

KEY FABIANO SOUZA PEREIRA

**DETERMINAÇÃO *IN VIVO* DA PRECISÃO E CONFIABILIDADE DE
UM NOVO MODELO DE LOCALIZADOR FORAMINAL ELETRÔNICO**

CAMPO GRANDE

2009

KEY FABIANO SOUZA PEREIRA

**DETERMINAÇÃO *IN VIVO* DA PRECISÃO E CONFIABILIDADE DE
UM NOVO MODELO DE LOCALIZADOR FORAMINAL ELETRÔNICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Gregol da Silva

CAMPO GRANDE
2009
FOLHA DE APROVAÇÃO

KEY FABIANO SOUZA PEREIRA

DETERMINAÇÃO *IN VIVO* DA PRECISÃO E CONFIABILIDADE DE UM NOVO MODELO DE LOCALIZADOR FORAMINAL ELETRÔNICO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento na Região Centro-Oeste, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Gregol da Silva

Aprovada em _____ de _____ de _____, pela Comissão Examinadora.

Prof. Dr. Jose Luiz Guimarães Figueiredo
FAODO-UFMS

Prof. Dr. Paulo Zarate Pereira
FAODO-UFMS

Prof. Dr. Gerson Hiroshi Yoshinari
FAODO-UFMS

Prof. Dr. Carlos Alberto Spironelli Ramos
UEL

Prof. Dr. Pedro Gregol da Silva - UFMS
FAODO-UFMS

DEDICATÓRIA

No fim do ano de 2002 fiz um telefonema para meu pai comunicando que estava indo para Uberlândia tentar passar na seleção do programa de mestrado da Universidade Federal de Uberlândia. Expliquei que muitas coisas mudariam, estava um pouco confuso quanto ser esse caminho o certo, principalmente porque sabia que teria que contar com o total apoio financeiro dele. Ele me disse, “se é isso que você quer meu filho, vá em frente”. O apoio financeiro veio, mas o que mais me surpreendeu foram as orientações para que eu me mantivesse emocionalmente estável durante o curso. Os anos se passaram e sempre que precisei, ele estava lá me reerguendo dos tropeços da vida com atitudes e palavras nos momentos certos. Obrigado pai pelo incondicional apoio em todos esses anos. Espero que possa fazer algo tão importante para você também um dia.

Durante as intermináveis fases de estruturação deste trabalho, constantemente me lembrava dos ensinamentos que tive a oportunidade de receber durante a vida. Muitas coisas me foram mostradas ao longo de todos esses anos de estudo, mas nenhuma superou os ensinamentos da minha professora da quarta série do antigo primário, pois foi lá, que a observando, entendi o significado de determinação e disciplina. De lá para cá, tento empregar essas qualidades na difícil arte de ensinar, sempre me orientando pelas lembranças da querida professora Valdecy, minha mãe.

Não somente pelos motivos desses dois parágrafos, mas principalmente por amá-los muito, dedico cada esforço empregado na realização desse trabalho a Edivaldo Ayres Pereira, meu pai e Valdecy Souza Ayres Pereira, minha mãe.

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Pedro Gregol da Silva, Orientador, muito obrigado pela oportunidade. Saiba que valorizo e respeito muito a liberdade e apoio que o senhor sempre me concedeu dentro da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Aos professores da Disciplina de Endodontia da FAODO Gerson Hiroshi e Danilo Guerisoli pela valiosa colaboração no trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Spironelli Ramos, Co-orientador desse trabalho e motivo principal da escolha do tema. Estimado professor que mesmo longe está sempre presente em nossos pensamentos.

Aos professores Jair Chita, Elizeu e José Mendonça, colegas de Doutorado e meus ex professores de graduação. Foi uma honra estar ao lado de vocês esses anos.

Aos amigos, professores e colegas de trabalho Fábio Nakao, Edilson Zafalon e Alessandro De Carli, vocês são grandes exemplos para mim.

Ao grande amigo e imprescindível consultor Prof. Dr. Paulo Zárate obrigado por todos os ensinamentos nessa longa amizade que temos desde que fui seu aluno de graduação. Conte sempre comigo.

A mais nova professora de Endodontia do nosso estado Paula Vardasca, também estudiosa do método eletrônico de odontometria, muito obrigado.

Ao Prof. Dr. Fábio Simões, pela grande ajuda na metodologia do trabalho.

Aos estagiários da disciplina de Endodontia, Hélio Onoda e Maria Izabel pela ajuda durante esses meses finais. Continuem assim que o caminho está certo.

Aos alunos do 4º ano da FAODO pela ajuda na triagem dos pacientes para realização da pesquisa

Aos pacientes que participaram do experimento, pois sem a iniciativa deles nada seria possível em muitos trabalhos que mudam o curso de tratamentos e técnicas.

A Vera, secretária da pós graduação.

A secretária Edna Oshiro, amiga, acolhedora. Obrigado por tudo até aqui.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Ao Grupo de Materiais do Departamento de Física - UFMS pela disponibilidade da infra-estrutura de pesquisa.

A FINEP e UFMS pelo financiamento do laboratório Multiusuários de Microscopia Eletrônica de Varredura – MULTILAM do DFI – UFMS (CT-INFRA/04) coordenado pela Profa. Dra. Ângela A.S.Tardivo Delben e Prof. Dr. Fábio S. De Vicente.

A FUNDECT (proc:23/200.202/2007,) e CNPq (proc: 620049/2006-5), pelo financiamento de projetos de pesquisa.

RESUMO

Pereira KFS. Determinação *in vivo* da precisão e confiabilidade de um novo modelo de localizador foraminal eletrônico. Campo Grande; 2009. [Tese – Programa de Pós Graduação em Saúde e Desenvolvimento da Região Centro-Oeste da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul].

O estabelecimento do correto comprimento real de trabalho é de fundamental importância para o êxito do tratamento endodôntico. Avaliou-se *in vivo* a precisão e confiabilidade de leitura do protótipo funcional do localizador foraminal eletrônico Quill Apex Locator®. Foram triados pacientes com indicação para extração por motivos ortodônticos e periodontais, o que resultou em amostra de 24 canais. Os dentes foram previamente radiografados com a intenção de detectar perfurações, tratamentos endodônticos prévios e calcificações. Realizadas as aberturas coronárias, os terços cervical e médio foram preparados e procederam-se as leituras no ponto correspondente no display do aparelho ao forame apical. Após a obtenção da medida a lima foi removida e subtraiu-se 1mm do comprimento lido em paquímetro digital para, então, fixar o instrumento e realizar a exodontia. Na seqüência foi realizada um desgaste em uma das paredes da região apical, objetivando visualizar a ponta do instrumento e a continuidade do canal até a real saída do forame. A distância entre a ponta da lima e a real saída foraminal foi medidas com o MEV. A média das medidas foi 1,089 mm ($\pm 0,437$ mm) e o teste t bicaudal revelou não haver diferenças significativas ($p = 0,338$) entre os valores experimentais encontrados e o valor hipotético testado de 1 mm. O estudo demonstrou que o protótipo funcional Quill® foi preciso e confiável na determinação de um comprimento de trabalho satisfatório no tratamento endodôntico.

Descritores: Endodontia, odontometria, equipamentos e provisões.

ABSTRACT

Pereira KFS. In vivo evaluation of accuracy and reliability of a new apex locator. Campo Grande; 2009. [Tese – Programa de Pós Graduação em Saúde e Desenvolvimento da Região Centro-Oeste da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul].

The determination of the accurate working length is of essential importance for the success of the endodontic treatment. This study assessed the accuracy and reliability of a functional prototype of the Quill Apex Locator®. Twenty-four root canals from teeth that were scheduled for extraction for periodontal or orthodontic reasons were used. Teeth were previously radiographed in the attempt of detecting perforations, endodontic treatment and calcifications. After pulp chamber access and pre flaring, the files were advanced until the device display indicated the apical foramen. Subsequently, 1 mm was subtracted from the previous measurement and the file was repositioned in the canal and fixed, before the tooth was extracted. Later on, the apex of the root canals was exposed in a longitudinal direction to visualize the file tip and the apical foramen. The distances between the file tip and the apical foramen. The functional prototype Quill® obtained the average of 1.089 mm (± 0.437 mm) and the student T-test showed no difference between the experimental values and the hypothetical value (1 mm). This study showed that the functional prototype of the Quill Apex Locator® was accurate and reliable in the assessment of a satisfactory working length.

Descriptors: Endodontics, odontometry, equipment and supplies.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Em “A” detalhes do protótipo localizador foraminal QUILL®. Em “B”, aparelho mostrando a seqüência de leitura até a localização do forame apical.....44
- Figura 2 – Sequência de preparo dos espécimes. Em A: Localização do forame apical; B e C: desgaste da superfície radicular apical; D: acabamento com lâmina de bisturi; E: ponta do instrumento e real saída foraminal visualizados.....46
- Figura 3 - Medição da distância relativa ao comprimento real de trabalho (CRT), ponta do instrumento a real saída foraminal no MEV. Em A: fotografia capturada da região apical; B: linha sendo traçada da ponta do instrumento a saída foraminal mais próxima do canal radicular; C: mensuração realizada.....47
- Figura 4 - Medição da distância relativa a real saída foraminal e ápice anatômico no MEV. Em A: fotografia capturada da região apical; B: linhas verticais sendo traçadas pelo programa a serem ajustadas; C: mensuração realizada que consistiu da distância das duas retas verticais paralelas.....48
- Figura 5 - Medidas experimentais obtidas com o protótipo funcional do localizador foraminal . A barra horizontal maior representa a média, enquanto as menores indicam o desvio padrão.....49
- Figura 6 - O gráfico acima ilustra os valores encontrados, em milímetros, para as medidas obtidas das distâncias entre o ápice e forame apical.....50
- Figura 7 - Espécime 1, dente 35, leitura realizada com instrumento 25 K.
Instrumento apical inicial 30 K. Polpa viva. D = 0,559mm.....51
- Figura 8 - Espécime 4, dente 14 (raiz V), leitura realizada com instrumento 10 K.
Instrumento apical inicial 15 K. Polpa viva. D = 0,724mm.....52
- Figura 09 - Espécime 7, dente 32, leitura realizada com instrumento 15 K. Instrumento apical inicial 20 K. Polpa viva. D = 0,916mm.....53
- Figura 10- Espécime 8, dente 35, leitura realizada com instrumento 25 K. Instrumento apical inicial 30 K. Polpa viva. D = 0,658mm.....54
- Figura 11 - Espécime 18, dente 32, leitura realizada com instrumento 10 K. Instrumento apical inicial 20 K. Polpa viva. D = 1,01mm.....55

| | |
|---|----|
| Figura 12 - Espécime 20, dente 41, leitura realizada com instrumento 10 K. Instrumento apical inicial 20 K. Polpa necrosada. D = 1,14mm..... | 56 |
| Figura 13 - Espécime 24, dente 31, leitura realizada com instrumento 15 K. Instrumento apical inicial 25 K. Polpa necrosada. D = 1,06mm..... | 57 |
| Figura 14 - Espécime 30, dente 36 (Canal MV), leitura realizada com instrumento 15 K. Instrumento apical inicial 20 K. Polpa viva. D = 1,92mm..... | 58 |
| Figura 15 - Espécime 1, dente 35, leitura realizada com instrumento 25 K. Instrumento apical inicial 30 K. Polpa viva. D = 0,559mm. Distância AP-FA=0,680mm..... | 59 |
| Figura 16- Espécime 5, dente 24(raiz V), leitura realizada com instrumento 25 K. Instrumento apical inicial 30 K. Polpa viva. D = 1,28mm. Distância AP- FA = 0,890mm..... | 59 |
| Figura 17 - Espécime 12, dente 14 (raiz L), leitura realizada com instrumento 15 K. Instrumento apical inicial 20 K. Polpa viva. D = 0,404mm. Distância AP-FA = 1,24mm..... | 60 |
| Figura 18 - Espécime 17, dente 31, leitura realizada com instrumento 15 K. Instrumento apical inicial 20 K. Polpa viva. D = 1,47mm. Distância AP-FA = 0,064mm..... | 60 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|--|
| A | Ampéres |
| EDTA | Ácido etileno diamino tetra-acético |
| Hz | Hertz ou ciclos por segundo |
| KHz | Kilo-Hertz ou 1000 ciclos por segundo |
| g | Gramma |
| mm | Milímetro |
| µm | Micrometro |
| S | Desvio padrão |
| µA | Micro-ampéres |
| µV | Micro-volts |
| NaOCl | Hipoclorito de sódio |
| CDC | Limite cemento dentina canal |
| FA | Forame apical |
| AP | Ápice |
| IL | Instrumento leitura |
| IAI | Instrumento apical inicial |
| I | Instrumento |
| CRT | Comprimento real de trabalho |
| MEV | Microscópio eletrônico de varredura |
| Bio | Polpa viva |
| Necro | Polpa necrosada |
| Rx | Raios X |
| K | Limas tipo K |
| f | Frequência |
| Z | Impedância |
| D | Distância ponta do instrumento - saída foraminal |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-------------|---------------------------|
| \emptyset | Diámetro dos instrumentos |
| $K\Omega$ | Kilo Ohms |
| X | Veze |
| Ω | Ohms |
| V | Volts |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 2.1 Anatomia da região apical e limite de instrumentação e obturação..... | 15 |
| 2.2 Aparelhos localizadores foraminais eletrônicos..... | 23 |
| 3 OBJETIVOS | 41 |
| 4 MATERIAL E MÉTODO | 42 |
| 4.1 Medida eletrônica..... | 42 |
| 4.2 Fixação e extração..... | 45 |
| 4.3 Aferição <i>in vitro</i> das medidas obtidas em MEV..... | 45 |
| 5 RESULTADOS | 49 |
| 6 DISCUSSÃO | 61 |
| 7 CONCLUSÕES | 70 |
| REFERÊNCIAS..... | 71 |

APÊNDICE

ANEXOS

1 INTRODUÇÃO

O tratamento endodôntico radical consiste na eficiente limpeza e conseqüente descontaminação do sistema de canais radiculares em todo seu comprimento, ou seja, até o forame apical (SIMON, 1994). Em conjunto com a limpeza, a modelagem é realizada ligeiramente aquém do forame apical para confinar a obturação no interior do canal radicular, pois de acordo com o estudo de Ricucci e Langeland (1998) as mais favoráveis condições histológicas são encontradas quando a obturação situa-se mais curta que a constrição apical. Infelizmente, o local e forma da constrição apical são variáveis e não detectáveis na radiografia, localizando-se em média, 1,2 mm aquém do forame apical (HASSANIEN *et al.*, 2008), podendo ainda variar sua posição de 1 a 3 mm (RICUCCI e LANGELAND, 1998).

A odontometria, consiste na etapa operatória para determinar o comprimento do canal em que os instrumentos irão trabalhar para executar os procedimentos de instrumentação e obturação. Inúmeras técnicas para determinar o comprimento de trabalho foram descritas, entre as quais compreendem: sensibilidade tátil digital, métodos radiográficos e métodos eletrônicos (RAMOS; BRAMANTE, 2005). O método da sensibilidade tátil é muito incerto e empírico, pois as variações anatômicas dos canais radiculares praticamente impossibilitam a detecção da constrição apical (MILANO *et al.*, 1983). Da mesma forma, as técnicas que utilizam interpretações de imagens radiográficas possuem limitações resultantes de fatores como exposição do paciente à radiação ionizante, distorções, interferências anatômicas e de instrumentos utilizados durante a medição, interpretação de uma imagem bidimensional de uma estrutura tridimensional e a interpretação subjetiva do operador (LAMBRIANDIS, 1985).

Almejando superar essas limitações, deu-se início as buscas por um meio mais simples, seguro, preciso e confiável para o operador, na obtenção do comprimento de trabalho, desenvolvendo-se assim, os localizadores foraminais eletrônicos. Desde os pioneiros estudos de Suzuki (1942)¹ e Sunada (1958), o método eletrônico apresentou grande desenvolvimento tecnológico, superando problemas iniciais, especialmente quanto a incapacidade dos primeiros aparelhos de executar leituras confiáveis e exatas em canais contendo soluções irrigadoras condutoras de corrente elétrica. A busca pela precisão e, principalmente, pela

confiabilidade, ou seja, as constâncias de medidas precisas do canal radicular determinaram o desenvolvimento dos modernos localizadores de terceira geração. Esses aparelhos, que admitem a presença de umidade no canal, funcionam sob o princípio de que existe valores diferentes de impedância ao longo do canal radicular.

Os aparelhos de 3ª geração fundamentam-se na detecção de diferentes valores de impedância, calculados a partir de frequências diferentes (Mc DONALD, 1992). Diferentes métodos de averiguação dos valores de impedância e sua relação à posição do instrumento e sua distância ao forame foram sendo desenvolvidos, baseados no princípio da impedância frequência dependente, sempre com o intuito de aprimorar e simplificar a realização da medida eletrônica. Entre eles, o cálculo da razão ou quociente entre impedâncias para frequências diferentes, de Kobayashi e Suda (1994) e o método de Marselliez, demonstraram apreciáveis resultados na literatura (RAMOS; BRAMANTE, 2009).

No que tange ao presente, os localizadores foraminais estão sendo amplamente utilizados como recurso auxiliar definitivo na terapia endodôntica, sendo uma crescente a sua comercialização no mercado nacional. Embora vários trabalhos como os de Ramos e Bernardinelli (1994), Ramos (1998), Kaufman *et al.* (2002), Lucena-Martin *et al.* (2004), Pereira *et al.* (2008) demonstrem a confiabilidade desta nova geração, existem modelos com pouca ou nenhuma investigação *in vivo*, caso do QUILL APEX LOCATOR® (Ultradent Products, EUA), aparelho de terceira geração baseado no método da determinação do coeficiente de atenuação espectral radicular, gerado por projeto nacional e patente registrada internacional (Anexo C), devendo então, serem atestadas sua precisão e confiabilidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Com a finalidade de melhor compreensão didática, esta revisão será dividida em sub-itens, iniciando pelos trabalhos que estudaram a anatomia da região apical e a importância do limite de instrumentação e obturação para em seqüência, abordar os localizadores foraminais eletrônicos.

2.1 Anatomia da região apical e limite de instrumentação e obturação

Kuttler (1955) investigou microscopicamente ápices radiculares, para isso utilizou duzentos e sessenta e oito dentes humanos extraídos. Os dentes não tinham lesão apical e apresentavam oclusão normal. Os espécimes foram divididos em 2 grupos, baseados na idade dos pacientes (Grupo 1 - 18 a 25 anos, Grupo 2- acima de 58 anos). Encontrou como resultados (médias), para o grupo 1 e grupo 2, respectivamente: distância do centro do ápice para o centro do forame 0,495 mm e 0,607 mm; diâmetro do forame apical 0,502mm e 0,681mm; desvio do centro do canal 0,255 mm e 0,287 mm; distância da constrição ao forame (canal cementário) 0,524mm e 0,659mm. Diante dos resultados analisados o autor ressaltou as seguintes conclusões: o centro de forame desvia com aumento idade, o diâmetro do forame aumenta com a idade, os últimos 5 mm de canal não pode ser hermeticamente selados, o limite cemento dentina canal pode ser preciso ou desigual, a constrição apical fica mais estreita com a idade, o cemento apical fica mais espesso com a idade. O autor afirmou ainda que se existe uma verdadeira constrição apical, não está no forame e sim em linha da união cemento dentinária ou muito perto dela.

Green (1956) estudou 400 dentes anteriores superiores e inferiores relatando a localização e conformação anatômica da constrição apical. O autor indicou que o forame apical possui uma forma afunilada, iniciando-se na porção externa da raiz pela parte mais larga e, terminando de 0,52 a 0,66mm para o interior do canal, com sua parte mais estreita, determinando a constrição apical.

Machado e Pesce, em 1981, realizaram, *in vitro*, 58 tratamentos endodônticos de dentes montados em manequim. Radiograficamente, as obturações coincidiram com o vértice radicular. Após, os dentes foram removidos do manequim

e o dente examinado na região de forame apical. Os resultados mostraram que 98,3% dos espécimes haviam ultrapassado o forame apical.

Swartz *et al.* (1983) preocupados com evidências que mostravam os insucessos de dentes instrumentados e obturados no limite do ápice radiográfico, ou além dele, analisaram 1770 canais radiculares controlando-os clinicamente e radiograficamente nos períodos de 6 meses, 1, 2, 5 e 10 anos. As conclusões do estudo foram satisfatórias para os casos obturados a mais de 1 mm aquém do ápice radiográfico (91,9%), e a 1mm aquém ou no limite do ápice radiográfico (89,77%). Os canais sobreobturados apresentaram um índice quatro vezes maior de insucessos que os demais casos, indicando a importância de um limite apical confinado no interior do canal radicular.

Dummer *et al.* (1984) estudaram 270 dentes extraídos (incisivos, caninos e pré-molares) de pacientes com idade desconhecida, avaliando a distância do centro do forame ao ápice radicular e, após desgaste da região apical, a distância do ápice à constricção apical. Para isso, foi utilizado magnificação de 20 vezes, padronizando os espécimes sempre na mesma posição de leitura. A média da distância ápice forame, incluindo todos os tipos de dentes estudados foi de 0,38mm com a menor média para incisivos superiores de 0,23mm (valores variando de 0 a 0,67mm), e maior média para caninos inferiores de 0,47mm (variação de 0,06 a 1,52mm). Ainda, na medida ápice forame, os pré-molares superiores e inferiores seguiram aproximadamente a média dos caninos inferiores, porém nesses dentes, foram encontradas as maiores variações entre os espécimes, de 0 a 1,93mm. Analisando a média geral da distância ápice constricção foi encontrado o valor de 0,89mm, variando individualmente nos dentes examinados de 0,07mm a 2,69mm. As variações de valores mais altos foram nos incisivos (2,6mm, de 0,07 a 2,68mm) e a menor foi encontrada nos caninos (aproximadamente 2mm, de 0,13 a 2,38mm). A média da distância ápice constricção para cada tipo de dente variou de 0,99mm nos pré-molares inferiores para 0,79mm nos incisivos inferiores. Foram encontradas quatro tipos de constricção e classificadas em: tipo A, constricção tradicional simples, com média de 1,07mm e presente em 46% da amostra; tipo B, constricção convergindo com um estreitamento muito próximo do ápice radicular com média de 0,52mm e presente em 30% da amostra; tipo C, várias constricções presentes sendo que a mais apical foi medida com média de 1,08mm e presença de 19%; tipo D, foi

encontrada uma constrição que após o seu estreitamento, seguiu paralela até o forame apical, média de 1,14mm e presente em 5% da amostra. Um quinto tipo foi também observado, mas não incluído na classificação acima, onde o canal tinha sido completamente bloqueado com dentina secundária ou cimento (6% do total da amostra). O estudo confirmou que a visão precisa da constrição é impossível durante a terapia endodôntica, mas indicou que uma combinação de métodos pode ser mais produtiva que um procedimento isolado.

Blaskovic-Subat *et al.*, em 1992, utilizando de magnificação com estereomicroscópio e também radiografias, determinaram a frequência, posição e distância média do ápice anatômico ao forame apical de 230 dentes permanentes humanos. A frequência de desvio do forame foi 76% e dependeu do tipo de dente examinado. A análise radiográfica da mesma amostra revelou que 57% dos canais tinham assimetria dos forames apicais, ou seja, não terminavam no ápice anatômico da raiz. O desvio mais freqüente do forame foi para distal (29%), mas sem diferenças estatisticamente significantes. A distância média entre o forame e o ápice anatômico foi 0,99 mm. O estudo indicou que o operador deve considerar o desvio do forame durante o tratamento endodôntico e, também, que esse desvio não é facilmente detectado na radiografia.

Morfis *et al.* (1994) avaliaram a região apical das raízes de 38 incisivos superiores, 25 incisivos inferiores, 29 segundos pré-molares superiores, 92 primeiros e segundos pré-molares inferiores, 12 primeiros molares superiores, e 17 primeiros molares inferiores com o uso de MEV. O número e a dimensão do principal forame apical, a sua distância a partir do ápice anatômico, e a existência e dimensão de forames acessórios foram registrados, tabulados e analisados estatisticamente. Mais de um forame principal foi observado em todos os grupos, exceto, para a raiz palatina de dentes molares superiores e da raiz distal dos molares inferiores. Forames acessórios também foram observados em todos os grupos de dentes. As raízes distais dos molares inferiores tiveram o maior tamanho de forame principal (valor médio de 0,392 mm), enquanto que os pré-molares inferiores tiveram o maior forame acessório (valor médio de 0,0534 mm) e a mais complicada morfologia apical. A distância dos principais forames a partir do ápice anatômico nunca ultrapassou 1 mm. Os maiores valores foram observados nos incisivos inferiores

(0,978 mm), a raiz distal dos molares inferiores (0,818 mm) e os pré-molares superiores (0,816 mm).

Simon (1994) realizou um trabalho para elucidar a região apical radicular e explicar o papel dessas estruturas anatômicas em tratamentos de polpas vivas e necrosadas. O autor descreveu que para o termo ápice, as seguintes definições são usadas: ápice anatômico o ponto anatômico ou morfológico que é mais distante da superfície incisal ou oclusal; ápice radiográfico: o ponto mais distante da superfície incisal ou oclusal que é visível na radiografia (esta localização e posição pode variar do ápice anatômico); forame (maior diâmetro): circunferência linear no fim do canal, onde polpa e periodonto se comunicam; constrição (menor diâmetro): a porção mais estreita do canal; junção cimento dentinária (CDC): o ponto que a dentina e cimento celular se encontram dentro do canal. O autor ressaltou a necessidade de se dilatar o canal até o instrumento 25, no limite ápice radiográfico, tanto em canais com polpa viva como em necrosada, para então criar o batente apical na distância de 0,5 a 1,5mm do ápice radiográfico.

Gutierrez e Aguayo, em 1995, realizaram um estudo em dentes humanos para determinar o número de foraminas apicais, a distância da foramina à ponta do ápice radicular e a localização da foramina no ápice. Para isso, utilizaram 140 dentes, 10 superiores e 10 inferiores de cada tipo, exceto terceiros molares, randomicamente selecionados, com idade variando de 21 a 68 anos. As regiões apicais foram fotografadas no MEV em aumentos de até 850X e 660 fotomicrografias foram analisadas. Análise estatística não pode ser realizada em função de muitas variáveis. Foram encontradas grandes diferenças no número de aberturas foraminais nos diferentes tipos de dentes. A raiz disto-vestibular de segundos molares superiores exibiu a menor distância da borda superior do forame ao ápice, 0,20 mm. Por outro lado, na raiz méso-vestibular do primeiro molar superior foi encontrado a maior distância, 3,80 mm. Aberturas foraminais foram localizadas entre as raízes mesial e distal (no assoalho) de primeiros e segundos molares inferiores. Um elevado número de aberturas foraminais foi observado nos segundos pré-molares superiores. Ambos caninos, superior e inferior exibiram entre 3 e 4 aberturas foraminais. Em alguns incisivos superiores foram encontradas duas ou três aberturas foraminais. Os autores concluíram que em todos os espécimes examinados foram encontrados desvios do canal em relação ao longo eixo radicular. O número de foraminas encontradas nos dentes humanos estudados com MEV

variou de 1 a 16 e a distância da abertura foraminal à ponta do ápice variou entre 0,20 a 3,80 mm. Essas grandes variações tornam a identificação clínica das aberturas foraminais praticamente impossível. Assim, sobreinstrumentação do canal deve ser uma ocorrência comum e despercebida. As aberturas foraminais foram localizadas nas quatro faces e entre as raízes e sempre terminaram mais curta que o ápice radicular.

Ricucci e Langeland (1998) realizaram estudo histológico *in vivo* dos tecidos apicais e periapicais obtidos de tratamentos endodônticos vitais ou necrosados, após diferentes períodos de observações. Os autores concluíram que os melhores prognósticos foram aqueles onde a instrumentação e obturações homogêneas foram realizadas na constrição apical. O pior prognóstico foi encontrado quando os materiais obturadores ultrapassaram a constrição. O segundo pior resultado foi quando o limite ficou aquém 2 mm da constrição apical associado a presença de uma instrumentação e obturação deficientes. No trabalho ressaltou-se ainda que a constrição apical se localizou a uma distância de 1 a 3 mm do forame apical, sendo errôneo o limite adotado de menos 1 mm do ápice radiográfico e que adequada radiografia, conhecimento de anatomia, sensibilidade tátil e não localizadores apicais ajudarão na localização da constrição apical.

Ferlini Filho, em 1999, estudou as reabsorções apicais na presença de periodontites apicais crônicas. Oitenta e sete dentes portadores de lesão periapical foram extraídos e foi realizado um estudo morfológico das reabsorções apicais, procurando relacionar sua identificação microscópica com a presença ou não do fenômeno na radiografia inicial de diagnóstico. Os resultados radiográficos mostraram que 63,88% da amostra não permitiram identificar reabsorção radicular. Na análise microscópica, 94,44% mostraram algum tipo de reabsorção nos processos crônicos periapicais. O estudo revelou também que as radiografias convencionais não são recursos eficientes para o diagnóstico de reabsorções radiculares em estágios iniciais. O autor revelou que o processo de reabsorção radicular derivou da inflamação periapical estimuladora da atividade clástica, envolvendo cimento e dentina. Isso fez com que houvesse a deformação do canal cementário e, em não raras situações, sua destruição total. Em função disso o limite CDC perde a harmonia do seu contorno. Dessa forma, torna-se difícil o estabelecimento radiográfico deste importante referencial anatômico nesses casos. O problema acentua-se quando a lise radicular está localizada na face vestibular ou

lingual das raízes envolvidas. O autor enfatizou que tudo isso estava somado ao fato da radiografia ser um exame limitado, sendo fornecida apenas uma imagem bidimensional de uma estrutura tridimensional.

Rosa Neto *et al.*, em 2001, analisaram obturações de canais radiculares utilizando microscopia eletrônica de varredura. Concluíram que houve concordância entre os achados microscópicos e radiográficos dos casos obturados a 1mm aquém, mostrando total preenchimento do canal dentinário pelo material obturador. Nos casos obturados a 2mm aquém, a porcentagem foi de 60%, e apenas 10% dos casos a 3mm aquém. As obturações, em nível radiográfico foraminal, mostraram 100% dos casos com sobreobturações, resultando espaços vazios ou fendas entre a obturação e as paredes do forame apical.

Ponce e Fernandez, em 2003, avaliaram histologicamente a localização da junção CDC e o diâmetro do forame apical e canal radicular nessa junção. Para isso, utilizaram 18 dentes anteriores superiores (7 caninos, 5 incisivos laterais e 6 incisivos centrais) de pacientes com idade média de 42 anos. Os dentes obtidos tinham a polpa vital, sem evidências de doença periodontal, periapical ou reabsorções, e também apresentavam a oclusão normal. Dos espécimes, 269 secções histológicas longitudinais foram obtidas e avaliadas pelo microscópio óptico. Os resultados mostraram localização do forame apical: 3 casos (16,6% lado mesial), 8 casos (44,4% lado distal), 2 casos (11,1% lado palatino) e 5 casos (27,7% no vértice apical); extensão do cimento dentro do canal radicular: dois lados do canal radicular chamados de A e B foram avaliados com grande variabilidade individual encontrada, ou seja, no mesmo dente havia extensões significativamente diferentes, dependendo do lado avaliado. A média da extensão foi de 834,29 µm. A maior extensão foi observada nos caninos, seguidos dos incisivos laterais e centrais. Em relação ao diâmetro do forame apical, as medidas obtidas para cada dente não foram homogêneas, demonstrando a irregular forma do forame. As médias encontradas foram de 453,63 µm para os caninos, 519,21 µm para os laterais e 353,98 µm para os centrais; diâmetro do canal na junção CDC: a falta de homogeneidade nas medidas para cada dente mostrou também irregularidade do canal nesse nível. As médias dos diâmetros encontrados foram de 353,20 µm para os caninos, 292,25 µm para os laterais e 298,16 µm para os centrais. Os autores concluíram que a junção CDC simplesmente é o ponto no qual dois tecidos histológicos convergem dentro do canal radicular, suscetível a modificação que

depende de cada situação clínica particular e nas extensões variadas do cimento para o interior do canal. A constrição apical e o forame não são referências anatômicas fixas para serem utilizadas seguramente como limite apical do preparo do canal radicular. O uso dessas referências como ponto de confecção da parada apical podem resultar na produção de lesões nos tecidos apicais e periapicais.

Saad e Al-Yahya, em 2003, estudaram histologicamente a localização da junção CDC em primeiros pré-molares inferiores de pacientes egípcios e sauditas. Cento e vinte e dois dentes, 68 de egípcios e 54 de sauditas com idades compreendidas respectivamente entre 18 - 34 e 15 - 39 anos, com polpa vital e somente 01 canal, foram selecionados. Metades dos dentes foram seccionados longitudinalmente no plano mesio distal e corados com hematoxilina-eosina, enquanto que a outra metade foi desgastada no plano mesio distal até aparecer a junção, para então serem avaliadas microscopicamente. As medidas da localização do CDC foram realizadas paralelas ao longo eixo do dente, da superfície externa do ápice radicular para os lados mesial e distal do canal. O CDC em egípcios variou de 0 a 2 mm (média 0,9 mm \pm 0,4 mm) no lado mesial e de 0,2 a 2,5 mm (média 1,0 mm \pm 0,5 mm) no lado distal. Nos sauditas variou de 0,5 a 1,2 mm (média 0,8mm \pm 0,3 mm) no lado mesial e de 0,6 a 0,9 mm (média 10,7 mm \pm 0,4 mm) no lado distal. As variáveis analisadas apresentaram-se estatisticamente significantes entre os pré-molares de egípcios e sauditas e os autores concluíram que esta junção não é um ponto fixo em populações de diferentes países.

Soares *et al.* (2005) numa amostragem de 310 dentes humanos extraídos, incisivos e caninos permanentes, determinaram anatômica e radiograficamente a distância do forame principal ao extremo radiográfico desses espécimes. Os canais foram explorados até que a ponta da lima atingisse exatamente o forame apical. A partir daí, radiografias foram feitas, projetadas no aumento de 100x em anteparo milimetrado e a distância ponta da lima (forame apical) ao vértice radiográfico foi medida. Em 79,7% da amostra, independente do tipo de dente, o forame se localizou aquém do ápice radiográfico. Os valores variaram de 0 a 2,18 mm. Os incisivos inferiores apresentaram os forames mais próximos do vértice radicular, com média de valor de 0,36 mm, enquanto os caninos superiores foram os mais distantes, cuja média foi de 0,45 mm, contudo, não foi encontrada diferença estatística significativa entre os grupos dentários. Diante das razões anatômicas e histológicas da região apical, os autores concluíram que o limite apical de

instrumentação e obturação desses grupos dentários deveriam ser estabelecidos a uma distância aproximada de 1 mm do vértice apical radiográfico.

Willians *et al.*, em 2006, compararam, *in vivo*, as medidas estabelecidas na determinação do comprimento de trabalho pela radiografia periapical com as distâncias ponta da lima ao ápice, colhidas *in vitro* após a extração do dente. Foram utilizados quinze dentes (molares, pré-molares e incisivos) com ápices completamente formados, dos quais resultaram 26 canais analisados. O aparelho Root ZX (J Morita, Japão), foi utilizado e, após a leitura da posição do ápice, as limas foram cimentadas na cavidade de acesso para, então, proceder a tomada radiográfica com posicionador. Após as extrações, sob magnificação de 30x, as distâncias foram medidas da saída mais coronal do forame apical para a extremidade da lima. Os autores concluíram que a radiografia é um suplemento útil no estabelecimento do comprimento de trabalho, porém, duas tendências deveriam ser observadas; quando a lima parece estar passando o forame, ela está em média 1,2 mm maior do que a radiografia representa, e quando está mais curta do forame apical, na verdade apresenta uma distância média de 0,46 mm.

Olson *et al.* (2008), trabalhando com a hipótese que a constrição apical é desigual ou inclinada e não um anel plano no interior do canal radicular, examinaram a extensão incisivo-apical da constrição em 45 incisivos centrais. Os dentes foram fixados e imagens foram feitas com 25x de aumento para identificar e medir os limites apicais e coronais da constrição. A análise dos dados indicou que a maioria (>70%) dos incisivos centrais exibiram uma desigualdade ou "inclinação" da constrição apical maior que 100 μ m na extensão incisivo-apical, com uma média de 165 μ m, e máxima medida inclinada de 385 μ m. Baseado nos resultados do estudo, diferenças estatisticamente significantes na posição longitudinal da constrição apical ao redor de sua circunferência foi confirmada em incisivos centrais superiores.

Hassanien *et al.* (2008) tentaram relacionar a posição da junção CDC e constrição apical em relação ao forame apical de pré-molares inferiores, como também medir o diâmetro desses vários pontos. A distância média do forame apical a CDC foi 0,3mm com o diâmetro do canal de 0,32mm. Quando avaliada a distância média da constrição ao forame o valor encontrado foi 1,2mm com diâmetro do canal de 0,22mm. A média do diâmetro do canal para distâncias de 0,5mm, 1,0mm e 1,5

mm foram, respectivamente, 0,33, 0,28 e 0,05. Os autores concluíram que limite CDC e contração apical não são o mesmo ponto, e a contração apical esteve sempre localizada no sentido mais coronário em relação ao limite CDC.

2.2 Aparelhos localizadores foraminais eletrônicos

No início do século XX, a medicina recomendava exodontias para dentes despulpados, pois se acreditava que esses elementos eram a principal causa de inúmeras doenças sistêmicas. Diante desses relatos, Custer (1918)¹, citado por Teixeira e Figueiredo (2004), iniciou uma série de questionamentos quanto à qualidade dos tratamentos endodônticos, descobrindo que os canais radiculares estavam sendo obturados parcialmente ou em limites não desejados. A causa dessas incorreções estava diretamente relacionada à dificuldade de obtenção do comprimento do canal radicular. Assim sendo, propôs o método elétrico para medir os canais radiculares, tomando por base a diferença entre a condutividade elétrica de um instrumento metálico no interior do canal radicular seco e a ótima condutividade do tecido periapical. A corrente elétrica no canal radicular completa o circuito justo no momento em que o eletrodo, a lima, toca no fluido tecidual ou no próprio tecido perirradicular, indicando a porção mais apical do canal, ou seja, o forame apical. Dando continuidade as pesquisas sobre o método elétrico, Suzuki (1942)², conforme Ramos e Bramante (2005), estudando a iontoforese em dentes de cães, apresentou resultados que determinaram que os valores da resistência elétrica entre o eletrodo inserido no canal, atingindo o ligamento periodontal, e o eletrodo da mucosa bucal era sempre constante, 6500 Ω . Baseado nesses achados o método elétrico foi bastante impulsionado pelos experimentos de

¹ Custer LE. Exact methods of location the apical forâmen. J. Amer. Dent. Ass. 1918; 5:815-9

² Suzuki K. experimental study in iontoforesis. J. Jap. Stomat. Soc. 1942; 16: 414-17

Sunada, em 1958. O autor idealizou um aparelho elétrico capaz de medir a resistência elétrica dos tecidos bucais e foi possível a ratificação do valor da resistência elétrica entre a mucosa oral e o ligamento periodontal observada anteriormente, assim como a verificação de valores constantes dessa resistência em qualquer parte do periodonto, independente do sexo, idade e tipo do dente analisado. Os primeiros aparelhos, que utilizavam essa corrente contínua na medição da resistência elétrica, apresentaram medições imprecisas na presença de umidade e os poucos resultados satisfatórios nas leituras estavam vinculados a canais secos.

Outra geração de aparelhos foi lançada nas décadas seguintes, mas sem resultados satisfatórios nos estudos que avaliavam *in vitro* ou *in vivo* a precisão e confiabilidade do método eletrônico, sempre vinculada ao problema de umidade do canal radicular. Yamaoka *et al.*, em 1989, tentando superar essas limitações, demonstraram uma variação do método de medição eletrônica dos canais radiculares a partir da determinação dos valores de resistência elétrica em função de duas freqüências de corrente alternada, o que possibilitaria a leitura sob condições de umidade no interior do canal. Os autores descreveram o princípio que diferencia a mensuração do modelo Apit (OSADA, Japão), aparelho que utiliza o método da leitura do valor relativo para determinar a variação de impedância de duas freqüências de corrente elétrica alternada. Segundo o princípio relatado, a impedância no interior do canal radicular seria medida utilizando-se dois valores de freqüência, um de 1KHz e outro de 8KHz. A partir do cálculo baseado nestes valores uma constante seria estabelecida no momento inicial da mensuração, procedendo-se um ajuste no aparelho, denominado “ajuste em zero”. A partir deste ponto a diferença entre os valores de impedância seria calculado. Uma vez aproximando-se da constrição apical, esse valor

sofreria um decréscimo, em razão da diminuição da resistividade elétrica das paredes dentinárias da região apical. Ao atingir um valor preestabelecido, o aparelho identificaria esse ponto como sendo a saída foraminal. Os autores salientaram a possibilidade de aferição eletrônica sob condições de umidade, uma vez que, em altas frequências, a presença de líquido irrigador ou material condutor deixa de interferir na precisão das leituras. A partir desse trabalho, estava iniciada a era dos aparelhos localizadores de terceira geração.

Em um experimento *in vivo*, Bramante e Berbet (1974) compararam a efetividade dos métodos de odontometria radiográfica Best, Bregman, Ingle e Bramante com o método elétrico da resistência proposto por Sunada (1958). Para isso, os autores utilizaram 224 dentes de 46 pacientes com indicação prévia de extração. A análise dos resultados indicou medições mais precisas do comprimento de trabalho pelo método eletrônico, em relação aos métodos de Best e Bregman, ainda que apresentassem um alto grau de variabilidade em seus valores. Os resultados com o método eletrônico superiores aos demais, foram observados em raízes palatinas de molares e pré-molares. Dentre as técnicas que utilizam a radiografia, a de Ingle foi a que resultou em razoáveis índices de acerto. Os autores ainda relataram como prováveis causas de imprecisão do método eletrônico a presença de umidade no interior do canal, canais radiculares com diâmetro reduzido e presença de restaurações metálicas.

Abbott, em 1987, salientou problemas durante a realização e interpretação das radiografias, devido aos seguintes fatos: à radiografia ser a projeção bidimensional de um objeto tridimensional, o que leva à superposição e distorção de imagens; às variações morfológicas do sistema de canais radiculares; ao forame apical nem sempre corresponder ao ápice radiográfico; a erros durante a interpretação

radiográfica pelo observador; ao tempo gasto para obtenção da imagem; e ao potencial risco para a saúde do paciente e do profissional.

Olson *et al.* (1991) realizaram um estudo *in vitro* em dentes humanos para avaliar a habilidade das radiografias em determinar a localização do forame apical. A ponta de uma lima endodôntica foi posicionada no forame apical de cada canal em 117 dentes (213 canais), e em 56 dentes (92 canais) ainda dentro dos alvéolos de mandíbulas secas. Radiografias pelo paralelismo foram obtidas no plano vestibulo lingual de todos os dentes. O método radiográfico mostrou-se preciso em 82% dos casos. Apesar da precisão conferida pela radiografia no estudo, os pesquisadores ressaltaram que o exame radiográfico baseia-se em um objeto bidimensional de um objeto em três dimensões. Esse fato proporciona pouca ou nenhuma informação sobre a localização exata da saída do forame apical, principalmente quando a face da raiz, onde se encontra o forame apical, se localiza perpendicular à orientação do feixe principal do raio X e, sendo assim, o método radiográfico deveria ser utilizado em combinação com o método eletrônico.

Mc Donald (1992) realizou uma revisão da literatura acerca da odontometria eletrônica, descrevendo os localizadores foraminais utilizados até a realização do trabalho. Os primeiros aparelhos utilizavam a medida da resistência elétrica quando a lima era introduzida no interior do canal radicular e penetrava até a região apical. Um segundo conceito foi introduzido utilizando a medida da impedância no circuito formado com a lima no interior do canal radicular, nesse caso sendo empregada a corrente alternada. Utilizando esse mesmo tipo de corrente, o autor descreveu um terceiro conceito o qual utiliza a razão ou diferença entre duas impedâncias. Esse princípio contornou algumas limitações que ocorriam até então, no tocante ao uso dos localizadores, tornando os equipamentos mais precisos e confiáveis.

Christie *et al.*, em 1993, fizeram uma narrativa histórica, desde o surgimento dos aparelhos eletrônicos até os aparelhos atuais de terceira geração, mostrando a

evolução técnica dos mesmos. Cinco casos clínicos em que foi utilizado o Root ZX na obtenção do comprimento de trabalho foram mostrados. As medidas foram confirmadas através de tomadas radiográficas e após obturação dos canais. Os autores concluíram que com a utilização de localizadores de terceira geração (método de frequência), aumentou a segurança na instrumentação dos canais radiculares, uma vez que permite a qualquer momento realizar uma nova medida. Eles afirmaram também que ao realizar eletronicamente a tomada do comprimento de trabalho, é importante associar o diâmetro do instrumento ao do canal na constrição apical tão mais próximo quanto possível.

Ramos e Bernardinelli (1994) estudaram, *in vitro*, a influência do diâmetro do forame apical na precisão de leitura do modelo de 3ª geração Apit (Osada, Japão). O experimento consistiu de noventa dentes uniradiculares de humanos, montados em meio de ágar salino tamponado a 1%. Os dentes foram preparados e agrupados, de acordo com a padronização do calibre do forame apical. Para conseguir a padronização, 1mm de uma lima tipo k número 30 foi passada além do forame para o grupo de diâmetro $\pm 0,32\text{mm}$, k número 50 para o grupo de diâmetro $\pm 0,52\text{mm}$ e k número 70 para o grupo de diâmetro $\pm 0,72\text{mm}$. As medições foram realizadas introduzindo-se a lima no interior do canal até que a agulha no visor do aparelho alcançasse a posição indicada pelo fabricante como sendo a aproximadamente 1mm aquém do ápice. De posse das leituras, o instrumento foi fixado em posição, e calculado a distância entre a ponta da lima e o forame apical, através da verificação direta, desgastando uma das paredes radiculares externas da porção apical, aferindo a medida entre a ponta do instrumento e a saída foraminal com um paquímetro. Os resultados indicaram que as leituras em dentes dos grupos de diâmetro do forame $\pm 0,32\text{ mm}$ e $\pm 0,52\text{ mm}$, estabeleceram comprimentos médios de trabalho a 0,46 mm e 0,52 mm, respectivamente, não existindo diferença estatisticamente significativa nos valores obtidos pelas medições dos dois grupos. Os dentes com forames padronizados a 0,72 mm indicaram leituras médias de 1,61 mm da saída do forame apical. Todos os casos estudados apresentaram leituras variando entre o forame apical e 1,9 mm aquém.

Kobayashi e Suda (1994) salientaram que o grande obstáculo para o uso dos localizadores apicais seria a presença de eletrólitos no interior do canal radicular, o que pode dar uma medida menor ou, algumas vezes, tornar impossível realizá-la. Para contornar essa dificuldade, um novo conceito de localizador apical foi

desenvolvido. O novo aparelho mede a razão das duas impedâncias de correntes com duas frequências (método da impedância frequência dependente). Então, a razão entre os dois potenciais proporcionais é calculada para cada impedância. O quociente é mostrado no medidor do aparelho e representa a posição da lima no canal. O presente estudo verificou que o quociente foi apenas alterado na presença de eletrólitos no canal e que diminuiu consideravelmente quando a ponta da lima aproximou do forame apical.

Em 1995, Kobayashi analisou a evolução dos métodos de medição eletrônica, delineando o desenvolvimento dessas técnicas, mostrando as vantagens e características de cada princípio de funcionamento utilizado pelos aparelhos descritos. Algumas características sobre a técnica operatória dos aparelhos baseados na frequência (3ª geração) foram comentadas, principalmente a utilização clínica do Apit e Root ZX. Para os casos de raízes longas, reportaram-se medições mais curtas. O autor salientou que nos casos com presença de canais laterais largos, as medidas poderão ser influenciadas, demarcando um comprimento de trabalho mais curto. Nos casos de dentes com ápices incompletamente formados, recomendou-se a técnica radiográfica, dado a impossibilidade de mensuração eletrônica.

Arora e Gulabivala (1995) afirmaram que a precisão dos localizadores apicais seria afetada pela presença de eletrólitos, incluindo hipoclorito de sódio. De acordo com o fabricante de um novo localizador apical, Endex, (Osada, Japão), esse problema foi contornado. A proposta do estudo foi testar a precisão do Endex em comparação com um localizador já existente, o RCM Mark II (Evident Dental Co. Ltd., London, U.K.). O comprimento de 61 canais com vários conteúdos (polpa viva, polpa necrosada, exudato purulento, hipoclorito de sódio e água) foram determinados *in vivo*. Limas foram cimentadas no canal no comprimento determinado pelo Endex. Os dentes foram radiografados e extraídos. A distância entre a ponta da lima e o forame apical foi avaliada. A medida do RCM Mark II foi comparada com a medida do Endex e da radiografia correspondente. Os resultados indicaram que a maioria dos instrumentos que correspondiam à localização do ápice radiográfico estavam além do forame apical e o conteúdo do canal variou o efeito para cada localizador. A média de precisão do Endex (71,1%) foi maior que a do RCM Mark II (43,5%) dentro de 0.5 mm do forame apical. O Endex, ao contrário do RCM Mark II, mediu de maneira precisa na presença de hipoclorito de sódio.

Nguyen *et al.* (1996) testaram a capacidade do aparelho Root ZX em determinar o comprimento de canais ampliados. Vinte e um dentes unirradiculados extraídos, após uma leitura inicial, foram alargados com instrumentos rotatórios até o calibre # 60. Terminado o preparo, foram realizadas duas medições, uma com lima de pequeno diâmetro (#10) e outra com lima de diâmetro correspondente (#60). A leitura inicial e as duas pós-preparo não apresentaram diferença estatisticamente significativa e os resultados obtidos indicaram que todas apresentaram medidas aquém do comprimento real dos elementos. O Root ZX foi capaz de indicar a zona de maior constrição apical, mesmo na ausência da constrição anatômica.

Pratten e McDonald, em 1996, utilizando dentes de cadáveres humanos, compararam a precisão e confiabilidade do método eletrônico de odontometria com o localizador apical Endex, ao método radiográfico na determinação do comprimento de trabalho. O comprimento do canal foi aferido pelo localizador apical, que de acordo com as orientações do fabricante, corresponderia a 0,5 mm aquém da constrição apical. A lima foi fixada ao dente com resina. Os mesmos dentes foram radiografados três vezes, variando o ângulo horizontal (orto radial, mesial e distal). Os dentes foram cuidadosamente extraídos. As radiografias foram analisadas por 5 examinadores que não sabiam o método que foi utilizado na odontometria. Esses examinadores foram instruídos a fazer a correção, baseados na medida da ponta da lima aquém 1 mm do ápice visível na radiografia. Os ápices radiculares foram desgastados e examinados microscopicamente para determinar a posição da constrição apical e os valores aferidos anotados. Os desvios das duas medidas experimentais do ideal ponto (constrição apical) foram comparados e de acordo com os resultados, o localizador apical proferiu medidas significativamente menores do que o método radiográfico, concluindo que o método eletrônico usando o localizador apical foi levemente mais confiável.

Shabahang *et al.* (1996) avaliaram, *in vivo*, a precisão do Root ZX em dentes indicados para extração e que apresentavam vitalidade pulpar e ausência radiográfica de lesão periapical. O Root ZX foi utilizado para localizar o forame de 26 dentes em que foi mantida a polpa vital. Depois da extração dos dentes, uma lupa foi utilizada para confirmar visualmente a relação da lima com o forame apical. O Root ZX localizou exatamente o forame apical em 17 canais (65,4%), mais curto em 1 canal (3,8%) e além do forame em 8 canais (30,8%). Quando o erro foi 0,5

mm, a variação aceita como critério clínico, o localizador apical foi satisfatório em 25 dentes, o equivalente a 96,2% dos casos.

Vajrabhaya e Tepmongkol, em 1997, avaliaram a precisão do localizador apical Root ZX no ponto 0,0 (relativo a saída foraminal) em vinte dentes unirradiculares que tinham a extração indicada por alguma alteração ou tratamento ortodôntico. Após a abertura coronária e a odontometria com o localizador apical, a lima foi fixada com resina composta e o dente extraído. Após a extração, o dente foi cortado longitudinalmente com um disco de diamante, até tornar o instrumento visível. A distância entre a lima e o forame apical foi medida através do microscópio (x100). Os resultados mostraram que a extremidade da lima atingiu o forame apical em todos os dentes, com um sucesso de 100% dos casos.

Pilot e Pitts (1997) utilizaram dentes anteriores e pré-molares unirradiculados que foram indicados para tratamento endodôntico. Após a determinação do comprimento do dente, uma série de limas manuais foram posicionadas de 3 mm aquém do forame até 0,5 mm além do forame. Amostras de impedância foram feitas em cada comprimento com um processador de sinal digital em seis diferentes frequências, com cada um dos sete diferentes irrigantes ou condições do canal. Um total de 5 soluções irrigadoras e coadjuvantes foram utilizados (RC prep, álcool isopropílico a 70%, EDTA a 14,45%, solução salina, hipoclorito de sódio a 5,25%), além de duas condições de canal seco, uma após o álcool isopropílico e outra após o hipoclorito de sódio. A maior mudança de impedância ocorreu $\pm 0,25$ mm do forame apical. Não foi notada diferença significativa nas diferentes frequências, mas houve diferença significativa com os vários irrigantes. A condutividade dos irrigantes demonstrou menor mudança das características elétricas nos comprimentos dos irrigantes não condutivos; isso comprovou uma maior precisão da posição da lima em relação ao forame usando irrigantes não condutivos.

Dunlap *et al.* (1998) compararam, *in vivo*, a odontometria eletrônica para localizar o ápice em dentes vitais e necrosados. Os dentes foram anestesiados, isolados e realizado o acesso. A polpa foi considerada normal se um sangramento estava presente na polpa coronária. O Root ZX foi utilizado para a odontometria. As limas foram fixadas em posição e o dente extraído. De vinte e nove dentes, obteve-se 34 limas fixadas, e a distância até a constrição apical foi medida. O Root ZX foi preciso em 82,3% para uma distância de 0,5 mm da constrição apical. A média de

distância da constrição apical foi de 0,21 mm nos dentes vitais e 0,40 mm nos dentes necrosados. Não existiu diferença estatística na capacidade do Root ZX de determinar a constrição apical de dentes vitais e necrosados.

Em 1998, Ferreira *et al.* compararam, clinicamente, o método eletrônico, utilizando o aparelho Apit (Osada, Japão), com o método radiográfico com tela milimetrada (1mm em 1mm) na determinação do comprimento de trabalho. Foram avaliados 88 dentes totalizando 123 canais, sendo 40 dentes com polpas vivas e 48 com necrose pulpar; desses, 35 com presença de lesão periapical visível radiograficamente e 13 sem lesão visível, de pacientes que seriam submetidos a tratamento endodôntico. Radiografia inicial foi realizada com a tela milimetrada, o que permitiu determinar o comprimento aparente do dente. A seguir, no mesmo elemento dental, foi utilizado o localizador para determinar o comprimento real do dente, uma vez que a leitura se posicionou na marcação “apex” do aparelho. Nova tomada radiográfica foi executada para confirmação do comprimento do canal radicular determinado pelo aparelho. O comprimento de trabalho foi determinado recuando 1mm do comprimento real do dente obtido com auxílio da tela milimetrada e do Apit. Uma nova radiografia foi realizada para confirmação do comprimento de trabalho. Os resultados foram concordantes em 76,47% dos casos quando se tratava de polpas vivas e, 83,64% em polpas necrosadas. O Apit mostrou-se mais eficiente que a tela milimetrada, porém apresentou problemas em canais obliterados e nos dentes com grandes reabsorções. Os autores ressaltaram que o método eletrônico de odontometria é de grande valia, pois agilizam o tratamento e diminuem o número de exposições do paciente à radiação.

Pagavino *et al.* (1998) utilizaram vinte e nove dentes vitais para testar a precisão do Root ZX em localizar o forame apical. Depois da extração dos dentes, um microscópio eletrônico foi utilizado para analisar a relação da ponta da lima com o forame. As amostras foram divididas em dois grupos (grupo A e grupo B), de acordo com a presença de um forame apical normal (no longo eixo a raiz) ou de um forame lateral (desviado do longo eixo). Com uma tolerância de $\pm 0,5$ mm, uma precisão clínica de média de 82,75% foi determinada no total da amostra. Com uma tolerância de $\pm 1,0$ mm, foi encontrada uma precisão de 100%. Erros de localização do ápice foram significativamente menores nos casos com forame apical normal (grupo A) do que nos casos com forame lateral (grupo B). Uma precisão de 100%, com nível de tolerância $\pm 0,5$ mm, foi registrada no grupo A.

Ramos *et al.* (1998), em trabalho *in vivo*, utilizaram 186 canais para analisar a influência do conteúdo pulpar (polpa viva ou necrose) e dos diâmetros dos forames apicais na precisão e confiabilidade do método eletrônico da frequência (3ª geração). Foram realizadas medições observando o parâmetro da localização da constrição apical, utilizando-se a primeira marcação inserida na área verde do Endex (OSADA, Japão) como referência para leituras. Dessa maneira, as medições foram orientadas de modo a detectar a constrição apical, e não o forame apical. Esse detalhe resultou em medições reais sempre delimitadas aquém da saída maior do forame. A presença de polpa viva ou necrosada não apresentou influência que pudesse causar diferença estatisticamente significativa nas médias dos resultados apresentados. Para os casos de polpa viva, a diferença entre os diâmetros de forames não mostrou resultados com diferença estatisticamente significativa. Nos casos de necrose, os dois grupos de diâmetros de forame apresentaram resultados diferentes estatisticamente. Os autores concluíram que existiu uma tendência de leituras mais distantes do forame apical em canais com forame amplo, mas que todas as medições executadas permaneceram em um limite apical clínico aceitável, capacitando o método eletrônico do tipo frequência.

Ibarrola *et al.* (1999) avaliaram o efeito do pré-alargamento na resposta do localizador apical Root ZX. Segundo os autores, o Root ZX é um exemplo de uma geração de localizadores apicais que identifica o término do canal através da média entre duas impedâncias elétricas. Estudos têm mostrado que esse localizador tem precisão, contudo os fabricantes advertem que a performance desse aparelho é prejudicada na presença de calcificações e nas constrições dentinárias. O estudo, *in vitro*, foi realizado para determinar se o pré-alargamento do canal poderia facilitar a passagem da lima em direção ao forame apical, através da eliminação de interferências cervicais e avaliar o efeito que isso poderia ter sobre a eficiência do Root ZX. Trinta e dois dentes foram divididos em 2 grupos. No grupo 1, o canal não foi manipulado antes do uso do localizador e serviu como controle. No grupo 2, os canais foram alargados antes do uso do localizador. No comprimento de trabalho, a lima foi mantida em posição e realizada uma medida linear utilizando o programa Visilog 5. Os resultados desse estudo sugeriram que o pré-alargamento do canal determinou comprimentos de trabalho mais consistentes ao atingir o forame apical, aumentando a eficácia do localizador apical Root ZX.

Fouad e Reid (2000) realizaram um estudo com o propósito de determinar o efeito do uso do localizador apical Root ZX no número de tomadas radiográficas no término da obturação final. Pacientes da clínica de pós-graduação participaram do estudo. O comprimento de trabalho foi avaliado pelos autores em todos os casos (36 dentes, 58 canais), usando uma radiografia pré-operatória padrão e o localizador apical. Os estudantes foram questionados sobre a posição da lima no comprimento de trabalho em uma das estimativas (eletrônica ou radiográfica: escolha aleatória) e realizada uma radiografia para o comprimento de trabalho. Nem os estudantes, nem os instrutores, sabiam do método escolhido para a estimativa. Uma vez completado o tratamento, o número total de radiografias foi contado. O total de casos com obturação aceitável (0 a 2 mm aquém do ápice) ou de obturações inaceitáveis foram registrados. Uma estimativa eletrônica do comprimento de trabalho melhorou a qualidade final da obturação, comparada à da estimativa radiográfica. O número de radiografias foi menor no grupo da medida eletrônica no grupo dos dentes anteriores e pré-molares, mas não nos molares.

Saad e Al-Nazhan (2000) relataram que o tratamento endodôntico requer inúmeras tomadas radiográficas e preocupadas em reduzir a dose de radiação que os pacientes são expostos durante a terapia, sugeriram um novo protocolo ao tratamento. Após examinar a radiografia de diagnóstico do caso, o localizador Root ZX foi usado para mensurar o comprimento real de trabalho, de acordo com as recomendações do fabricante. O preparo químico-mecânico foi realizado e o cone principal radiografado por um sistema de radiografia digital que utilizou radiação 80% menor que a radiografia convencional. Os canais foram então obturados, nova tomada radiográfica feita pelo mesmo sistema e os casos controlados por até 18 meses para avaliar o sucesso do tratamento. No total, 14 pacientes foram avaliados e o sucesso clínico e radiográfico foi totalmente satisfatório. Os autores concluíram que o sucesso de uma obturação pode ser avaliado por uma única exposição de radiação, utilizando a radiografia digital na comprovação do cone principal travado no comprimento aferido pelo método eletrônico. Essa técnica pode ser útil em pacientes que necessitam não ser expostos a radiação excessiva ou repetida durante a terapia endodôntica.

Mearez e Steiman (2002) analisaram se a presença de hipoclorito de sódio influencia a precisão do localizador apical Root ZX. Foram utilizados 40 dentes humanos extraídos montados em aparato experimental. Após a realização do

acesso ideal, o comprimento de trabalho foi obtido usando o Root ZX. O canal foi irrigado com hipoclorito de sódio a 2,125% e a medida repetida com o localizador. Antes de realizar a terceira medida, o canal foi irrigado com hipoclorito de sódio a 5,25 %. Finalmente, o dente foi removido do aparato e o comprimento real do dente medido visualmente. Não houve diferença estatística entre os grupos experimentais. O resultado mostrou que o Root ZX não foi afetado na presença do hipoclorito de sódio.

Clasen, em 2003, realizou um estudo comparando, *in vitro*, a mensuração do comprimento dos dentes entre os localizadores apicais eletrônicos Root ZX (J. Morita, Japão), Justy II (TOEI Yoshida, Japão), Bingo 1020 (Forum, Israel), Foramatron IV (Parckell, EUA) e o Apit 5 (Osada Japão). Foram utilizados 30 incisivos superiores extraídos de humanos, que após a abertura coronária foram medidos de dois modos. Uma lima foi inserida no canal até que sua ponta aparecesse no forame apical, a qual era então removida e medida. Outro modo foi o de medir o comprimento do dente desde o bordo incisal até o ápice com o auxílio de um paquímetro. Os dentes foram então montados em um meio ágar salino tamponado a 1%. As medidas eletrônicas foram obtidas com os aparelhos em teste quando no mostrador estivesse marcando 0,5 mm para o Root ZX, Bingo 1020 (Forum, Israel) e Foramatron IV, para o Justy II quando o mostrador do ponteiro estivesse no meio da faixa amarela entre 1,0 e Apex, e no Apit V quando o ponteiro estivesse na faixa verde entre 1,0 e o Apex. Essas medidas foram então comparadas com aquelas anteriormente obtidas. O Root ZX e o Bingo 1020 foram eficientes em 100%, o Justy II em 96,67% e o Apit V em 76,67%. O Foramatron IV apresentou índice de acerto de apenas 43,33%, com diferença estatisticamente significativa entre os demais aparelhos.

Gordon e Chandler, em 2004, através de revisão da literatura pertinente aos localizadores, concluíram que nenhuma técnica individualmente é totalmente satisfatória para a determinação do comprimento de trabalho endodôntico. O limite CDC, ponto indicado para o término apical do preparo e da obturação, não pode ser determinado radiograficamente. Os aparelhos mais modernos podem determinar esse ponto com precisão superior a 90% apesar das suas limitações. A associação do conhecimento da anatomia apical, do uso prudente de radiografias e da utilização correta dos localizadores é que levará a resultados mais previsíveis.

Lucena-Martín *et al.* (2004) em um estudo, *in vitro*, com dentes humanos permanentes, avaliaram três aparelhos: Root ZX, Justy II e Neosono Ultima EZ (Amadent, USA) . Os localizadores obtiveram índices de precisão de 80% a 90% na detecção do forame apical. Apenas em 5% dos casos, nos dentes dos grupos do Root Zx e do Justy II, houveram medidas que excederam o forame apical; no grupo do Neosono Ultima EZ, tal fato não ocorreu em nenhum espécime. O trabalho também indicou correspondência de resultados obtidos por diferentes operadores.

Segundo Teixeira e Figueiredo (2004), determinados localizadores apicais eletrônicos do tipo frequência dependente empregam a corrente elétrica alternada senoidal com dois sinais de frequência diferentes entre si. A presença de substâncias eletrocondutivas no interior do canal faz com que a distância entre a ponta do instrumento e o tecido periradicular, somada ao estreitamento apical do canal radicular, seja grande o suficiente a ponto de tornar esse meio resistivo à passagem de uma corrente elétrica alternada de baixa intensidade. Desse modo, existe uma diferença de impedância entre os dois sinais de frequência que estão sendo comparados, graças ao pequeno diâmetro apical do canal, dificultando a propagação da corrente elétrica para o tecido periradicular. Como a dentina é um bom isolante elétrico, há acúmulo de energia no interior do canal radicular, denominado capacitância. Quanto menor for a distância entre a ponta da lima e o tecido periradicular, maior será a capacitância (acúmulo de energia). A impedância é inversamente proporcional a capacitância apresentando portanto, uma diminuição significativa com a aproximação da lima à área de constrição apical do canal. A capacitância está numa relação inversa ao diâmetro do canal. Assim, quanto menor for seu diâmetro, maior será a capacitância e, conseqüentemente, menor a impedância. Desse modo, com a impedância reduzida ao mínimo na constrição do canal radicular, o sinal de frequência com mais capacidade de propagação passa com facilidade pela zona estreita, ficando restrita a passagem do sinal de menor frequência. Quando isso ocorre, a tensão elétrica do voltímetro passa a ser baixa e a corrente aumenta. Praticamente não há necessidade de força para vencer uma mínima impedância, pois na zona de constrição, a resistividade imposta pelo tecido periradicular é ainda menor, permitindo a passagem mais livre dos sinais de alta e baixa frequência.

Os resultados obtidos com o desenvolvimento de um protótipo de localizador foraminal eletrônico digital baseado na impedanciometria, o qual mais tarde seria chamado de QUILL APEX LOCATOR (Ultradent, USA), foram apresentados em 2004. De acordo com os autores, trata-se de uma nova versão dos aparelhos descritos na literatura, com a característica de que todo o processo de medida do comprimento de trabalho é feito no domínio da frequência. Os resultados dos testes, *in vitro*, demonstraram o excelente desempenho do aparelho desenvolvido. Os autores ressaltaram que a variação de impedância, em virtude do tipo de solução contida no canal, reduziu consideravelmente a precisão dos localizadores que utilizaram corrente contínua ou uma única componente espectral, e para superar esses problemas, diversos métodos já foram propostos e dentre eles, o método da razão das impedâncias (do presente protótipo) tem recebido destaque na literatura.

“O quociente das impedâncias tem um valor definido, o qual é determinado pelas frequências usadas. Esse quociente está relacionado com a profundidade da lima dentro do canal. Considerando $f_1 > f_2$, a impedância $Z_1 < Z_2$, ou seja, a razão entre as duas Z_1/Z_2 , é sempre menor que a unidade. Isto ocorre devido à capacitância elétrica do canal do dente. Como a parede do canal tem uma capacitância muito menor, praticamente desprezível, do que a capacitância do forame apical, a razão é aproximadamente igual a um quando a lima se encontra a certa distância do forame apical, mas é reduzida consideravelmente quando a lima se aproxima da constrição apical. O conteúdo do canal não afeta a medida do quociente, visto que ambas as impedâncias são influenciadas igualmente pela sua condutibilidade”. (RAMBO *et al.* 2004).

Goldberg *et al.*, em 2005, realizaram um estudo, *in vitro*, para avaliar a precisão de três localizadores apicais eletrônicos - Propex, Novapex e Root ZX para determinar o comprimento de trabalho durante retratamento. Foram utilizados vinte dentes unirradiculares extraídos de humanos. O comprimento do canal radicular foi medido visualmente. Os dentes foram instrumentados e obturados pela técnica de condensação lateral e, posteriormente, radiografados para avaliar a obturação. Depois de reservados por sete dias a 37°C, os dentes foram desobturados até o terço médio com broca Peeso, restando 4 a 5mm da região apical do canal

obturado. Os dentes foram posicionados em um tubo plástico e imerso em solução salina normal até a junção amelo-cementária, a seguir foi inserido Xilol no canal e introduzida uma lima tipo K número 20 acoplada ao localizador apical eletrônico. O restante da guta-percha foi removido antes da mensuração com o localizador. Os canais foram desobturados por completo antes do display do aparelho indicar a 0,5 mm do forame apical. Foi medido o comprimento da lima com a mesma régua do início e comparada com a medida anterior. Como resultado, os localizadores Propex, Novapex e Root ZX foram precisos no ponto 0,5 mm aquém do forame apical em 80, 85 e 95% e no ponto 1,0 mm aquém do forame apical; 95, 95 e 100%, respectivamente.

Ramos e Bramante (2005) ressaltaram a importância do método eletrônico de odontometria no contexto da terapia endodôntica e descreveram os requisitos básicos necessários para obtenção de uma correta medida eletrônica: treinamento do operador, exame radiográfico pré-operatório, canal radicular deve ter patência, isolamento absoluto do elemento, restaurações metálicas devem ser removidas ou aliviadas para evitar o contato com o eletrodo, solução irrigadora deve preencher apenas o canal radicular, estando a câmara pulpar vazia, remoção parcial do tecido pulpar e controle do sangramento, utilização de instrumentos compatíveis com o diâmetro anatômico do canal, bateria do aparelho com carga total e obediência à seqüência técnica de cada aparelho.

Utilizando 71 raízes de molares humanos, *in vitro*, Santos, em 2005, avaliou a eficácia dos localizadores apicais Bingo 1020 (Forum, Israel), Novapex (Forum, Israel) e Root ZX (J. Morita, Japão), nas posições 1 mm aquém do ápice e posição 0 (zero). Comparou a medida eletrônica na posição 0 com o comprimento real dos dentes. Também comparou a odontometria radiográfica com a eletrônica utilizando o Bingo 1020 na posição 1mm aquém do ápice e na posição 0. Os dentes foram colocados em uma plataforma que teve a finalidade de mantê-los em posição com os respectivos ápices em contato com uma solução salina. As raízes foram medidas previamente sob aumento de 2,5 vezes ultrapassando uma lima #10 e #15 pelo forame apical, determinando assim, patência foraminal #15. Com o instrumento #20, a primeira medida eletrônica foi realizada na posição em que o localizador marcou 1mm aquém do ápice. A segunda, na posição 0. Esse procedimento foi realizado com os três localizadores perfazendo um total de 213 medidas para cada posição

(1mm e 0). O cálculo estatístico demonstrou que os localizadores não foram significativamente diferentes entre si nas medidas 1mm e 0. Também não houve diferença significativa entre as medidas dos três localizadores e a medida real do dente. Na odontometria radiográfica, considerando três avaliadores, houve diferença estatisticamente significativa em dois, em relação a odontometria eletrônica com o localizador Bingo 1020, o qual obteve maior precisão. Um outro fator importante relatado pelo pesquisador diz respeito à diferença dos pontos nos aparelhos que marcam as posições 1 mm e 0, onde em termos puramente matemáticos, a diferença seria de 1 mm. No entanto, considerando os três localizadores conjuntamente a mediana foi de 0,67mm.

Cunha D'Assunção *et al.*, em 2006, realizaram um estudo *in vitro* comparando a eficácia dos localizadores Novapex e Root ZX. Para isso, utilizaram quarenta dentes extraídos. Foi realizada patência nos canais com a lima 20, os dentes foram fixados com alginato e irrigados com solução salina. Foram utilizados os localizadores apicais para determinar as medidas eletrônicas até a marca correspondente no aparelho de 1,0mm. Para determinar o comprimento real do dente foi usado uma lente com aumento de 5x e antes da lima sair pelo forame apical, era anotado o comprimento. Como resultado, não foi encontrado diferenças significativas entre os dois aparelhos, tendo o Root ZX apresentado 89,7% de precisão e o Novapex, 82,1%.

Wrbas *et al.* (2007) compararam a precisão dos localizadores foraminais eletrônicos de 3ª geração Root ZX (J. MORITA, Japão) com o Raypex 5 (VDW, Alemanha). O experimento foi realizado *in vivo*, em vinte dentes uniradiculares. Os dois localizadores foram usados de acordo com as instruções dos fabricantes na tentativa de localizar a constrição apical. Duas leituras, uma com cada localizador, foram realizadas para o mesmo dente. Para que isso fosse possível, após a leitura, a lima foi fixada ao dente com um compósito, o qual se encaixava ao dente perfeitamente e deveria ser removido e recolocado na mesma posição quando necessário. As leituras foram checadas novamente com os compósitos em posição e então procedeu-se as extrações. Em seguida, janelas nos 4 mm apicais dos dentes foram abertas com brocas, para então as limas com o compósito serem colocadas no dente e fotografadas no aumento de 24 vezes com o intuito de medir a distância ponta do instrumento à constrição e ao forame apical. O aparelho Root ZX conseguiu localizar exatamente a constrição apical em 5% dos casos e o Raypex 5

em 10%. A constrição apical foi localizada dentro do limite de $\pm 0,05$ em 75% dos casos com o Root ZX e 80% dos casos com o Raypex 5. Os autores concluíram que os localizadores foraminais eletrônicos testados identificaram a constrição apical numa taxa de $\pm 0,05$ com alto grau de precisão e que não existiram diferenças significantes entre os aparelhos, no entanto, ressaltaram que os resultados obtidos com os dois localizadores para os mesmos dentes não foram concordantes e demonstraram alta taxa de discrepâncias de 0,03 a 1,18mm.

Ardesbna *et al.*, em 2008, investigaram a relação entre a impedância radicular apical e a anatomia do canal. Para isso, utilizaram 23 dentes humanos extraídos, uni e multiradiculares. A anatomia apical foi identificada inicialmente pela aplicação de corante no ápice radicular para estabelecer o número de forames existentes e, após a medição da impedância, a anatomia foi confirmada novamente pela aplicação do corante e clarificação da dentina. Os canais foram divididos em dois grupos; 12 tinham anatomia com somente um forame e 11 com múltiplos forames. A medição da impedância foi obtida com um analisador de resposta de frequência. Os resultados demonstraram que os valores de impedância encontrados em canais com anatomia simples (um único forame) foram significativamente maiores quando comparados aos de anatomia complexa (vários forames). O trabalho mostrou que a anatomia do canal teve um significativo efeito na impedância da região apical.

Al-Bulushi *et al.* (2008) estudaram o efeito que o preparo químico-mecânico e material obturador residual, pós instrumentação no retratamento, tem sobre a impedância radicular. Valendo-se de trinta dentes humanos uniradiculares, as medidas de impedância foram feitas sobre três condições: antes do preparo químico-mecânico, após e no retratamento depois da remoção do material obturador e restabelecimento da patência do canal. As mensurações foram obtidas nos níveis de 0; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9 e 10mm do término apical e também a 0,5 e 1,0 mm além do forame apical. Após o preparo dos canais foi utilizada solução de EDTA 17% para remoção da smear layer. Os resultados mostraram que a impedância diminui de coronal para apical em todas as condições do canal de maneira característica, com exagerada diminuição no término apical. Houve diminuição após o preparo do canal, mas obteve altos valores quando comparados com antes e após a instrumentação nos casos onde houve a remoção do material obturador. Sendo

assim, a investigação concluiu que a impedância foi influenciada pela posição corono-apical, preparo químico – mecânico e material obturador residual.

Pereira *et al.* (2008) compararam, *ex vivo*, a precisão e confiabilidade dos localizadores foraminais eletrônicos Root ZX II e FIT. Foram selecionados para o estudo 15 canais de pré-molares permanentes humanos, íntegros e ápices completamente formados. As coroas foram removidas, os preparos dos terços cervical e médio realizados e o comprimento real do dente determinado pelo método visual com magnificação e iluminação. Os dentes foram fixados em um recipiente plástico de forma que o terço apical radicular ficasse exposto para que fosse imerso em solução salina a 0,9 %. Os espécimes foram submetidos à leitura eletrônica no ponto correspondente ao indicativo do forame apical no visor dos aparelhos e após, descontou-se 1mm em paquímetro digital para estabelecimento do comprimento real de trabalho . Obteve-se média de 0,97 mm e 1,02 mm, respectivamente, para os aparelhos FIT e Root ZX II. Nenhum espécime apresentou medida além do forame apical. Os comprimentos obtidos foram analisados pelo teste estatístico U de Mann Whitney. Nenhuma diferença estatisticamente significativa foi encontrada entre os aparelhos. Dentro das condições do trabalho, os resultados confirmaram que os aparelhos FIT e Root ZX II foram precisos e confiáveis na determinação do comprimento real de trabalho.

Estudiosos incansáveis do método eletrônico de odontometria, Ramos e Bramante, em 2009, destacam que a partir do surgimento dos localizadores foraminais de terceira geração, têm se conseguido apreciáveis resultados na odontometria eletrônica em diferentes condições clínicas. Os pesquisadores afirmam que além de mais exatos, os métodos eletrônicos são mais convenientes para o paciente e operador porque diminuem a exposição do paciente à radiação ionizante, reduzem o tempo de tratamento, são mais fáceis de serem empregados em pacientes com dificuldade em abrir a boca e podem ser usados em gestantes. Por serem menos subjetivos que os métodos radiográficos, os localizadores de terceira geração também apresentam maior reprodutibilidade das medidas, quando utilizados de maneira correta. Ressaltam ainda que localizadores de quarta geração já foram propostos, mas nenhum deles mostrou-se mais preciso que o método da razão de Kobayashi e Suda.

3 OBJETIVOS

a) Avaliar a precisão e confiabilidade, *in vivo*, do protótipo funcional do localizador foraminal eletrônico QUILL[®] (ULTRADENT, EUA).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Após obtenção do termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo A) e aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (anexo B), foram realizadas leituras em 30 canais, dos quais 06 foram excluídos, por fratura do terço apical durante a exodontia (2) ou erros na preparação da amostra (4). Sendo assim, vinte e quatro canais de 21 dentes humanos (04 primeiros pré-molares superiores, 03 segundos pré-molares inferiores, 06 incisivos laterais inferiores, 06 incisivos centrais inferiores, 01 canino inferior e 01 primeiro molar inferior), com indicação prévia de extração por motivos ortodônticos ou periodontais foram utilizados no experimento. Os pacientes foram submetidos à anamnese e exame clínico. Foram aplicados testes de sensibilidade pulpar (testes térmicos a frio com spray congelante), percussão vertical e horizontal, inspeção de cárie e restaurações fraturadas, comprometimento periodontal, lesão de furca e mobilidade dental.

Exames radiográficos iniciais foram realizados no sentido de detectar perfurações de assoalho, dilacerações, tratamento endodôntico prévio, rarefações ósseas laterais e periapicais, linhas de fratura, presença de objetos estranhos ou fragmentos de instrumentos fraturados no interior do canal radicular, calcificações e formação completa do ápice radicular. Os dentes que apresentaram situações que inviabilizaram o experimento foram descartados da amostragem. O comprimento aparente do dente foi medido na radiografia utilizando-se uma régua endodôntica milimetrada, e obtido o comprimento de trabalho provisório.

4.1 Medida eletrônica

Após anti-sepsia do campo operatório, os dentes foram anestesiados, por infiltração de anestésico local Mepivacaína 2% com epinefrina 1:100.000 (DFL[®], Brasil). Os dentes receberam o isolamento absoluto, sendo qualquer restauração metálica presente removida durante o procedimento de abertura coronária.

No acesso coronário foram utilizadas pontas diamantadas para alta rotação 1011, 1012 ou 1013HL (KG SORENSEN[®], Brasil), na trepanação inicial sob irrigação constante, e brocas tronco-cônicas sem extremidade cortante, em alta rotação, Endo-Z (DENTSPLY MAILLEFER[®], Suíça), na remoção do teto da câmara pulpar,

com irrigação intermitente de solução de hipoclorito de sódio a 1%. Uma análise do conteúdo da câmara pulpar foi visualmente realizada no sentido de classificar o caso entre polpa viva e necrose pulpar. Dentes com cavidades pulpares apresentando sangramento abundante, cor vermelho vivo, e histórico positivo aos testes de sensibilidade pulpar anteriormente realizados, foram classificados como polpa viva. Dentes que apresentaram cavidades pulpares com conteúdo necrótico, exsudato ou pus, adicionado ao histórico negativo aos testes de vitalidade pulpar, presença de rarefação óssea periapical, foram classificados como necrose.

Após a localização da(s) entrada(s) do canal(is) utilizando uma sonda endodôntica, foi executado o cateterismo inicial com lima tipo K # 10 ou 15 (DENTSPLY MAILLEFER[®], Suíça), até aproximadamente 4 mm aquém do comprimento provisório de trabalho, estabelecido pela medida do comprimento da imagem do dente na radiografia inicial. Irrigação abundante de solução de hipoclorito de sódio a 1% foi realizada na cavidade pulpar durante esse procedimento. Em todos os casos, previamente à medida eletrônica, foi realizado o preparo dos terços cervical e médio com limas rotatórias de níquel titânio de grande conicidade Orifice Shaper (DENTSPLY MAILLEFER[®], Suíça) # 1 e 2, de forma que se conseguisse a limpeza e modelagem desse comprimento de forma progressiva (Crow-Down), atingindo aproximadamente 4 mm aquém do comprimento provisório de trabalho. Com o objetivo de explorar novamente o caminho reconhecido inicialmente pelas limas 10 e 15, mais uma vez esses instrumentos foram há 4 mm do comprimento provisório de trabalho. Nos casos de polpa viva ou necrosada, o excedente de sangramento ou hipoclorito de sódio a 1%, em nível da câmara pulpar, foi aspirado para a realização da medida.

O protótipo funcional localizador foraminal eletrônico Quill[®] (ULTRADENT, EUA) foi instalado, posicionando-se o eletrodo da mucosa na comissura labial, e o eletrodo da lima no intermediário do instrumento a ser introduzido no canal radicular.

Para a mensuração eletrônica propriamente dita, uma lima tipo K (DENTSPLY MAILLEFER[®], Suíça) que melhor se ajustasse ao diâmetro anatômico do canal radicular foi introduzida em direção ao ápice radicular, até que o visor do aparelho mostrasse a indicação FO, conforme seqüência do fabricante descrita abaixo:

- Inserir o instrumento no interior do canal radicular, certificando que o mesmo se ajusta às paredes do canal até o comprimento provisório de trabalho.

- Ligar o Aparelho;

- Conectar o eletrodo (pólo colgante) na comissura labial do paciente;
- Conectar o outro eletrodo à lima (porta lima);
- Observar a barra preenchida até a posição “wet” na porção inferior no visor do aparelho.

- O instrumento deverá ser introduzido apicalmente girando-o suavemente no sentido horário ou com movimentos oscilatórios. À medida que a lima se aproximar do ápice, a representação gráfica das barras horizontais será completamente preenchida, acompanhada das marcações numéricas que variam de – 3 mm até a posição FO (saída foraminal).

- Prosseguir com o instrumento em direção apical até a marcação correspondente à saída foraminal (FO). Obtida a medida, estabilizar o cursor em área previamente escolhida, retirar o instrumento e recuar 1mm para o estabelecimento do comprimento real de trabalho (Figura 1).

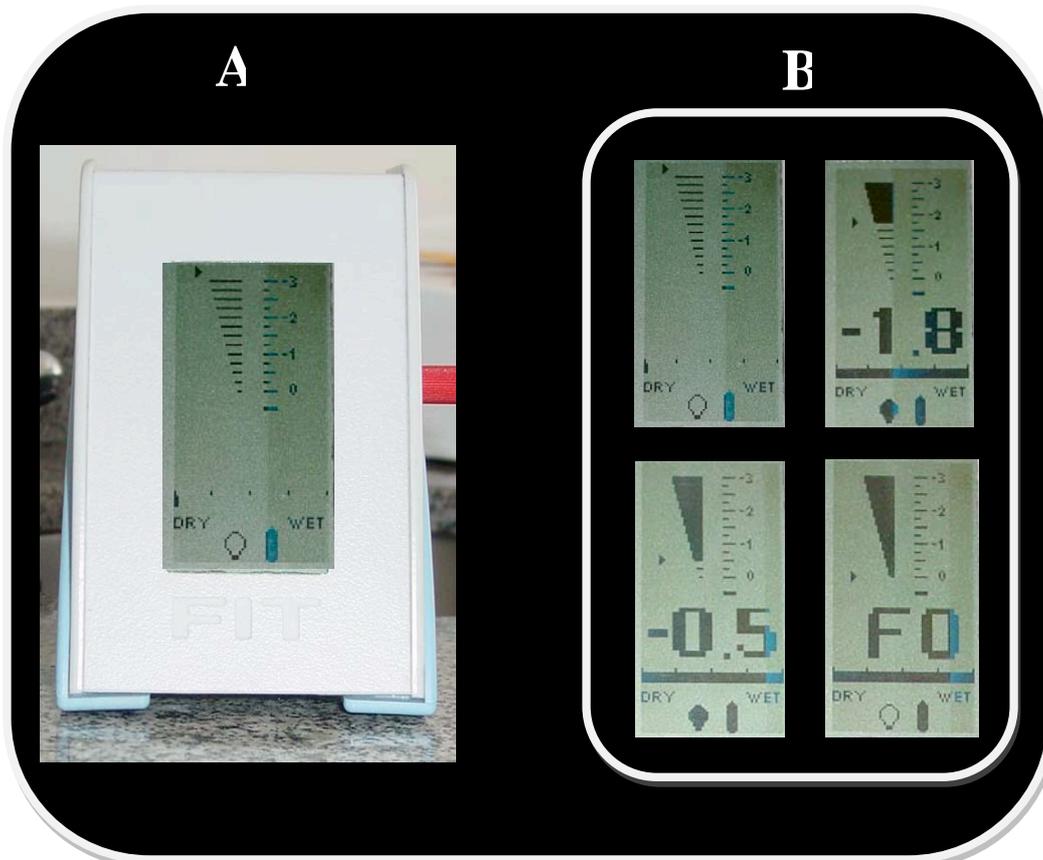


Figura 1 – Em “A” detalhes do protótipo localizador foraminal QUILL®. Em “B”, display do aparelho mostrando a seqüência de leitura até a localização do forame apical.

4.2 Fixação e extração

Nos casos de cúspides inclinadas ou superfície incisal irregular, foram feitos desgastes prévios com broca diamantada cilíndrica 1090 (KG Sorensen[®], Brasil) para melhor estabilidade do cursor. Após isso, a lima foi retirada e medida em paquímetro digital (Black Bull[®], USA). Da medida obtida, subtraiu-se 1 mm e instrumento um ou dois números acima foi ajustado no canal radicular novamente na referência pré-estabelecida e, então, fixado, utilizando-se cianocrilato (Henkel[®], Brasil) e resina composta fotopolimerizável flow (FGM[®], Brasil) colocada em volta do intermediário da lima até preencher toda a abertura coronária.

Após a fixação do instrumento, o isolamento absoluto foi removido e o dente extraído conforme a técnica cirúrgica indicada. Os dentes obtidos foram limpos, desinfetados em hipoclorito de sódio a 2,5% por 10 minutos e armazenados em solução fisiológica.

4.3 Aferição das medidas obtidas em MEV

A saída do forame apical foi identificada visualmente, inserindo-se a ponta de uma lima tipo K n° 08 ou 10 (DENTSPLY MAILLEFER[®], Suíça) em sua porção externa, apenas com intuito de facilitar sua localização. Essa manobra visou escolher adequadamente qual face radicular poderia ser desgastada. Os últimos 4 mm de parede dentinária de uma das faces externas da raiz foram delicadamente removidos, através de desgaste com broca diamantada 1013 e/ou 2200 (KG SORENSEN[®], Brasil). Quando uma fina camada de dentina foi percebida entre o desgaste executado e a extremidade do instrumento fixado, o remanescente foi removido utilizando-se uma lâmina de bisturi n° 159, objetivando visualizar a ponta do instrumento e a continuidade do canal até o forame apical (Figura 2).

A visualização da distância entre a ponta da lima e o forame foi executada utilizando-se microscópio eletrônico de varredura (MEV) JSM – 6380LV, (JEOL[®], Japão), no aumento de 40 ou 50 vezes.

Antes de serem analisadas no MEV, as amostras passaram por etapas de limpeza, onde se imergiu os espécimes por 2 minutos em cuba ultrassônica com hipoclorito de sódio a 2,5%, para remover restos residuais que poderiam interferir na

análise e após seguiu-se a desidratação em bateria de álcool etanol ascendente (10%, 30%, 50%, 70%, 80%, 90% e 100%), permanecendo imersas durante 15 minutos em cada concentração. Após, as amostras foram colocadas em estufa a 60 °C por 30 minutos para secagem completa.

Sob magnificação de 20 vezes, utilizando lupa estereoscópica binocular (CARL ZEISS, Alemanha), fez-se a colagem das amostras no suporte apropriado para o microscópio. Após isso, foi realizada a metalização das mesmas para possibilitar a leitura e mensuração dos espécimes. Fotografias foram capturadas no aumento de 40 ou 50 vezes e os espécimes submetidos a aferição das distâncias relativas a ponta da lima - real saída foraminal e forame apical – ápice anatômico. Para isso, foi utilizado o software SEM Control User Interface Version 7.06 Copyright © 2004. (JEOL TECHNICS LTD., Japão), (Figuras 3 e 4).

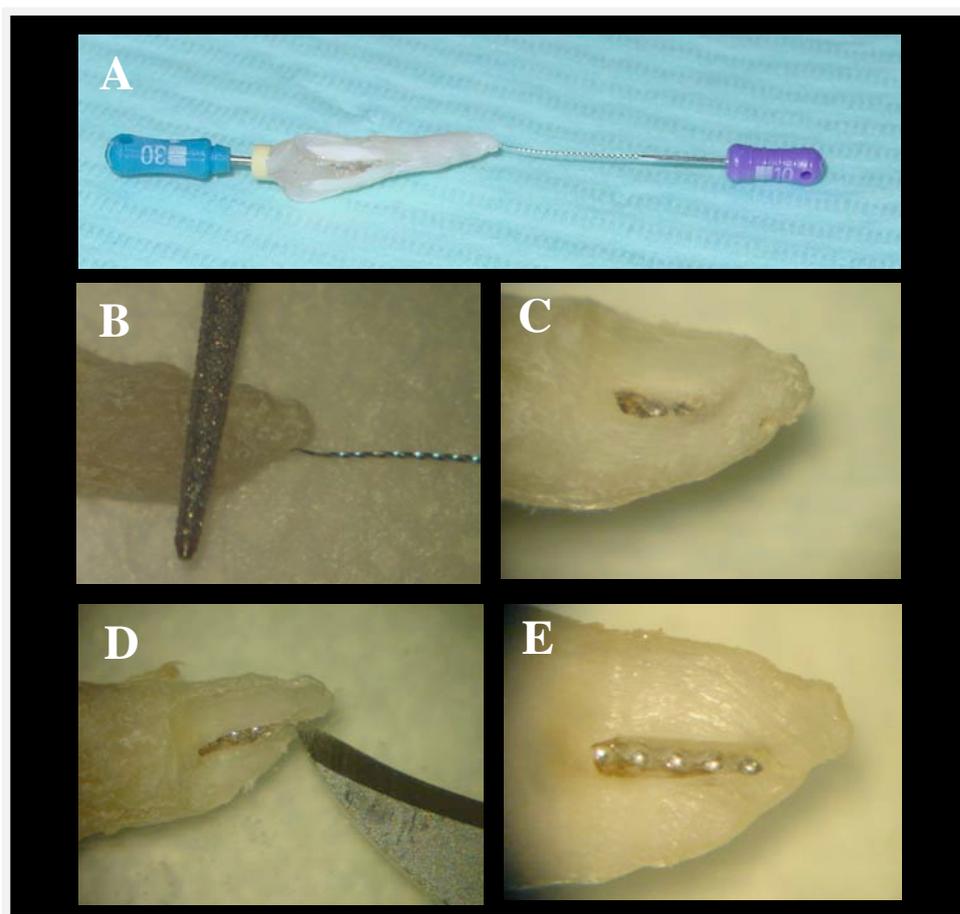


Figura 2 – Sequência de preparo dos espécimes. Em A: Localização do forame apical; B e C: desgaste da superfície radicular apical; D: acabamento com lâmina de bisturi; E: ponta do instrumento e real saída foraminal visualizados.

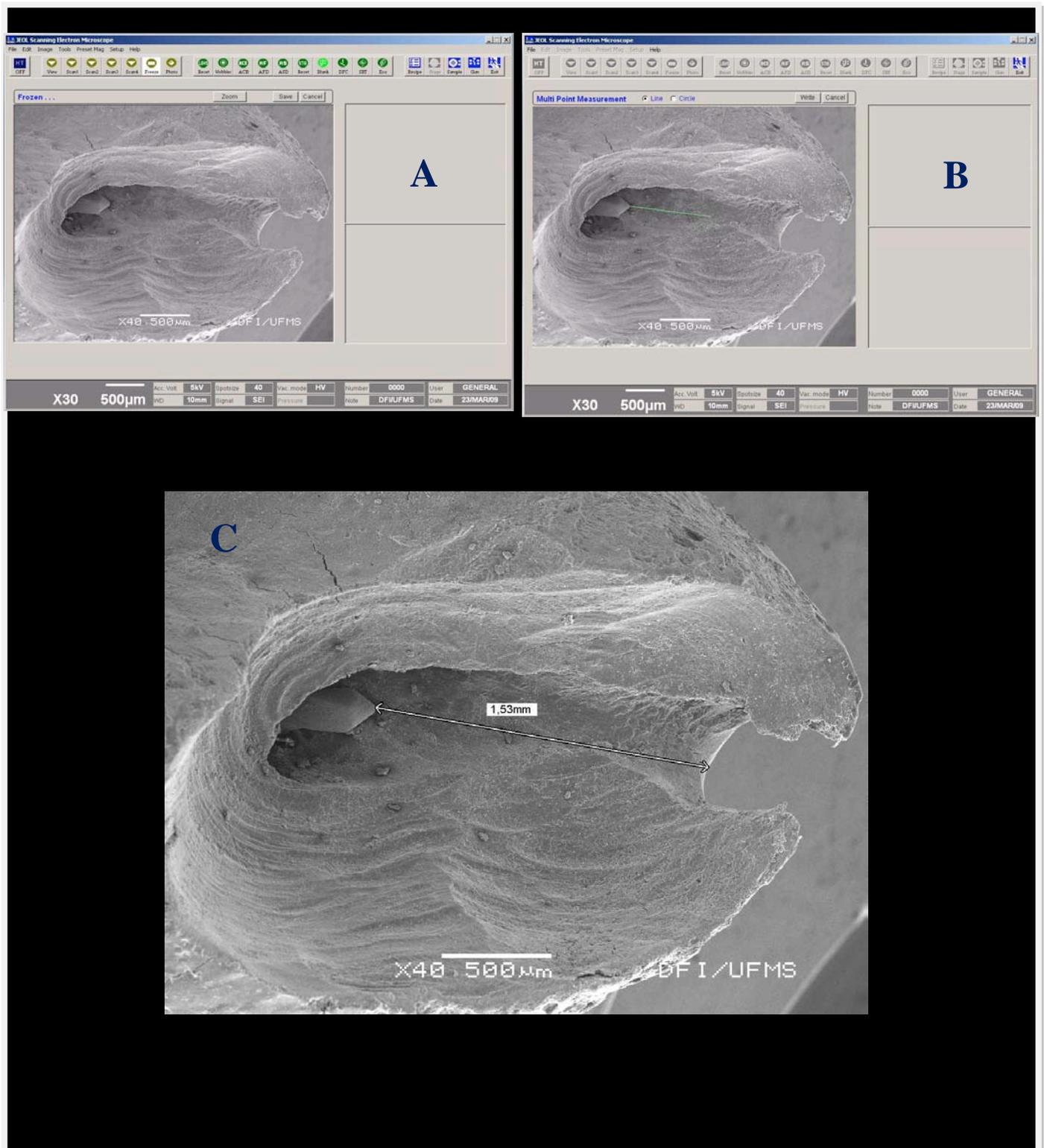


FIGURA 3: Medição da distância relativa ao comprimento real de trabalho (CRT), ponta do instrumento a real saída foraminal no MEV. Em A: fotografia capturada da região apical; B: linha sendo traçada da ponta do instrumento a saída foraminal mais próxima do canal radicular; C: mensuração realizada.

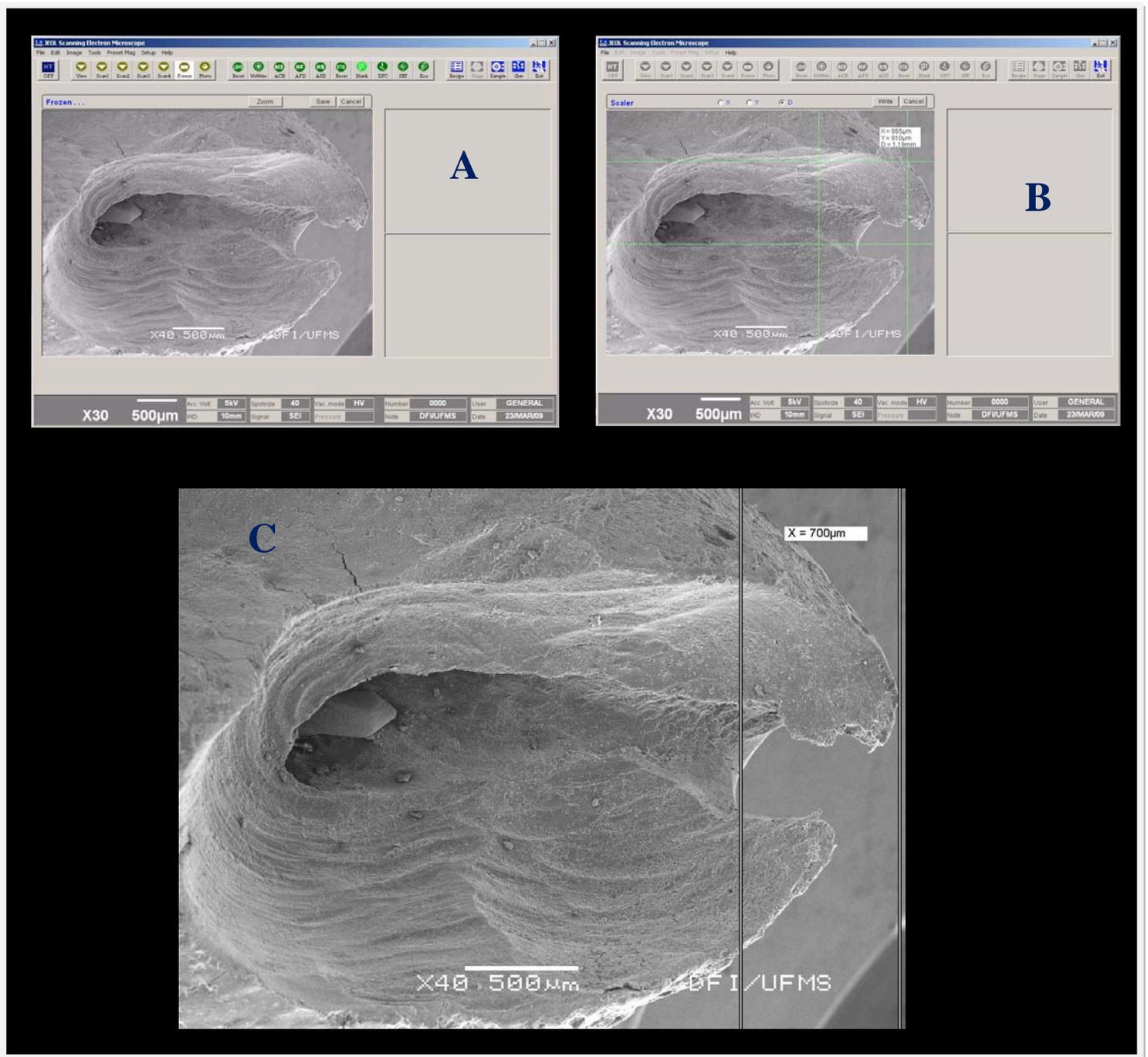


Figura 4 - Medição da distância relativa a real saída foraminal e ápice anatômico no MEV. Em A: fotografia capturada da região apical; B: linhas verticais sendo traçadas pelo programa a serem ajustadas; C: mensuração realizada que consistiu da distância das duas retas verticais paralelas.

5 RESULTADOS

As distâncias em mm encontradas, relativas a cada canal, o diâmetro do instrumento de leitura (IL), do instrumento apical inicial (IAI), bem como a condição pulpar são mostrados nas tabelas 1 e 3 (Apêndice A), figuras 5, 7 a 14.

A análise preliminar dos dados (teste de normalidade de D'Agostino e Pearson) indicou tratar-se de uma distribuição amostral gaussiana ($p = 0,608$), o que autorizava o uso de um teste paramétrico para a análise estatística. O teste t bicaudal revelou não haver diferenças significativas ($p = 0,338$) entre os valores experimentais encontrados e o valor hipotético testado de 1 mm da ponta do instrumento ao forame apical (Figura 6).

As distâncias em milímetros ápice anatômico e real saída foraminal foram mensuradas também pelo MEV e estão expressas nas Tabelas 2, 3 (Apêndice A) e Figuras 6, 15 a 18.

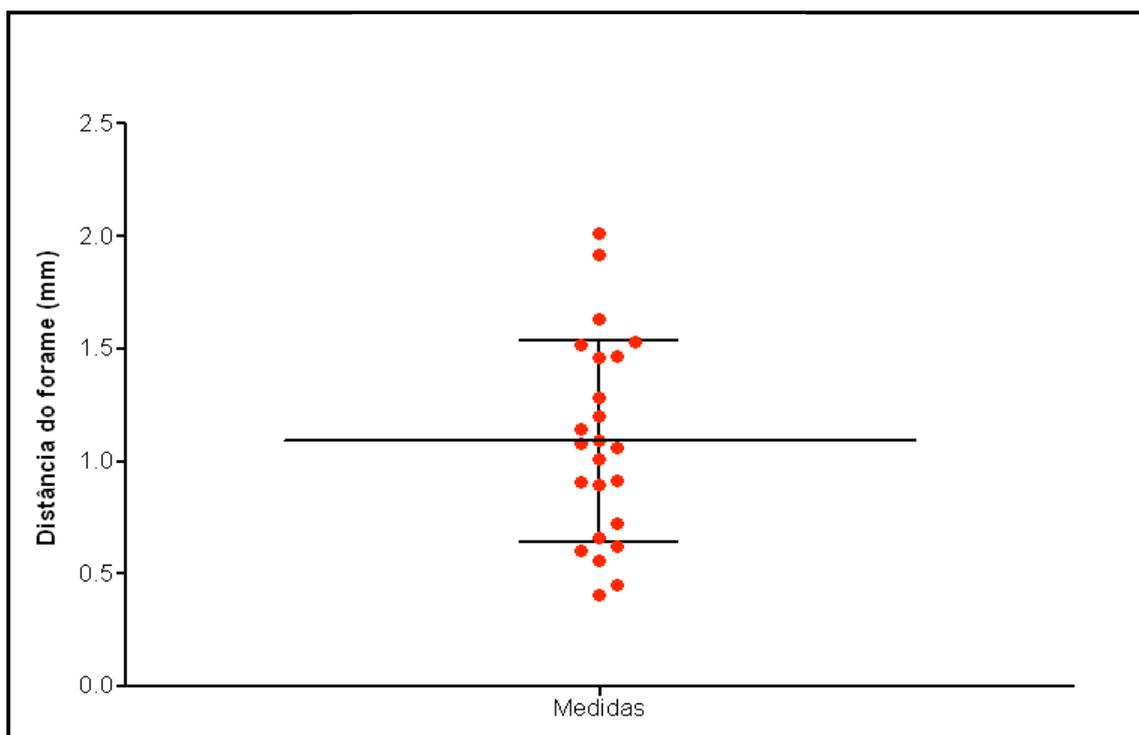


Figura 5 – Medidas experimentais obtidas com o protótipo funcional do localizador foraminal . A barra horizontal maior representa a média, enquanto as menores indicam o desvio padrão.

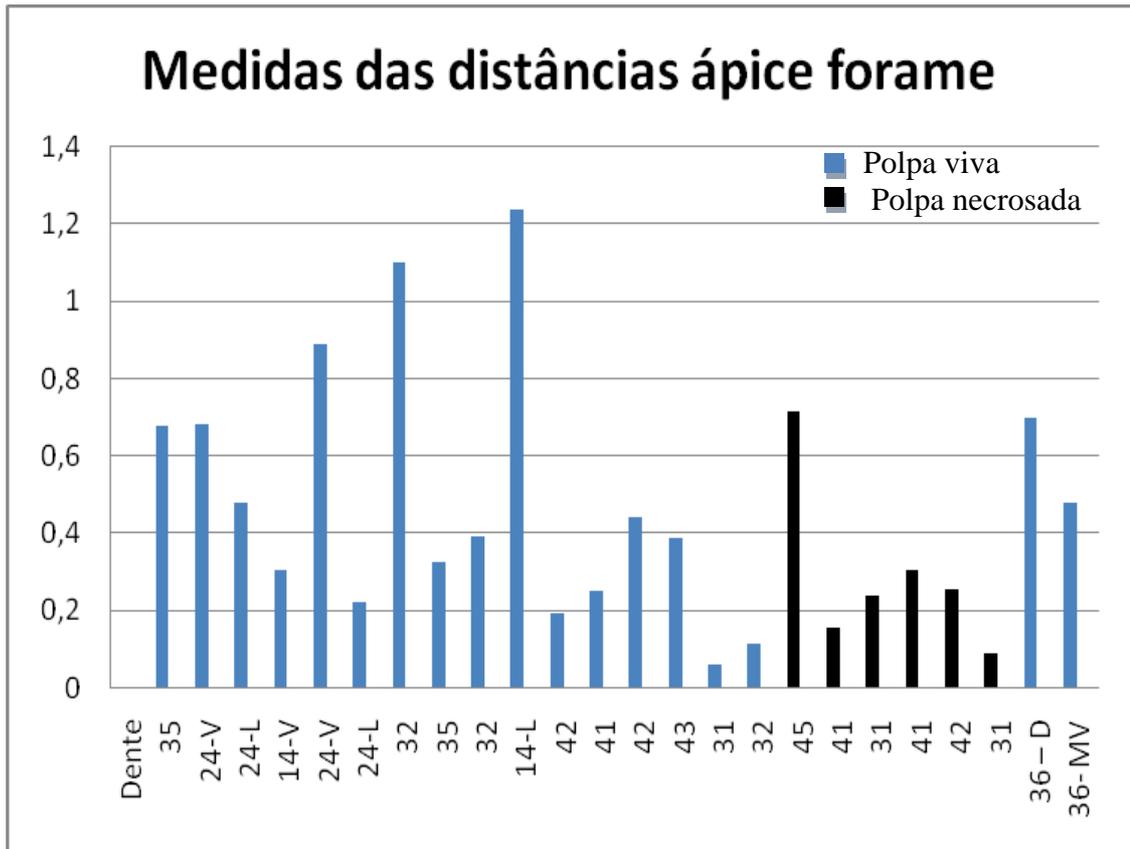


Figura 6 – O gráfico acima ilustra os valores encontrados, em milímetros, para as medidas obtidas das distâncias entre o ápice e forame apical.

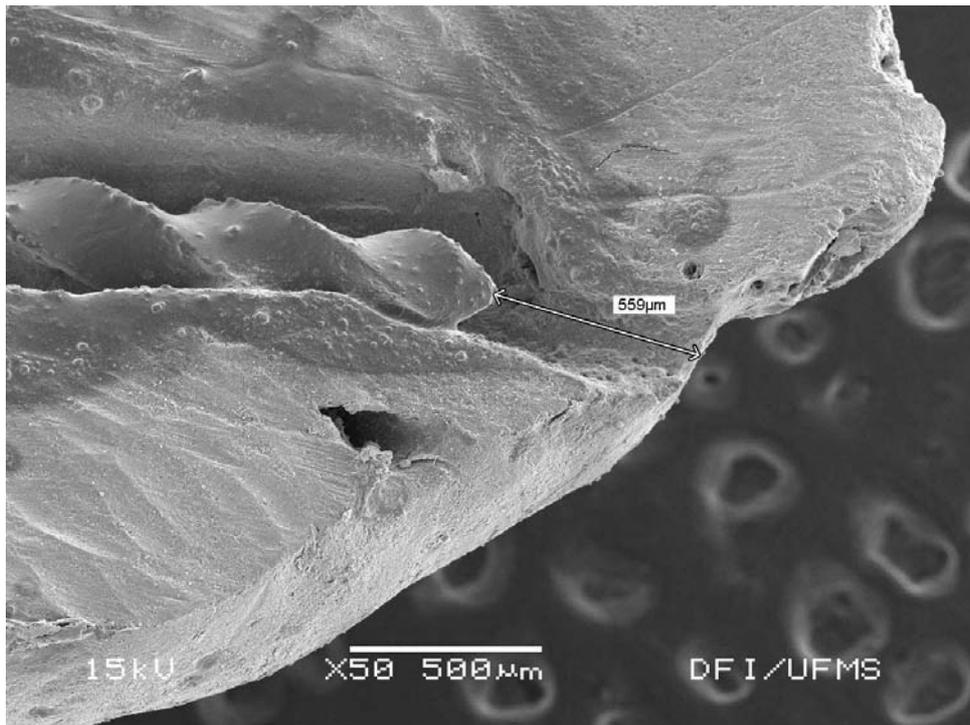
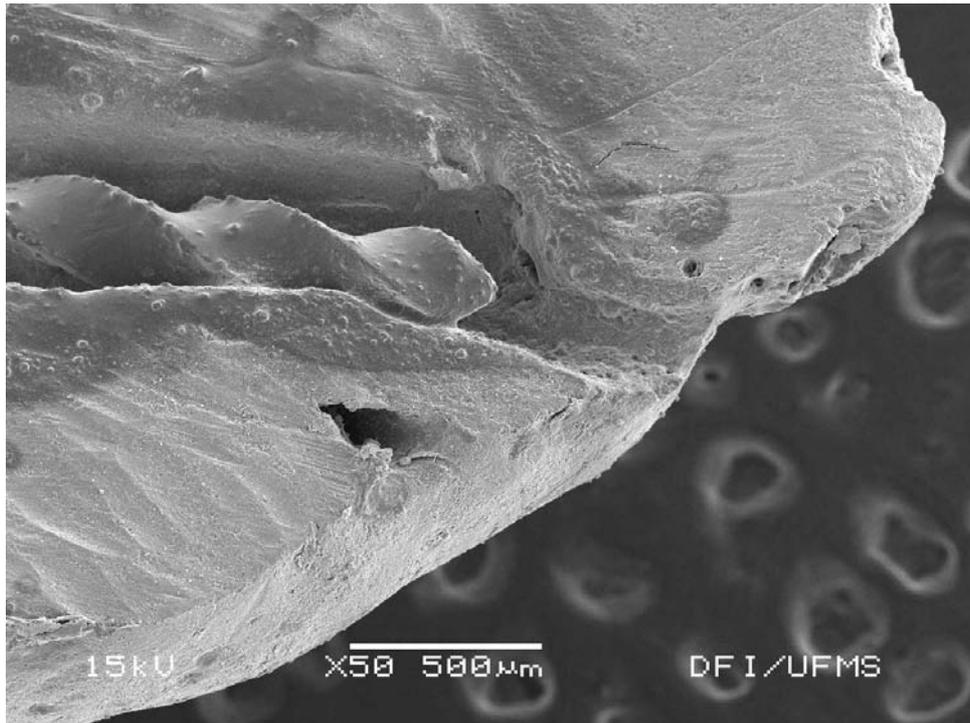


Figura 7 – Espécime 1, dente 35, leitura realizada com instrumento 25 K. Instrumento apical inicial 30 K. Polpa viva. D = 0,559mm.

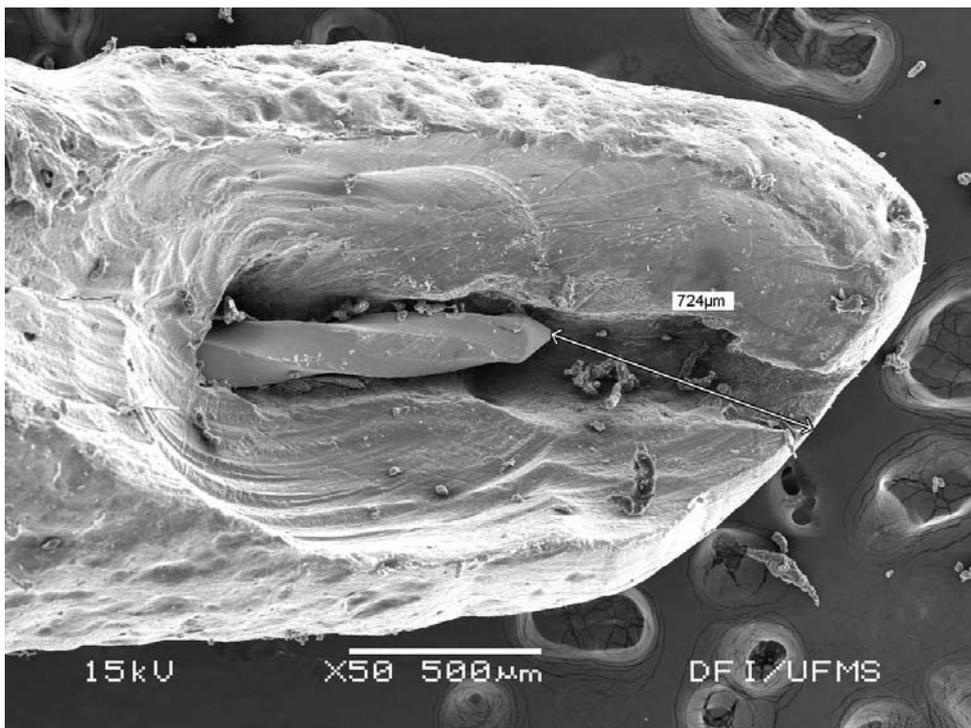
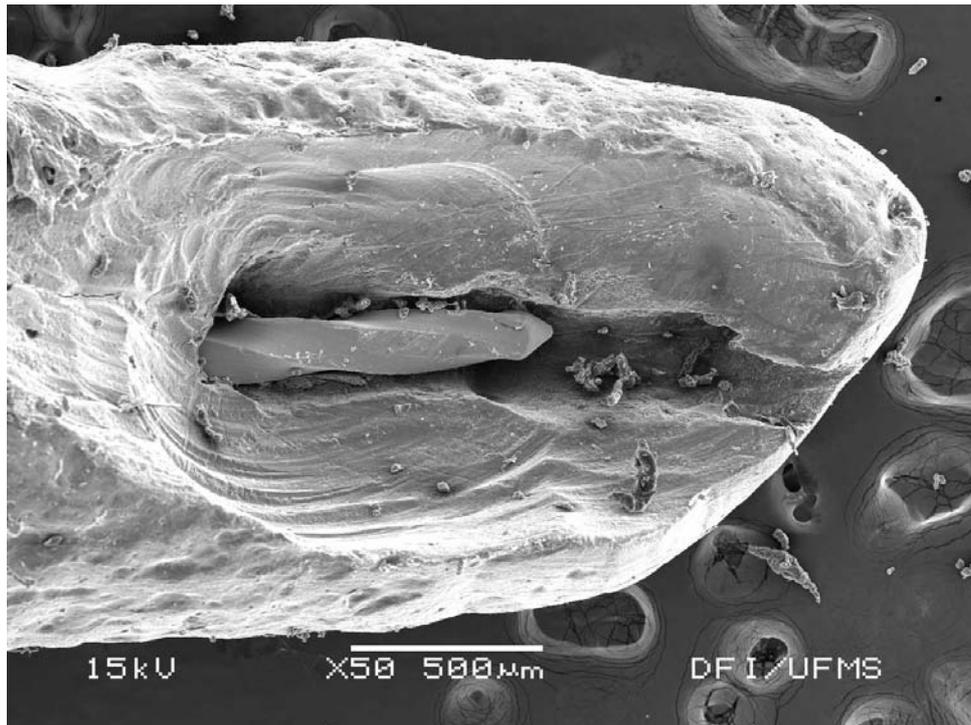


Figura 8- Espécime 4, dente 14 (raiz V), leitura realizada com instrumento 10 K. Instrumento apical inicial 15 K. Polpa viva. D = 0,724mm.

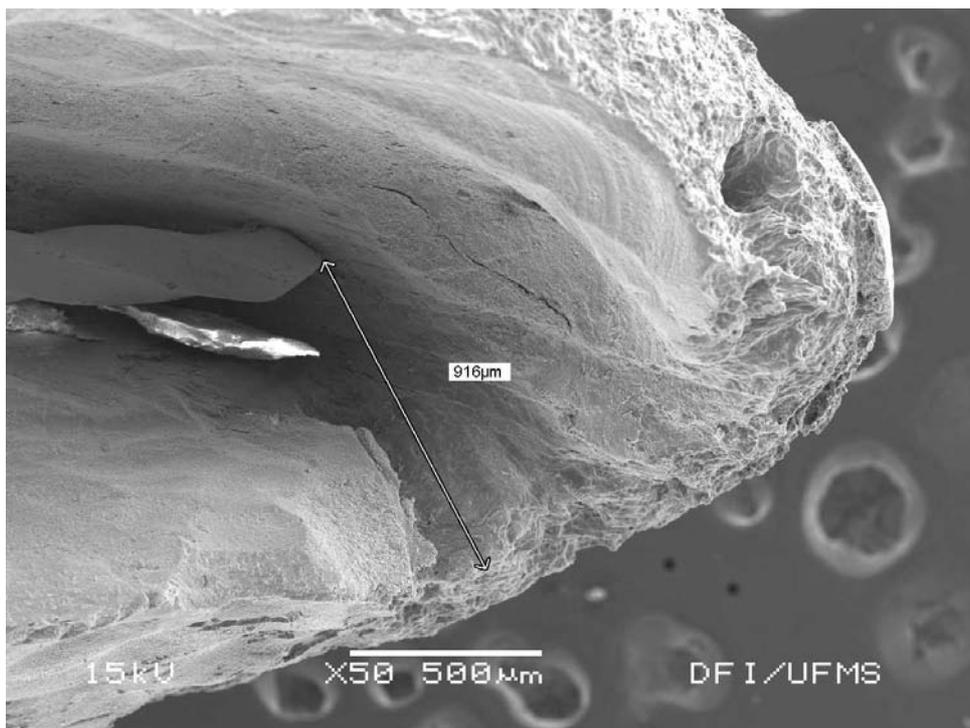
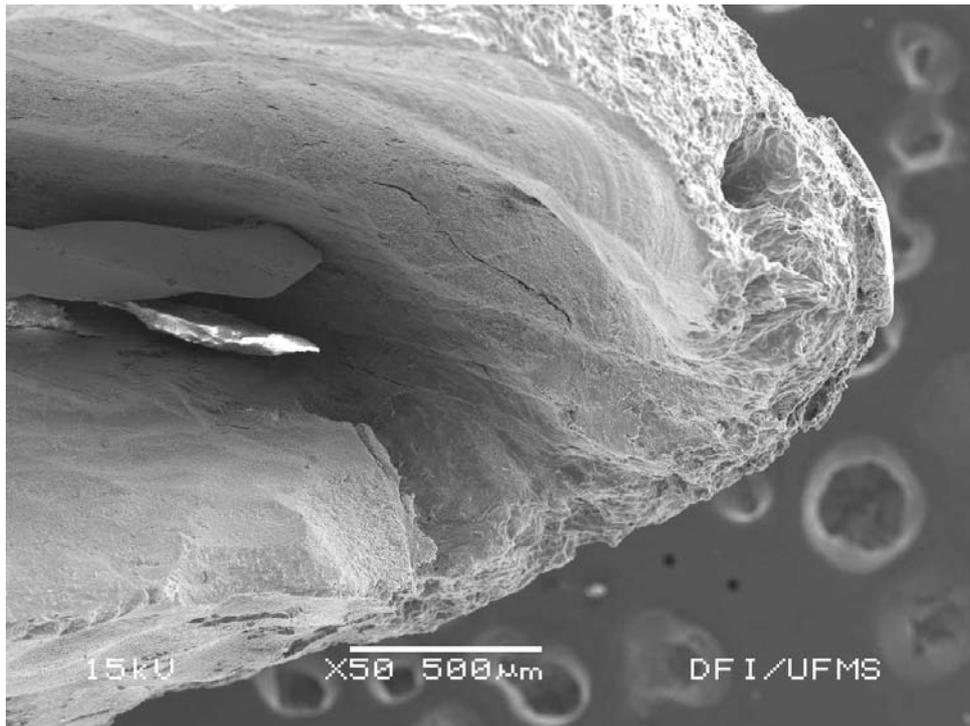


Figura 09 - Espécime 7, dente 32, leitura realizada com instrumento 15 K. Instrumento apical inicial 20 K. Polpa viva. D = 0,916mm.



Figura 10- Espécime 8, dente 35, leitura realizada com instrumento 25 K. Instrumento apical inicial 30 K. Polpa viva. D = 0,658mm.

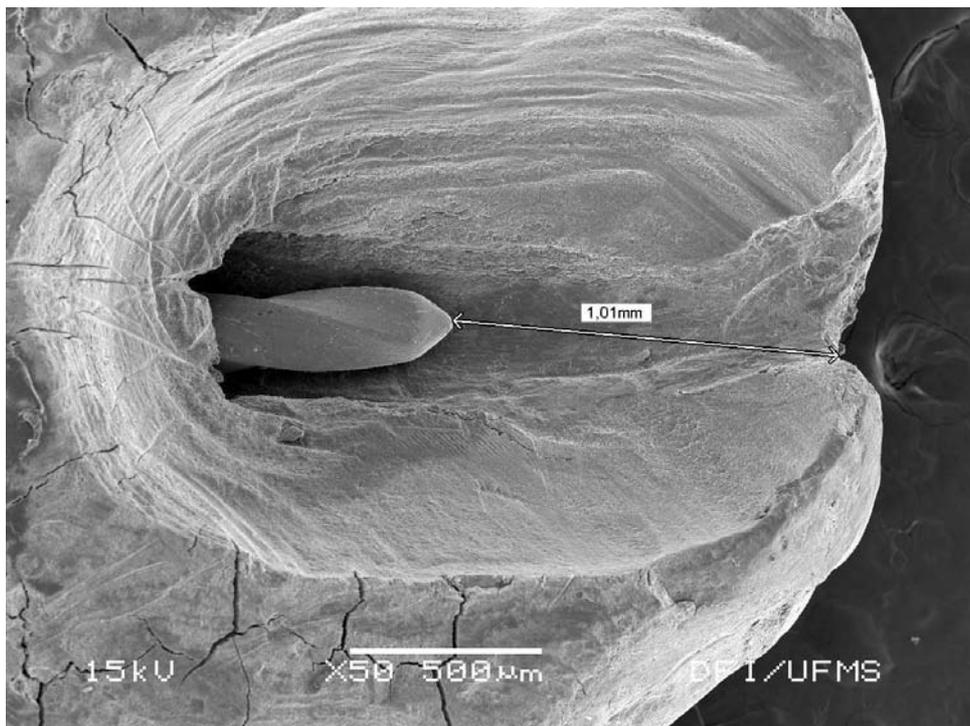
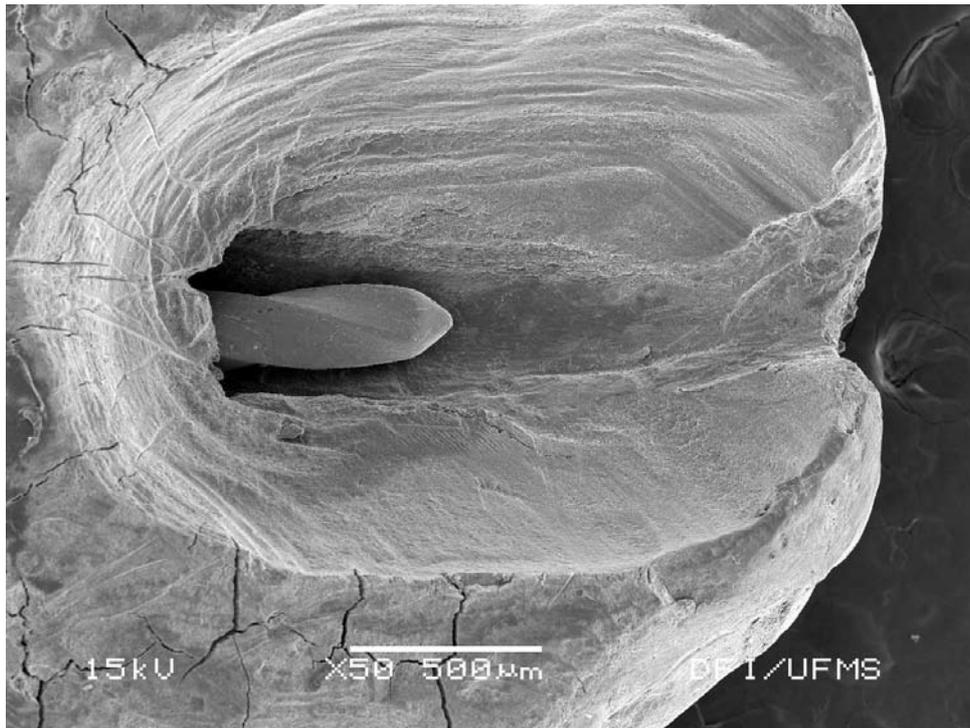


Figura 11 - Espécime 18, dente 32, leitura realizada com instrumento 10 K. Instrumento apical inicial 20 K. Polpa viva. D = 1,01mm.

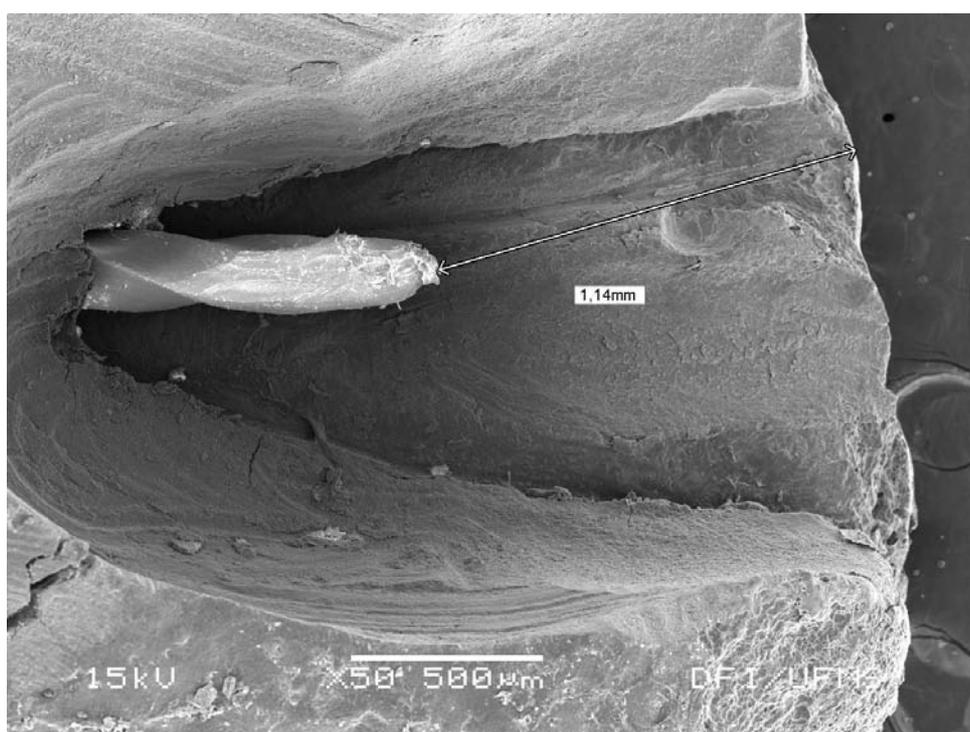
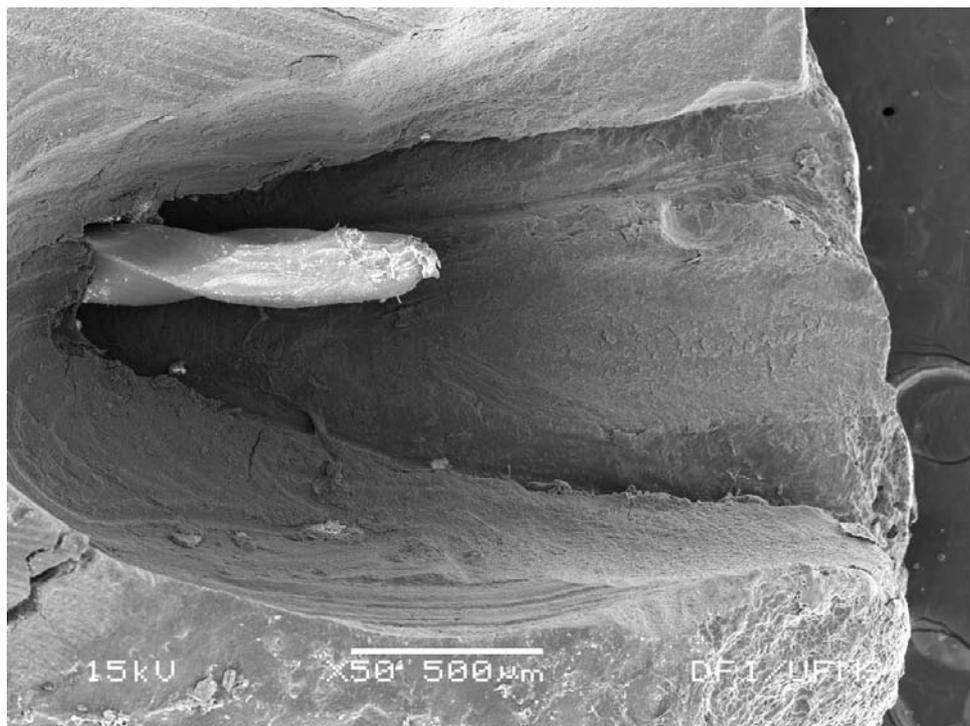


Figura 12 - Espécime 20, dente 41, leitura realizada com instrumento 10 K. Instrumento apical inicial 20 K. Polpa necrosada. D = 1,14mm.

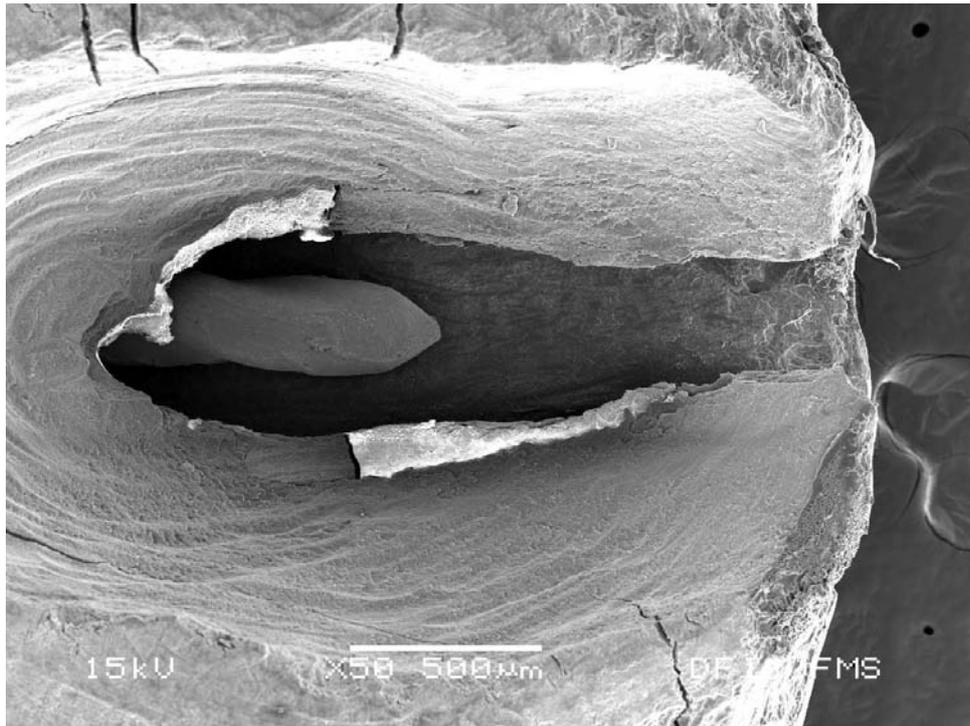


Figura 13 - Espécime 24, dente 31, leitura realizada com instrumento 15 K. Instrumento apical inicial 25 K. Polpa necrosada. D = 1,06mm



Figura 14 - Espécime 30, dente 36 (Canal MV), leitura realizada com instrumento 15 K. Instrumento apical inicial 20 K. Polpa viva. D = 1,92mm.

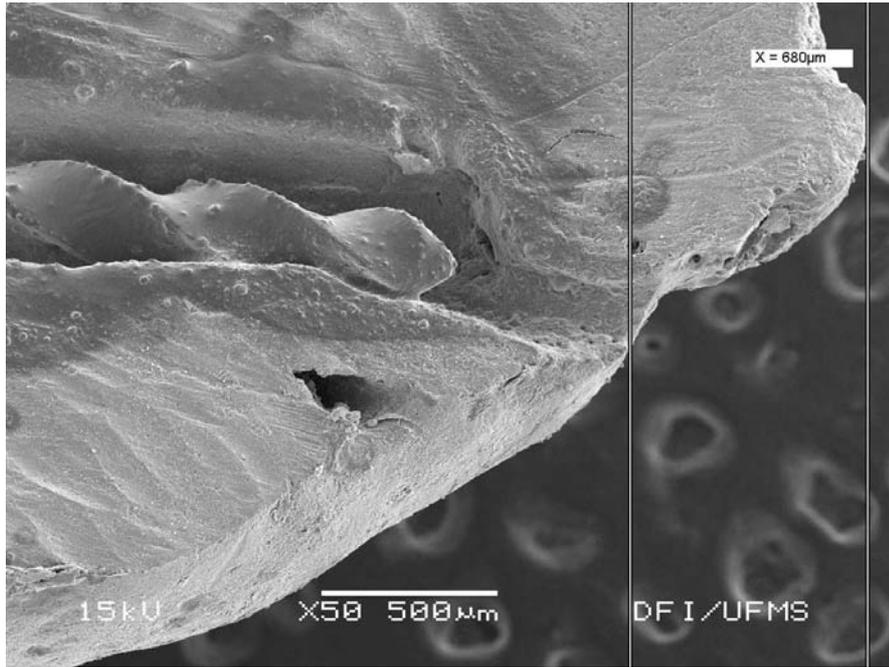


Figura 15 - Espécime 1, dente 35, leitura realizada com instrumento 25 K. Instrumento apical inicial 30 K. Polpa viva. D = 0,559mm. Distância AP-FA=0,680mm

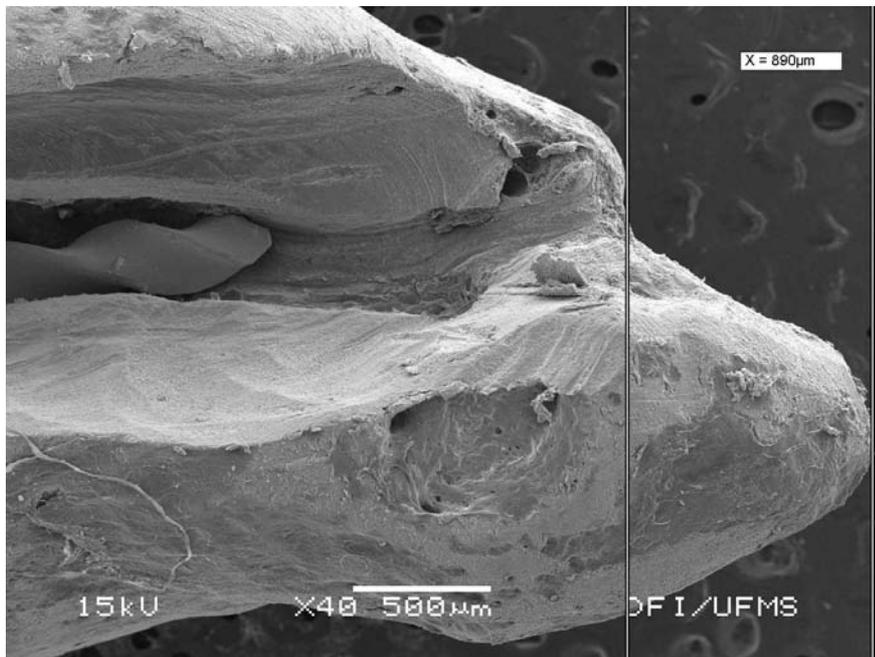


Figura 16- Espécime 5, dente 24(raiz V), leitura realizada com instrumento 25 K. Instrumento apical inicial 30 K. Polpa viva. D = 1,28mm. Distância AP-FA = 0,890mm.



Figura 17 - Espécime 12, dente 14 (raiz L), leitura realizada com instrumento 15 K. Instrumento apical inicial 20 K. Polpa viva. D = 0,404mm. Distância AP-FA = 1,24mm.

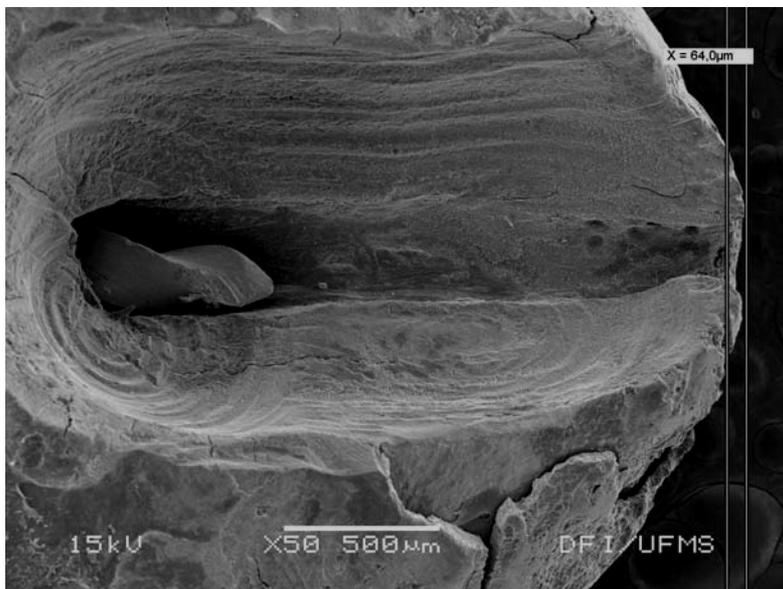


Figura 18 - Espécime 17, dente 31, leitura realizada com instrumento 15 K. Instrumento apical inicial 20 K. Polpa viva. D = 1,47mm. Distância AP-FA = 0,064mm

6 DISCUSSÃO

O método eletrônico de odontometria tem sido estudado com o propósito de adicionar aos procedimentos endodônticos precisão, rapidez e confiabilidade na mensuração, a fim de se determinar comprimento de trabalho, substituindo ou complementando a utilização do método radiográfico.

Os métodos radiográficos de odontometria ainda são os mais utilizados e difundidos aos clínicos no auxílio da terapia endodôntica. Entretanto, inúmeros trabalhos demonstram que é difícil obter radiografias sem distorções (OLSON *et al.*, 1991; WILLIAMS *et al.*, 2006). Abbot (1987) destacou ainda que as radiografias podem ser imprecisas devido às variações morfológicas do sistema de canais radiculares; ao forame apical nem sempre corresponder ao ápice radiográfico; a erros durante a interpretação radiográfica do observador; ao tempo gasto para tomada e processamento radiográfico e ao potencial de risco para a saúde do paciente e do profissional pela exposição à radiação ionizante.

Reforçando ainda mais o problema das variações morfológicas da região apical, constatamos através dos trabalhos de Dummer *et al.*, 1984; Morfis *et al.*, 1994; Gutierrez; Aguayo, 1995; Soares *et al.*, 2005, a incrível inconstância nas medidas correspondentes a distância forame apical e ápice anatômico com valores variando de 0 a 3,80 mm. Sendo o ápice anatômico a estrutura visível no Rx e, somente em duas dimensões, nos parece certo afirmar que o exame radiográfico não consegue indicar, ou ao menos sugerir o ponto exato correspondente ao forame apical.

Blaskovic-Subat *et al.* (1992) ressaltaram que o clínico deve considerar o desvio do forame durante o tratamento endodôntico, pois a radiografia não detecta esse desvio. Confirmando esses dados, Machado e Pesce (1981), analisando regiões apicais, sob magnificação, de radiografias de obturações coincidentes com o vértice apical (fim do ápice anatômico visto no Rx), encontraram 98,3% dos espécimes com a obturação ultrapassando o forame. Em trabalho com metodologia semelhante, Rosa Neto *et al.* (2001) encontraram 100% dos casos com sobreobturações. Isso se torna ainda mais crítico quando se trata de dentes com polpa necrosada portadores de lesões periapicais visíveis radiograficamente, pois de acordo com Ferlini Filho (1999), as radiografias convencionais não são recursos

adequados no diagnóstico de reabsorções radiculares apicais em estágios iniciais e esse problema acentua-se quando a lise radicular está presente na face vestibular ou palatina da raiz envolvida. Sendo assim, diante de um tratamento que necessita de precisão para que o sucesso seja alcançado, a radiografia não deveria ser fator isolado e conclusivo na determinação do limite de instrumentação e obturação dos canais radiculares.

Alguns estudos obtiveram índices satisfatórios (OLSON *et al.*, 1991; SOARES *et al.*, 2005), outros índices desfavoráveis (MACHADO; PESCE, 1981; PRATTEN; McDONALD, 1996; ROSA NETO *et al.*, 2001) de precisão e confiabilidade pelo método radiográfico de odontometria. Isso pode ser explicado a partir da metodologia utilizada, pois quando analisamos os experimentos *in vitro*, encontramos facilidade de posicionamento da película radiográfica, e da obtenção de uma correta angulação e, por isso, os experimentos realizados em dentes extraídos, cadáveres e crânios secos obtêm porcentagem maior de resultados satisfatórios (RAMOS, 1998).

Na maioria dos experimentos realizados clinicamente, a precisão do método radiográfico obteve resultados insatisfatórios (ARORA; GULABIVALA, 1995; FERREIRA *et al.*, 1998; WILLIAMS *et al.*, 2006).

Foram executados *in vivo*, vários estudos (BRAMANTE; BERBET, 1974; ARORA; GULABIVALA, 1995; SHABAHANG *et al.*, 1996; VAJRABHAYA; TEPMONGKOL, 1997; PILOT; PITTS, 1997; DUNLAP *et al.*, 1998; PAGAVINO *et al.*, 1998; RAMOS, 1998; WRBAS *et al.*, 2007) para avaliar a precisão e confiabilidade do método eletrônico. Essas investigações selecionaram pacientes com dentes indicados para extração por motivos periodontais, ortodônticos ou protéticos. Essa metodologia parece ser a que oferece resultados mais próximos do que acontece clinicamente, pois proporciona a visualização direta do estabelecimento do limite apical determinado pelo método eletrônico, em relação à posição real do forame apical.

Em nosso estudo utilizamos metodologia semelhante à maioria dos trabalhos que avaliaram *in vivo* a precisão dos aparelhos localizadores foraminais, diferindo na diversificação dos grupos morfológicos dos dentes, tipo de fixação do instrumento no canal e, principalmente, no método de visualização e mensuração da posição real da extremidade final do instrumento e a real saída do forame apical (forame maior). Os

métodos adotados para mensurar essas distâncias geralmente são: paquímetro (RAMOS; BERNARDINELLI, 1994; RAMOS, 1998) ou softwares de imagens (IBARROLA *et al.*, 1999) em aumentos oriundos de lupas estereoscópicas variando de 07 até 100 vezes. A opção pela mensuração do MEV foi por que esse equipamento apresenta grande poder de magnificação com elevada qualidade da imagem, proporcionando alta nitidez, profundidade de foco (imagem com aparência tridimensional) e dispõe de softwares específicos de precisão para aferição de unidades de medida (KLAUSS, 2005). Diante de um trabalho onde estamos medindo distâncias tão pequenas, a fim de avaliar a precisão de um aparelho que trabalha em décimos de milímetros, nos pareceu oportuno a escolha de uma ferramenta para avaliação que representasse, no presente, qualidade exata na mensuração, resultando em medidas confiáveis que não comprometessem o resultado dessa pesquisa. No trabalho de Pagavino *et al.* (1998), fica evidente a grande diferença nas imagens geradas pelo estereomicroscópio 40x quando comparadas ao MEV no mesmo aumento, quanto a sua profundidade de foco e conseqüente nitidez.

As medições foram realizadas sob condições e variáveis clínicas pertencentes ao próprio tratamento endodôntico e reunindo no grupo investigado diferentes tipos morfológicos de dentes, alcançando assim uma maior diversificação de situações anatômicas possíveis durante o experimento. O número de canais do nosso estudo foi 24, divididos em 04 primeiros pré-molares superiores, 03 segundos pré-molares inferiores, 06 incisivos laterais inferiores, 06 incisivos centrais inferiores, 01 canino inferior e 01 primeiro molar inferior. A escolha por essa quantidade de canais foi realizada em função de ser uma amostra que apresentou conformidade com a análise estatística. Outro fator a ser considerado está no alto custo para utilização do MEV na aferição das medidas, pois esse equipamento, apesar de todas as vantagens já descritas, tem uma alta manutenção e precisa de técnico especializado para operá-lo. Em conformidade, encontramos grande parte dos trabalhos pertinentes ao assunto com aproximadamente esse número na amostra (SHABAHANG *et al.* 1996; VAJRABHAYA; TEPMONGKOL, 1997; PILOT; PITTS, 1997; DUNLAP *et al.*, 1998; PAGAVINO *et al.*, 1998).

O preparo dos terços cervical e médio foi realizado previamente à medição, pois de acordo com os resultados encontrados no estudo de Ibarrola *et al.* (1999), que avaliaram o localizador Root ZX, os valores obtidos pelo aparelho com a técnica de instrumentação progressiva encontraram-se muito mais próximos do

comprimento real de trabalho. Esse fato provavelmente deve-se ao fato do instrumento poder tocar mais paredes na região apical, fazendo de maneira mais efetiva a leitura da impedância da região.

Nos casos de polpa viva, a pulpectomia parcial foi realizada, pois segundo Ramos e Bramante (2005), a presença de polpa, principalmente inflamada, por exibir potencial de condutividade elétrica alterado, exibe valores acima dos calibrados para os aparelhos, dificultando a execução da mensuração ou até mesmo alterando.

Na evolução dos aparelhos localizadores encontramos a imprecisão do método eletrônico, na 1ª e 2ª gerações, baseada no fato do canal radicular conter umidade. Se, por um lado, sabe-se que a determinação do comprimento real de trabalho deve ser estabelecida antes da remoção total do tecido pulpar ou necrosado, por outro, os canais radiculares deveriam ser ampliados para possibilitar sua secagem baseados em comprimentos aparentes, o que poderia conduzir a erros de difícil reparo na porção apical do dente. Especialmente, diante desse fato surgiram os localizadores foraminais de 3ª geração (KOBAYASHI; SUDA, 1994).

Com a proposta de eliminar riscos de desconforto para o paciente, há necessidade do emprego de uma corrente elétrica alternada muito baixa, aproximadamente 2 microamperes, e é por isso que, para o funcionamento adequado dos localizadores foraminais eletrônicos do tipo frequência-dependente (3ª geração), há necessidade da presença de substâncias eletrolíticas no interior do canal radicular (TEIXEIRA; FIGUEIREDO, 2004). Diante disso e alicerçado na literatura pertinente (KOBAYASHI; SUDA, 1994; ARORA; GULABILAVA, 1995; MEAREZ; STEIMAN, 2002) a qual relata não haver influência da solução irrigadora utilizada que, na maioria das vezes foi o hipoclorito de sódio em diferentes concentrações, a irrigação dos canais foi realizada com hipoclorito de sódio a 1%, independente do estado pulpar, tomando-se somente o cuidado de remover o excesso de líquido da câmara pulpar, conforme recomendações de Ramos e Bramante (2005), do *modus operandi* para os localizadores foraminais eletrônicos de terceira geração. Dunlap *et al.* (1998), Arora e Gulabivala (1995) também removeram o excedente de solução irrigadora da câmara pulpar antes da medição. De acordo com os autores, esse procedimento evita que a solução irrigadora entre em contato com o meio externo a cavidade pulpar, promovendo um desvio na passagem de corrente elétrica, levando ao erro de leitura do aparelho.

Nessa investigação, executamos as medições do forame apical, utilizando a demarcação do visor do aparelho correspondente a “FO”, para então com o auxílio de paquímetro digital, medirmos a lima de leitura e recuarmos 1mm, procedendo então em seqüência a fixação de instrumento, que melhor se ajustasse, nessa medida do canal radicular. A opção em realizar a medição do forame apical, foi executada pois segundo Ramos e Bramante (2005), a parede do canal radicular, no terço apical, tornar-se menos espessa, diminuindo sua capacidade de isolamento elétrico. Esta diminuição gradativa é interpretada eletricamente como uma diminuição da impedância (capacidade que os materiais exibem de impedir a passagem de corrente elétrica) do meio que está sendo medido. A presença da constrição apical delimita o isolamento elétrico parcial do canal radicular, em relação ao tecido periodontal, e sua continuidade com os demais tecidos bucais. Esse limite norteia a leitura dos aparelhos de medição eletrônica do canal radicular, proporcionando uma variação sensível de impedância. Esta variação é traduzida pela diminuição dos valores da escala do visor do aparelho. Nos casos de ápice incompleto, reabsorção apical avançada ou sobreinstrumentação, a constrição apical pode estar comprometida ou ausente, alterando a conformação elétrica do canal radicular. A variação da impedância da parede dentinária do terço apical será reduzida, indicando leituras mais curtas. O fluxo de corrente nesse local se altera, propiciando valores de gradiente de voltagem muito próximos aos valores do ligamento periodontal apical. Esse fato interfere na leitura da variação da impedância, calculada a partir de duas ou mais freqüências de corrente alternada, provocando leituras anteriores à posição predeterminada de aproximadamente 1mm (ponto 1,0 do aparelho) aquém do forame apical. Além do fato das medições elétricas do forame apical serem mais precisas, a endodontia atual trabalha localizando e limpando o canal em toda sua extensão, para então, de acordo com as filosofias e protocolos de tratamentos, recuar de 0,5 a 1,5mm em média para execução da modelagem e conseqüente obturação do sistema de canais radiculares.

É importante enfatizar que a manobra de se descontar 1mm da medição do forame apical foi realizada para que pudéssemos visualizar com clareza a anatomia da região apical, identificando com exatidão a real saída foraminal, fato que poderia ser bastante dificultado com a presença do instrumento nessa região.

Ao analisar os resultados do experimento, notamos que os testes estatísticos, referentes aos dados apresentados pelas leituras do aparelho QUILL® em relação a medida hipotética de 1mm, não representaram diferenças estatisticamente significativas. Estes resultados são concordantes com os trabalhos de (KOBAYASHI e SUDA, 1994; NGUYEN *et al.*, 1996; SHABAHANG *et al.*, 1996; VAJRABHAYA e TEPMONGKOL, 1997; DUNLAP *et al.*, 1998; PAGAVINO *et al.*, 1998; RAMBO *et al.*, 2004; WRBAS *et al.*, 2007; PEREIRA *et al.*, 2008) os quais testaram também aparelhos de 3ª geração.

O aparelho apresentou média na amostragem de 1.089 mm e desvio padrão $\pm 0,437$ mm. Segundo as condições biológicas pulpare e a localização média da constrição apical, o aparelho comportou-se dentro de um limite clínico aceitável de determinação do comprimento de trabalho. Cabe enfatizar que mesmo os espécimes que apresentaram medidas extremas, possibilitariam a realização dos procedimentos de instrumentação e obturação do canal radicular em níveis aceitáveis no tratamento endodôntico.

O intervalo de confiança fornecido pelo teste estatístico, calculado para 99,99% está compreendido entre 0,682 e 1,496 mm. Isto equivale a dizer que existe apenas 0,01% de possibilidade do aparelho fornecer medidas que não estejam compreendidas nesse intervalo, o que atesta a confiabilidade do localizador foraminal. O coeficiente *r* calculado foi de 0,996, sendo que o valor máximo que esse parâmetro pode assumir é 1. Este valor indica o grau de precisão entre as medidas obtidas com o aparelho e o valor hipotético de 1 mm estipulado na metodologia. Desta forma, de acordo com este coeficiente, é possível afirmar que o aparelho é muito preciso.

A variação dos valores das medidas nos espécimes pode ser elucidada pela complexa anatomia do canal radicular no seu terço apical. Kobayashi (1995) salientou que, nos casos onde há presença de canais laterais amplos, as medidas poderão ser influenciadas, demarcando um comprimento de trabalho mais curto. Essa afirmação vem ao encontro dos resultados de Ardesna *et al.* (2008), que investigaram a relação entre impedância radicular e anatomia apical em dentes humanos e demonstraram que os valores de impedância encontrados em canais com um único forame foram significativamente maiores quando comparados aos de anatomia complexa (vários forames) e diante disso, descrevem que o aparelho

interpreta o aumento da capacitância do terço apical do canal, gerando leituras mais curtas. Quando analisamos o trabalho de Wrbas *et al.* (2007), verificamos que ocorreu elevada taxa de discrepância nas medidas do mesmo dente para os dois localizadores estudados e isso pode ser explicado através do trabalho de Al-Bulushi *et al.* (2008) que avaliaram também a impedância radicular descrevendo os efeitos da sua variação após o preparo químico-mecânico e também pós remoção do material obturador no retratamento. Os autores ressaltaram que após a instrumentação, pelo fato da dentina se tornar menos espessa a impedância diminui, mas relataram também que a presença de *smear layer*, de restos dentinários, ou materiais obturadores residuais no retratamento podem obliterar túbulos dentinários e ramificações no terço apical, contribuindo para o aumento da impedância, diminuindo a condutividade elétrica do canal.

A estrutura anatômica ápice tem sido erroneamente utilizada como o local referencial para se determinar o comprimento real de trabalho. Simon (1994) enfatizou que o ápice radiográfico pode diferir bastante do anatômico, especialmente quando apresenta curvaturas no plano vestibulo lingual.

A constrição apical apresenta variação da sua distância média dentro do espaço de 1 mm aquém do forame apical: 0,524 e 0,659mm (KUTTLER, 1955), 0,52 a 0,66mm (GREEN, 1956), 1,2mm (HASSANIEN *et al.*, 2008), podendo diferir da localização do limite CDC. Segundo Hassanien *et al.*, (2008) a constrição apical está sempre localizada no sentido mais coronário em relação ao limite CDC.

Respeitando os princípios biológicos da preservação dos tecidos periapicais, a maioria dos autores determinaram a necessidade de um limite apical que não cause dano tecidual, favorecendo o reparo e ou regeneração dessa área. Diante disso, vários trabalhos demonstraram que os limites de instrumentação e obturações devem estar limitados à região da constrição apical (RICUCCI; LANGELAND, 1998).

O reconhecimento clínico e radiográfico da constrição apical é praticamente impossível. Mesmo assim, o clínico tem como referência, no exame radiográfico, a imagem apical para se basear na determinação do comprimento de trabalho. Sabendo que anatomicamente, existe uma grande variabilidade na distância entre o ápice radiográfico, forame apical, tendo sido demonstrado que essas diferenças representam mais regra do que exceção (DUMMER *et al.*, 1984; BLASKOVIC-SUBAT *et al.*, 1992; MORFIS *et al.*, 1994; GUTIERREZ; AGUAYO, 1995; EHAB *et al.*, 2008) e que grande parte das escolas de Odontologia no Brasil recorrem aos

ensinamentos do método radiográfico da prova e erro de Ingle (subtração de 1mm do ápice visto no Rx) para determinação do comprimento real de trabalho, investigamos também, na amostra dos dentes submetidos a leitura pelo localizador, a distância do ápice anatômico ao forame apical.

O estudo encontrou valores de 0,064 a 1,24 mm, com média de 0,447mm e desvio padrão \pm 0,3135, na amostra dos 24 canais lidos pelo localizador foraminal. Apesar do pequeno número de raízes analisadas, os resultados foram concordantes com os trabalhos de Dummer *et al.* (1984) que encontraram média de 0,38 mm com uma grande variação nos dentes pré-molares, fato que também ocorreu em nosso experimento. Blaskovic-Subat *et al.* (1992), encontraram média da distância ápice forame de 0,99 mm. Morfis *et al.* (1994) relataram que a distância nunca ultrapassou 1 mm. Gutierrez e Aguayo (1995) encontraram valores variando de 0,20 a 3,80 mm e ressaltou que em função disso, a identificação da abertura do forame é praticamente impossível e que a sobreinstrumentação do canal deve ser uma ocorrência comum e despercebida.

O limite CDC e a constrição apical são variáveis, mas apresentam-se com médias próximas a 1mm ou localizados com grande variabilidade dentro desse comprimento em relação ao forame apical. Se for requisito para o sucesso do tratamento endodôntico, uma obturação nesses limites ou próximo deles, poderá haver uma grande variação quando do uso do método radiográfico, sobre instrumentações serão causadas e subobturações também podem ocorrer, ou seja, complicações que podem ocasionar os piores índices de sucesso no tratamento endodôntico. (MACHADO; PESCE, 1981; SWARTZ *et al.*, 1983; ROSA NETO *et al.*, 2001)

Considerando a importância do estabelecimento de um correto limite apical de instrumentação e obturação, que respeite o espaço biológico delimitado pelos tecidos apicais, e as limitações do método radiográfico na localização precisa desse limite, o protótipo funcional do aparelho QUILL® mostrou-se adequado e confiável na determinação do comprimento de trabalho, a partir da verificação do forame apical, pois a partir da identificação dessa estrutura anatômica, poderemos recuar 1 mm para ficarmos próximos da média do limite almejado pelos profissionais, ou seja, a constrição apical. Além disso, Mc Donald (1992) evidenciou a importância de se utilizar os localizadores foraminais em casos de molares superiores em função da interferência na radiografia do processo zigomático da maxila, pacientes gestantes,

pacientes que não podem receber radiação ionizante, com dificuldade de abertura bucal e náusea.

A obtenção e interpretação correta dos dados indicados pela leitura eletrônica, a partir da utilização de aparelhos de 3ª geração, fundamentados no novo método da atenuação espectral radicular, quer seja no atestado método da razão, adicionados à medição da imagem radiográfica inicial diagnóstica, cooperam para o sucesso na determinação de um comprimento de trabalho aceitável, confinando os procedimentos de limpeza, modelagem e obturação em região que favoreça a cura dos tecidos apicais.

7 CONCLUSÕES

Considerando a metodologia deste trabalho, seus resultados e a discussão sobre eles, é lícito concluir que:

- O protótipo funcional do localizador foraminal eletrônico QUILL[®] mostrou-se preciso e confiável na determinação de um comprimento de trabalho satisfatório no tratamento endodôntico.

REFERÊNCIAS¹

Abbott P. Clinical evaluation of an electronic root canal measuring device. Aust Dent J. 1987; 32 (1): 17-21.

Al-Bulushi A, Levinkind M, Flanagan M, Ng YL, Gulabivala K. Effect of canal preparation and residual root filling material on root impedance. Int Endod J. 2008; 41: 892-904.

Ardesna SM, Flanagan M, Ng YL, Gulabivala K. An investigation into the relationship between apical root Impedance and canal anatomy [abstracts British Endodontic Society Spring Scientific Meeting 2008]. Int Endod J .2008

Arora RK, Gulabivala K. An in vivo evaluation of the Endex and RCM Mark II electronic apex locators in root canals with different contents. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1995; 79 (4): 497-503.

Blaskovic-Subat V, Marici B, Sutalo J. Asymmetry of the root canal foramen. Int Endod J. 1992; 3: 158-164.

Bramante CM, Berbet A. A critical evaluation of some methods of determining tooth length. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1974; 37: 463-73.

Christie WH, Peikoff MD, Hawrish CE. Clinical observations on a newly designed electronic apex locator. J Canad Dent Ass. 1993; 59(9): 765-72

Clasen AJ. Avaliação "in vitro" da mensuração do comprimento de dentes com cinco modelos de localizadores apicais eletrônicos [Dissertação]. Bauru: Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 2003.

Cunha D'assunção FL, Albuquerque DS, Ferreira LCQ. The ability of two apex locators to locate the apical foramen: an "in vitro" study. J Endod. 2006; 32(6):560-2.

Dummer PMH, Mcginn JH, REES DG. The position and topography of the apical constriction and apical foramen. *Int Endod J.* 1984; 17:192-8.

Dunlap C, Remeikis NA, BeGole EA, Rauschenberger CR. An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals. *J Endod.* 1998; 24(1):48-50.

Ferlini Filho. Estudo radiográfico e microscópico das reabsorções radiculares na presença de periodontites apicais crônicas (microscopia óptica e de varredura). [Tese]. Bauru: Faculdade de Odontologia de Bauru, Universidade de São Paulo; 1999.

Ferreira CM, Fröner IC, Bernardineli N. Utilização de duas técnicas alternativas para localização do forame apical em endodontia: avaliação clínica e radiográfica. *Rev Odontol Univ São Paulo.* 1998; 12(3):241-6.

Fouad AF, Reid LC. Effect of using electronic apex locators on selected endodontic treatment parameters. *J Endod.* 2000; 26(6): 364-7.

Gamba HR, Piazzalunga R, Maia JM, Ramos CAS, Ratzke AS, Rambo MVH. Radicular spectral attenuation coefficient for use in endodontic foraminal locator. Organização das nações unidas, WO/2007/028217. 15/03/2007.

Gordon MPJ, Chandler NP. Electronic apex locators. *Int Endod J.* 2004; 37: 425-37.

Goldberg F, Marroquín BB, Frajlich S, Dreyer C. "In vitro" evaluation of the ability of three apex locators to determine the working length during retreatment. *J Endod.* 2005; 31(9):676-8.

Green D. A stereomicroscopic study of apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1956; 9:1224-32.

Gutierrez JH, Aguayo P. Apical foraminal openings in human teeth – number and location. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1995; 79(6):769-77.

Hassanien EE, Hashem A, Chalfin H. Histomorphometric Study of the root apex of mandibular premolar teeth: An attempt to correlate working length measured with electronic and radiograph methods to various anatomic positions in the apical portion of the canal. *J Endod.* 2008; 34(4):408-12.

Ibarrola JL, Chapman BL, Howard JH, Knowles KI, Ludlow MO. Effect of preflaring on Root ZX apex locators. *J Endod.* 1999; 25: 625–26.

Kaufman AY, Keila S, Yoshpe M. Accuracy of a new apex locator: an in vitro study. *Int Endod J.* 2002; 35:186-92.

Klauss P. <http://www.materiais.ufsc.br/lcm/webMEV/tcc%20Pri.pdf>. Dispersiva UFSC/EMC –LabMat/LCMAI. Acesso em 20/03/2009. Disponível em: http://www.materiais.ufsc.br/lcm/web-MEV/MEV_index.htm

Kobayashi C. eletronic canal length measurement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1995; 79(2):226-31.

Kobayashi C, Suda H. New electronic canal measuring device based on the ratio method. *J Endod.* 1994; 20(3): 111-4.

Kutler Y. Microscopic investigation of root apexes. *J. Americ. Dent Ass.* 1955; 50: 544 – 52.

Lambriandis, T. Observer variations in radiographic evaluation of endodontic therapy. *Endod Dent Traumat* 1985; 1:235-41.

Lucena-Martín C, Robles-Gijón V, Ferrer-Luque CM, Mondelo JMNR. "In vitro" evaluation of the accuracy of three electronic apex locators. *J. Endod.* 2004; 30 (4): 231-3.

Machado MEL, Pesce HF. Estudo da região apical de dentes tratados endodonticamente até o vértice radiográfico da raiz. *Rev APCD.* 1981; 35(6): 534-7.

Mc Donald NJ. The electronic determination of working length. *Dental Clin of North American.* 1992; 36(2): 293-307.

Meares WA, Steiman HR. The Influence of Sodium Hypochlorite Irrigation on the Accuracy of the Root ZX Electronic Apex Locator. *J Endod.* 2002; 28(8): 595-8.

Milano NF, Werner SM, Kapczinski, M. Localização do forame apical; a real localização versus métodos usuais de condutometria. *Rev Gaúcha Odontol* 1983; 31(3): 220-4.

Morfis A, Sylaras S N, Georgopoulou M, Kernani M, Prountzos F. Study of the apices of human permanent teeth with the use of a scanning electron microscope. *Oral surg Oral Med Oral Pathol.* 1994; 77 (2):172-6.

Nguyen HQ, Kaufman AY, Komorowski RC, Friedman S. Electronic length measurement using small and large files in enlarged canals. *Int Endod J* 1996; 29 (6):359-64.

Olson AK, Goerig AC, Cavataio RE, Luciano J. The ability of the radiograph to determine the location of the apical foramen, *Int Endod J.* 1991; 24(1): 28-35.

Olson DG, Roberts S, Joyce AP, Collins DE, McPherson JC. Unevenness of the Apical Constriction in Human Maxillary Central Incisors. J Endod. 2008; 34(2): 157-9.

Pagavino G, Pace R, Baccetti T. A sem study of “*in vitro*” accuracy of the Root ZX electronic apex locator. J. Endod. 1998;(24)6: 438-41.

Pereira KFS, Guerisoli DMZ, Yoshinari GH, Arashiro FN, Chita JJ, Ramos CAS. Avaliação comparativa da precisão dos localizadores foraminais eletrônicos FIT e Root ZX II: Investigação “*ex vivo*”. Rev Inpeo Odont. 2008; 1(2): 89-95.

Pilot TF, Pitts DL. Determination of impedance changes at varying frequencies in relation to root canal file position and irrigant. J Endod. 1997; 23: 719-24.

Ponce E, Fernández J. The cemento-dentino-canal junction, the apical foramen, and the apical constriction: evaluation by optical microscopy. J Endod. 2003; 29 (3):214-9.

Pratten DH, McDonald NJ. Comparison of radiographic and electronic working lengths. J Endod. 1996; 22: 173-6.

Rambo MVH, Brochado VHD, Medeiros MA, Sovierzoski, Ramos CAS, Prescinotti R, Gambá HR. Novo localizador foraminal eletrônico no domínio da frequência. Proceedings of international federation for medical and biological engineering; 2004; 5: 649-52. [apresentado no III CLAEB, João Pessoa].

Ramos CAS, Bernardinelli N. Influência do diâmetro do forame apical na precisão de leitura de um modelo de localizador apical eletrônico. Rev. FOB. 1994; 2(3): 83-90.

Ramos CAS. Avaliação *in vivo* da precisão de leitura de um modelo de localizador apical eletrônico. [Tese de doutorado]. Bauru: Faculdade de Odontologia de Bauru – Universidade de São Paulo; 1998.

Ramos CAS, Bramante CM. Odontometria, fundamentos e técnicas. São Paulo: Livraria Santos Editora; 2005.

Ramos CAS, Bramante CM. Localizadores foraminais eletrônicos(terceira geração). In: Leonardo MR, Leonardo RT. Endodontia: Conceitos biológicos e recursos tecnológicos São Paulo: Artes médicas Editora; 2009. p.129-61.

Ricucci D, Langeland L. Apical limit of root canal instrumentation and obturation: part 2—a histologic study. Int Endod J.1998; 31(6): 394-409.

Rosa Neto JJ, Esberard RM, Consolaro A. Estudo em microscopia eletrônica de varredura do ápice radicular e do limite apical de obturação em dentes portadores de lesão apical crônica – Dental Press [CD-ROM). Maringá: Rev Dent Press; 2001.

Saad AY, Al-Yahya A S. The location of the cementodentinal junction in single-rooted mandibular first premolars from Egyptian and Saudi patients: a histological study. Int Endod J. 2003; 36: 541-4.

Saad AY, Al-Nazhan S. Radiation dose reduction during endodontic therapy: A new technique combining an apex locator (Root ZX) and a digital imaging system (radiovisiography). J Endod. 2000; 26(3): 144-7.

Santos JCB. Análise comparativa, “in vitro”, da eficiência na odontometria de três localizadores apicais (Root Zx, Bingo 1020 e Novapex). [Tese]. Piracicaba: Faculdade de Odontologia de Piracicaba - Universidade Estadual de Campinas; 2005.

Shabahang S, Goon WWY, Gluskin AH. An “in vivo” evaluation of Root ZX eletronic apex locator. J. Endod. 1996; 22(11): 616-8.

Simon JHS The apex: how critical is it? Gen Dent. 1994;42: 330-4.

Soares JA, Silveira FF, Nunes E, Jham B, Borges EF. Análise *in vitro* da distância do forame principal ao extremo radiográfico dos dentes anteriores. Arq Odontol. 2005; 41(3): 215-25.

Sunada I. New method for measuring the length of the root canal. J. Dent Res. 1958; 41(2): 375-87.

Swartz DB, Skidmore AE, Griffin JA. Twenty years of endodontic success and failure. J Endod. 1983 9(5):198-202.

Teixeira LP, Figueiredo JAP. Odontometria. In Lopes HP, Siqueira Jr. JF. Endodontia: biologia e técnica. 2ª edição. São Paulo: Guanabara Koogan s.a. Editora; 2004. p. 307-322.

Vajrabhaya L, Tepmongkol P. Accuracy of apex locator. End Dental Traumatol. 1997; 13: 180-2.

Williams CB, Joyce AP, Roberts SA. Comparison between in vivo radiographic working length determination and measurement after extraction. JOE. 2006; 32: 624–627.

Wrbas KT, Ziegler A A, Altenburger MJ, Schirrmeister JF. In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. J Endod J. 2007; 40: 133-8.

Yamaoka M, Yamashita Y, Saito T. Electrical root canal measuring instrument based on a new principle – makes measurements possible in a wet root canals. Japão: Osada Product Information; 1989: 12 p.

APÊNDICE A

Tabela 1- Instrumento de leitura (IL), instrumento apical inicial (IAI), condição pulpar e medida da distância ponta do instrumento (I) ao forame apical (FA) dos dentes analisados.

| Espécime | Dente | IL | IAI | Condição Pulpar | Distância em mm (I-FA) |
|----------|--------|----|-----|-----------------|-------------------------|
| 01 | 35 | 25 | 30 | Bio | 0,559 |
| 02 | 24-V | 15 | 20 | Bio | 0,906 |
| 03 | 24-L | 10 | 15 | Bio | 0,898 |
| 04 | 14-V | 10 | 15 | Bio | 0,724 |
| 05 | 24-V | 25 | 30 | Bio | 1,280 |
| 06 | 24-L | 20 | 30 | Bio | 1,520 |
| 07 | 32 | 15 | 20 | Bio | 0,916 |
| 08 | 35 | 25 | 30 | Bio | 0,658 |
| 10 | 32 | 15 | 20 | Bio | 1,090 |
| 12 | 14-L | 15 | 20 | Bio | 0,404 |
| 13 | 42 | 15 | 20 | Bio | 2,010 |
| 14 | 41 | 15 | 20 | Bio | 0,602 |
| 15 | 42 | 15 | 20 | Bio | 0,451 |
| 16 | 43 | 20 | 25 | Bio | 1,460 |
| 17 | 31 | 15 | 20 | Bio | 1,470 |
| 18 | 32 | 10 | 20 | Bio | 1,010 |
| 19 | 45 | 15 | 25 | Necro | 1,200 |
| 20 | 41 | 10 | 20 | Necro | 1,140 |
| 21 | 31 | 15 | 25 | Necro | 1,630 |
| 22 | 41 | 15 | 20 | Necro | 0,622 |
| 23 | 42 | 15 | 20 | Necro | 1,080 |
| 24 | 31 | 15 | 25 | Necro | 1,060 |
| 29 | 36 – D | 15 | 20 | Bio | 1,530 |
| 30 | 36- MV | 15 | 20 | Bio | 1,920 |
| Média | | | | | 1,089 |
| DP | | | | | ±0,437 |

V e L representam respectivamente raiz vestibular e raiz lingual. MV raiz méso- vestibular e D raiz distal.

Tabela 2- Instrumento de leitura (IL), instrumento apical inicial (IAI), condição pulpar e medida da distância ápice anatômico (AP) ao forame apical (FA).

| Espécime | Dente | IL | IAI | Condição Pulpar | Distância em mm (AP-FA) |
|----------|--------|----|-----|-----------------|-------------------------|
| 01 | 35 | 25 | 30 | Bio | 0,680 |
| 02 | 24-V | 15 | 20 | Bio | 0,684 |
| 03 | 24-L | 10 | 15 | Bio | 0,480 |
| 04 | 14-V | 10 | 15 | Bio | 0,308 |
| 05 | 24-V | 25 | 30 | Bio | 0,890 |
| 06 | 24-L | 20 | 30 | Bio | 0,224 |
| 07 | 32 | 15 | 20 | Bio | 1,100 |
| 08 | 35 | 25 | 30 | Bio | 0,328 |
| 10 | 32 | 15 | 20 | Bio | 0,392 |
| 12 | 14-L | 15 | 20 | Bio | 1,240 |
| 13 | 42 | 15 | 20 | Bio | 0,195 |
| 14 | 41 | 15 | 20 | Bio | 0,252 |
| 15 | 42 | 15 | 20 | Bio | 0,444 |
| 16 | 43 | 20 | 25 | Bio | 0,388 |
| 17 | 31 | 15 | 20 | Bio | 0,064 |
| 18 | 32 | 10 | 20 | Bio | 0,116 |
| 19 | 45 | 15 | 25 | Necro | 0,715 |
| 20 | 41 | 10 | 20 | Necro | 0,156 |
| 21 | 31 | 15 | 25 | Necro | 0,240 |
| 22 | 41 | 15 | 20 | Necro | 0,304 |
| 23 | 42 | 15 | 20 | Necro | 0,256 |
| 24 | 31 | 15 | 25 | Necro | 0,088 |
| 29 | 36 – D | 15 | 20 | Bio | 0,700 |
| 30 | 36- MV | 15 | 20 | Bio | 0,480 |
| Média | | | | | 0,447 |
| DP | | | | | ±0,313 |

V e L representam respectivamente raiz vestibular e raiz lingual.
 MV, raiz méso- vestibular e D, raiz distal.

Tabela 3- Instrumento de leitura (IL), instrumento apical inicial (IAI), condição pulpar, medida da distância ponta do instrumento (I) ao forame apical (FA) e medida da distância ápice anatômico (AP) ao forame apical (FA) em mm dos dentes analisados

| Espécime | Dente | IL | IAI | Condição Pulpar | Medida em mm (I-FA) | Medida em mm (AP-FA) |
|----------|--------|----|-----|-----------------|---------------------|----------------------|
| 01 | 35 | 25 | 30 | Bio | 0,559 | 0,680 |
| 02 | 24-V | 15 | 20 | Bio | 0,906 | 0,684 |
| 03 | 24-L | 10 | 15 | Bio | 0,898 | 0,480 |
| 04 | 14-V | 10 | 15 | Bio | 0,724 | 0,308 |
| 05 | 24-V | 25 | 30 | Bio | 1,280 | 0,890 |
| 06 | 24-L | 20 | 30 | Bio | 1,520 | 0,224 |
| 07 | 32 | 15 | 20 | Bio | 0,916 | 1,100 |
| 08 | 35 | 25 | 30 | Bio | 0,658 | 0,328 |
| 10 | 32 | 15 | 20 | Bio | 1,090 | 0,392 |
| 12 | 14-L | 15 | 20 | Bio | 0,404 | 1,240 |
| 13 | 42 | 15 | 20 | Bio | 2,010 | 0,195 |
| 14 | 41 | 15 | 20 | Bio | 0,602 | 0,252 |
| 15 | 42 | 15 | 20 | Bio | 0,451 | 0,444 |
| 16 | 43 | 20 | 25 | Bio | 1,460 | 0,388 |
| 17 | 31 | 15 | 20 | Bio | 1,470 | 0,064 |
| 18 | 32 | 10 | 20 | Bio | 1,010 | 0,116 |
| 19 | 45 | 15 | 25 | Necro | 1,200 | 0,715 |
| 20 | 41 | 10 | 20 | Necro | 1,140 | 0,156 |
| 21 | 31 | 15 | 25 | Necro | 1,630 | 0,240 |
| 22 | 41 | 15 | 20 | Necro | 0,622 | 0,304 |
| 23 | 42 | 15 | 20 | Necro | 1,080 | 0,256 |
| 24 | 31 | 15 | 25 | Necro | 1,060 | 0,088 |
| 29 | 36 – D | 15 | 20 | Bio | 1,530 | 0,700 |
| 30 | 36-MV | 15 | 20 | Bio | 1,920 | 0,480 |
| Média | | | | | 1,089 | 0,447 |

V e L representam respectivamente raiz vestibular e raiz lingual. MV raiz méso- vestibular e D raiz distal.

ANEXO A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa. É necessário decidir se quer participar ou não, assim como pedir autorização ao seu pai ou à sua mãe, ou ao responsável por você, desde que ele seja maior de idade. Por favor, não se apresse em tomar a decisão. Leia atentamente o texto abaixo, e pergunte ao responsável pelo estudo qualquer dúvida que surgir. Esta pesquisa está sendo conduzido pelo Prof Dr. Pedro Gregol da Silva (Orientador) e pelo aluno de Doutorado em Saúde e Desenvolvimento na região Centro Oeste, Key Fabiano Souza Pereira, ambos cirurgiões-dentistas.

Porque a pesquisa está sendo feita?

A finalidade desta pesquisa é avaliar a precisão e confiabilidade de um modelo de localizador apical eletrônico produzido no Brasil. Esse aparelho executa a medição do tamanho do dente para que possamos trabalhar com mais segurança nos tratamentos de canais radiculares e o grande benefício se ele realmente for preciso será a diminuição do número de radiografias utilizadas durante o tratamento, além é claro de aumentar os índices de sucesso, uma vez que essa fase é considerada uma das mais difíceis do tratamento de canal.

Quem participará desta pesquisa?

As pessoas estudadas devem ser pacientes que utilizam aparelhos ortodônticos fixos, as quais encontra-se no planejamento a extração de dentes pré-molares, os quais serão medidos antes de sua remoção.

Quem não pode ou não deve participar deste estudo?

Pessoas que não tenham a indicação prévia nos tratamentos ortodônticos da extração dos dentes pré-molares, ou pacientes que não fazem o uso do aparelho ortodôntico.

Exemplo: extrair para depois começar o tratamento

O que serei solicitado a fazer?

Antes da extração já indicada pelo seu ortodontista, faremos uma abertura na coroa do seu dente removeremos parcialmente o feixe nervoso e mediremos com o

aparelho localizador de ápice o tamanho do seu dente. Basicamente usaremos aproximadamente 10 minutos a mais do que previsto para extração. Vale ressaltar que esse procedimento adicional da medida do canal não gera dor e nem um pós operatório dolorido na região.

Quanto tempo estarei no estudo?

Após a consulta inicial, o atendimento será realizado para medição do dente e extração e após uma semana você voltará para a remoção dos pontos dados na região e controle do procedimento realizado para verificação clínica de que está tudo bem (este procedimento é rotina para dentes que sofrem extração.)

Portanto, do aceite em participar até o fim do procedimento de extração dará um total de 03 consultas num total aproximado de sete dias.

Quantas outras pessoas estarão participando deste estudo?

Um grupo de aproximadamente 10 pessoas.

Que prejuízos podem acontecer comigo se eu participar deste estudo?

Nenhum, pois vários cuidados serão tomados para você não ser exposto desnecessariamente a pré e pós operatório dolorosos, incluindo a medicação sistêmica analgésica e anti inflamatória que será fornecida pelos pesquisadores.

Quem poderá ver os meus exames e saber que estou participando do estudo?

Se você concordar em participar do estudo, seu nome e identidade serão mantidos em sigilo. A menos que requerido por lei, somente o pesquisador, a equipe do estudo e o Comitê de Ética que autoriza esta pesquisa terão acesso aos seus dados para verificar as informações do estudo.

Quem devo chamar se tiver qualquer dúvida ou algum problema?

Em caso de dúvidas ou problemas você pode ligar para Dr. Pedro Gregol da Silva ou Dr. Key Fabiano S. Pereira no telefone 8112 8726. Para perguntas sobre seus direitos como participante no estudo, chame o Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFMS no telefone 3345-3093 ramal 2299.

Eu posso me recusar a participar do estudo?

Sua participação neste estudo é voluntária. Você pode escolher não fazer parte do estudo. Você não perderá qualquer benefício ao qual tem direito. Você não será

proibido de participar de novos estudos. Caso concorde em participar, você receberá uma via assinada deste termo de consentimento.

Declaro que li e entendi este formulário de consentimento e todas as minhas dúvidas foram esclarecidas, e que autorizo a participação voluntária neste estudo do menor

.....

declarando ser seu responsável neste ato.

Responsável :

Nome :

Identidade :

Endereço :

Assinatura :

Data :/...../.....

Pesquisadores :

Nome : Dr. Pedro Gregol da Silva e Key Fabiano Souza Pereira

Assinatura :

Data :/...../.....

ANEXO B – Aprovação do Comitê de Ética



Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Comitê de Ética em Pesquisa /CEP/UFMS



Carta de Aprovação

A minha assinatura neste documento, atesta que o protocolo nº 1098 do Pesquisador Pedro Gregol da Silva intitulado "Determinação "in vivo" da precisão e confiabilidade do localizador foraminal eletrônico FIT", e o seu Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, foram revisados por este comitê e aprovados em reunião ordinária no dia 20 de dezembro de 2007, encontrando-se de acordo com as resoluções normativas do Ministério da Saúde.


Prof. Odair Pimentel Martins
Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa da UFMS

Campo Grande, 20 de dezembro de 2007.

Comitê de Ética da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
<http://www.propp.ufms.br/bioetica/cep/>
bioetica@propp.ufms.br
fone 0XX67 345-7187

Confere com o Original

M. 14/12/2008


Osvalda Vera
Secretária do Depto.
de Odontologia Clínica

ANEXO C – Patente do Localizador Foraminal Quill Apex Locator®

(WO/2007/028217) RADICULAR SPECTRAL ATTENUATION COEFFICIENT FOR USE IN ENDODONTIC FORAMINAL LOCATOR

Publication Number: WO/2007/028217 **International Application No.:** PCT/BR2006/000020

Publication Date: 15.03.2007 **International Filing Date:** 09.02.2006

Int. Class.: **A61C 19/04** (2006.01)

Applicants: **GAMBA, Humberto Remigio** [BR/BR]; Av. 7 de setembro 3165, Utfpr-cpgei/daeln, 80230-901 Curitiba - Pr (BR).

PIAZZALUNGA, Ronaldo [BR/BR]; Ruas Santos 777 Ap 102, Laktron, 86020-041 Londrina Pr (BR).

MAIA, Joaquim Miguel [BR/BR]; AV. SETE DE SETEMBRO, 3165, Utfpr-cpgei/daeln, 80230-901 Curitiba - Pr (BR).

RAMOS, Carlos Alberto Spironelli [BR/BR]; Rua Santos 777, Ap 601, 86020-041 Londrina - Pr (BR).

RATZKE, Alexandre Salcedo [BR/BR]; Rua Coronel Assunção, 230, Casa, 80041-210 Curitiba (BR).

RAMBO, Marcos Vinicius Haas [BR/BR]; Rua Engenheiros Rebouças, 318, Casa, 80210-040 Curitiba (BR).

Inventors: **GAMBA, Humberto Remigio** [BR/BR]; Av. 7 de setembro 3165, Utfpr-cpgei/daeln, 80230-901 Curitiba - Pr (BR).

PIAZZALUNGA, Ronaldo [BR/BR]; Ruas Santos 777 Ap 102, Laktron, 86020-041 Londrina Pr (BR).

MAIA, Joaquim Miguel [BR/BR]; AV. SETE DE SETEMBRO, 3165, Utfpr-cpgei/daeln, 80230-901 Curitiba - Pr (BR).

RAMOS, Carlos Alberto Spironelli [BR/BR]; Rua Santos 777, Ap 601, 86020-041 Londrina - Pr (BR).

RATZKE, Alexandre Salcedo [BR/BR]; Rua Coronel Assunção, 230, Casa, 80041-210 Curitiba (BR).

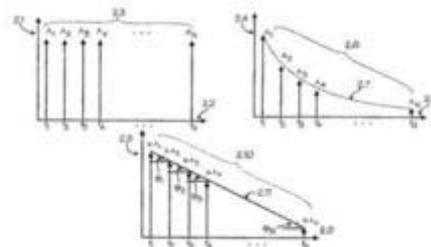
RAMBO, Marcos Vinicius Haas [BR/BR]; Rua Engenheiros Rebouças, 318, Casa, 80210-040 Curitiba (BR).

Priority Data: PI0504065-5 06.09.2005 BR

Title: RADICULAR SPECTRAL ATTENUATION COEFFICIENT FOR USE IN ENDODONTIC FORAMINAL LOCATOR

Abstract:

The discovery of a new coefficient named 'Radicular Spectral Attenuation Coefficient-RSAC', applicable in electronic foramen locators is described. The novelty is the use of the spectral attenuation of a multifrequency electrical current signal, applied through the endodontic file into the tooth canal (TC), to determine the root length and the foramen position. Figure (2): (2.1), (2.4), (2.8) and (2.2), (2.5), (2.9) are the amplitude and frequency axes, respectively; (2.3) is the electrical current frequency spectrum applied into the TC; (2.6) shows the spectrum exponential decay (2.7) of the signal measured over the TC. In (2.10) the axes (2.4) and (2.5) were logarithmized to linearize the exponential decay. The RSAC is the average inclination of the line (2.11), which is proportional to the distance between the tip of the endodontic file and the apical foramen. The RSAC changes as the tip of the file gets near the foramen.



Designated States: AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
African Regional Intellectual Property Org. (ARIPO) (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW)
Eurasian Patent Organization (EAPO) (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)
European Patent Office (EPO) (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR)
African Intellectual Property Organization (OAPI) (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publication Language:

English (EN)

Filing Language:

English (EN)

RADICULAR SPECTRAL ATTENUATION COEFFICIENT FOR USE IN

ENDODONTIC FORAMINAL LOCATOR TECHNICAL FIELD

The present invention is related to the discovery of a new coefficient called "Radicular Spectral attenuation Coefficient-RSAC" applicable in electronic foraminal locators to measure the root canal length and to locate the apical foramen, during the dental endodontic treatment.

STATE OF ART

One of the preliminaries procedures in the endodontic treatment is to determine the root canal length (RCL) and the exact location of the apical foramen

(LAF). The RCL is related to the deepest point the endodontic file may reach within the tooth root canal. The debridement and the canal filling cannot be performed unless the LAF is correctly determined and the canal completed cleaned. Figure 1 presents an illustration of a tooth (1.14) with its radicular (1.15) canal opened. Within the radicular canal (1.15) it is inserted the endodontic file

(1.1) used during the treatment of the tooth canal (1.14). Two are the aims of a foraminal locator: determine the distance between the tip of the endodontic file

(1.2) and the apical foramen (1.3); and to inform the dentist the exact point when the tip of the file has reached the foramen (1.3). The canal foramen (1.3) is the deepest anatomic point within the tooth canal that the endodontic file may reach during the treatment, that is, the LAF is extremely important for the success of the endodontic treatment. Therefore, the aim of our Radicular Spectral Attenuation Coefficient (RSAC) is to determine the root canal length and inform the dentist the exact point when the tip of the endodontic file reaches the apical foramen.

Up to recently the RCL and the LAF was determined only by radiographic image. The main disadvantage of using radiographic images is that it produces a two-dimension image of an object that has three-dimensions. Thus, the accurate determination of the RCL and the LAF is not always possible by radiography. Another drawback is the ionized radiation applied to the patient.

Electronic apex locators have been subject of many US patents, such as: 5.759.159; 5.211.556; 5.096.419; 6.059.569. All these patents claim different physical principles to perform the task of locating the apical foramen of the tooth canal. Also, all these patents have in common the use of two electrodes: one

electrode is inserted into the tooth root canal, in general this electrode is the endodontic file (1.1), and the other electrode is attached to the patient's lip (1.4). The aim is to determine the physical distance in millimeter between the tip of the endodontic file (1.2) and the apical foramen of the tooth canal (1.3). The US patent 5,759,159, June 2, 1998, claims the use of a measurement signal with several different components of frequency. This signal is applied to the previously described electrodes. The complex impedance of the tooth canal is measured by the electronic system. For this, the system measures the amplitude in voltage between the electrodes (potential difference) and phases introduced in each frequency component. The amplitudes and phases are then mathematically combined and related with the distance between the tip of the endodontic file and the radicular foramen. At this point we must state that our RSAC, which is the aim of our patent, does not perform any phase measurement or combine amplitudes with phases to determine the RCL or the LAF. The US Patent 5,211,556, May 18, 1993, claims a methodology of relating the decreasing in the root canal resistance, as the tip of the measuring electrodes approaches the apical foramen, with the physical distance in millimeters between the tip of the inserted electrode (endodontic file) and the apical foramen. The resistance is measured through a measurement signal applied to the electrodes. A methodology to compensate the non-linearity of the measured resistance values, for different electrode position within the canal, is described. At this point we must state that our RSAC, which is the aim of our patent, does not measure resistance or impedances values to determine the RCL or the LAF.

The US Patent 5,096,419, March 17, 1992, claims an apparatus to detect the apical position. In this patent a measurement signal with different frequencies is applied to the previously described electrodes. The ratio of the tooth canal impedance measured with different frequencies is calculated. The apical position is detected by monitoring the changes in the ratio value as the tip of the file gets near the apical foramen. According to the patent there is a significant change in this ratio when the tip of the endodontic file reaches the apical position. At

this point we must state that our RSAC, which is the aim of our patent, does not calculate any ratio of impedances measured within the tooth canal with different frequencies.

The US Patent 6.059.569, May 9 2000, describes an apical locator where

two signals of alternated current with different frequencies are applied in the electrodes previously described. These two signals provide two current measurements that are logarithmically combined to indicate the foramen position. At this point we must state that our RSAC, which is the aim of our patent, does not measure electrical current that goes through the tooth root canal. DESCRIPTION OF THE INVENTION

The origin of the idea for the new coefficient RSAC to measure the tooth canal length and to localize the apical foramen is based on the technique used to measure the ultrasound attenuation within the human tissue. The technique for the ultrasound attenuation coefficient is called

"Broadband Ultrasound Attenuation" or BUA. As the ultrasound propagates through the human tissue, its intensity decays exponentially with the distance. The BUA coefficient is determined by analyzing the logarithm of the ultrasound signal spectrum. Detailed explanation is beyond the scope of this patent. The fact is that resistors and capacitors circuits can be used to model the acoustic and electrical impedance of the tissues. Thus, we have visualized that a similar procedure, that is, the BUA measurement, is applicable to determine the tooth canal length and to localize the apical foramen.

Therefore, this patent of invention describes the discovery of a new coefficient called Radicular Spectral Attenuation Coefficient or RSAC. The RSAC is directly related with the distance between the tip of the endodontic file (1.2) and the radicular foramen (1.3). This distance is called Root Canal Length (RCL). Thus, since the RSAC is directly related to the RCL, it also can be used as a reference for the localization of the radicular foramen (LRF). In the following paragraphs it is described the physical principle involved with the RSAC measurement and how this coefficient is converted in the RCL and used as reference for the LRF.

The process of RSAC calculation is divided into three steps: 1) the application of a measurement signal; 2) the measurement of an electrical signal and from this signal the determination of the RSAC and 3) the conversion of the RSAC into the RCL and the LAF. The first two steps make use of the already described measurement electrodes (1.1) and (1.4).

The measurement signal, applied in the first step of the RSAC calculation, is composed by a sum of sine waves trigonometric functions, all them with the

same amplitude but different frequencies (or periods) and initial phases. The measurement signal, represented by $f(t)$, is determined by equation 1 ,

where A is the sine waves amplitudes, f_i is the i^{th} component of frequency, $\pi=3.14151617$, ψ_i is the sine wave phase shift of the i^{th} component of frequency, \sin is the trigonometric sine wave function, t represents the time and \sum is the sum of the sine waves with i varying from one to N . N is the number of sine waves used to generate $f(t)$.

The $f(t)$ signal spectrum is represented in figure 2. In figure 2 the axes (2.1) and (2.2) are the sine wave amplitude in volts and its frequency in cycles per second, respectively. The vertical arrows (2.3) are the N sine waves functions with frequencies $(f_1), (f_2), (f_3), \dots, (f_N)$ that compose the measurement signal $f(t)$. Note that all frequencies components (2.3) have the same amplitude value (A).

The signal $f(t)$ is used to modulate or control a constant electrical current source. Thus, we have an electrical current signal whose waveform has the same all N components of frequencies given by equation 1. The root mean square (RMS) value of the electrical current generated by the current source is below four micro-amperes and does not represent any risk for the patient or the surgery. The electrical current signal is applied to electrodes (1.1) and (1.4). This current circulates through the canal of the tooth and produces a potential difference between the electrodes (1.1) and (1.4).

The second step in the process of determining the RSAC is the process of measuring the potential difference between the electrodes (1.1) and (1.4). This potential difference has the same components of frequencies of the applied signal $f(t)$. However, due to the electrical characteristics of the tooth canal, the frequency components of the applied signal (2.3) are attenuated differently. The spectrum of frequencies of the measured signal (potential difference between the electrodes (1.1) and (1.4)) is shown in figure (2.6). The length of the vertical arrows (2.6) represents the amplitude of each frequency component of the measured signal, indicated by $(A_1), (A_2), (A_3), (A_4), \dots, (A_N)$. The axis (2.4) and (2.5) are the amplitudes in voltage and the frequency in Hz, respectively.

In a study performed by the inventors of this patent, it has been discovered that the attenuation of the frequency components (2.6) has a behavior very similar

to an exponential mathematical function. Thus, we have noticed that there is an exponential attenuation (2.7) of the applied frequencies components (2.3). In an in vivo experiment, we notice also that the exponential decay (2.7) changes as the file is introduced into the tooth canal.

The RSAC is determined by converting the axes scale (2.4) to a logarithm scale using the natural logarithm function. Figure 2 illustrates the frequency spectrum, in which the axis (2.8) and (2.9) were logarithmized. In the logarithmized scale, the spectrum attenuation is a linear function (2.10). The RSAC is the line inclination, given by equation 2,

where A e AM are the voltage amplitudes, f ; and f_{j+1} are the frequencies, \ln is the natural logarithm, \tan^{-1} is the arc tangent function, $||$ is the absolute value, \sum is the sum with j varying from one to $N-1$ and N is the number of frequency components used to generate $f(t)$.

The third step in the measurement process is to convert the RSAC in the distance value between the tip of the endodontic file (1.2) and the apical foramen (1.3) in millimeter. This process is made through a calibration curve. This calibration curve is obtained from in vivo experiments.

Figure 1 presents a block diagram of the implemented electronic circuit used to obtain the RSAC for the measurement of the RCL and in the LAF. The instrument makes use of a measuring electrode (1.1) that is inserted into the tooth canal and a clipping electrode (1.4) that is attached to the patient's lip or other oral soft tissue. A control unit (1.8), made with a micro-controller or microprocessor (1.8), executes the firmware (programme) stored in the microprocessor memory (1.12). The measurement signal is the one previously described and given by equation 1. The measurement signal is then stored into memory (1.11). As the control unit (1.8) performs the memory addressing, the data stored in (1.11) is then sent to the digital-to-analog-D/A (1.9) and converted to voltage. The voltage at the output of the D/A (1.9) is then filtered by a low-pass-filter (1.10) to remove higher

component of frequencies generated by the A/D and converted to an electrical current signal by a voltage-current source converter(1.5). The current signal is then applied to the measuring (1.1) and clipping (1.4) electrodes.

A potential difference between the electrodes (1.1) and (1.4) is then measured. This potential difference is amplified and filtered by the Signal Conditioner (1.6). After that, the signal is applied to analog-to-digital-A/D converter (1.7). The digitalized signal is then processed by the control unit (1.8), according to the firmware stored in (1.12). The result of the firmware process is then presented in the display (1.13). Firmware description

Figure 3 presents a block diagram of the signal processing used to determine the RSAC, calculate the RCL and the LAF. The programme is divided into three parts: 1) Signal Generator (3.21); 2) Signal Detector (3.22) and 3) Signal Processing (3.23). The Signal Generator (3.21) has the Signal Modulator (3.1) whose signal is determined by equation 1. This signal is converted to electrical current by the Modulated Current Source (3.2). The instrument here described makes use of seven components of frequency ($N=7$): 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz, 8kHz, 16kHz and 32kHz. Other components of frequency may be used, depending on the hardware capability, that is, faster processors allow the use of higher frequencies.

Next the amplitude of the measured signal is analyzed. This task is performed by the Signal Detector (3.22). The measured electrical signal (3.3), between the electrodes (1.1) and (1.4), must be between the upper (3.8) and lower (3.11) threshold values. If the measured signal is not below the upper threshold (3.8) the Gain Control (3.9) of the amplifier is automatically decremented. This gain is reduced (3.9) until the signal is below the upper threshold (3.8) and then it can be processed, or until the gain is at its minimal value (3.12). If the gain is at its minimal and the signal is still above the upper threshold, it is because the endodontic file is not inserted into the root canal (3.13) and it must be inserted for the measuring process to be performed (3.3).

If the measured signal between the electrodes (1.1) and (1.4) is not above the lower threshold (3.11) the Signal Detector (3.22) automatically tries to increment the amplifier gain (3.10). The increase of the gain is performed until the measured signal amplitude is above the lower threshold, so it can be processed.

On the other hand, if even with the amplifier set to its maximum gain (3.7) the signal is still below the minimum threshold, it is because the measuring electrodes are short-circuited (3.6).

Once the amplifier gain has been automatically set, the measured signal spectrum (spec) is calculated using a Fast Fourier Transform (FFT) algorithm (3.14). This procedure is repeated 32 times (counter (3.16)) for each

calculated averaged. The average of 32 spectrum of the measured signal is calculated ((3.15), (3.16) and (3.20)) to improve the signal to noise ratio (SNR) of the measured signal. It is important to mention that the number of spectrum used to calculate the average may vary. In our studies, performed in vivo the average of 32 acquisitions is enough to obtain a good SNR. Also, if for any reason (lets say, movement of the endodontic file), during the acquisition of the 32 signals used in the averaging process, there is a significant change in the amplifiers gain, the averaged is cancelled (3.4) and (3.5) and new signals are acquired. Only after the average of 32 spectrum of the measured signal is calculated, the RSAC is computed (3.19) and its value converted in distance (3.18). After that the distance is then displayed (3.17).

Finally, it is important to emphasize that the RSAC is a new measurement coefficient discovered by us from in vivo experiments performed in patients, and it is completely different from any other method found in the literature.

WO/2007/028217) RADICULAR SPECTRAL ATTENUATION COEFFICIENT FOR USE IN ENDODONTIC FORAMINAL LOCATOR

- [Biblio. Data](#)
- [Description](#)
- [Claims](#)
- [National Phase](#)
- [Notices](#)
- [Documents](#)

CLAIMS

1. "RADICULAR SPECTRAL ATTENUATION COEFFICIENT FOR USE IN ENDODONTIC FORAMINAL LOCATOR" is a new measurement parameter or coefficient, totally based in the measurement of the spectral attenuation of a signal applied to the radicular canal, discovered and called "Radicular Spectral Attenuation Coefficient-RSAC", which is comprised of:

- a measurement signal with the following components of frequency: 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz, 8kHz, 16kHz and 32kHz (other components of frequency may be used, depending on the hardware capability, that is, faster processors allow the use of higher frequencies);
- the relative attenuation measurement among the frequency components of the measurement signal applied to the radicular canal of the tooth;
- the determination, from the measured attenuations in the frequency components, of the RSAC value according to the following equation:

where A, - e AM are the voltage amplitudes, f, and f_i are the frequencies, ln is the natural logarithm, tan⁻¹ is the arc tangent function, | | is the absolute value, ∑ is the sum with / varying from one to N-1 and N is the number o frequency components used to generate f(t); 2. The "RADICULAR SPECTRAL ATTENUATION COEFFICIENT FOR USE IN ENDODONTIC FORAMINAL LOCATOR", according to claim 1 , comprises the use of a measurement signal that is an electrical current composed by the following frequency components 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz, 8kHz, 16kHz and 32kHz (other components of frequency may be used, depending on the hardware capability, that is, faster processors allow the use of higher frequencies) and is determined by the following equation:

where A is the sine waves amplitudes, f_i is the ith component of frequency, π=3.14151617, φ_i is the sine wave phase shift of the ith component of frequency,

sin is the trigonometric sine wave function, t represents the time and ∑ is the sum of the sine waves with / varying from one to N. N is the number of sine waves used in the measurement of the RCL;

3. The "RADICULAR SPECTRAL ATTENUATION COEFFICIENT FOR USE IN ENDODONTIC FORAMINAL LOCATOR", comprises the average of 32 spectrum of the measurement signal to improve the signal to noise ratio and improve the localization of the apical foramen;

4. The "RADICULAR SPECTRAL ATTENUATION COEFFICIENT FOR USE IN ENDODONTIC FORAMINAL LOCATOR", according to claims 1 and 2 comprises the use of N components of frequency, where the value of N clinically assessed was 7, but other numbers of components of frequency may be used.

5. The "RADICULAR SPECTRAL ATTENUATION COEFFICIENT FOR USE IN ENDODONTIC FORAMINAL LOCATOR", according to claim 1 comprises the conversion of the RSAC value in the distance between the tip of the endodontic file (1.2) and the apical foramen of the tooth (1.3) using a conversion curve determined empirically.

6. The "RADICULAR SPECTRAL ATTENUATION COEFFICIENT FOR USE IN ENDODONTIC FORAMINAL LOCATOR", according to claim 1 comprises the use of the new coefficient, called RSAC, to determine the RCL and the LAF, the RSAC is totally distinct from any other system found in the literature, that is, the RSAC does not use the values of electrical resistance, electrical impedance or electrical current value applied to the tooth canal as described in other patents.

| Publication Date | Publication Kind | Publication Reason |
|------------------|------------------|---------------------------------|
| 15.03.2007 | A2 | Initial Publication without ISR |

