grupos Br e Er (Figura 1B). As superfícies apicectomizadas com LASER CO<sub>2</sub> apresentaram a maior irregularidade entre os três grupos, mostrando-se extremamente carbonizadas e irregulares (Figuras 2B e 2E). As superfícies apicectomizadas com broca foram as que tiveram o menor grau de alteração e de falhas na interface dente/material obturador quando comparadas aos demais grupos (Figuras 2A, 2D e 1A ).

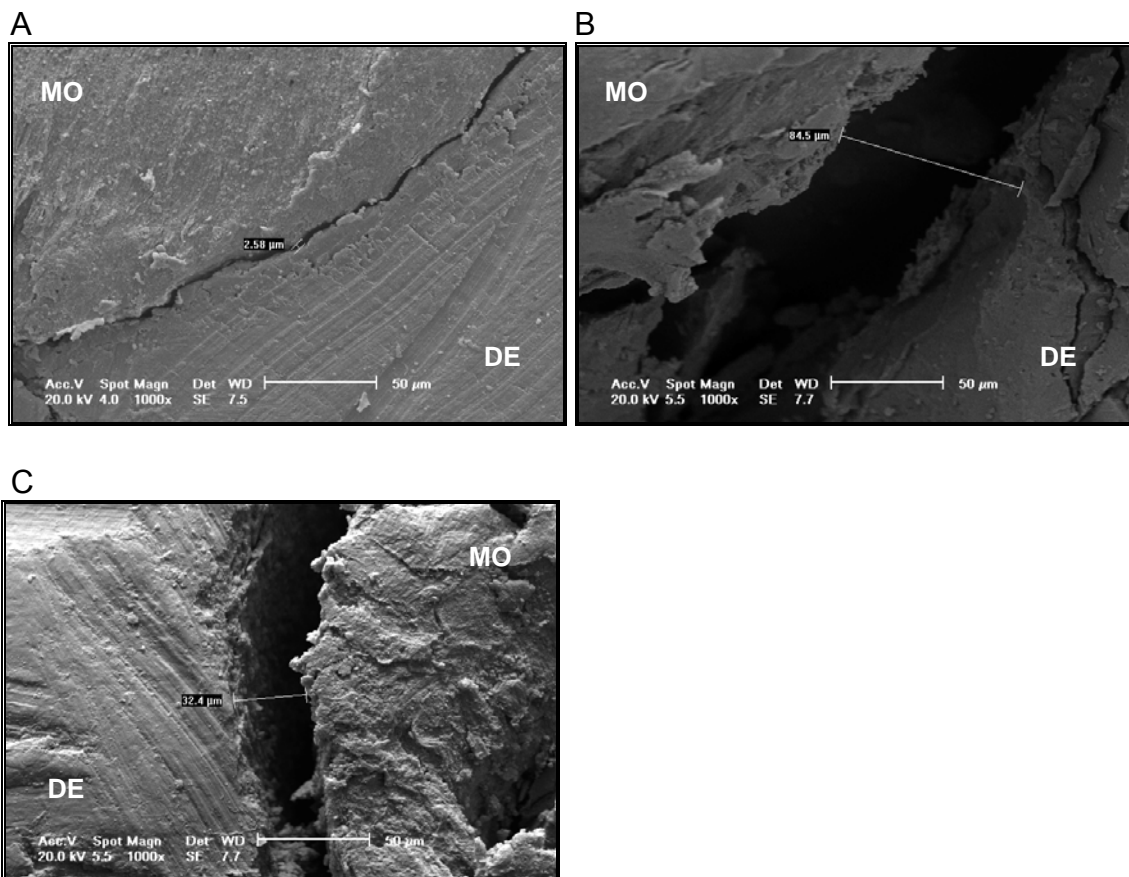


Figura 1 – Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C). Em A) superfície apicectomizada do grupo Br (medida do *gap* 2,58 µm); em B) superfície apicectomizada do grupo CO<sub>2</sub> (medida do *gap* 84,5 µm) e em C) superfície apicectomizada do grupo Er (medida do *gap* 32,4 µm). Magnificações de 1000x. DE – dentina; MO – Material obturador.

Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS, 2008).

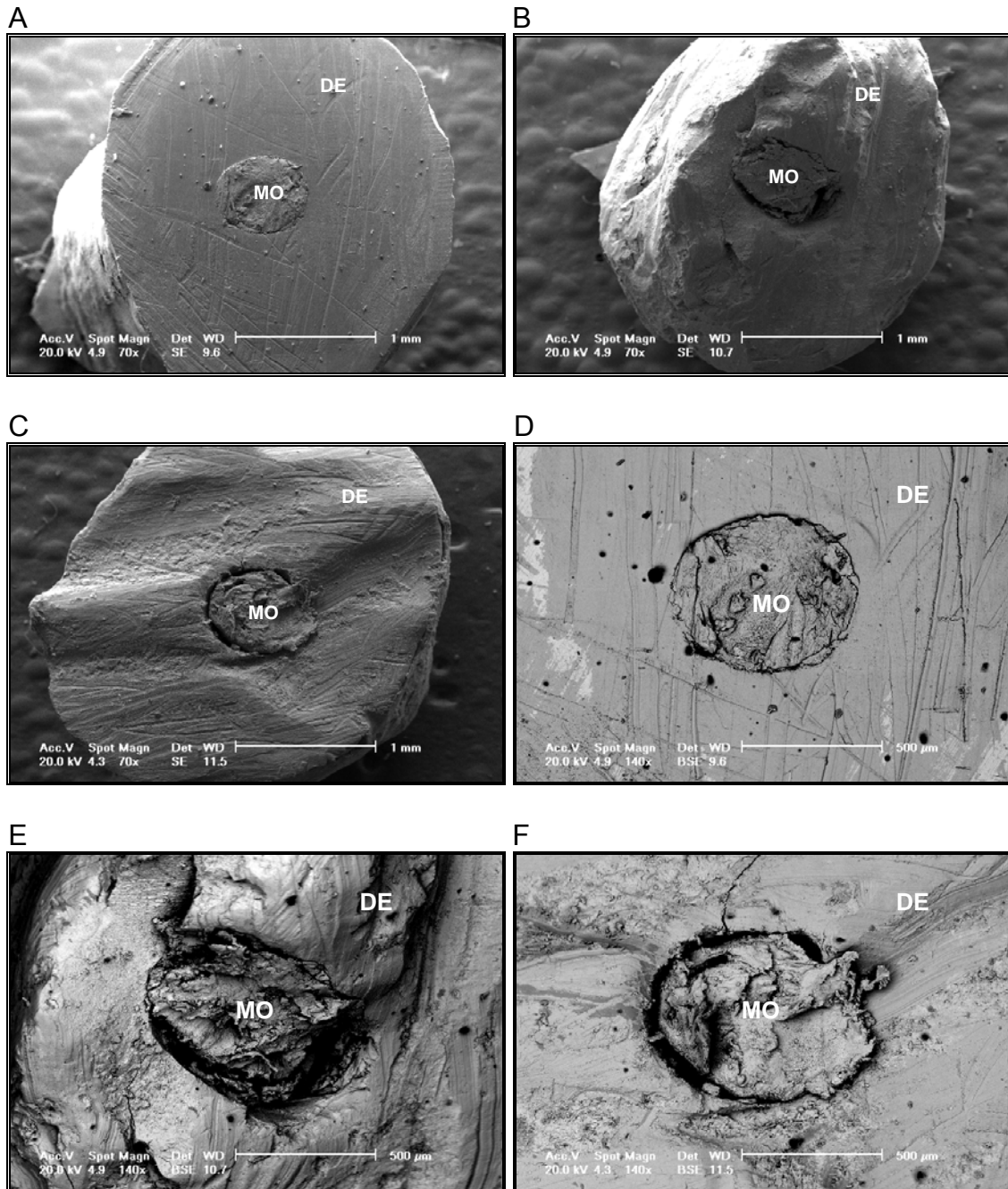


Figura 2 – Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B, C, D, E e F). Em A) superfície apicectomizada do grupo Br; em B) superfície apicectomizada do grupo CO<sub>2</sub>, e em C) superfície apicectomizada do grupo Er. Magnificações de 70x. Em D) superfície apicectomizada do grupo Br, em elétrons retroespalhados (BSE); em E) superfície apicectomizada do grupo CO<sub>2</sub>, em elétrons retroespalhados (BSE) e em F) superfície apicectomizada do grupo Er, em elétrons retroespalhados (BSE). Magnificações de 140x. DE – dentina; MO – material obturador.

Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS, 2008).

Na Tabela 1 encontram-se os resultados do teste para a normalidade dos percentuais dos elementos químicos carbono (C), oxigênio (O), fósforo (P) e cálcio (Ca) encontrados nos grupos Br, CO<sub>2</sub> e Er.

**Tabela 1- Teste de Shapiro-Wilk para avaliação do comportamento da percentagem dos elementos químicos por grupo**

Elementos	Grupos	Estatística	p
C	Br	0,918	0,418
	CO <sub>2</sub>	0,890	0,274
	Er	0,924	0,467
O	Br	0,947	0,682
	CO <sub>2</sub>	0,885	0,248
	Er	0,951	0,720
P	Br	0,953	0,746
	CO <sub>2</sub>	0,959	0,809
	Er	0,925	0,468
Ca	Br	0,949	0,701
	CO <sub>2</sub>	0,780	0,026
	Er	0,884	0,204

Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS, 2008).

Conforme os resultados expressos na Tabela 1, os percentuais dos elementos químicos carbono, oxigênio e fósforo apresentaram uma distribuição normal de probabilidade ( $p > 0,05$ ), ao passo que os percentuais do elemento cálcio não seguiram uma distribuição normal ( $p \leq 0,05$ ).

Pelo teste de Levene, constatou-se que as variâncias entre os grupos não eram homogêneas para o elemento carbono ( $p > 0,05$ ).

Aplicando-se o teste de análise de variância entre os grupos Br, CO<sub>2</sub> e Er para o elemento carbono, foi encontrado que as variâncias não eram homogêneas nos grupos ( $p < 0,05$ ). Os resultados estão expressos na Tabela 2.



**Tabela 2 – ANOVA para avaliação da diferença na média dos grupos para o elemento carbono**

	<b>Soma dos quadrados</b>	<b>df</b>	<b>Média dos quadrados</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Entre os grupos</b>	1499,973	2	749,986	19,840	0,000
<b>Dentro dos grupos</b>	756,040	20	37,802		
<b>Total</b>	<b>2256,013</b>	<b>22</b>			

Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS, 2008).

Utilizou-se o teste de comparações múltiplas de Games-Howell, comparando cada grupo dois a dois.

Na Figura 3, duas médias seguidas da mesma letra informam que elas não apresentaram diferenças significativas entre si, ao passo que médias seguidas de letras diferentes apresentaram evidências de diferença entre os grupos. Assim, o percentual médio do grupo broca foi inferior ao dos demais grupos, enquanto para os grupos CO<sub>2</sub> e Er as diferenças não foram significativas.

Houve diferença estatisticamente significativa quando se compararam os grupos Br e CO<sub>2</sub> e os grupos Br e Er ( $p \leq 0,05$ ).

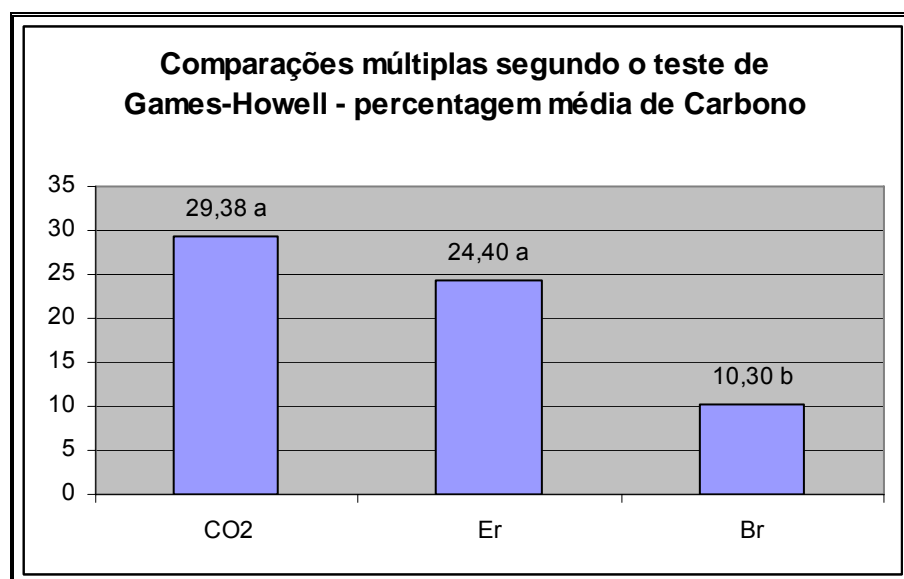


Figura 3 – Representação gráfica, em barras, do percentual médio para o elemento carbono (eixo y), de acordo com o grupo experimental (eixo x).  
Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS, 2008).

Ao se aplicar o teste de homogeneidade das variâncias (teste de Levene) entre os grupos Br, CO<sub>2</sub> e Er para os elementos oxigênio e fósforo, foi descoberto que as variâncias são homogêneas para ambos os elementos ( $p > 0,05$ ).

Detectada a homogeneidade para os elementos oxigênio e fósforo, utilizou-se ANOVA para observar se havia diferença significativa na média dos grupos ( $p < 0,05$ ) (Tabela 3).

**Tabela 3 – ANOVA para avaliação da diferença na média dos grupos para os elementos oxigênio e fósforo**

Elemento		Soma dos quadrados	df	Média dos quadrados	F	p
<b>O</b>	Entre os grupos	374,455	2	187,228	3,828	0,039
	Dentro dos grupos	978,080	20	48,904		
	Total	1352,536	22			
<b>P</b>	Entre os grupos	102,339	2	51,170	11,286	0,001
	Dentro dos grupos	90,680	20	4,534		
	Total	193,019	22			

Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS, 2008).

Em decorrência desta diferença, utilizou-se o teste de comparações múltiplas de Tukey, comparando-se cada grupo dois a dois.

Na Figura 4, duas médias seguidas de, pelo menos, uma mesma letra informam que elas não apresentaram diferenças significativas entre si, ao passo que médias seguidas de letras diferentes apresentaram evidências de diferença entre os grupos. Assim, o percentual médio do grupo broca foi superior ao do grupo CO<sub>2</sub>.

As diferenças médias entre os grupos são estatisticamente significativas quando  $p \leq 0,05$ . Então, houve diferença estatisticamente significativa quando da comparação dos grupos Br e CO<sub>2</sub> ( $p \leq 0,05$ ).

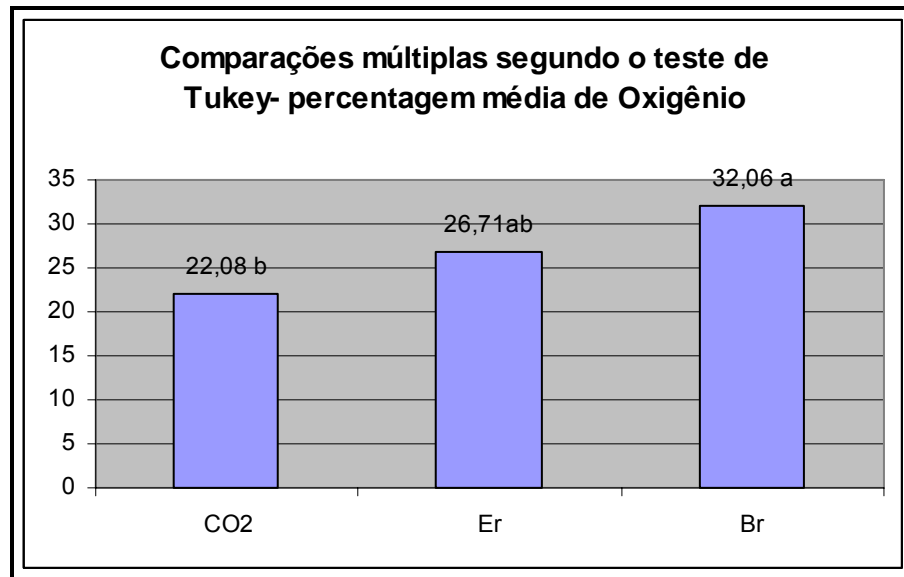


Figura 4 – Representação gráfica, em barras, do percentual médio para o elemento oxigênio (eixo y), de acordo com o grupo experimental (eixo x).  
Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS, 2008).

Na Figura 5, duas médias seguidas da mesma letra informam que elas não apresentaram diferenças significativas entre si, ao passo que médias seguidas de letras diferentes apresentaram evidências de diferença entre os grupos. Assim, o percentual médio do grupo broca foi superior ao dos demais grupos e, para os grupos CO<sub>2</sub> e Er, as diferenças não foram significativas.

As diferenças médias entre os grupos são estatisticamente significativas quando  $p \leq 0,05$ . Então, ocorreu diferença estatisticamente significativa quando se compararam os grupos Br e CO<sub>2</sub> e os grupos Br e Er ( $p \leq 0,05$ ).

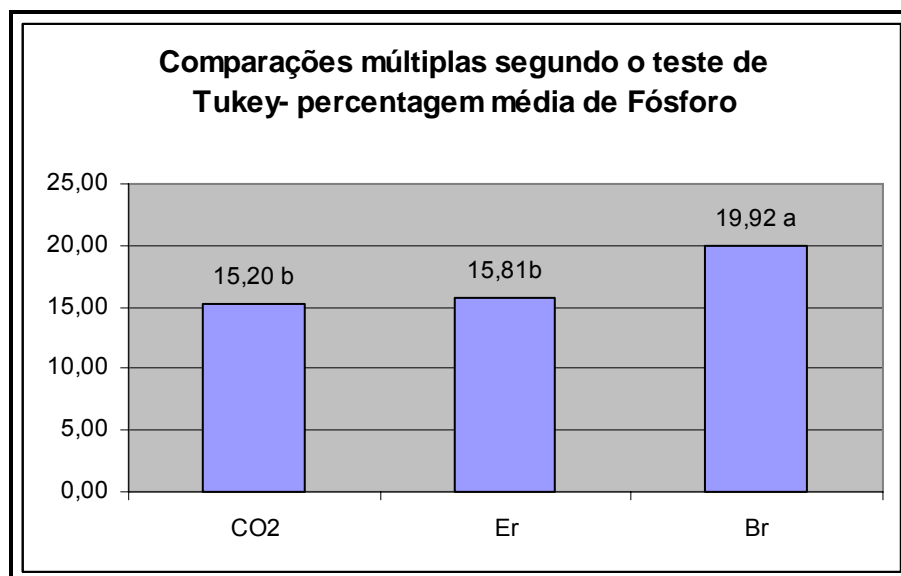


Figura 5 – Representação gráfica, em barras, do percentual médio para o elemento fósforo (eixo y), de acordo com o grupo experimental (eixo x).  
Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS, 2008).

Devido às características de anormalidade entre os grupos para o elemento químico cálcio, utilizou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, usado na comparação de mais de dois grupos juntos (Tabela 4).

**Tabela 4 - Teste de Kruskal-Wallis para avaliação do comportamento dos grupos para o elemento cálcio**

Elemento	Grupo	n	Posto médio	Qui-quadrado	p
<b>Ca</b>	Br	8	16,38	5,611	0,060
	CO <sub>2</sub>	7	11,00		
	Er	8	8,50		
	Total	23			

Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS, 2008).

Analisando os espectros de EDS entre os três grupos, observou-se que, quanto à composição química, o grupo CO<sub>2</sub> apresentou a maior quantidade de carbono, seguido pelo grupo Er e Br, respectivamente. Para o elemento oxigênio, o grupo Br apresentou maior quantidade do mesmo em relação ao grupo CO<sub>2</sub>. Para o elemento fósforo, o grupo Br apresentou maior quantidade do mesmo em relação aos grupos CO<sub>2</sub> e Er (Figura 6). Os espectros mostram alguns picos que representam elementos químicos relacionados à metalização das amostras (ouro,

prata, paládio, zinco) ou à solução fisiológica utilizada para a limpeza das amostras (sódio), não relacionados à estrutura dentinária.

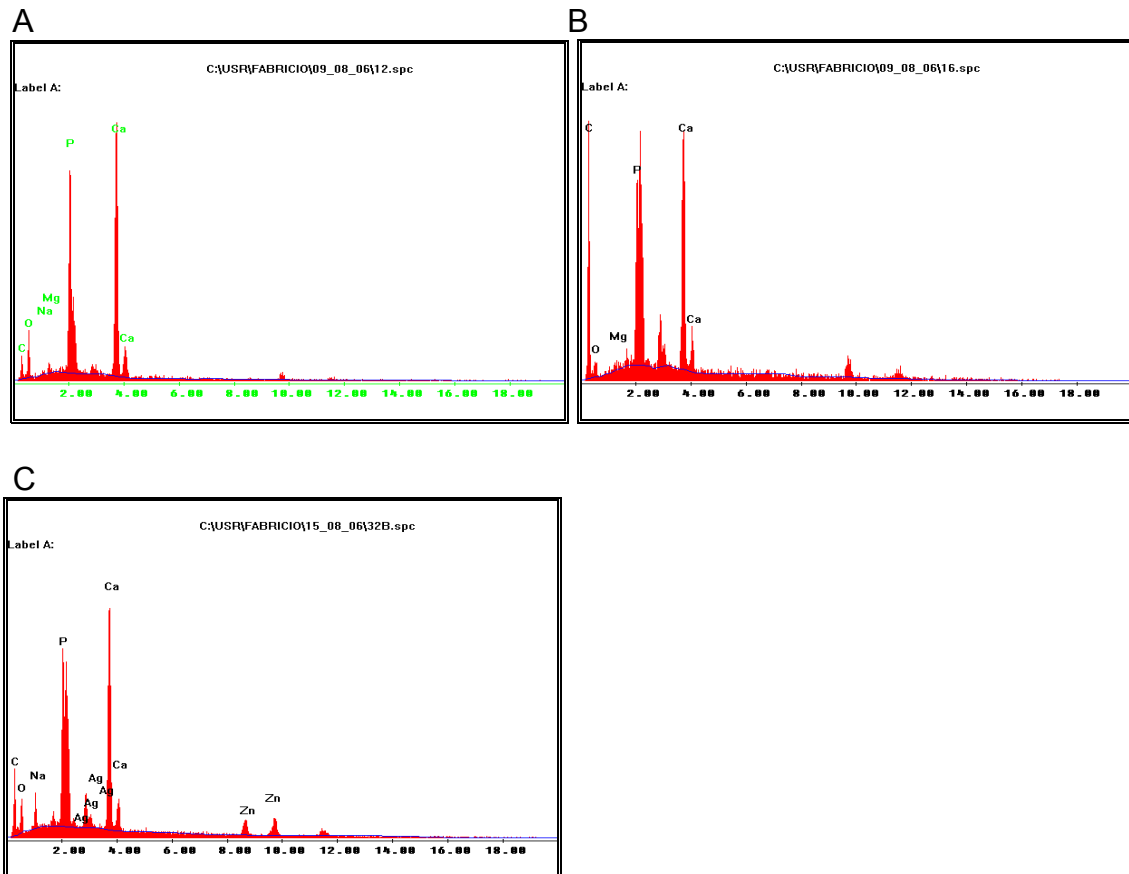


Figura 6 - Espectros de EDS mostrando a diferença da quantidade do elemento carbono entre os grupos. Em (A) Grupo Br; em (B) Grupo CO<sub>2</sub> e em (C) Grupo Er. Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS, 2008).

A Tabela 5 apresenta as médias dos percentuais dos elementos químicos relativos aos espectros de EDS obtidos para cada amostra.

**Tabela 5 – Análise descritiva das médias dos elementos químicos em percentual, de acordo com os grupos avaliados**

<b>Elemento</b>	<b>Grupo</b>	<b>Média (% peso)</b>	<b>Desvio-padrão</b>
Carbono	Br	10,48	1,34
Carbono	CO <sub>2</sub>	37,47	13,67
Carbono	Er	24,99	5,50
Oxigênio	Br	32,07	6,24
Oxigênio	CO <sub>2</sub>	26,06	10,17
Oxigênio	Er	28,13	5,86
Fósforo	Br	20,05	2,09
Fósforo	CO <sub>2</sub>	12,67	4,75
Fósforo	Er	15,46	2,74
Cálcio	Br	35,46	5,00
Cálcio	CO <sub>2</sub>	28,24	6,67
Cálcio	Er	26,28	5,37

Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS, 2008).

Para melhor visualização dos resultados, os dados obtidos na Tabela 5 foram utilizados para confeccionar o gráfico de barras da média dos elementos, de acordo com o grupo experimental (Figura 7).

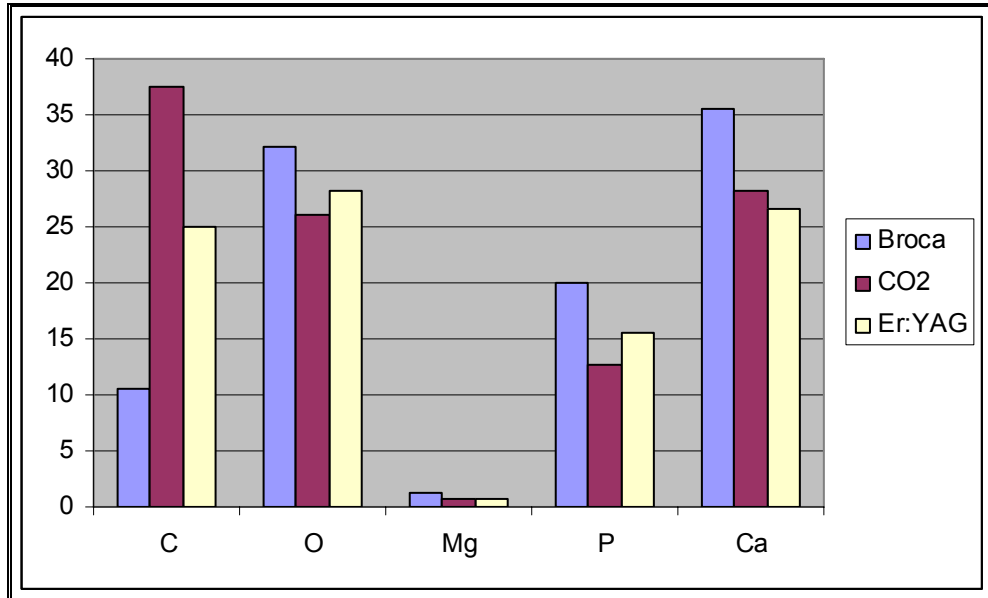


Figura 7 – Representação gráfica, em barras, da distribuição das médias dos elementos em percentual (eixo y), de acordo com o grupo experimental (eixo x). C – carbono; O – oxigênio; Mg – magnésio; P – fósforo e Ca – cálcio.  
Fonte: Dados da presente pesquisa (PUCRS, 2008).



**DISCUSSÃO**

---



## 5 DISCUSSÃO

Para a realização deste estudo, foram utilizados caninos humanos permanentes, pois tais dentes apresentam uma raiz reta (GERHARDT DE OLIVEIRA et al., 2005; LAMB et al., 2003;).

Após a instrumentação endodôntica, as amostras receberam uma irrigação com EDTA a 17%, no interior do canal, técnica que está em consonância com outros trabalhos já realizados (BARBIZAN, 2001; ECONOMIDES et al., 1999; MADEN; GORGUI; TINAZ, 2002; MENEZES; ZANET; VALERA, 2003). A remoção da lama dentinária dos canais radiculares permite um aumento da superfície de contato, aumentando a adesão entre o material obturador e as paredes do canal radicular, facilitando o efeito bactericida das medicações intracanal (ECONOMIDES et al., 1999; KUGA et al., 1999; SOUZA; SILVA, 2001; TAKEDA et al., 1999).

Para a apicectomia realizada com LASER Er:YAG, utilizaram-se 400 mJ e 10 Hz como parâmetros, o que está de acordo com os preconizados por Mello et al. (2000), Mello e Mello (2001), Paradella et al. (2001), Kim, Deuk-Jim e Ki-Suk (2003), Lizarelli, Moriyama e Bagnato (2003). No corte com LASER CO<sub>2</sub>, foi usado 5 W, em modo superpulso, com posterior remoção da carbonização por curetagem e irrigação com solução de cloreto de sódio a 0,9% (MISERENDINO, 1988; PINHEIRO; CAVALCANTI; BRUGNERA JÚNIOR, 1998; POZZA, 2005).

Após a análise de MEV das superfícies dentinárias cortadas com broca, LASER CO<sub>2</sub> e LASER Er:YAG, observaram-se as diferentes características das superfícies, o que pode ser explicado pelos diferentes mecanismos de ação de cada técnica e suas distintas interações com os tecidos dentários (SASAKI et al., 2002b). As superfícies cortadas com broca apresentaram menor irregularidade quando comparadas aos outros grupos, mostrando-se mais planas que as demais.

Os ápices cortados com LASER CO<sub>2</sub> apresentaram uma superfície extremamente rugosa, carbonizada e negra (SASAKI et al., 2002a).

A maior carbonização das superfícies dentinárias cortadas com o LASER CO<sub>2</sub> pode ser justificada pelo fato de o mesmo não ser utilizado sob refrigeração, ao contrário dos outros dois grupos. A refrigeração usada nos grupos broca e Er:YAG pode ter produzido uma redução acentuada na queima das superfícies cortadas (MELLO et al., 2007; PAGHDIWALA, 1993; SASAKI et al., 2002a, 2002b). O LASER

CO<sub>2</sub> foi utilizado sem refrigeração porque sua eficácia é diminuída quando assim usado (SASAKI et al., 2002b).

Os diferentes comprimentos de onda e, conseqüentemente, distintas interações com os tecidos podem explicar algumas diferenças obtidas na irradiação com estes dois tipos de LASER (SASAKI et al., 2002a).

Schoop et al. (2004) não encontraram relação entre as diferenças na temperatura no uso dos LASERs e o efeito bactericida dos mesmos, sugerindo que a refrigeração é adequada para evitar dano térmico às estruturas dentárias sem, contudo, diminuir a eficácia dos LASERs no seu efeito bactericida.

Os ápices removidos com LASER Er:YAG apresentaram superfícies mais irregulares quando comparadas àquelas cortadas com broca, mostrando ondas estreitas com bordas levemente elevadas. Isto se deve ao fato de o LASER Er:YAG ser usado no modo pulsado, cortando a dentina em intervalos, bem como ao fato de amostra ter se movido durante a exposição (PAGHDIWALA, 1993; SASAKI et al., 2002a, 2002c).

O LASER CO<sub>2</sub> é mais bem-absorvido pela hidroxiapatita que pela água. A absorção transforma a energia irradiada em calor, aumentando a temperatura acima de 700° C, suficiente para fundir a hidroxiapatita. A solidificação e a recristalização de tais áreas, contudo, são quase sempre incompletas e descontínuas. Já o LASER Er:YAG é mais bem-absorvido pela água, a qual evapora antes da fusão da hidroxiapatita. Este LASER requer temperaturas mais baixas para ablação dos tecidos duros, resultando em menos danos térmicos a tais estruturas. Estes mecanismos, chamados de vaporização fototérmica para o LASER CO<sub>2</sub> e ablação fotomecânica para o LASER Er:YAG, ajudaram a produzir as diferentes superfícies após a irradiação com referidos tipos de LASER (HIBST; KELLER, 1989; KELLER; HIBST, 1989; MORITZ et al., 1997; SASAKI et al., 2002a).

Superfícies cortadas com broca, por serem mais lisas, apresentam maior permeabilidade dentinária, seguidas por aquelas cortadas com LASERs Er:YAG e CO<sub>2</sub>, este último promovendo a menor permeabilidade dentinária em virtude da fusão e da recristalização da dentina com obliteração dos canalículos dentinários (KESSLER; KOREN; KESSLER, 1999; GOUW-SOARES et al., 2004).

A obtenção de superfícies apicectomizadas lisas é preconizada por favorecerem a colocação do material retrobturador no preparo e por melhorarem o

reparo tecidual na região do ligamento periodontal. Além disso, superfícies rugosas favorecem a proliferação de microrganismos (GOWN-SOARES et al., 2004).

A vantagem atribuída à aplicação dos LASERs CO<sub>2</sub> e Er:YAG em apicectomias é a diminuição do risco de contaminação do sítio cirúrgico pela eliminação do aerossol produzidos pelas turbinas das peças de mão (MISERENDINO, 1988).

Com relação à presença de falhas na interface dente/material obturador, o grupo broca foi o que mostrou a menor incidência e os menores tamanhos delas, criando uma superfície lisa e o menor deslocamento da guta-percha. Neste trabalho, o grupo LASER CO<sub>2</sub> foi o que apresentou a maior quantidade de falhas na adaptação marginal e os maiores tamanhos das mesmas, tendo o grupo LASER Er:YAG com a incidência intermediária neste quesito. Pozza (2005) relacionou essa desadaptação da obturação com o uso do LASER CO<sub>2</sub> a um maior grau de infiltração do corante Rodamina B a 1%.

A presença de falhas na interface dente/material obturador no grupo cortado com LASER Er:YAG também foi observada nos estudos realizados por Paghdiwala (1993) e Francischone et al. (2005).

A adaptação da obturação na porção apical dos canais radiculares é mais importante que a natureza da superfície cortada. É importante considerar que a integridade dente/material obturador deve ser preservada para evitar a infiltração bacteriana. O calor excessivo contribui para a menor adaptação da guta-percha nas apicectomias. Isto pode justificar o fato de o grupo LASER CO<sub>2</sub> ter apresentado a maior infiltração marginal, já que este LASER foi utilizado sem refrigeração (CUNNINGHAM, 1975; LIN et al., 1991; WESTON; MOULE; BARTOLD, 1999). Não foram avaliados estatisticamente nesta pesquisa os *gaps* existentes entre a dentina das paredes dos canais radiculares e o material obturador devido à grande carbonização sofrida pelos ápices do grupo CO<sub>2</sub>, que impossibilitou a medição precisa em grande parte das amostras. Os procedimentos de apicectomia com broca, LASERs CO<sub>2</sub> e Er:YAG provocam modificações estruturais na dentina, e o motivo de se adquirir espectros por análises de EDS dos elementos químicos presentes na superfície dentinária cortada por tais técnicas é estabelecer um paralelo entre as alterações quantitativas desses elementos com a técnica de ablação utilizada.

Quimicamente, a dentina é composta por cerca de 70% de material inorgânico, 18% de matéria orgânica e 12% de água, embora esta composição varie devido à deposição contínua e progressiva de minerais após a formação e erupção do dente. A porção inorgânica constitui-se principalmente de cristais de hidroxiapatita, sendo que cada cristal é composto por milhares de unidades moleculares tendo como fórmula  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . Estão também presentes fosfatos de cálcio amorfos, além de pequenas quantidades de carbonatos, sulfatos e elementos como flúor, cobre, zinco e ferro (ODA; MATOS; LIBERTI, 1999).

Existe uma tendência à diminuição de carbonatos e fosfatos após a irradiação com os dois tipos de LASERs utilizados, idéia que reforça a suspeita de os componentes minerais sofrerem ablação durante o processo. Também há uma diminuição das quantidades de cálcio e fósforo. Na irradiação com LASER Er:YAG, ocorre mais perda de proteínas e água que carbonatos e fosfatos nos tecidos duros dentários (SASAKI et al., 2002a). Os resultados deste trabalho para o elemento fósforo demonstraram menores quantidades deste elemento para os grupos  $\text{CO}_2$  e Er quando comparados ao grupo Br. Com relação ao elemento cálcio, não houve diferenças estatisticamente significativas entre os três grupos.

As superfícies irradiadas com LASER tornam-se friáveis, fato justificado pela perda de matriz orgânica. Este processo é mais bem-observado após tratamento com o LASER  $\text{CO}_2$ , que produz mais queima de material. O LASER Er:YAG realiza uma ablação preferencial pelos componentes orgânicos aos inorgânicos. Essa ablação seletiva pode ser bastante útil para remover enzimas tóxicas e antígenos bacterianos (SASAKI et al., 2002a). Este trabalho também demonstrou a maior friabilidade das superfícies irradiadas com LASER  $\text{CO}_2$ .

O maior aumento do elemento carbono nas superfícies apicectomizadas com LASER  $\text{CO}_2$  neste estudo está relacionado à intensa carbonização da dentina produzida por este LASER, usado sem refrigeração, e a seu maior comprimento de onda quando comparado ao Er:YAG. As superfícies apicectomizadas com broca apresentaram os menores índices de carbono, quando comparados aos dos demais grupos. A diferença existente entre os grupos Br e  $\text{CO}_2$  para o elemento químico oxigênio, mostrando maior quantidade deste para o grupo Br, pode ser atribuída ao intenso processo de queima da estrutura dentinária na irradiação com LASER  $\text{CO}_2$ , levando a uma intensa perda de água no processo.

Em termos clínicos, o grupo broca apresentou os melhores resultados na presente pesquisa devido à menor irregularidade das superfícies apicectomizadas por este método e à melhor adaptação marginal do material obturador. A manutenção da lisura da superfície dentinária após técnicas de apicectomia é importante porque, em caso de retrobturação, haverá melhor união entre a dentina e o material retrobturador. Além disso, a preservação da integridade dente/material obturador é necessária para evitar a penetração de microrganismos e a conseqüente infecção da região apical.



**CONCLUSÕES**

---

## 6 CONCLUSÕES

A partir da metodologia empregada e da análise dos dados obtidos nesta pesquisa, foi possível chegar-se às seguintes conclusões:

- a) as amostras apicectomizadas com broca apresentaram menor irregularidade da superfície dentinária, quando comparadas aos grupos LASER;
- b) o grupo LASER CO<sub>2</sub> apresentou a maior falha na adaptação marginal, mostrando as maiores fendas entre dente/material obturador quando comparado aos demais;
- c) as superfícies dentinárias apicectomizadas por LASER CO<sub>2</sub> apresentaram intensa carbonização;
- d) o grupo LASER CO<sub>2</sub> apresentou o maior percentual do elemento carbono em relação aos demais grupos, em face da carbonização visualizada nas superfícies dentinárias apicectomizadas, nas amostras avaliadas neste estudo.



## REFERÊNCIAS

---



## REFERÊNCIAS

ARAKI, A. T. et al. Er:YAG LASER irradiation of the microbiological apical biofilm. **Brazilian Dental Journal**, Ribeirão Preto, v. 17, n. 4, p. 296-299, 2006.

ARENS, D. L.; LEVY, G. C. A comparison of dentin permeability after bur and LASER apicoectomies. **Compendium of Continuing Education in Dentistry**, Lawrenceville, v. 14, n. 10, p. 1290-1298, 1993.

BADER, C.; KREJCI, I. Indications and limitations of Er:YAG laser applications in dentistry. **American Journal of Dentistry**, San Antonio, Tex, v. 19, n. 3, p. 178-186, 2006.

BARBIZAN, J. V. B. **Estudo “in vitro” da infiltração marginal apical em canais radiculares obturados**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2001. 71 p.

BRUGNERA JÚNIOR, A. et al. Effects of Er:YAG and Nd:YAG laser irradiation on radicular dentine permeability using different irrigating solutions. **Lasers in Surgery and Medicine**, New York, v. 33, n. 4, p. 256-259, 2003.

BRUGNERA JÚNIOR, A.; PINHEIRO, A. L. B. **Lasers na odontologia moderna**, São Paulo: Pancast, 1998. 356 p.

CRUZ, H. et al. Quantification of the microconstituents formed during solidification by the Newton thermal analysis method. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 178, n. 1-3, p. 128-134, 2006.

CUNNINGHAM, J. The seal of root fillings at apicectomy. A scanning electron microscope study. **British Dental Journal**, London, v. 139, n. 11, p. 430-435, 1975.

CZONSTKOWSKY, M.; WILSON, E. G.; HOLSTEIN, F. A. The smear layer in endodontics. **Dental Clinics of North America**, Philadelphia, v. 34, n. 1, p. 13-25, 1990.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação das amostras**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 60p.

ECONOMIDES, N. et al. Long-term evaluation of the influence of smear-layer removal on the sealing ability of different sealers. **Journal of Endodontics**, Baltimore, v. 25, n. 2, p. 123-126, 1999.

FADER, D. J.; RATNER, R. Principles of CO<sub>2</sub>/Erbium Laser safety. **Dermatologic Surgery**, New York, v. 26, n. 3, p. 235-239, 2000.

FRANCISCHONE, C. E. et al. Apicectomy with the Er:YAG laser or bur, followed by retrograde root filling with zinc oxide/eugenol or Sealer 26. **Photomedicine and Laser Surgery**, Larchmont, v. 23, n. 4, p. 395-398, 2005.

FRIEDMAN, S.; ROTSTEIN, I.; MAHAMID, A. In vivo efficacy of various retrofills and of CO<sub>2</sub> laser in apical surgery. **Endodontics & Dental Traumatology**, Copenhagen, v. 7, n. 1, p. 19-25, 1991.

GERHARDT DE OLIVEIRA, M. et al. Análise comparativa entre duas técnicas de retro-obturação. **Brazilian Oral Research**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 204, 2005.

GOUW-SOARES, S.; LAGE MARQUES, J. L.; EDUARDO, C. P. Apicoectomy by Er:YAG laser: permeability and morphological study of dentine cut surface. In: INTERNATIONAL LASER CONGRESS, 1996, Athens, Greece. **Proceedings**. Bologna: Monduzzi, 1996. p. 365-370.

GOUW-SOARES, S. et al. The use of Er:YAG, Nd:YAG and Ga-Al-As lasers in periapical surgery: a 3-year clinical study. **Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery**, New York, v. 19, n. 4, p. 193-198, 2001.

GOUW-SOARES, S. et al. Comparative study of dentine permeability after apicectomy and surface treatment with 9,6µm TEA CO<sub>2</sub> and Er:YAG laser irradiation. **Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery**, New York, v. 22, n. 2, p. 129-139, 2004.

HIBST, R.; KELLER, U. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances: I. Measurement of the ablation rate. **Lasers in Surgery and Medicine**, New York, v. 9, n. 4, p. 338-344, 1989.

KELLER, O. R. et al. Laser-induced temperature changes in dentine. **Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery**, New York, v. 21, n. 6, p. 375-381, 2003.

KELLER, U.; HIBST, R. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances: II. Light microscopic and SEM investigations. **Lasers in Surgery and Medicine**, New York, v. 9, n. 4, p. 345-351, 1989.

KESSLER, G.; KOREN, R; KESSLER, A. Long-term clinical evaluation of endodontically treated teeth by 15F CO<sub>2</sub> microprobe, three years clinical follow-up of 1512 root canals: *in vivo* study. In: CONFERENCE ON LASERS IN DENTISTRY, 5., San Jose, California, 1999. **Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers**, 1999. v. 3593, p. 27-29.

KIM, M. E.; DEUK-JIN, J.; KI-SUK, K. Effects of water flow on dental hard tissue ablation using Er:YAG laser. **Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery**, New York, v. 21, n. 3, p. 139-144, 2003.

KOMORI, T. et al. Clinical application of the Er:YAG laser for apicoectomy. **Journal of Endodontics**, Baltimore, v. 23, n. 12, p. 748-750, 1997.

KUGA, M. C. et al. Influência do método de irrigação final no selamento apical proporcionado pelo Endomethasone. **Revista Brasileira de Odontologia**, Rio de Janeiro, v. 56, n. 2, p. 65-68, 1999.

LAMB. E. L. et al. Effect of root resection on the apical sealing ability of mineral trioxide aggregate. **Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology**, St. Louis, v. 95, n. 6, p. 732-735, 2003.

LIN, L. M. et al. Clinical, radiographic, and histologic study of endodontic treatment failures. **Oral Surgery, Oral Medicine and Oral Pathology**, St. Louis, v. 71, n. 5, p. 603-611, 1991.

LIN, L. M.; GAENGLER, P.; LANGELAND, K. Periradicular curettage. **International Endodontic Journal**, Oxford, v. 29, n. 4, p. 220-227, 1996.

LIZARELLI, R. F. Z.; MORIYAMA, L. T.; BAGNATO, V. S. Ablation of composite resins using Er:YAG laser: comparison with enamel and dentin. **Lasers in Surgery and Medicine**, New York, v. 33, n. 2, p. 132-139, 2003.

MADEN, M.; GORGUI, G.; TINAZ, A. C. Evaluation of apical leakage of root canals obturated with Nd:YAG laser softened gutta-percha, system-B, and lateral condensation techniques. **The Journal of Contemporary Dental Practice**, Cincinnati, v. 3, n. 1, p. 1-6, 2002.

MARZOLA, C.; KLUGER, R. J.; TOLEDO FILHO, J. L. Apicoplastia – contribuição para o estudo. **Revista Brasileira de Cirurgia e Implantodontia**, Curitiba, v. 7, n. 28, p. 7-17, 2000.

MARZOLA, C. **Fundamentos de cirurgia bucomaxilofacial**. Bauru: Independente, 2005. 2237 p.

McCOMB, D.; SMITH, D. C. A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. **Journal of Endodontics**, Baltimore, v. 1, n. 7, p. 238-242, 1975.

MELLO, G. P. S. *et al.* Er:YAG and Nd:YAG laser irradiation effect on dental root cut: a SEM analysis. **Proceedings – Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers**, Bellingham, v. 4161, n. 32, p. 80-86, 2000.

MELLO, E. D. A. *et al.* Comparative histological analysis of bone healing of standardized bone defects performed with the Er:YAG laser and steel burs. **Lasers in Medical Science**, London, 2007. No prelo.

MELLO, J. B.; MELLO, G. P. S. **Laser em Odontologia**. São Paulo: Santos, 2001, 74 p.

MENEZES, A. C. S. C.; ZANET, C. G.; VALERA, M. C. Smear layer removal capacity of disinfectant solutions used with and without EDTA for the irrigation of canals: a SEM study. **Pesquisa Odontológica Brasileira**, São Paulo, v. 17, n. 4, p. 349-355, 2003.

MISERENDINO, L. J. The LASER apicoectomy: endodontic application of the CO<sub>2</sub> laser for periapical surgery. **Oral Surgery, Oral Medicine, and Oral Pathology**, St. Louis, v. 66, n. 5, p. 615-619, 1988.

MORITZ, A. *et al.* The carbon dioxide laser as an aid in apicoectomy: an *in vitro* study. **Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery**, New York, v. 15, n. 4, p. 185-188, 1997.

MORITZ, A. *et al.* The bactericidal effect of Nd:YAG, Ho:YAG, and Er:YAG laser irradiation in the root canal: an *in vitro* comparison. **Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery**, New York, v. 17, n. 4, p. 161-164, 1999.

NAGATANI, T.; SAITO, S.; SATO, M.; YAMADA, M. Development of an ultra high resolution scanning electron microscope by means of a field emission source and in-lens system. **Scanning Microscopy**, Chicago, v. 11, p. 901-909, 1987.

ODA, M.; MATOS, A. B.; LIBERTI, E. A. Morfologia da dentina tratada com substâncias dessensibilizantes: avaliação através de microscopia eletrônica de varredura. **Revista de Odontologia da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v. 13, n. 4, p. 337-342, 1999.

OLIVEIRA, R. G. et al. Scanning electron microscopy (SEM) and optical microscopy: effects of Er:YAG and Nd:YAG lasers on apical seals after apicoectomy and retrofill. **Photomedicine and Laser Surgery**, Larchmont, v. 22, n. 6, p. 533-536, 2004.

PAGHDIWALA, A. F. Root Resection of endodontically treated teeth by erbium:YAG laser radiation. **Journal of Endodontics**, Baltimore, v. 19, n. 2, p. 91-94, 1993.

PARADELLA, T. C. et al. *In vitro* study of the conventional and laser effects on dentin permeability. **Proceedings – Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers**, Bellingham, v. 4433, n. 33, p. 107-110, 2001.

PÉCORA, J. D. et al. Evaluation of dentin root canal permeability after instrumentation and Er:YAG laser application. **Lasers in Surgery and Medicine**, New York, v. 26, n. 3, p. 277-281, 2000.

PINHEIRO, A. L. B. Normas de segurança na utilização de *lasers* de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Medicina**, São Paulo, v. 43, n. 11, p. 227-231, 1995.

PINHEIRO, A. L. B. Normas de segurança na utilização de *lasers* em biomedicina. **Revista Brasileira de Medicina**, São Paulo, v. 53, n. 11, p. 1133-1136, 1996.

PINHEIRO, A. L. B.; CAVALCANTI, P. H. A. H.; BRUGNERA JÚNIOR, A. Apical leakage following CO<sub>2</sub> laser apicoectomy and conventional amalgam retrofilling: a comparative *in vitro* study. **6<sup>th</sup> International Congress Lasers in Dentistry**, v. 28, n. 30, p. 145-148, 1998.

POZZA, D. H. et al. Laseres de CO<sub>2</sub>, Er:YAG e Nd:YAG em cirurgia parendodôntica. **Revista da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal da Bahia**. Salvador, v. 26, p. 5-10, 2003.

POZZA, D. H. et al. Análise comparativa entre os tempos gastos na apicetomia por ponta diamantada e pelos *lasers* CO<sub>2</sub> e Er:YAG na apicetomia. **Revista de Clínica e Pesquisa Odontológica**, Curitiba, v. 2, n. 2, p. 97-192, 2005.

POZZA, D. H. **Avaliação, por infiltração de corante, de tecnologias laser em cirurgias parendodônticas**. 2005. 92 p. Tese (Doutorado em Odontologia) – Faculdade de Odontologia, UFBA, Salvador, 2005.

RAPP, E.; BROWN, C. E.; NEWTON, C. W. An analysis of success and failure of apicoectomies. **Journal of Endodontics**, Baltimore, v. 17, n. 10, p. 508-511, 1991.

SASAKI, K. M. et al. Compositional analysis of root cementum and dentin after Er:YAG laser irradiation compared with CO<sub>2</sub> lased and intact roots using Fourier transformed infrared spectroscopy. **Journal of Periodontal Research**, Copenhagen, v. 37, n. 1, p. 50-59, 2002a.

SASAKI, K. M. et al. Morphological analysis of cementum and root dentin after Er:YAG laser irradiation. **Lasers in Surgery and Medicine**, New York, v. 31, n. 2, p. 79-85, 2002b.

SASAKI, K. M. et al. Ultrastructural analysis of bone tissue irradiated by Er:YAG laser. **Lasers in Surgery and Medicine**, New York, v. 31, n. 5, p. 322-332, 2002c.

SCHOOP, U. et al. Bactericidal effect of different laser systems in the deep layers of dentin. **Lasers in Surgery and Medicine**, New York, v. 35, n. 2, p. 111-116, 2004.

SOUZA, R. A.; SILVA, S. J. A. Interferência da camada residual no selamento apical. **Revista Brasileira de Odontologia**, Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, p. 16-19, 2001.

TALGE-CARVALHO, C. A. et al. Effects of Nd:YAG and Er:YAG lasers on the sealing of root canal fillings. **Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery**, New York, v. 20, n. 4, p. 215-219, 2002.

TAKEDA, F. H. et al. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. **International Endodontic Journal**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 32-39, 1999.

WESTON, G. D.; MOULE, A. J.; BARTOLD, P. M. A scanning electron microscopic evaluation of root surfaces and the gutta-percha interface following root-end

resection *in vitro*. **International Endodontic Journal**, Oxford, v. 32, n. 6, p. 450-458, 1999.





## APÊNDICE A - MICROGRAFIAS ELETRÔNICAS DE VARREDURA E ESPECTROSCOPIAS POR DISPERSÃO DE ENERGIA DA PESQUISA

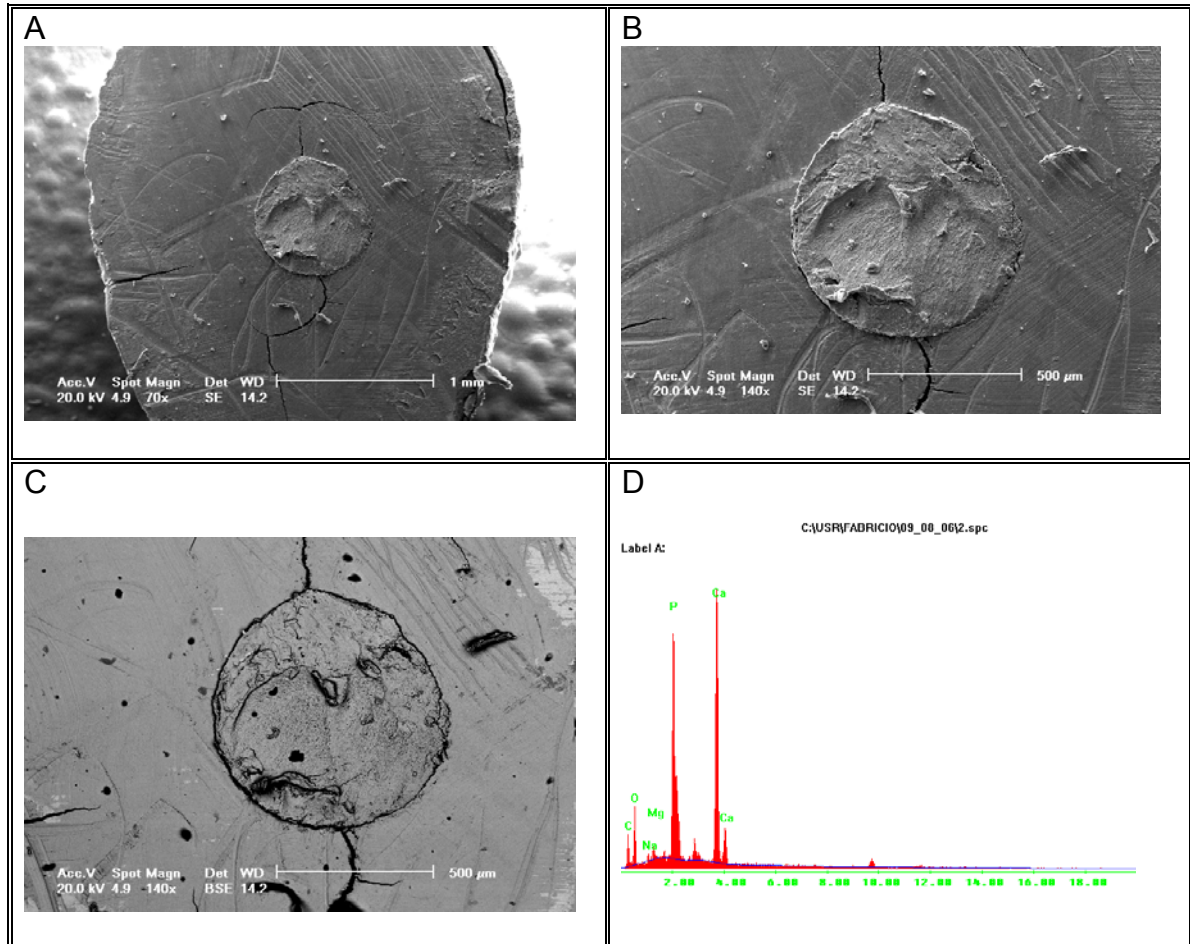


Figura 8 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 1. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

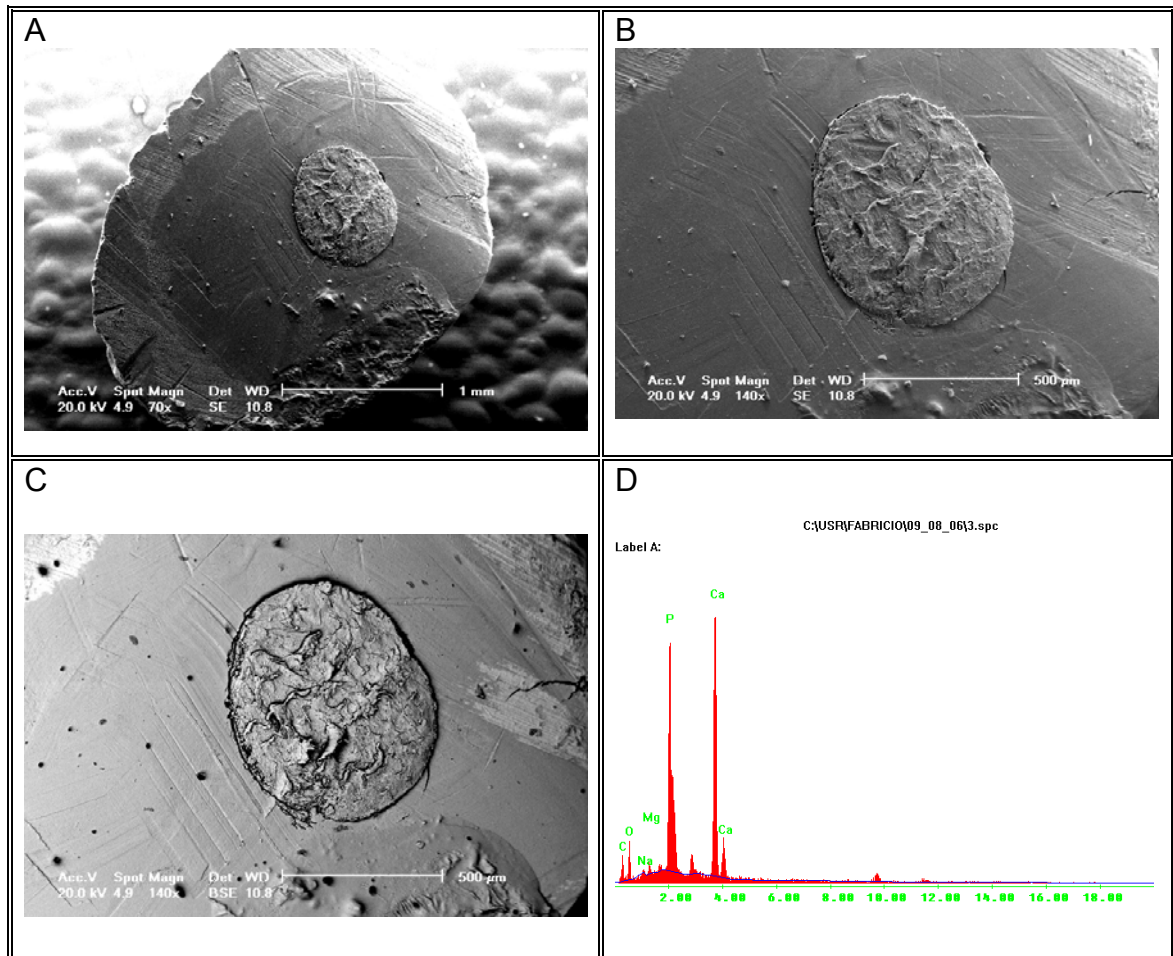


Figura 9 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 2. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

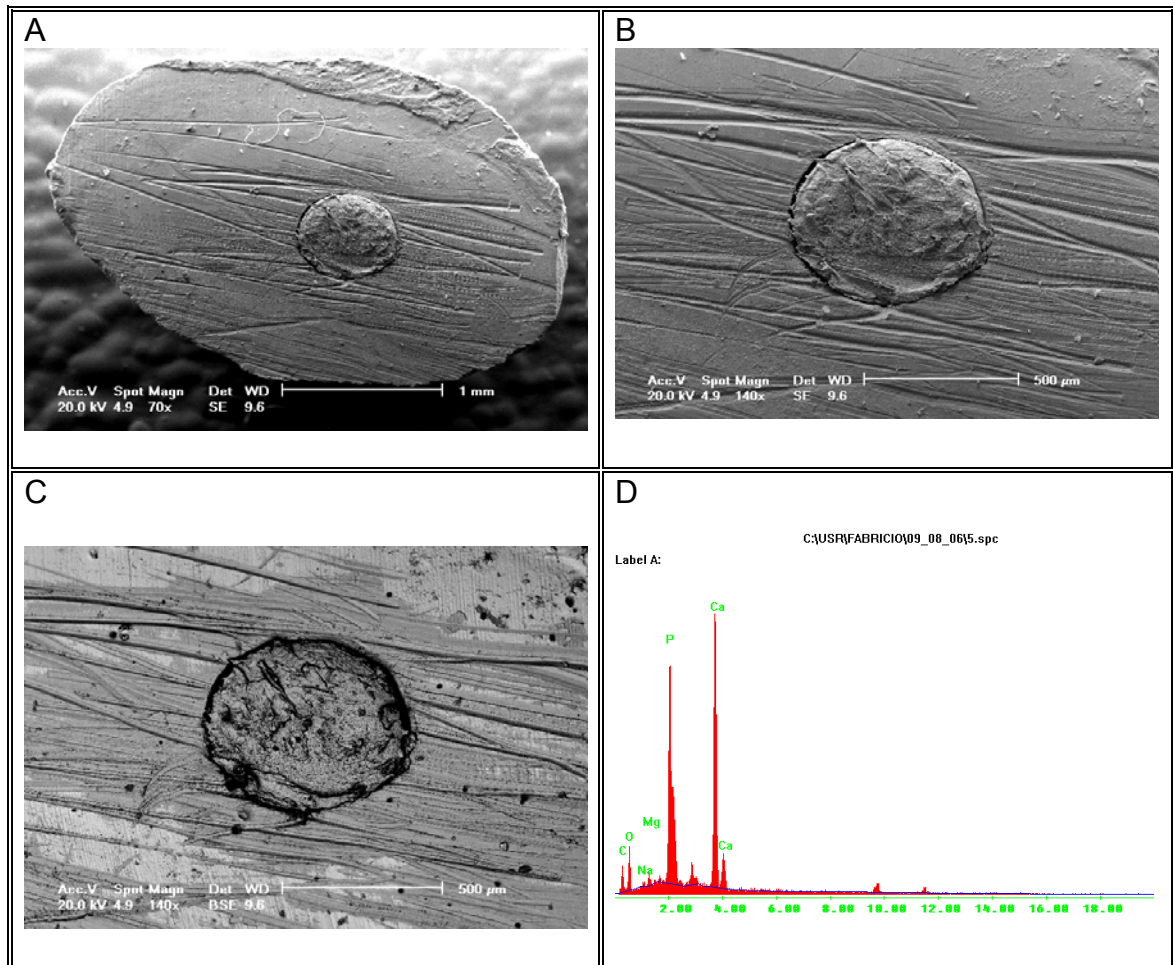


Figura 10 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 3. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

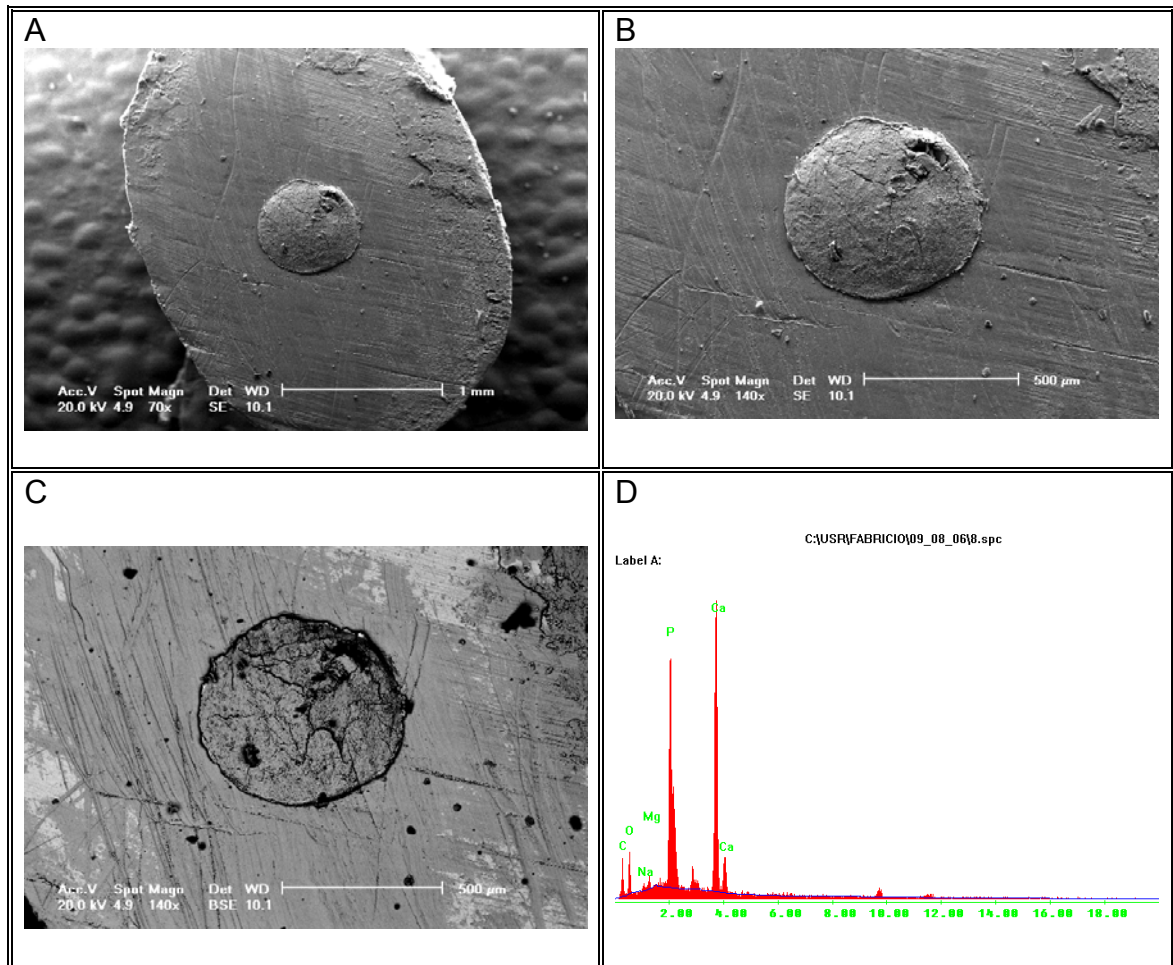


Figura 11 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 4. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.



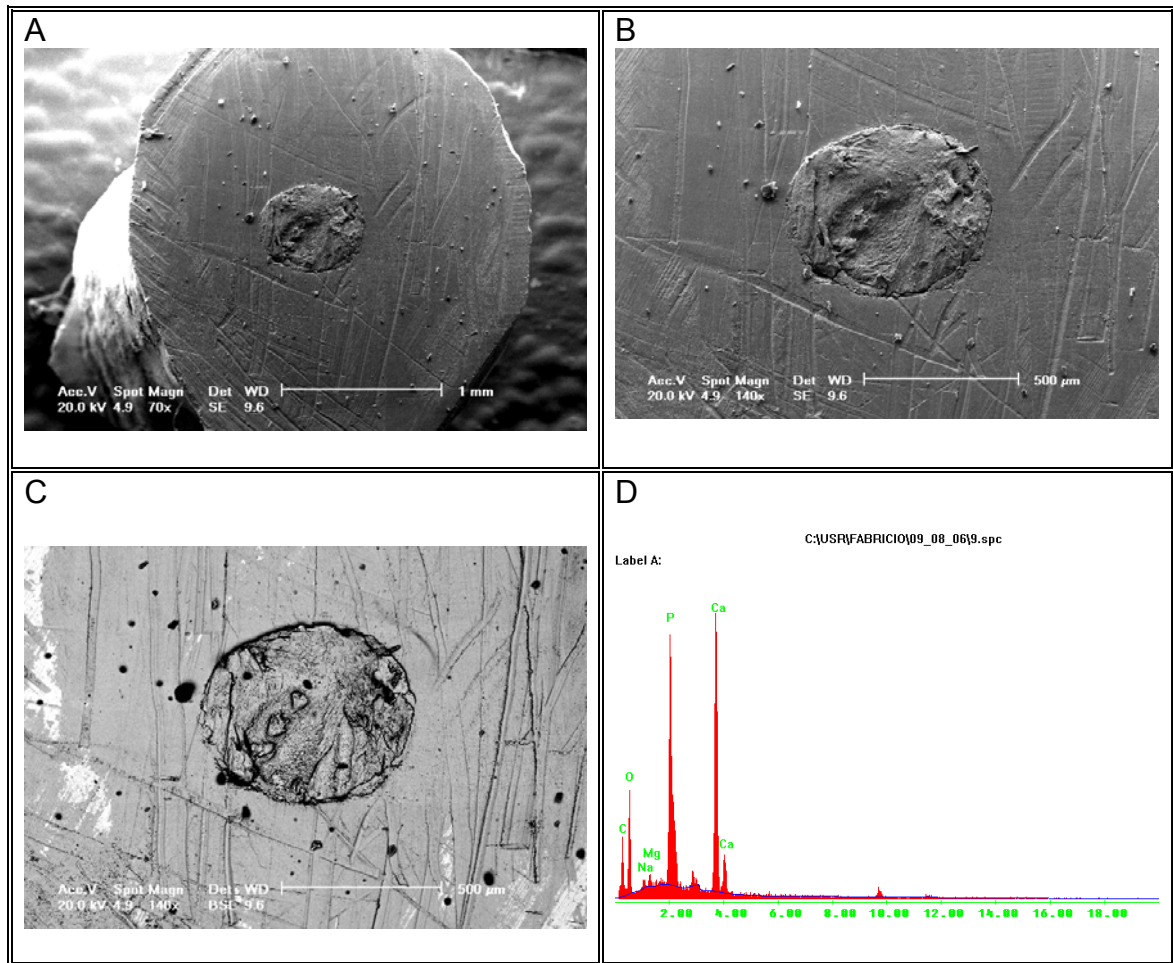


Figura 12 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 5. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

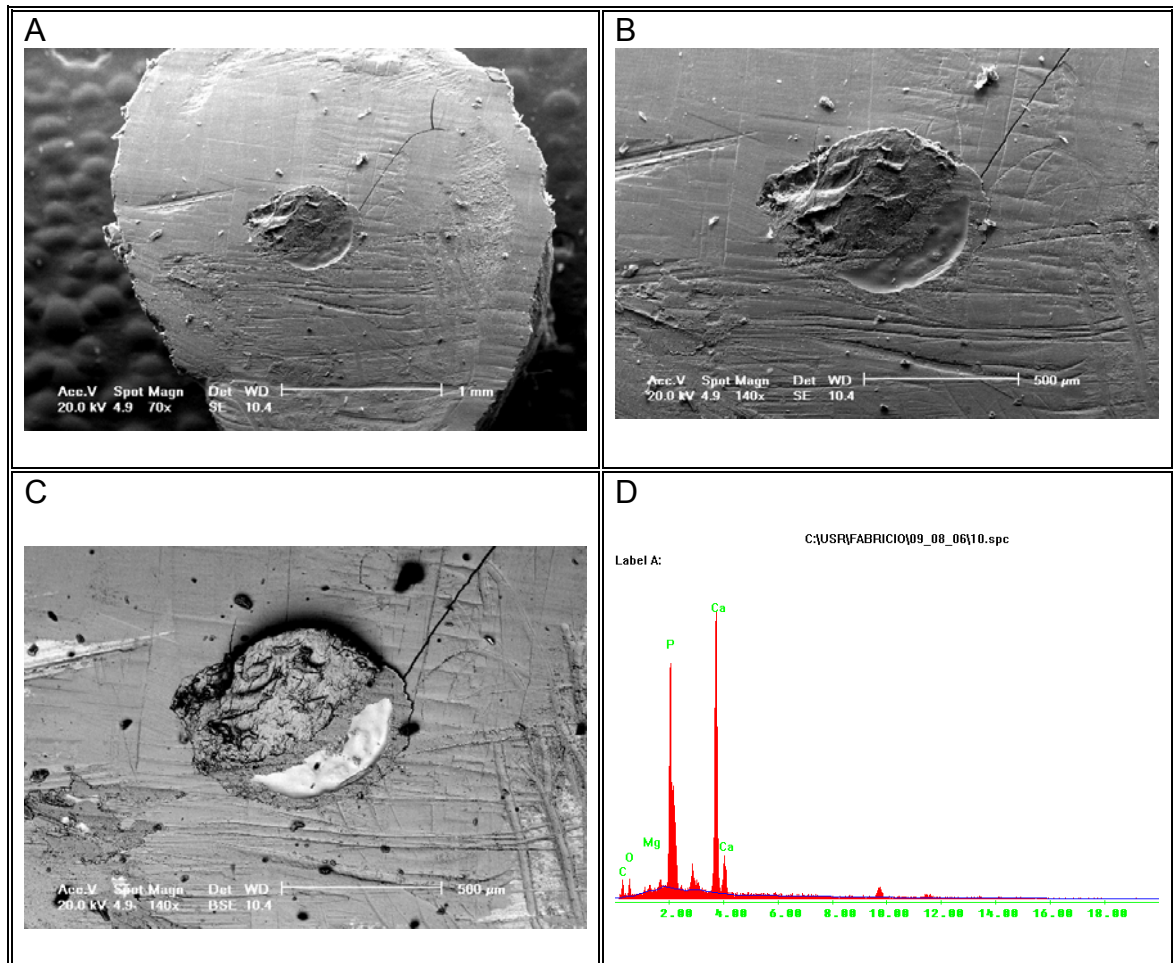


Figura 13 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 6. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

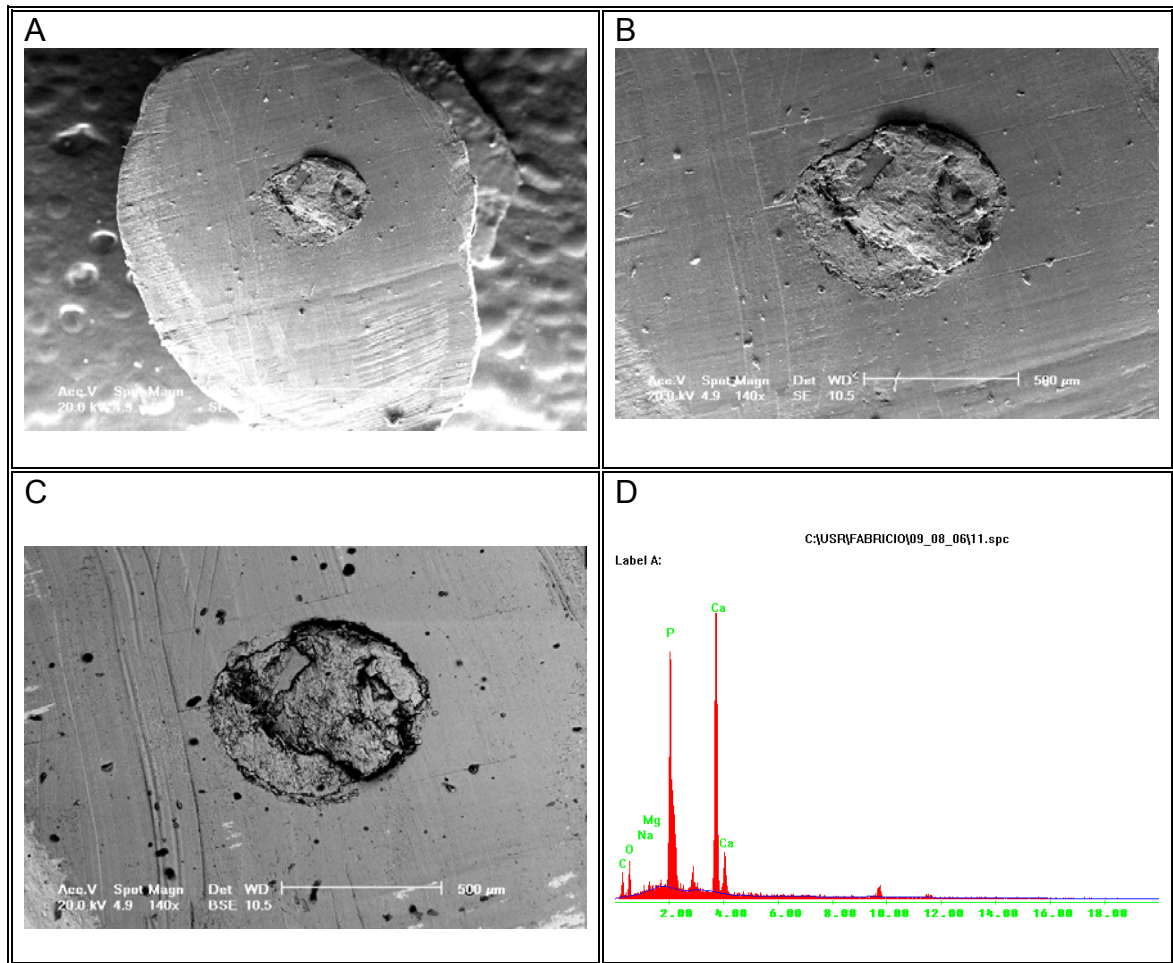


Figura 14 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 7. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

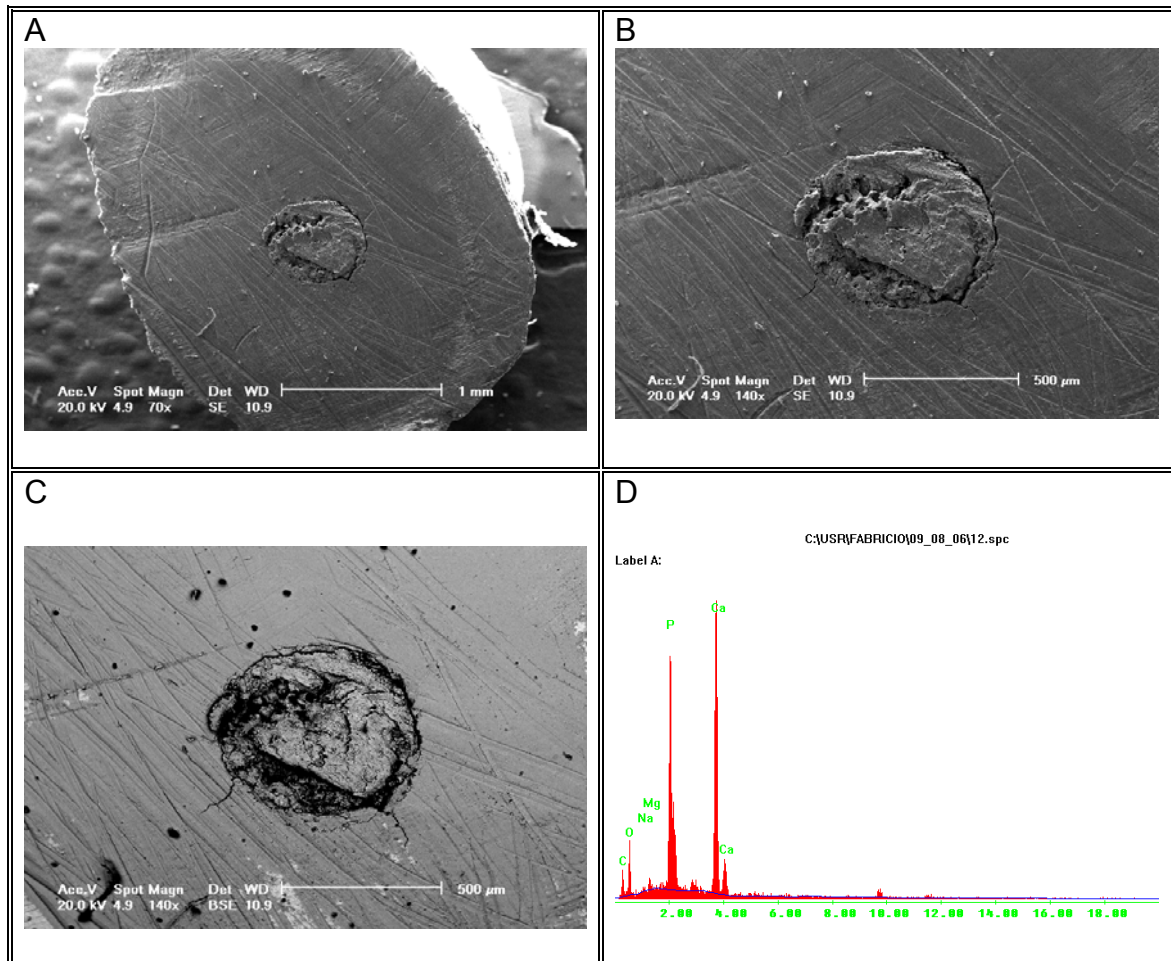


Figura 15 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo broca – dente 8. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.



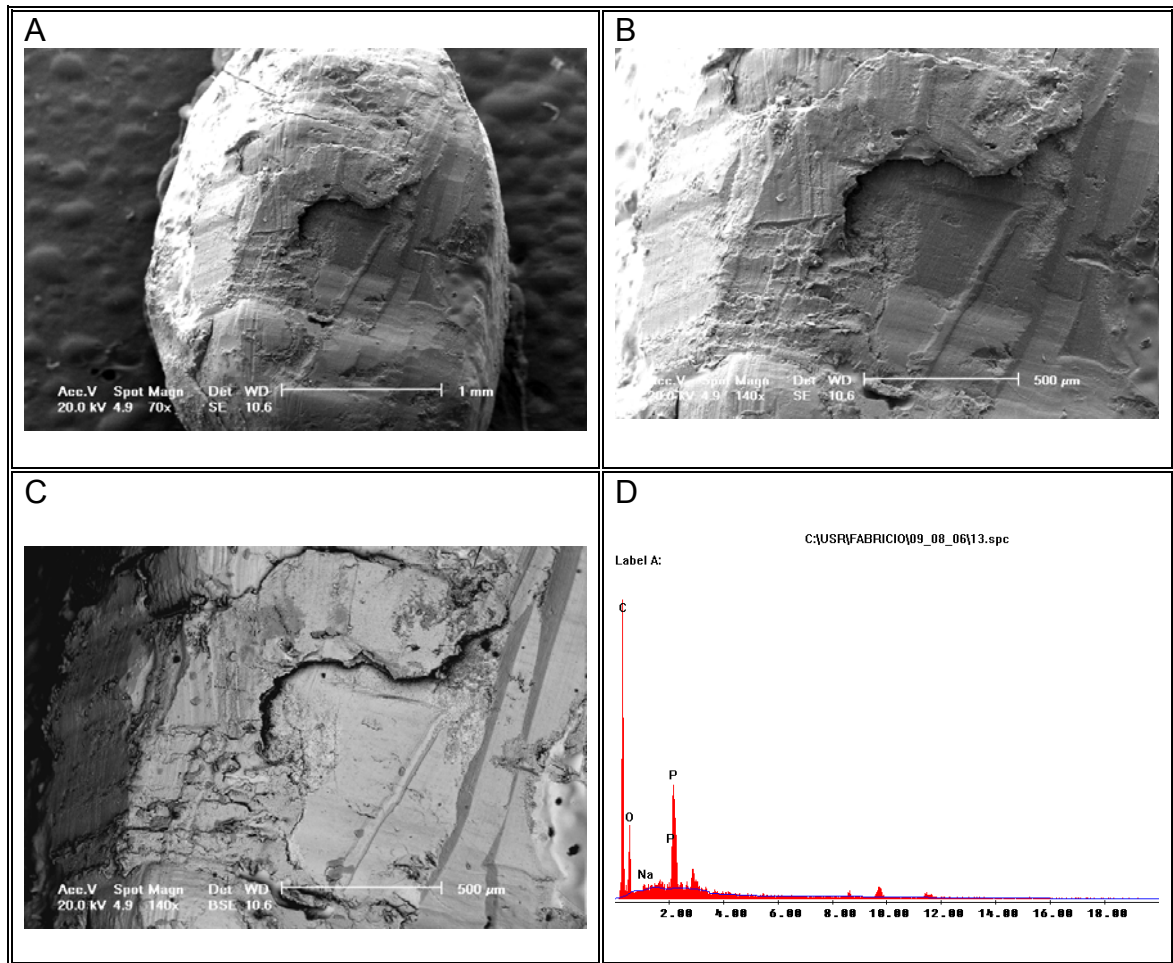


Figura 16 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo  $\text{CO}_2$  – dente 9. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

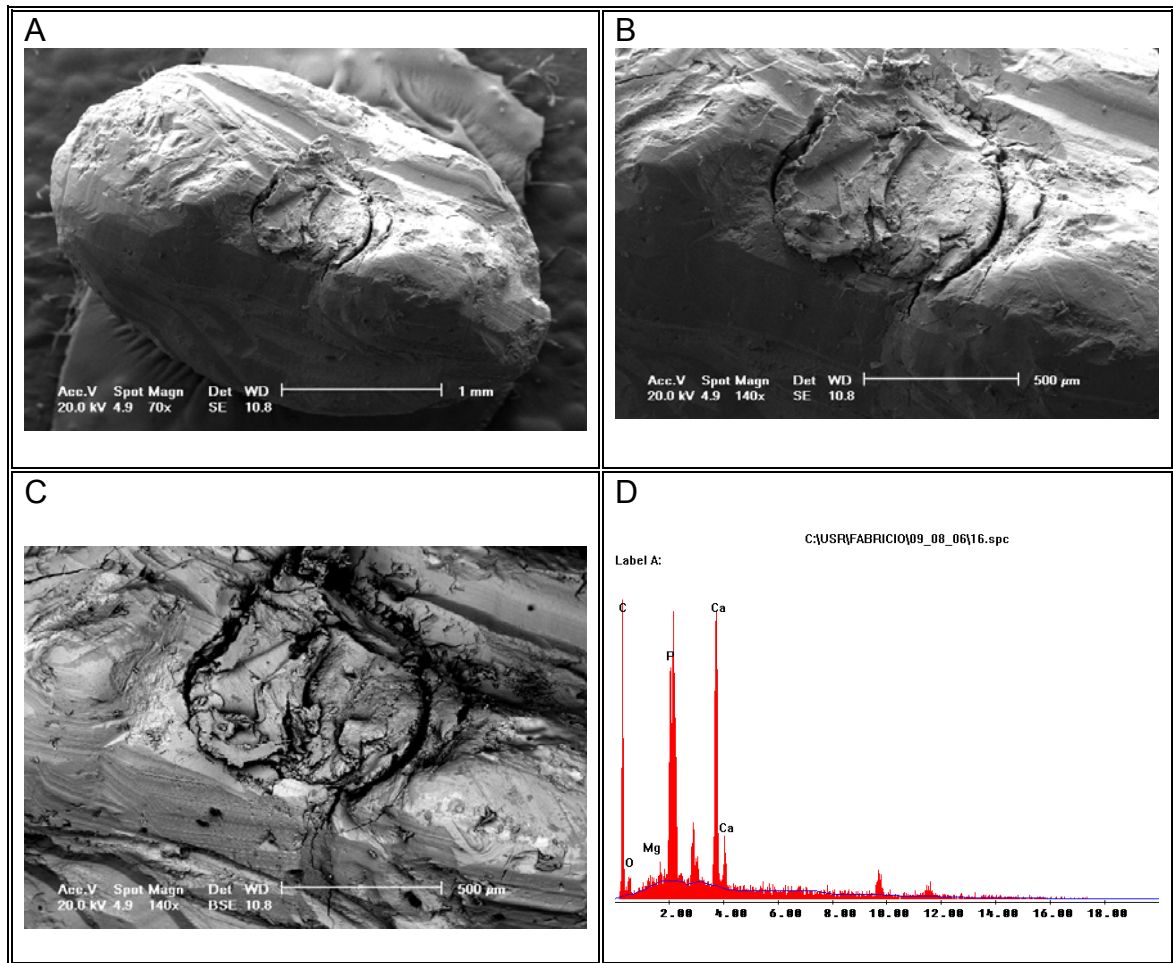


Figura 17 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo  $\text{CO}_2$  – dente 10. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

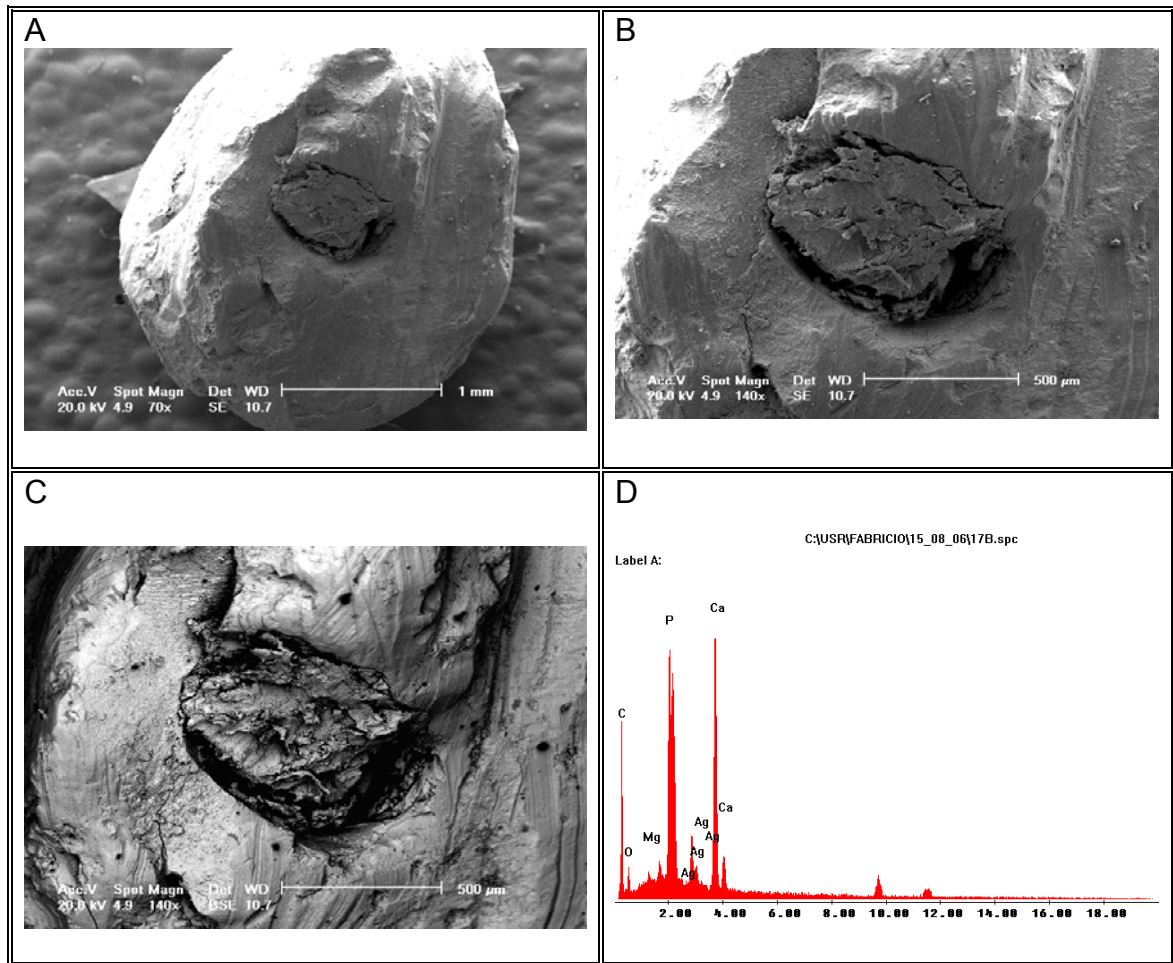


Figura 18 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo  $\text{CO}_2$  – dente 11. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

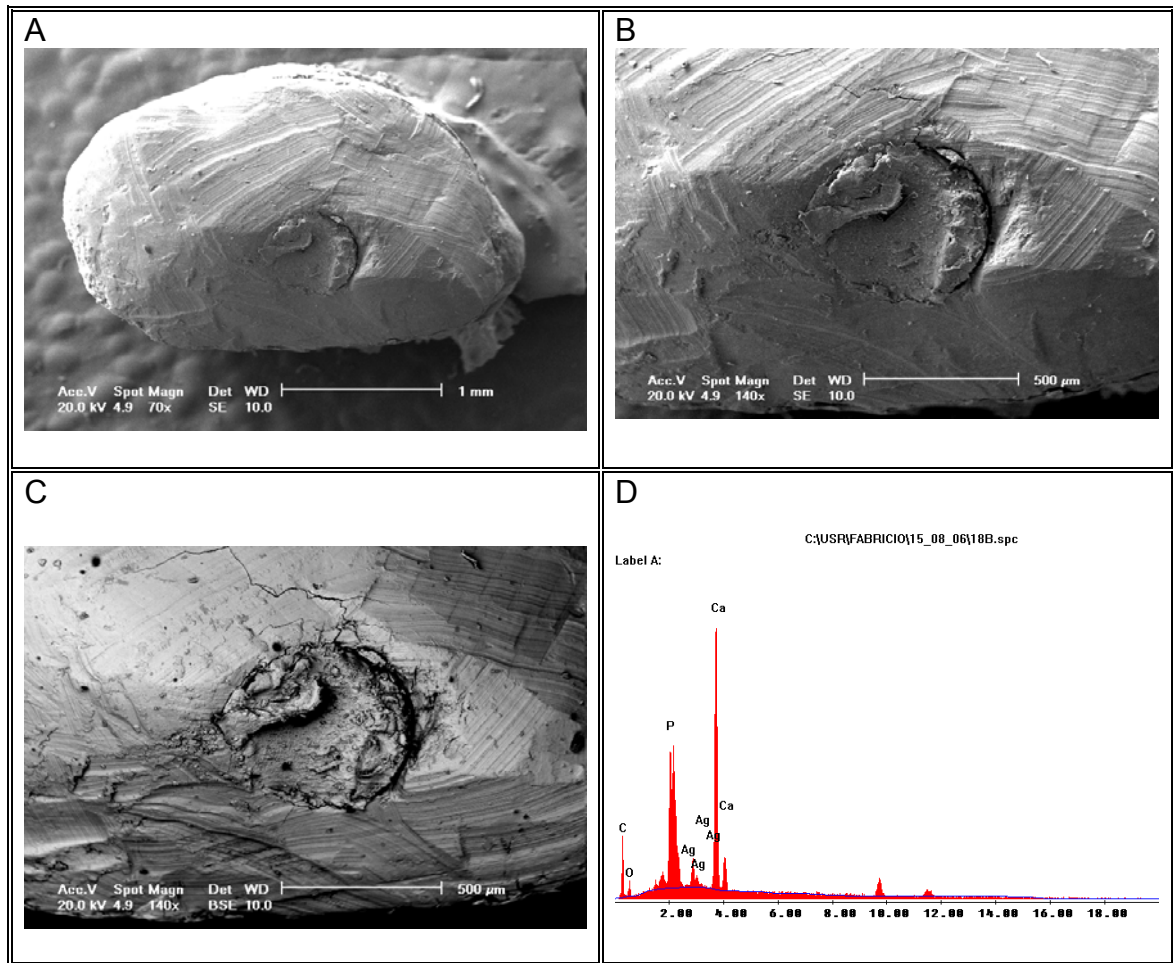


Figura 19 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo CO<sub>2</sub> – dente 12. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.



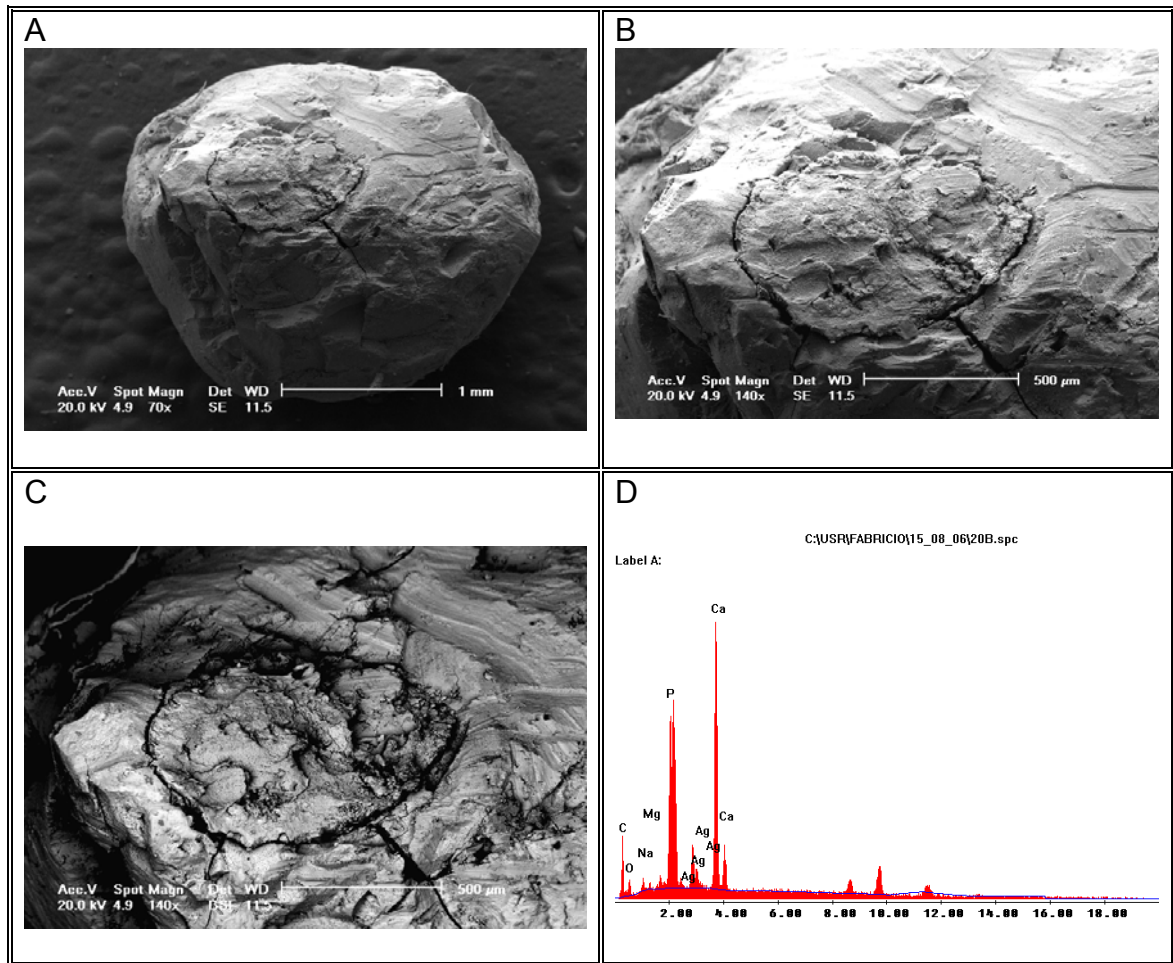


Figura 20 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo  $\text{CO}_2$  – dente 13. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

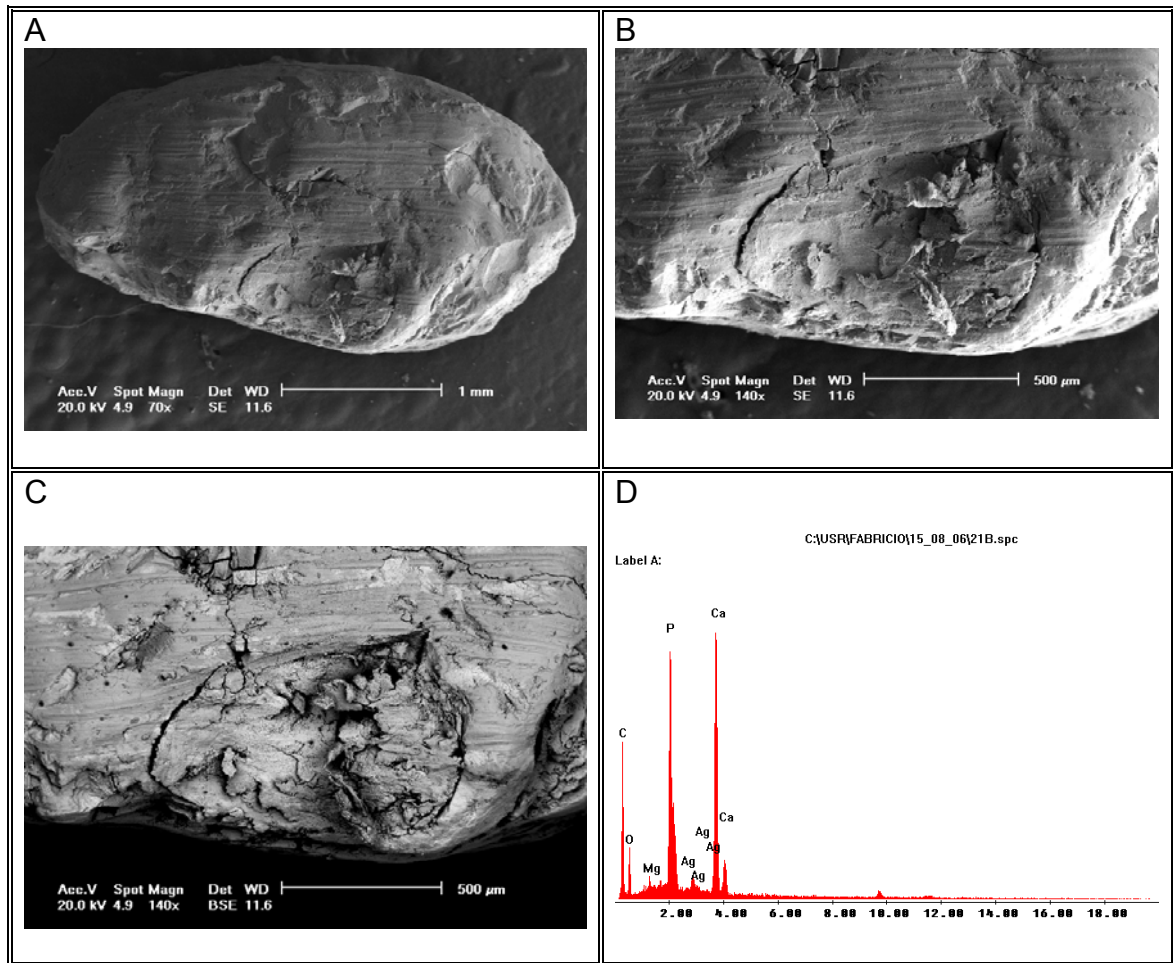


Figura 21 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo CO<sub>2</sub> – dente 14. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

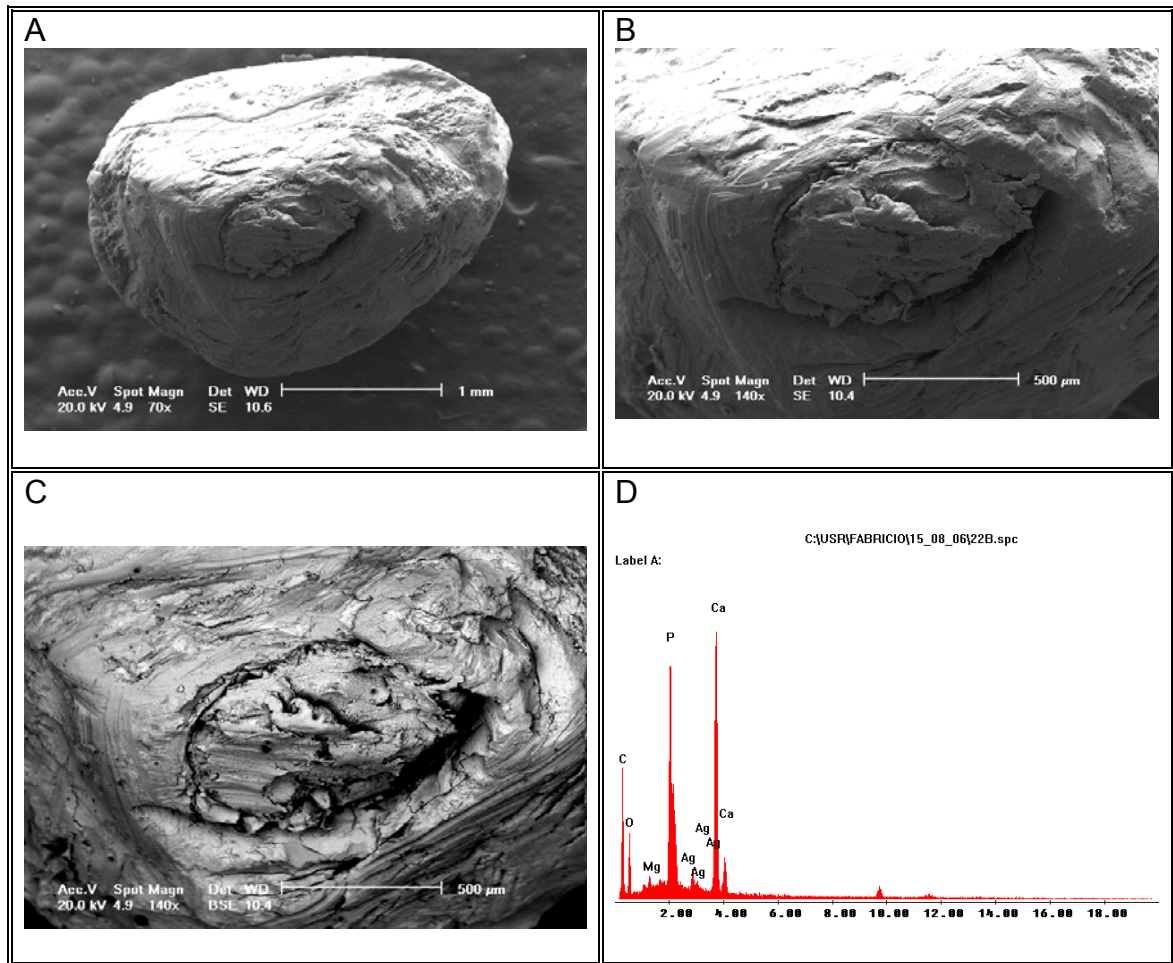


Figura 22 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo CO<sub>2</sub> – dente 15. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

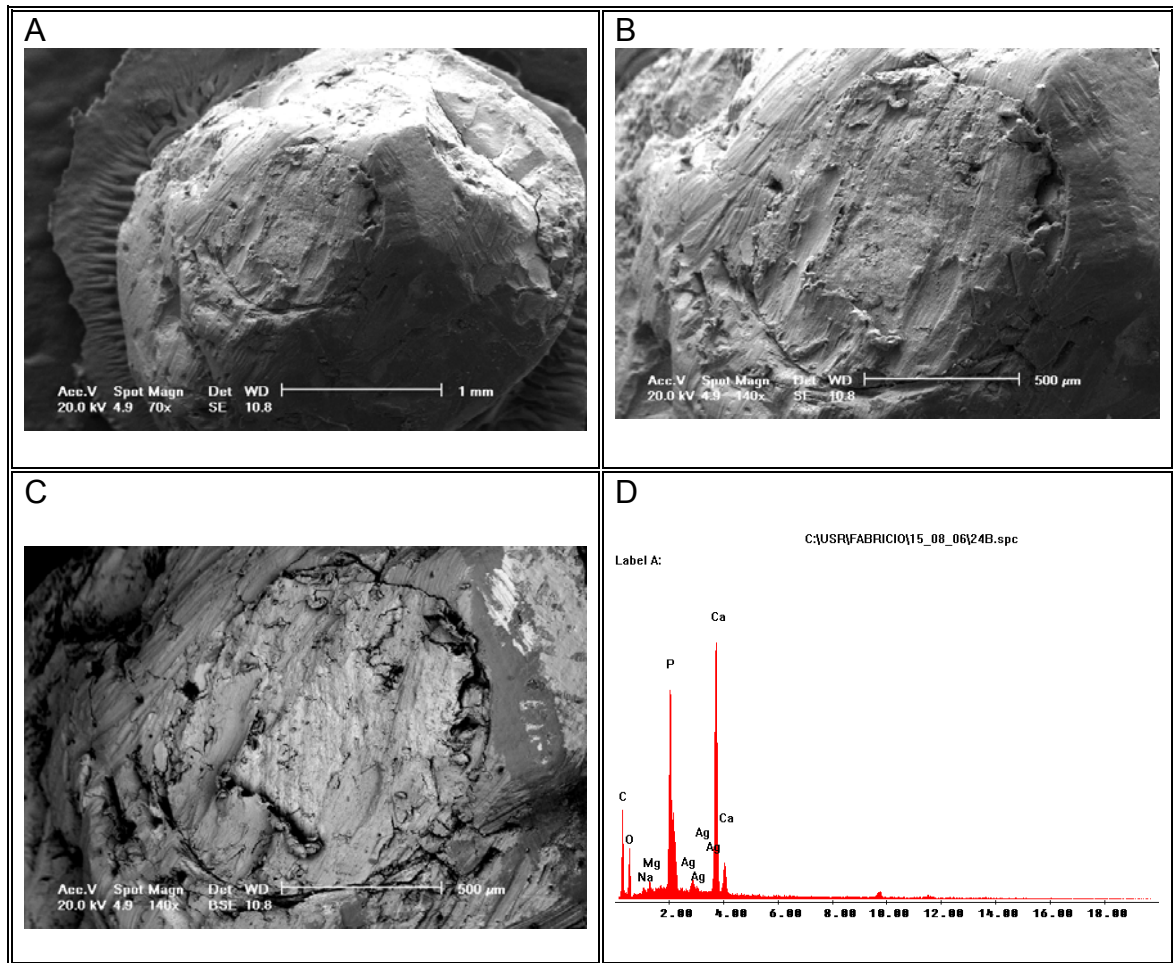


Figura 23 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo  $\text{CO}_2$  – dente 16. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.



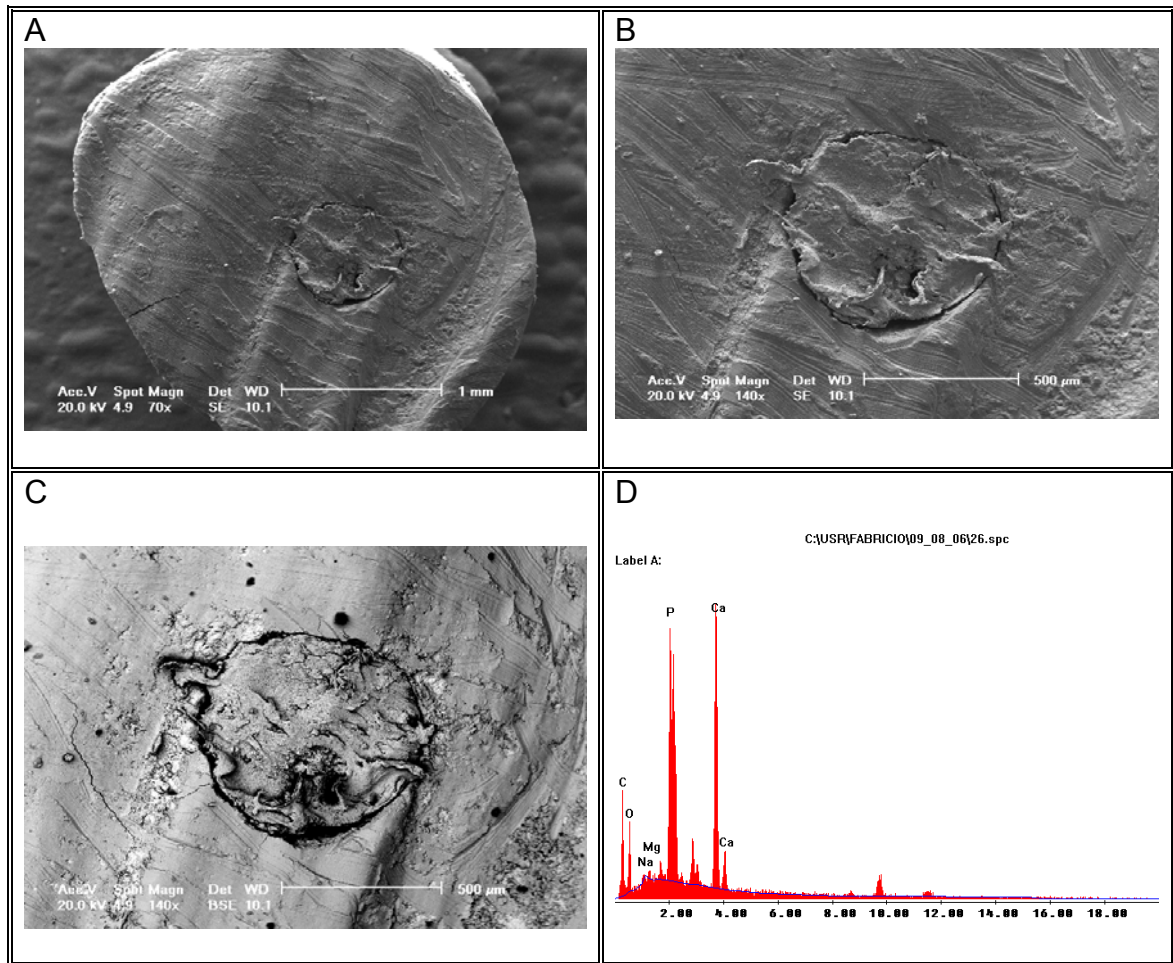


Figura 24 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 17. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

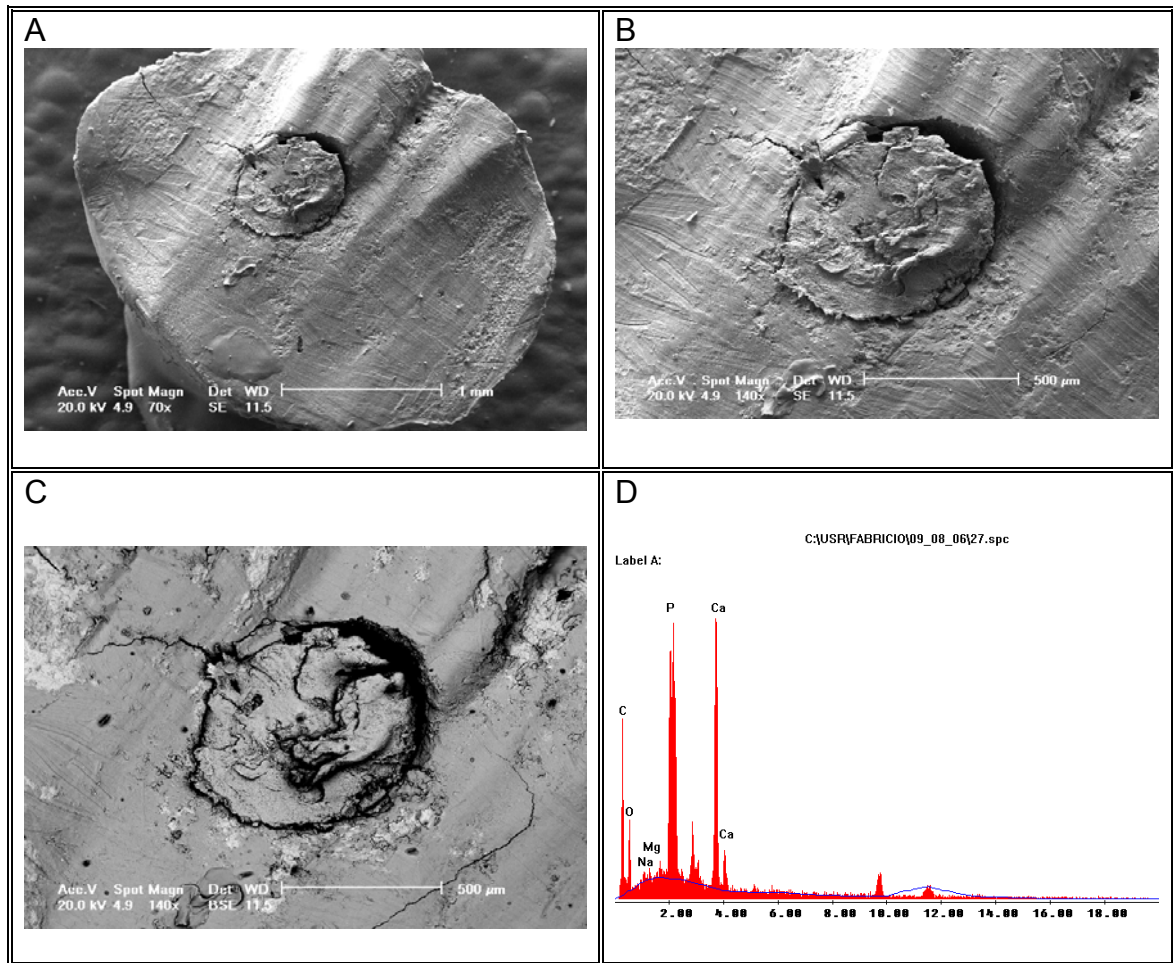


Figura 25 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 18. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

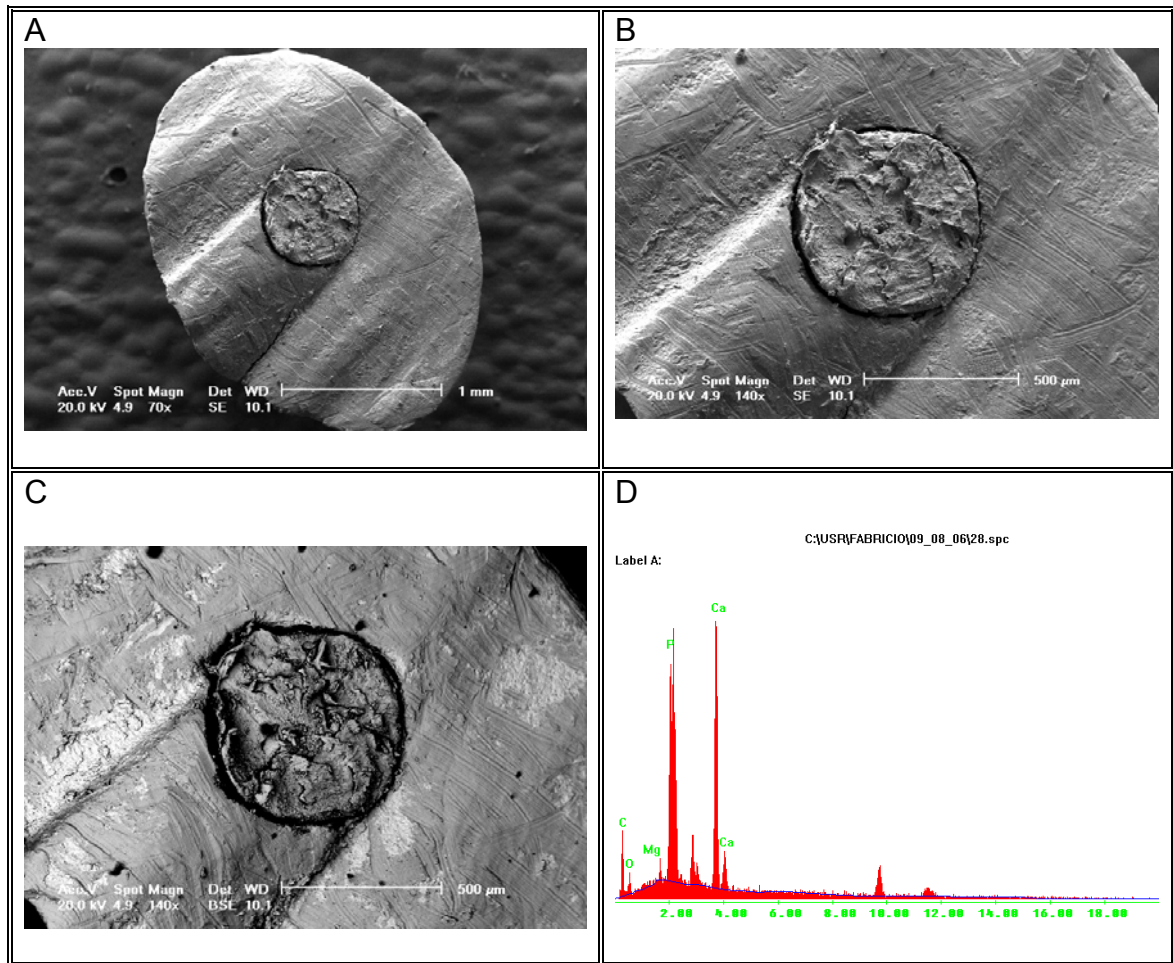


Figura 26 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 19. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

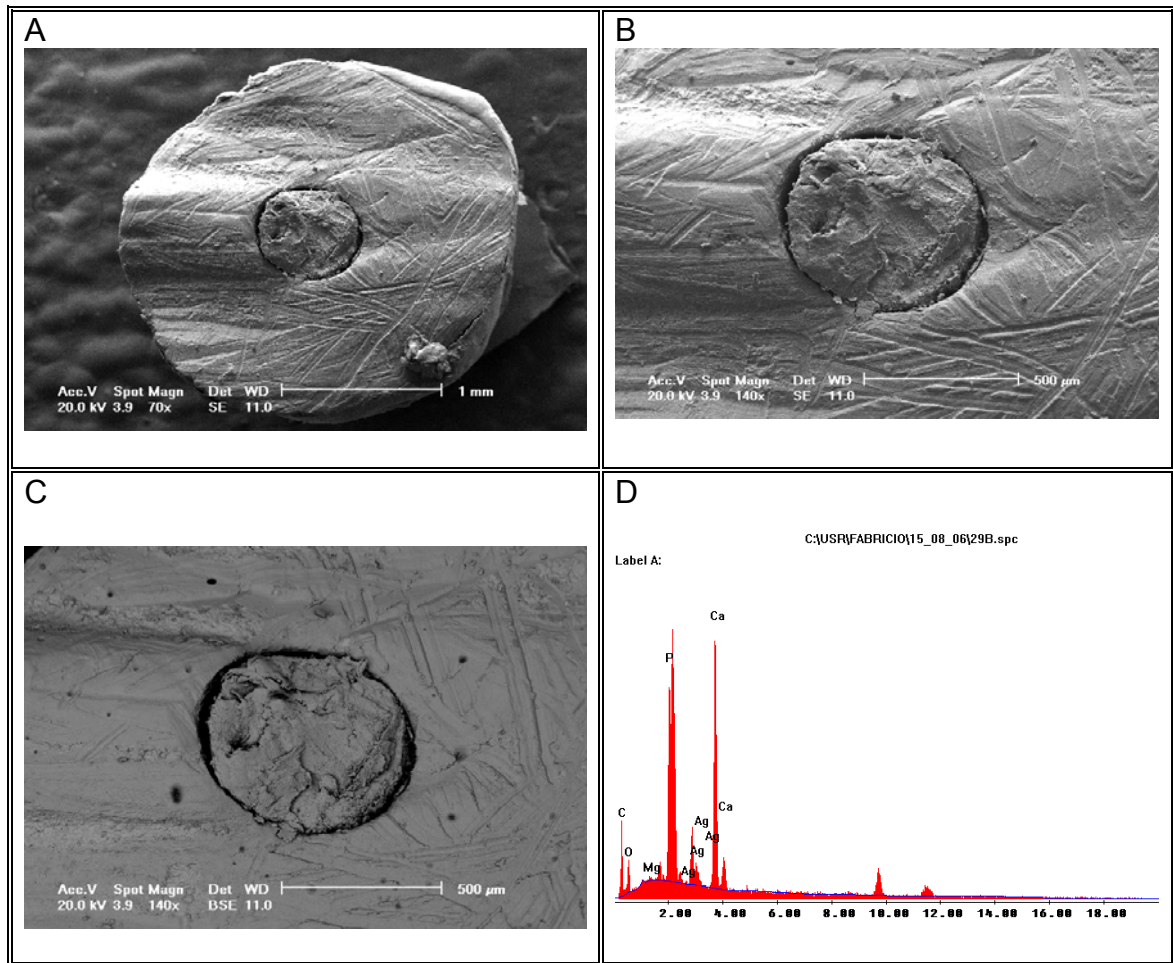


Figura 27 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 20. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.



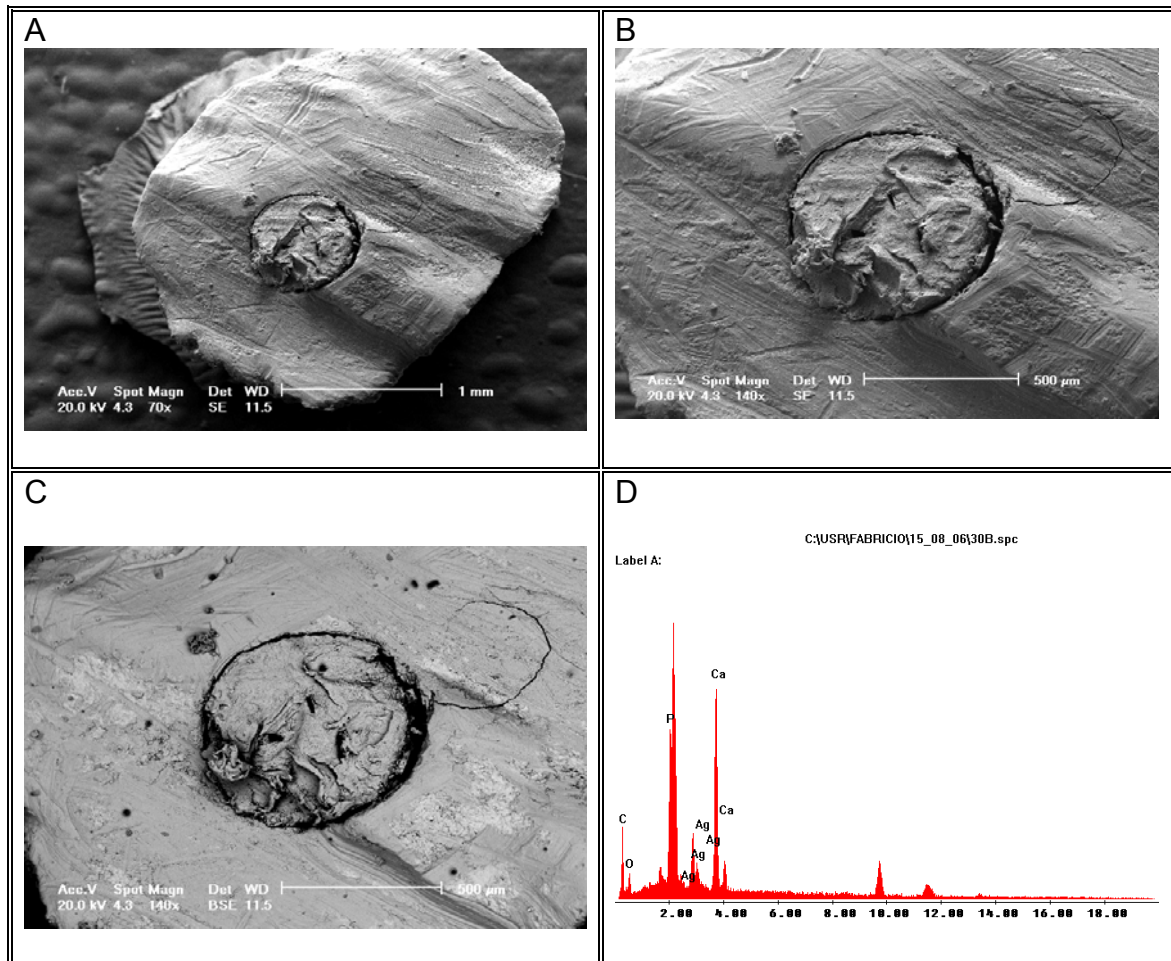


Figura 28 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 21. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

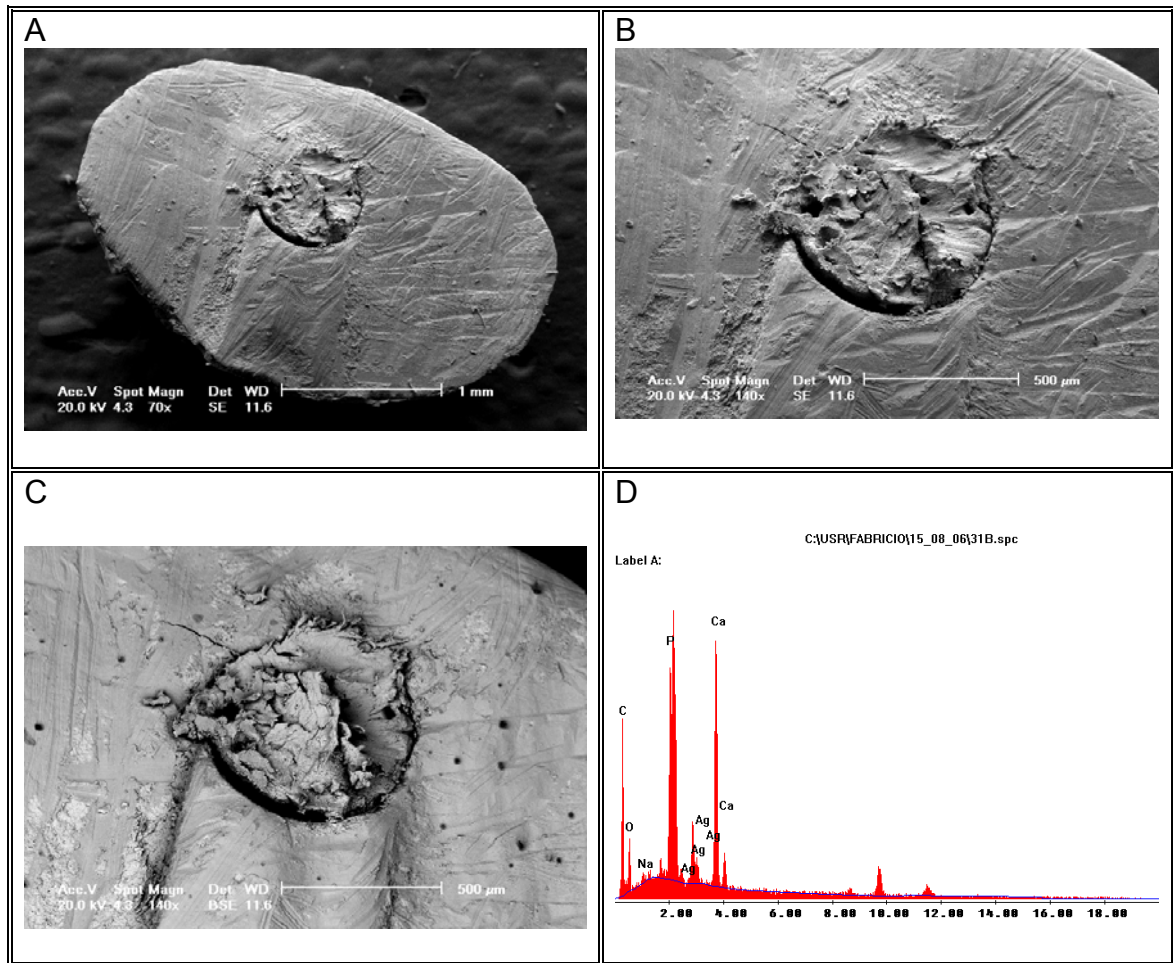


Figura 29 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 22. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

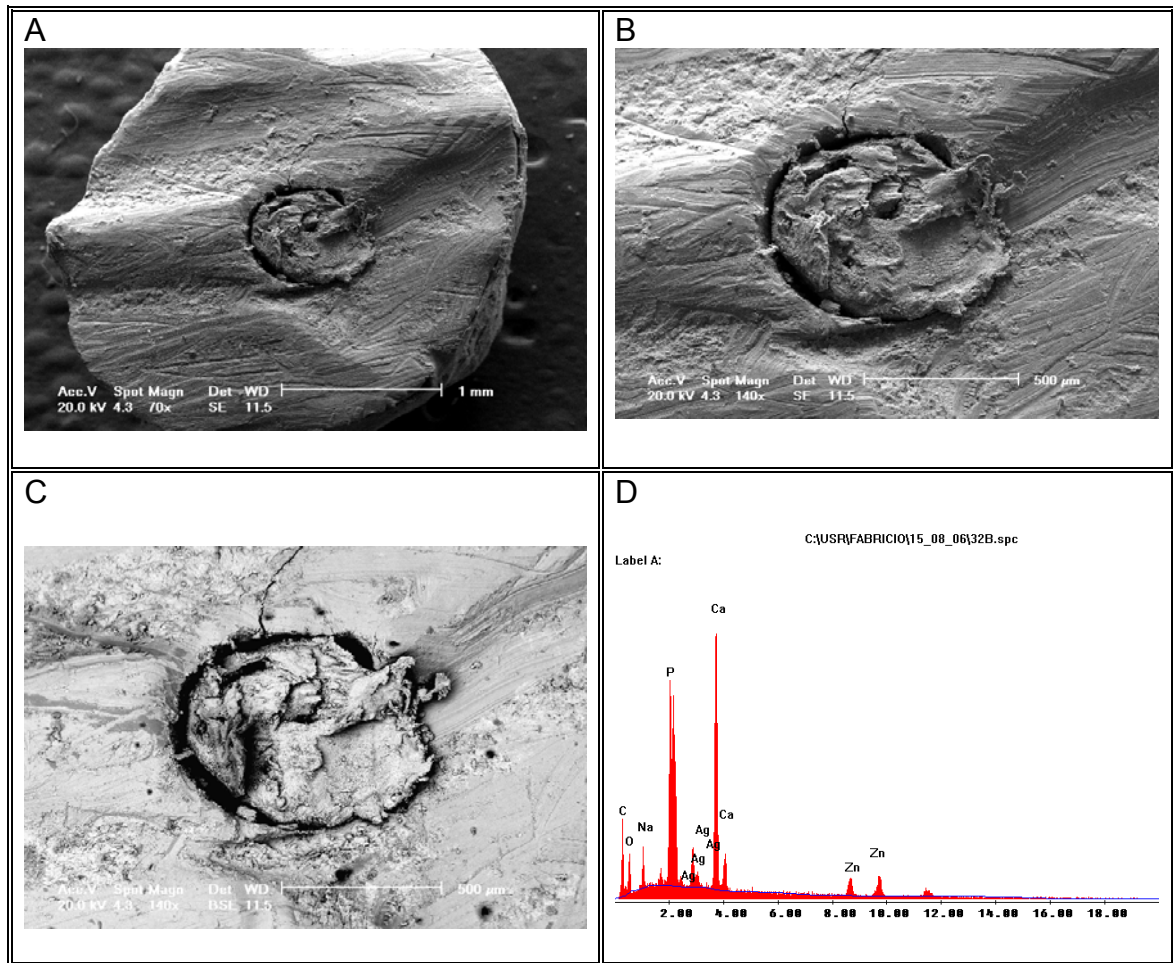


Figura 30 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 23. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.

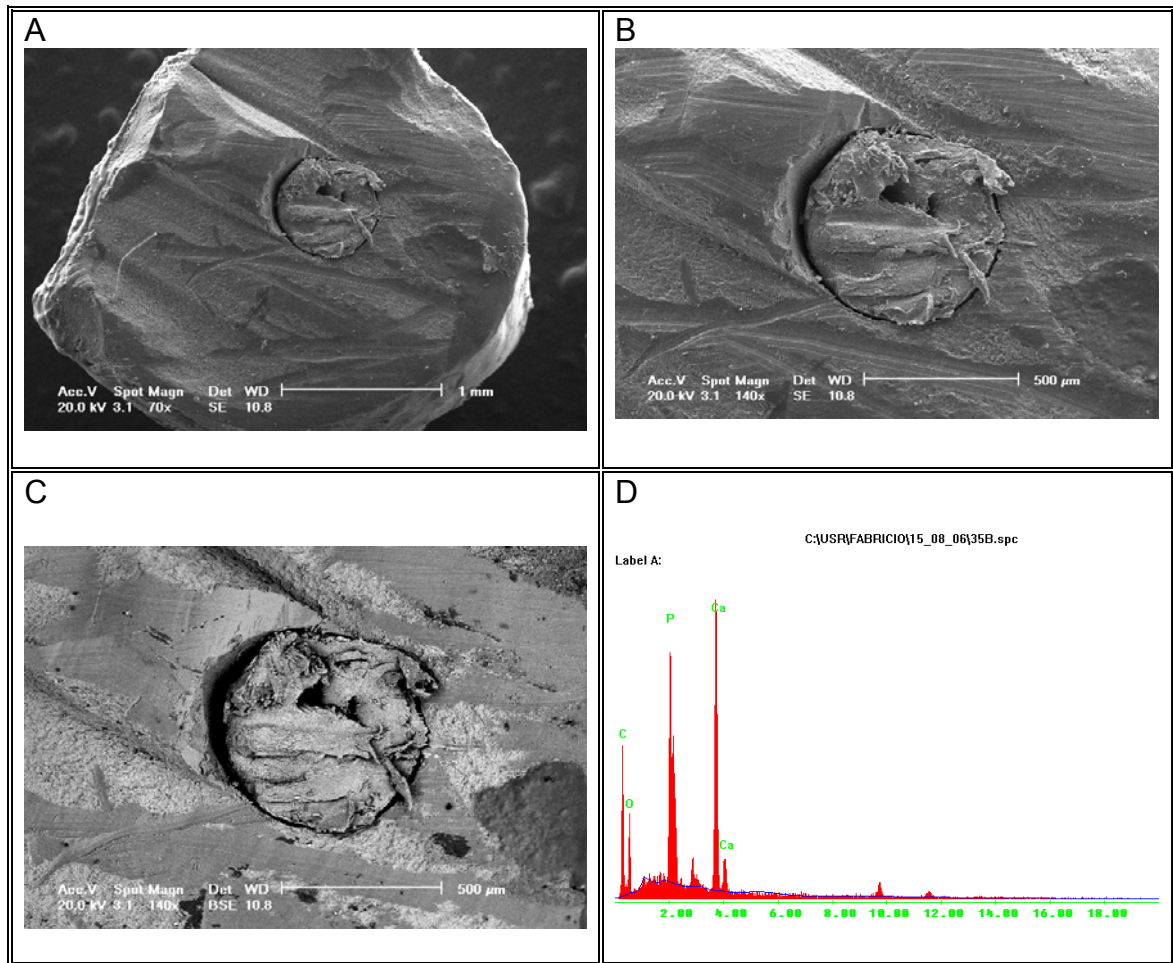


Figura 31 - Fotomicrografias (micrografias eletrônicas) (A, B e C) e espectro de EDS (D) do grupo érbio – dente 24. Em A) superfície apicectomizada (magnificação de 70x); em B) superfície apicectomizada (magnificação de 140x); em C) imagem B em elétrons retro-espalhados (BSE) (magnificação de 140x) e em D) espectro de EDS mostrando os elementos químicos presentes na superfície apicectomizada.





## ANEXO A – APROVAÇÃO DO PROJETO PELO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA PUCRS



PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - CEP - PUCRS



Ofício nº 1061/05-CEP

Porto Alegre, 07 de novembro de 2005.

Senhor(a) Pesquisador(a):

O Comitê de Ética em Pesquisa da PUCRS apreciou e aprovou seu protocolo de pesquisa intitulado: "Avaliação *in vitro* das novas técnicas utilizadas em cirurgias paraendodônticas".

Sua investigação está autorizada a partir da presente data.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Caio Coelho Marques  
COORDENADOR EM EXERCÍCIO

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

P436a Pereira, Ana Cláudia Lustosa  
Análise de superfícies dentinárias apicetomizadas com broca, LASER CO<sub>2</sub> e LASER Er:YAG por meio de MEV e EDS / Ana Cláudia Lustosa Pereira. – Porto Alegre, 2008.  
93 f. : il.

Tese (Doutorado) - Fac. de Odontologia, PUCRS, 2008.  
Orientação: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Marília Gerhardt de Oliveira.

1. Odontologia. 2. Apicetomias. 3. Materiais Dentários.  
4. Microscopia Eletrônica. 5. Laser –Odontologia. I. Título.  
II. Oliveira, Marília Gerhardt de.

CDD 617.675

Bibliotecária Responsável: Deisi Hauenstein CRB-10/1479