



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE FARMÁCIA, ODONTOLOGIA E ENFERMAGEM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

BRUNO CARVALHO DE VASCONCELOS

**CONFIABILIDADE DAS DETERMINAÇÕES DE LOCALIZADORES ELETRÔNICOS
FORAMINAIS: ESTUDOS *EX VIVO* E *IN VIVO*.**

**FORTALEZA
2011**

BRUNO CARVALHO DE VASCONCELOS

**CONFIABILIDADE DAS DETERMINAÇÕES DE LOCALIZADORES ELETRÔNICOS
FORAMINAIS: ESTUDOS *EX VIVO* E *IN VIVO*.**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Odontologia.

Área de concentração: Clínica Odontológica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto de Oliveira Fernandes.

**FORTALEZA
2011**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências da Saúde

V45c	Vasconcelos, Bruno Carvalho de Confiabilidade das determinações de localizadores eletrônicos foraminais: estudos ex vivo e in vivo/ Bruno Carvalho de Vasconcelos. – 2011. 73 f.; il.
	Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Fortaleza, 2011. Orientação: Prof. Dr. Carlos Augusto de Oliveira Fernandes. 1. Endodontia. 2. Ápice dentário/anatomia & histologia. 3. Odontometria/métodos. 4. Equipamentos odontológicos. 5. Impedância elétrica. I. Título. CDD617.6342

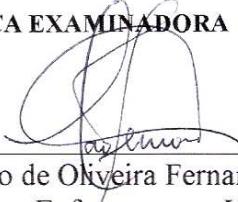
BRUNO CARVALHO DE VASCONCELOS

**CONFIABILIDADE DAS DETERMINAÇÕES DE LOCALIZADORES ELETRÔNICOS
FORAMINAIS: ESTUDOS EX VIVO E IN VIVO**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Doutor em Odontologia. Área de concentração: Clínica Odontológica.

Aprovada em: 23/09/11

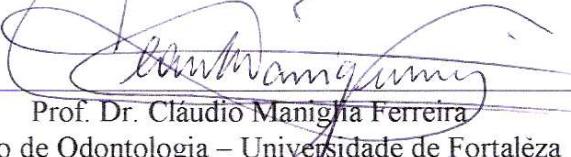
BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Carlos Augusto de Oliveira Fernandes (Orientador)
Faculdade de Farmácia, Odontologia e Enfermagem – Universidade Federal do Ceará


Profa. Dra. Mônica Sampaio do Vale
Faculdade de Farmácia, Odontologia e Enfermagem – Universidade Federal do Ceará


Prof. Dr. Lúcio Mitsuo Kurita
Faculdade de Farmácia, Odontologia e Enfermagem – Universidade Federal do Ceará


Profº Dr. Ivaldo Gomes de Moraes
Faculdade de Odontologia de Bauru – Universidade de São Paulo


Prof. Dr. Cláudio Maniglia Ferreira
Curso de Odontologia – Universidade de Fortaleza

À Minha Princesa, ou devo dizer, a você, Suyane. A você que desde antes de ser minha esposa é minha companheira e a muito ombreia comigo as batalhas do dia a dia. A você que dividiu comigo o período das inseguranças, quando a única coisa certa era a incerteza quanto ao futuro. A você que encarou comigo a aventura de desbravar outros caminhos mesmo sem termos sido preparados para eles. A você, que nos momentos em que a saudade pesava, simplesmente acreditava em nós. A você, que como só Ele sabe, pressentiu a hora de regressar e finalmente tomar posto na terra em que amamos. A você que me incentivou a prestar a prova deste doutorado, mesmo que custasse um desvio em um caminho que parecia ser seu. A você que, sem saber, ou sabendo não sei, forjou-me mais forte do que eu esperava ser; a você que não sabe que é, mas é mais forte do que eu e por isso é uma das rochas nas quais me mantenho agarrado no seguimento dos planos traçados. Acredito naquela passagem que diz que Deus não dá um fardo maior do que podemos carregar. Sendo assim, tudo o que passamos, na verdade, tudo o que passou para seguir comigo neste caminho, veio apenas para atestar sua força e passar-lhe a certeza de que, quem passou por tudo isso, tudo pode! Eu tenho esta certeza! Mas como sempre dissemos, os planos foram feitos para serem alterados, e mais uma vez em nossas vidas aceitou recomeçar e desbravar o desconhecido, encarando comigo as dificuldades das viagens, o peso da distância dos entes queridos e as limitações da vida longe da Capital. Sua presença, todavia, fez com que essas dificuldades fossem facilmente marginalizadas e as vantagens deste modo de vida fossem logo sentidas. Obrigado por ser simplesmente você e por estar comigo mesmo depois deste longo e tortuoso caminho; te amo demais!

A VOCÊ DEDICO ESTE TRABALHO!

DEDICO AINDA . . .

*. . . aos meus pais, **Helder** e **Zélia**, por tudo o que me deram, desde a vida até a educação. A vocês que sempre me incentivaram a acreditar e me esforçar em busca dos meus sonhos, mesmo que para isso a primeira resposta fosse um não. Hoje, sabedor de que alguns destes sonhos realmente não deveriam ser sonhados, sei que isso teve grande importância no caminho percorrido até aqui. Se hoje alcancei mais este degrau na escalada da vida, tenham certeza de que nos primeiros vocês me carregaram, e hoje, mesmo depois de tantos anos, embora constituindo a minha família, podem ter certeza de que a cada novo degrau vocês estão ao meu lado. Agradeço a cada dia a graça de ter nascido filho de pessoas como vocês que, apesar de utilizarem métodos diferentes, amam seus filhos muito mais do que a si mesmos; pessoas que têm no exemplo e na dedicação os alicerces que os fizeram constituir uma família tão linda quanto a que têm. Pessoas que deram muito mais do que o suor dos rostos no intuito de fazer de seus filhos melhores que si mesmos. Tenham certeza que se em algum dia conseguirmos ser pelo o menos parecidos a vocês, seremos muito felizes!*

Pai, Mãe, obrigado por me amarem tanto mesmo, algumas vezes, não fazendo por onde receber tanto amor. Obrigado por me compreenderem tanto, obrigado por me incentivarem tanto, obrigado por me cobrarem tanto, obrigado por desculparem meus tantos erros, enfim obrigado por tudo! Peço a Deus que lhes dê a felicidade que merecem e me ajude a retribuir pelo menos um décimo do amor que de vocês recebi.

A VOCÊS, PILARES DA MINHA FORMAÇÃO,

TAMBÉM DEDICO ESTE TRABALHO!

AGRADECIMENTO ESPECIAL

À Deus, todavia, são tantos os motivos, ó Pai, que é difícil descrevê-los em palavras.

Tenho tal dependência de Tua obra que um agradecimento especial é muito pouco diante de Tua bondade para comigo. Tenho nesta letra da música a completa descrição do papel que Tu desempenhas em minha vida. Tomara que eu consiga fazer por onde merecer tanto de Ti. Obrigado por tudo!

“Ninguém te ama como eu”
Pe. Zezinho

Tenho esperado este momento
Tenho esperado que viesses à mim
Tenho esperado que me fales
Tenho esperado que estivesses assim
 Eu sei bem que tens vivido
 Sei também que tem chorado
 Eu sei bem que tens sofrido
 Pois permaneço ao teu lado

 Eu sei bem o que me dizes
 Ainda que nunca me fales
 Eu sei bem o que tem sentido
 Ainda que nunca me reveles
 Tenho andado ao teu lado
 Junto à ti permanecido
 Eu te levo em meus braços
 Pois sou teu melhor amigo

Ninguém te ama como eu
Ninguém te ama como eu
 Olhe pra cruz,
 Esta é a minha grande prova
 Ninguém te ama como eu
 Ninguém te ama como eu
 Ninguém te ama como eu
 Olhe pra cruz,
 Foi por ti, porque te amo
 Ninguém te ama como eu

Ninguém te ama como eu
Ninguém te ama como eu
 Olhe pra cruz,
 Esta é a minha grande prova
 Ninguém te ama como eu
 Ninguém te ama como eu
 Ninguém te ama como eu
 Olhe pra cruz,
 Foi por ti, porque te amo
 Ninguém te ama como eu

AGRADECIMENTO ESPECIAL

À minha irmã, **Alessandra**, por dividir comigo o mesmo sonho, por incentivar-me e servir de inspiração, pela sua coragem e pelas experiências acadêmicas que trocamos e que trocaremos.

Aos meus irmãos, **Roberta** e **Danilo** que, cada um ao seu modo, souberam dar apoio nos momentos mais difíceis de minha vida. A vocês meus sinceros agradecimentos

Aos meus sogros, **Newtacio** e **Welba**, e a meu cunhado, **Rafael**, pela confiança em mim depositada representada, pela cessão do bem mais precioso de suas vidas, pela palavra sempre amiga, pelo apoio irrestrito e pelo incentivo constante.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Carlos Augusto de Oliveira Fernandes**, por ter aceito o desafio de orientar um aluno desconhecido, egresso de outro programa e especialista em área diferente da sua. Pela sua sempre competente e solícita orientação, meu muito obrigado!

Ao meu eterno orientador, **Prof. Dr. Ivaldo Gomes de Moraes**, pelo exemplo de simplicidade e dedicação racional à vida acadêmica. Pelos ensinamentos não odontológicos, pela amizade sincera, pela honra de tê-lo tido como orientador no mestrado e pelo prazer de fazer parte de sua família acadêmica, por tudo, Chefe, muito obrigado!

Ao amigo e parceiro científico, **Prof. Dr. Marco Antônio Húngaro Duarte**, obrigado pela amizade sincera, pela humildade na troca de experiências, pela revisão dos artigos desta tese e por tudo o que ainda poderemos produzir juntos, meus sinceros agradecimentos.

A toda a família **Vasconcelos**, pelo apoio sincero e incentivo durante todos estes anos.

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal do Ceará, na pessoa de seu Magnífico Reitor, **Prof. Dr. Jesualdo Pereira Farias.**

À Faculdade de Farmácia, Odontologia e Enfermagem, na pessoa de sua diretora, **Prof.a Dr.a Neiva Francenely Cunha Vieira.**

Ao Curso de Odontologia da Universidade Federal do Ceará, na pessoa de sua coordenadora, **Prof.a Dr.a Maria Eneide Leitão de Almeida.**

Ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Ceará, na pessoa de seus coordenadores durante meu período de vínculo ao Programa, o **Prof. Dr. Sérgio Lima Santiago** e **Prof.a Dr.a Lidiany Karla Azevedo Rodrigues**, pela confiança em mim depositada.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Ceará, pelos ensinamentos e exemplos repassados.

Ao corpo docente do Curso de Odontologia da Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral, na pessoa dos colegas da disciplina de Clínica Odontológica **Prof.a Ms. Alrieta Henrique Teixeira**, **Prof. Dr. Bruno Carvalho de Sousa**, **Prof.a Dr.a Celiâne Mary Carneiro Tapety**, **Prof.a Dr.a Denise Sá Maia Caselli**, **Prof.a Dr.a Flavia Aparecida Chaves Furlaneto**, **Prof. Dr. Mário Áureo Gomes Moreira**, **Prof. Dr. Rodrigo Ótavio Citó Rego**, e **Prof.a Ms. Suyane Maria Luna Cruz de Vasconcelos**, e ao **Prof. Ms. Alexandre Simões Nogueira**, ex-coordenador do curso, pela compreensão do meu momento de vida e pelos incentivos diários.

AGRADECIMENTO

Aos amigos professores de Endodontia da Associação Brasileira de Odontologia, Sessão Ceará, **Prof. Ms. Eílton Cavalcante Pinheiro-Junior**, **Prof. Ms. Nilton Vivacqua-Gomes**, e **Prof.**

Antônio Sérgio Teixeira de Menezes, pelas parcerias e constante aprendizado na difícil arte de ensinar.

Aos colegas da turma de doutorado, Francisco Cláudio Fernandes Alves e Silva, Juliana Paiva Marques Lima, Mary Anne Sampaio de Melo, Paula Goes Pinheiro, Rebeca Bastos Rocha Araújo e Vanara Florêncio Passos, pelo convívio amigável, pelas experiências trocadas, e pelas parcerias constituídas.

Aos professores responsáveis pela minha paixão pela Endodontia e pela carreira acadêmica não citados até aqui, Prof. Dr. Cláudio Maniglia Ferreira, Prof. Dr. Clóvis Monteiro Bramante, Prof. Dr. Eduardo Diogo Gurgel-Filho, Prof. Ms. Flávio Moraes Pinheiro (in memoriam), Prof. Dr. Ilan Sampaio do Vale, Prof. Dr. Juliano Sartori Mendonça, Prof. Marlão Ximenes Carlos Segundo, Prof.a Dr.a Mônica Sampaio do Vale, e Prof. Dr. Sérgio Araújo Holanda Pinto, a todos vocês meu muito obrigado.

Ao Exército Brasileiro, na pessoa do Comandante do 23º Batalhão de Caçadores no período de 2008-2010, Cel. Sérgio Luiz Loureiro Lima, pelos ensinamentos da doutrina militar, pela confiança e por conceder-me a liberação para encarar este desafio, meus sinceros agradecimentos, caçador!

AGRADECIMENTO

À cirurgiã-dentista Michelli de Medeiros Bueno, pelo auxílio nas fases experimentais do trabalho ex vivo.

Às secretarias do Programa de Pós-graduação em Odontologia, Lúcia e Janaíne, pela sempre solícita atenção e tão prestativa atuação no desenvolver de suas funções.

Aos alunos do Curso de Odontologia da Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral, pelo apoio durante a fase clínica do trabalho in vivo.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para esta conquista.

RESUMO

Os localizadores eletrônicos foraminais (LEFs) disponíveis atualmente utilizam diversos métodos de determinação eletrônica da posição foraminal, qual seja a medida entre o forame apical e uma referência incisal/oclusal, definindo consequentemente o comprimento do canal

radicular. Cada um desses métodos procura oferecer maior precisão e menor sensibilidade a possíveis interferências no sistema de canais radiculares. Desta forma, procurou-se avaliar a precisão de alguns destes LEFs *ex vivo* e *in vivo* na realização de odontometrias eletrônicas em diferentes posições (0,0 mm e -1,0 mm) e em condições de uso clínico, respectivamente. No estudo *ex vivo*, 42 pré-molares inferiores tiveram seus comprimentos reais comparados a odontometrias eletrônicas realizadas com os LEFs Root ZX, Mini Apex Locator, Propex II, iPex e RomiApex A-15. Inicialmente, em função dos *displays* dos aparelhos, determinaram-se medições 1,0 mm aquém do forame apical (FA), e posteriormente as medições no FA. Para o estudo *in vivo*, dez pacientes que apresentavam pré-molares com indicação de exodontia como parte de seus planejamentos clínicos ortodônticos tiveram odontometrias eletrônicas realizadas com os LEFs Propex II e Root ZX previamente a exodontia. Os últimos instrumentos utilizados foram fixados aos dentes que foram então extraídos e tiveram 4,0 mm apicais de suas raízes expostos e analisados quanto à distância entre as pontas dos instrumentos e os FA. No estudo *ex vivo*, considerando as medições realizadas por cada um dos aparelhos a 0,0 mm e a -1,0 mm, a precisão dos LEFs foi: 70,6% e 47,1% (Root ZX), 61,8% e 52,9% (Mini Apex Locator), e 67,6% e 38,2% (Propex II), 61,8% e 38,2% (iPex), e 73,5% e 38,2% (RomiApex A-15), respectivamente ($\pm 0,5$ mm). Diferenças estatísticas foram encontradas para o Propex II, iPex e RomiApex A-15, quando comparadas suas leituras nas duas posições (0,0mm X -1,0 mm). Não foram encontradas diferenças entre os LEFs a 0,0 mm, porém, a -1,0 mm o iPex foi estatisticamente inferior aos demais. Já no estudo *in vivo*, o FA foi localizado em 75% (Root ZX) e 66,7% (Propex II), considerando margem de $\pm 0,5$ mm, tendo sido encontrada diferença estatisticamente significante entre os LEFs. Diante do exposto, nas condições do estudo, pode-se concluir que os LEFs são ferramentas confiáveis na determinação de comprimentos reais, todavia, não são infalíveis; que em condições *ex vivo*, quando mantidos aquém do FA, todos os LEFs reduziram sua precisão, tendo o Propex II, iPex e RomiApex A-15 apresentado diferenças significantes; e que em condições de uso clínico, o Root ZX apresentou maior confiabilidade do que o Propex II.

Palavras-chave: Endodontia; Ápice dentário/anatomia e histologia; Odontometria/métodos; Equipamentos odontológicos; Impedância elétrica.

ABSTRACT

The electronic foramen locators (EFLs) currently available are based on different methods for determination of the distance between the apical foramen and a coronal reference, consequently presenting the real root canal length. Each of these methods aim to offer greater precision while presenting lower sensitivity to potential interferences found in the root canal

system. With this in mind, the goal of this work was to evaluate the precision of some of these EFLs *ex vivo* and *in vivo* for electronic measurement of the root canal length at two different positions (0.0 mm and -1.0 mm) and under clinical conditions, respectively. In the *ex vivo* study, 42 mandibular bicuspids had their actual lengths compared to electronic measurements performed by the following EFLs: Root ZX, Mini Apex Locator, Propex II, iPex, and RomiApex A-15. Initial measurements were performed to positions identified by the devices as 1.0 mm short of the apical foramen (AF), and subsequent measurements were at the AF (0.0 mm). For the *in vivo* study, ten patients with bicuspids referred for extraction as part of their orthodontic clinical planning had electronic root length measurements using two EFLs, Propex II and Root ZX, prior to extraction. The last files used were fixated to the teeth, which were then extracted. Then, the apical 4 mm of the canals were exposed to allow assessment of the distance between the tip of the file and the AF. The percentages of precision from the *ex vivo* electronic measurements at 0.0 mm and -1.0 mm considering each device were: 70.6% and 47.1% (Root ZX); 61.8% and 52.9% (Mini Apex Locator); 67.6% and 38.2% (Propex II); 61.8% and 38.2% (iPex); and 73.5% and 38.2% (RomiApex A-15), respectively (± 0.5 mm). Statistical differences were observed for Propex II, iPex, and RomiApex A-15 when measurements at both positions were compared (0.0 mm X -1.0 mm). No significant differences between the EFLs were observed at 0.0 mm. However, at -1.0 mm, the precision of iPex was statistically lower compared with the other devices. Regarding the *in vivo* study, the AF was located in 75% (Root ZX) and 66.7% of the teeth (Propex II), under a tolerance margin of ± 0.5 mm. Statistically significant differences were observed between the two EFLs. Based on the results obtained and considering the conditions of this work, it was concluded that EFLs are reliable tools for determining the real length of the canal, but are not infallible. It was also observed in the *ex vivo* experiments that all EFLs had decreased precision in measurements with the instruments short of the AF, with significant differences observed between Propex II, iPex, and RomiApex A-15. Moreover, it was concluded that under clinical conditions, Root ZX was more reliable than Propex II.

Keywords: Endodontics; Tooth apex / anatomy & histology; Odontometry / methods; Dental equipment; Electric impedance.

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

SCR / RCS.....	sistema de canais radiculares / root canal system
mm.....	milímetro / millimeters
LEF / EFL.....	localizador eletrônico foraminal / electronic foramen locator

FA / AF.....	forame apical / apical foramen
%.....	por cento / percent
CR / RL.....	comprimento real / real length
et al.....	e colaboradores / and collaborators
$k\Omega$	quilo ohms / kilo ohms
kHz.....	quilohertz / kilo hertz
DDS.....	Graduado em Odontologia / Doctor in dental science
MSc.....	Mestre / Master degree
PhD.....	Doutor / Philosophy doctor
#.....	tamanho / size
x.....	vezes / times
\pm	mais ou menos / more or less
<i>P</i>	significância estatística / statical significance
>.....	maior do que / bigger than
<.....	menor do que / shorter than
NaOCl.....	hipoclorito de sódio / sodium hypochlorite
sd.....	desvio-padrão / standard deviation
<i>n</i>	número de espécimes / number of specimens
TCLE.....	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
CD.....	cirurgião-
dentista	

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS.....

1 INTRODUÇÃO GERAL.....

2 PROPOSIÇÃO.....

3 CAPÍTULOS.....

3.1 CAPÍTULO 1: Effect of measurements performed at positions short of the apex foramen in the precision of electronic foramen locators with different operating systems: an *ex vivo* study......

3.2 CAPÍTULO 2: Electronic foramen locators based on different operation systems: an *in vivo* comparison of Root ZX and Propex II......

4 CONCLUSÃO GERAL.....

REFERÊNCIAS.....

APÊNDICES.....

ANEXOS.....

1 INTRODUÇÃO

A evolução da Odontologia como ciência ocorre de maneira exponencial nas últimas décadas. A Endodontia, como um de seus campos de estudo, representa importante

papel neste sentido. A melhor compreensão dos processos biológicos e a relação destes com as intervenções endodônticas, bem como o surgimento de novas tecnologias, fazem com que novas técnicas de preparo e obturação, além de novos materiais e instrumentos, surjam e/ou tradicionais conceitos sejam consolidados em favor da qualidade do tratamento.

A grande revolução do conhecimento endodôntico teve seu início com o estudo de Kakehashi *et al.* (1967), no qual o papel fundamental das bactérias como fatores etiológicos das alterações pulparas e periapicais foi consolidado. Desde então o objetivo do tratamento endodôntico passou a ser a busca incessante pela descontaminação do sistema de canais radiculares (SCR) e sua consequente sanificação para posterior obturação. Na inexistência, porém, de evidências científicas que comprovem qualquer método clínico como capaz de erradicar as bactérias presentes no SCR, principalmente nos túbulos dentinários, Peters, Wesselink e Moorer (1995) asseveraram que a terapia endodôntica tem como objetivo não só eliminar as bactérias presentes nos canais radiculares, mas, também, prevenir a multiplicação das remanescentes, evitando a reinfecção destes canais.

Schilder (1974) foi quem mais claramente definiu os procedimentos de descontaminação do SCR introduzindo os conceitos de limpeza e modelagem que continuam atuais até hoje. Limpeza é a remoção de todos os restos orgânicos, microrganismos ou tecidos, que possam servir como substrato para o crescimento microbiano. Já modelagem é a confecção de uma forma única, cônica, em todo o canal, propiciando uma boa obturação de forma tridimensional e capaz de aprisionar os microrganismos remanescentes entre o cimento radicular e o cimento endodôntico. Para o sucesso destes procedimentos, contudo, a correta determinação dos limites apicais do tratamento endodôntico reveste-se de especial importância, conforme comprovado por estudos *in vivo*, nos quais as condições histológicas mais favoráveis foram encontradas quando a obturação se manteve aquém ou na constrição apical (RICUCCI, 1998; RICUCCI; LANGELAND, 1998). Poder-se-ia discutir sobre os critérios para determinação do sucesso do tratamento endodontico, porém, apesar de poder ser confirmado clínica, radiográfica ou histologicamente, este último, apesar de ser o verdadeiro objetivo do tratamento, não pode ser diagnosticado em condições clínicas normais (WU; SHEMESH; WESELINK, 2009).

A constrição apical citada como referência apical é uma das estruturas que, juntamente com o forame apical, formam a porção final do SCR. Kuttler (1955), por meio de extensas observações histológicas, definiu os canais radiculares como formados por dois cones unidos em seus vértices, o primeiro, denominado de canal dentinário, mais longo, revestido por dentina, e que se estende desde a porção coronária até próximo ao final do

dente. O segundo, o canal cementário, bem mais curto, revestido por cimento e com direcionamento contrário. A posição do vértice deste canal cementário forma a constrição apical, que normalmente coincide com a junção cimento-dentinária, já em posição oposta está sua base formando o forame apical, que define o final do canal radicular.

Estudos anatômicos realizados à luz da microscopia apontam uma margem entre 0,5 mm e 1,0 mm de distância entre a constrição e o forame apicais (KUTTLER, 1955; GREEN, 1960). Em razão destes achados, diversos autores apontam 1,0 mm aquém do vértice radiográfico, ou ápice radicular, como limite ideal para a finalização dos procedimentos endodônticos (KATZ *et al.*, 1991; RICCUCI; LANGELAND, 1998). Com efeito, vários foram os métodos propostos no intuito de determinar o término dos canais radiculares, incluindo métodos matemáticos, radiográficos e eletrônicos (NEKOOFAR *et al.*, 2006). O método radiográfico é indiscutivelmente o mais utilizado, todavia, apresenta diversas desvantagens, destacando-se a ocorrência de distorções, a sobreposição de estruturas anatômicas aos ápices dentários e a exposição dos pacientes à radiação (SAAD; AL-NAZHAM, 2000). Como se não fora o bastante, estudos realizados por Green (1956 e 1960) demonstram que o forame apical não coincide com o vértice anatômico, consequentemente também não com o radiográfico, ou seja, está localizado em posição para-apical, ocorrência encontrada em 41,0% dos dentes posteriores e 34,4% dos dentes anteriores. Desta forma, o surgimento de dispositivos ou técnicas capazes de precisamente definirem a posição da constrição apical, ou mesmo do forame apical, representaram grande avanço em termos de determinação do comprimento de trabalho e de obturação do SCR.

Foi Sunada (1962) quem desenvolveu o primeiro dispositivo desta natureza. Tais aparelhos surgiram em função dos estudos desenvolvidos por Custer (1918) e das observações de Susuki (1942), que definiram os padrões do sistema resistivo formado na região apical dos dentes, ou seja, diferenças de condução elétrica entre o interior do SCR e o periodonto apical, e determinaram a constante da diferença de condução nesta região estabelecida em $6,5\text{ k}\Omega$. Estes dispositivos foram denominados convencionalmente de “localizadores eletrônicos apicais”, todavia, as expressões “localizadores eletrônicos foraminais” ou “dispositivo de medição eletrônica do canal radicular” definem melhor estes equipamentos (NEKOOFAR *et al.* 2006). Estes localizadores eletrônicos foraminais (LEFs) têm como objetivo determinar eletronicamente a posição do forame apical ou da constrição apical, desta forma, definindo com pequena margem de erro a distância de tais estruturas em relação a uma referência incisal/oclusal e, consequentemente, o comprimento de trabalho do tratamento endodôntico.

Tais LEFs passaram por grande evolução desde sua introdução, fato que levou muitos autores e empresas a classificá-los em gerações, todavia, tal classificação é apontada por alguns autores como mercadológica e pouco científica (NEKOOFAR *et al.* 2006), desta forma os LEFs são atualmente classificados quanto ao seu mecanismo de funcionamento. Os primeiros LEFs desenvolvidos tinham seu funcionamento baseados na resistência elétrica dos tecidos, e utilizavam dois eletrodos carregados com cargas opostas, um inserido no interior do canal e outro adaptado ao lábio do paciente, e, por meio de uma corrente contínua, o equipamento detectava a busca variação de condução quando da passagem pelo forame (KIM; LEE, 2004; NEKOOFAR *et al.*, 2006). Estes primeiros dispositivos apresentaram como grandes desvantagens a incapacidade de medir canais úmidos e a ocorrência de polarização das membranas do paciente durante o uso, ou seja, submetia-se o paciente a um choque durante a medição dos canais (KIM; LEE, 2004; NEKOOFAR *et al.*, 2006; BERNARDES *et al.*, 2007). No intuito de minorar tais desvantagens, um novo grupo de LEFs foi desenvolvido, utilizando desta feita uma corrente elétrica alternada. A resistência elétrica medida com base neste tipo de corrente é denominada como impedância, ou seja, a capacidade que os materiais exibem de impedir a passagem de uma corrente elétrica alternada. Embora estes dispositivos não apresentassem o problema da polarização, ainda vivenciavam grandes dificuldades de medição quando da presença de condutores no interior do SCR, obrigando a necessidade de calibração prévia a utilização e incorrendo em grande variação em sua precisão (KIM; LEE, 2004; NEKOOFAR *et al.*, 2006).

Os métodos empregados pelos LEFs anteriormente descritos, apesar de representarem a evolução histórica, não se encontram disponíveis nos equipamentos atuais. Atualmente os LEFs utilizam, em sua maioria, um funcionamento baseado no princípio da impedância frequência-dependente. Por meio de uma corrente elétrica alternada em duas ou mais freqüências, os dispositivos determinam, em função de métodos diferentes, a posição dos instrumentos endodônticos no interior dos canais (KIM; LEE, 2004; NEKOOFAR *et al.*, 2006). Dentre os LEFs que utilizam este mecanismo, o aparelho mais amplamente utilizado é o Root ZX (J. Morita, Kyoto, Japão) que calcula o quociente de impedâncias utilizando duas freqüências, simultaneamente, 0,4 e 8,0 kHz (NEKOOFAR *et al.*, 2006; CAMARGO *et al.*, 2009; SIU; MARSHALL; BAUMGARTNER, 2009; STOBER *et al.*, 2011). Este aparelho foi avaliado em diversos estudos, tendo apresentado resultados bastante confiáveis (D'ASSUNÇÃO *et al.*, 2007; EBRAHIM; WADACHI; SUDA, 2007; CAMARGO *et al.*, 2009; D'ASSUNÇÃO *et al.*, 2010; VASCONCELOS *et al.*, 2010; MANCINI *et al.*, 2011; JUNG *et al.*, 2011; CIANCONI *et al.*, 2011). Outro aparelho largamente difundido é o Mini

Apex Locator (SybronEndo, Glendora, EUA), desenvolvido em tamanho restrito, o que, segundo o fabricante, o torna bastante atraente. Ainda segundo o fabricante, o aparelho utiliza duas frequências e sinal totalmente digital, íntegro e aumentado para suas determinações, o que incrementa sua precisão. Todavia, seu exato mecanismo de funcionamento não se encontra disponível na literatura. Ainda empregando mecanismo impedância frequência-dependente encontra-se disponível o iPex (NSK, Tochigi, Japão), que apesar de poucas informações estarem disponíveis a seu respeito, sabe-se que se trata de um dispositivo multifrequência que utiliza duas frequências de sinal. Conforme destacado, destes LEFs sabe-se unicamente tratarem-se de dispositivos que utilizam duas frequências de sinal para suas determinações, sem contudo estarem disponíveis informações especialmente quanto a seus mecanismos de interpretação dos valores de impedância obtidos durante suas medições no interior do SCR. A despeito do que, têm apresentado bons resultados quando avaliados em condições normais de uso clínico (SIU; MARSHALL; BAUMGARTNER, 2009; CAMARGO *et al.*, 2009; STOLL *et al.*, 2010; VASCONCELOS *et al.*, 2010; NELSON-FILHO *et al.*, 2010; STOBER *et al.*, 2011).

Outra estratégia de medição baseada no princípio da impedância frequência-dependente pode ser encontrada em aparelhos recentemente introduzidos no mercado, como é o caso do RomiApex A-15 (Fórum tecnologia, Kyriat-ono, Israel) e do Propex II (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Suíça) (CIANCONI *et al.*, 2010; MANCINI *et al.*, 2011; MILETIC *et al.*, 2011). O primeiro representa uma evolução do Bingo 1020 (Fórum tecnologia, Kyriat-ono, Israel) e do RomiApex D-30 (Fórum tecnologia, Kyriat-ono, Israel) tendo seu mecanismo baseado na determinação da energia do sinal calculada em função da média de raízes quadradas de impedâncias em duas frequências, 0,5 e 8 kHz, medidas separadamente e comparadas a valores de referência armazenados na memória do dispositivo (CIANCONI *et al.*, 2010; MANCINI *et al.*, 2011). Segundo o fabricante, seu cálculo se baseia na medida da energia do sinal e não na sua amplitude como utilizada na maioria dos outros LEFs. Em função disto, este método apresenta a vantagem de receber menos influência do ruído eletromagnético presente no SCR, tornando-se mais preciso (MILETIC *et al.*, 2011). Utilizando-se de mecanismo semelhante, o Propex II tem seu funcionamento baseado na avaliação da energia do sinal medido entre duas frequências, 0,5 e 8,0 kHz, e não na sua amplitude. Apesar de apresentarem-se como dispositivos promissores, até o presente momento não existem estudos relatados na literatura avaliando a precisão do RomiApex A-15 tanto em condições *ex vivo* quanto *in vivo*. Encontrando-se disponível na literatura unicamente um estudo *in vivo* avaliando sua concordância com o Dentaport ZX (J. Morita,

Kyoto, Japão) e o Raypex 5 (VDW GmbH, Munique, Alemanha), onde o RomiApex A-15 obteve resultados semelhantes a estes aparelhos (MITELIC *et al.*, 2011). Já o Propex II, até o presente, foi avaliado unicamente quanto a sua precisão em condições *ex vivo*, tendo sido empregado em determinações realizadas ao nível foraminal, apresentando bons resultados, todavia, sem diferenças estatisticamente significantes (BRISENÔ-MARROQUIM *et al.*, 2008; CIANCONI *et al.*, 2010; MANCINI *et al.*, 2011). Deve-se ressaltar que, apesar de utilizarem mecanismos semelhantes, estes LEFs possuem componentes eletrônicos diferentes em função de *layouts* de interatividade distintos, não sendo conhecidas as possíveis variações advindas destas diferenças.

Ainda se encontra disponível outro método de determinação empregado unicamente pelo Elements Diagnostic Unit and Apex Locator (Sybron Endo, Anahein, E.U.A.). Para sua determinação, este aparelho utiliza não mais a interpretação de quocientes, diferenças, ou raízes quadradas de impedâncias em diferentes frequências mas sim realiza medições de valores de resistência e capacidade isoladamente a cada posição e compara-as a valores registrados em seu banco de dados para determinar a posição real dos instrumentos no interior dos canais. Da mesma forma, utilizam para tal mais de uma frequência (NEKOOFAR *et al.*, 2006). Em virtude da pouca difusão deste método entre os aparelhos disponíveis no mercado mundial, são escassas as avaliações quanto a sua precisão, porém, já existem relatos de valores de precisão próximos a 95% (BERNARDES *et al.*, 2007; CARMARGO *et al.*, 2009).

Vários foram os métodos sugeridos para avaliar a precisão dos LEFs, tanto estudos *ex vivo* quanto *in vivo* propuseram-se a avaliar estes dispositivos, apresentando vantagens e desvantagens inerentes à natureza do estudo. Os estudos *ex vivo* são ferramentas deveras importantes neste sentido, por permitirem a avaliação de vários dispositivos simultaneamente e em condições controladas. Normalmente, neste tipo de estudo, empregam-se dentes hígidos, de um mesmo grupo dental e de tamanhos semelhantes (NEKOOFAR *et al.*, 2006), com forames apicais patentes e com diâmetro conhecido (VASCONCELOS *et al.*, 2010; MILETIC *et al.*, 2011), utiliza-se apenas um tipo de solução irrigadora auxiliar (IBAROLLA *et al.*, 1999), realiza-se o pre-alargamento previamente às medições (CAMARGO *et al.*, 2009) e um único meio de condução que permita, de forma controlada, simular a condução elétrica do periodonto é utilizado (BALDI *et al.*, 2007). Tal controle de variáveis, contudo, pode vir a favorecer os dispositivos. Desta forma, estudos *in vivo* fornecem resultados mais aplicados à prática diária, por submeterem os LEFs a condições clínicas reais, atentando apenas para a eliminação de possíveis interferências incomuns na

prática diária. Estes estudos são comumente realizados em dentes que apresentam indicação de exodontia pelos mais variados motivos destacando-se como bastante eficientes e precisos (WELK; BAUMGARTNER; MARSHALL, 2003; WRBAS *et al.*, 2007; STOBER *et al.*, 2011).

De maneira geral, independentemente do mecanismo de funcionamento, a maioria dos LEFs disponíveis atualmente é extensamente avaliada e apresenta bons resultados quando levados até o forame apical, tanto em condições *ex vivo* quanto *in vivo* (D'ASSUNÇÃO *et al.*, 2007; EBRAHIM; WADACHI; SUDA, 2007; CAMARGO *et al.*, 2009; PASCON *et al.*, 2009; CARVALHO *et al.*, 2010; D'ASSUNÇÃO *et al.*, 2010; VASCONCELOS *et al.*, 2010; STOBER *et al.*, 2011; JUNG *et al.*, 2011). Entretanto, com o objetivo de preservar a anatomia e a vitalidade dos tecidos da região foraminal, e contando com a possibilidade de selamento biológico pela ação das células que compõem o tecido pulpar presente no canal cementário, alguns autores têm proposto a utilização dos LEFs em posições aquém do ápice, ou seja, aquém do 0,0 (BERNARDES *et al.*, 2007; VERSIANI *et al.*, 2009; STOLL *et al.*, 2010). Todavia, o efeito deste protocolo de utilização sob alguns dos mecanismos de funcionamentos empregados por diversos LEFs disponíveis atualmente não é conhecido até o presente momento. Neste sentido, achados recentes demonstraram que alguns LEFs tidos como mais modernos tiveram sua precisão severamente influenciada quando utilizados em posições aquém do forame periapical, chegando a apresentar variações significantes de distâncias médias ao comprimento de trabalho em suas determinações (VASCONCELOS *et al.*, 2010, STOLL *et al.*, 2010).

Em função do exposto, ressaltando-se a ausência de estudos que avaliem alguns dos LEFs disponíveis atualmente por meio de métodos *ex vivo* e *in vivo*, em condições de uso clínico e submetidos a modificações de protocolos de emprego, somado à grande disseminação deste tipo de equipamento entre especialistas e clínicos gerais, a realização de estudos avaliando os LEFs se faz fundamental no sentido de orientar os profissionais quanto ao seu melhor emprego e possíveis limitações. Para tal, tanto estudos *ex vivo* quanto *in vivo* podem contribuir para melhor compreensão do funcionamento destes dispositivos e sua relação com possíveis interferências, além de fornecerem resultados de comparações precisas entre as diversas opções disponíveis no mercado.

2 PROPOSIÇÃO

2.1 Objetivos gerais

O objetivo deste estudo é avaliar cinco localizadores eletrônicos foraminais disponíveis atualmente no mercado, e que empregam diferentes métodos de medição, quanto a sua precisão na determinação de odontometrias em condições *ex vivo* e *in vivo*.

2.2 Objetivos específicos

1- Avaliar a precisão *ex vivo* de cinco localizadores eletrônicos foraminais (Root ZX, Mini Apex Locator, Propex II, iPex e RomiApex A-15), que utilizam diferentes métodos eletrônicos para determinação de odontometrias, quando levados até o forame apical (0.0); Ainda, avaliar possíveis interferências nesta precisão quando de determinações realizadas um milímetro aquém do forame apical (-1,0 mm).

2- Avaliar em condições de uso clínico, *in vivo*, os localizadores eletrônicos foraminais Propex II e Root ZX, que empregam diferentes métodos de medição, quanto a confiabilidade de suas determinações quando levados até o forame apical, sendo utilizados nos mesmos dentes.

3 CAPÍTULOS

Esta tese está baseada no Artigo 46 do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Ceará, que regulamenta o formato alternativo para dissertações de Mestrado e teses de Doutorado e permite a inserção de artigos científicos de autoria ou coautoria do candidato (Anexo A). Por se tratarem de pesquisas envolvendo seres humanos, ou partes deles, os projetos de pesquisas destes trabalhos foram submetidos à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Ceará, tendo sido aprovados (Anexos B, e C). Assim sendo, esta tese é composta de dois capítulos contendo artigos submetidos para publicação em revista científica, conforme descrito abaixo.

- ✓ Capítulo 01: “Effect of measurements performed at positions short of the apex foramen in the precision of electronic foramen locators with different operating systems: an *ex vivo* study.” VASCONCELOS, B. C.; BUENO, M. M.; LUNA-CRUZ, S. M.; DUARTE, M. A. H.; FERNANDES, C. A. O. Este artigo foi submetido à publicação no *Journal of Endodontics*, ISSN 0099-2399 (Anexo D).

- ✓ Capítulo 02: “Electronic foramen locators based on different operation systems: an *in vivo* comparison of Root ZX and Propex II.” VASCONCELOS, B. C.; ARAUJO, R. B. R.; SILVA, F. C. F. A.; LUNA-CRUZ, S. M.; DUARTE, M. A. H.; FERNANDES, C. A. O. Este artigo foi submetido à publicação no *Journal of Endodontics*, ISSN 0099-2399 (Anexo E).

3.1 CAPÍTULO 1:

Title:

Effect of measurements performed at positions short of the apical foramen in the precision of electronic foramen locators with different operating systems: an *ex vivo* study.

Running Title:

An *ex vivo* comparison of canal length determination by five foramen locators.

Authors:

Bruno Carvalho de Vasconcelos DDS, MSc^{1,2};
Michele de Medeiros Bueno DDS³;
Suyane Maria Luna-Cruz DDS, MSc¹;
Marco Antonio Húngaro Duarte DDS, MSc, PhD⁴;
Carlos Augusto de Oliveira Fernandes DDS, MSc, PhD².

Affiliations:

1- School of Dentistry of Sobral, Federal University of Ceará; 2- Faculty of Pharmacy, Dentistry and Nursing, Federal University of Ceará; 3- Brazilian Dental Association – Ceará Section; 4- Faculty of Dentistry of Bauru, University of São Paulo.

Acknowledgments:

The authors deny any conflicts of interest.

Author for correspondence:

Bruno Carvalho de Vasconcelos

School of Dentistry of Sobral, Federal University of Ceará, Department of Endodontics.
Rua Stanislau Frota s/n, Bloco da Tecnologia, Centro. (62010-560)
Sobral, Ceará, Brazil.
Phone and Fax+55 88 36132603
e-mail: bcv@ufc.br

Effect of measurements performed at positions short of the apex foramen in the precision of electronic foramen locators with different operating systems: an *ex vivo* study.

Abstract

Introduction: The aim of the present study was to evaluate *ex vivo* the precision of five electronic foramen locators (EFLs) with different operating systems: Root ZX, Mini Apex Locator, Propex II, iPex, and RomiApex A-15, and the possible interference of positioning the instrument tips short of the apical foramen. **Methodology:** Forty-two mandibular bicuspids had their real canal lengths (RL) previously determined. Electronic measurements were performed 1.0 mm short of the foramen (-1.0 mm), followed by measurements at 0.0 mm. Data resulting from comparison of the EFL measurements and the RL were evaluated by Wilcoxon and Friedman tests at 5% significance. **Results:** Considering the measurements performed at 0.0 mm and -1.0 mm, the precision rates for the EFLs were: 70.6% and 47.1% (Root ZX), 61.8% and 52.9% (Mini Apex Locator), 67.6% and 52.9% (Propex II), 61.8% and 38.2% (iPex), and 73.5% and 38.2% (RomiApex A-15), respectively, considering ± 0.5 mm of tolerance. Regarding the mean discrepancies, no differences were observed at 0.0 mm; however, in the measurements at -1.0 mm iPex, a multifrequency EFL, had significantly more discrepant readings short of the apical foramen than the other devices, except for Propex II, which had intermediate results. When EFLs measurements at -1.0 mm were compared with those at 0.0 mm, Propex II, iPex and RomiApex A-15 presented significantly higher discrepancies in their readings. **Conclusions:** Under the conditions of the present study, all EFLs provided acceptable measurements at 0.0 mm. However, at -1.0 mm, those EFLs had lower precision, with statistically significant differences for Propex II, iPex, and RomiApex A-15.

Introduction

Precise root canal length determination using the apical constriction or the apical foramen as apical references is an extremely relevant factor for the success of endodontic treatment (1-5). Electronic foramen locators (EFLs) are considered efficient tools for this purpose, achieving precision percentages of 80% *ex vivo* (6-10) and *in vivo* (5, 11, 12).

Presently, the most widely used EFL is Root ZX (J. Morita, Kyoto, Japan), which simultaneously measures the impedance values at two frequencies (0.4 and 8.0 kHz) then calculates their quotient (5, 9-11, 13). This device has been extensively evaluated, showing precision rates greater than 90% (9, 10, 14-19). Another popular EFL is the Mini Apex Locator (SybronEndo, Glendora, USA), a compact device operating as a two frequency-based measurement system that emits an all-digital signal, which according to its manufacturers,

leads to improved precision. Another EFL, the iPex (NSK, Tochigi, Japan), based on a multifrequency principle, was launched in 2008. However, little information is available regarding its technical specifications, aside from the fact that it utilizes two signal frequencies. Both Mini Apex Locator and iPex have demonstrated satisfactory clinical results, despite the relative lack of information on their operating mechanisms, especially on how these devices interpret electronically the impedance values obtained in the different frequencies during measurements within the canal (5, 9-11, 20, 21).

Recently launched in the market, RomiApex A-15 (Romidan Ltd., Kyriat Ono, Israel) and Propex II (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Switzerland), measure the working length by calculating the mean square root values of the impedance at two frequencies (0.5 and 8.0 kHz), measured separately (16, 18, 22). The results obtained are compared with reference values stored in the memory of the equipment. Thus, differently from most EFLs, RomiApex A-15 and Propex II operate by detecting the energy of the signal, rather than its amplitude (22). Although these devices seem promising, up to the present moment there are no studies in the literature evaluating the precision of RomiApex A-15 both *ex vivo* and *in vivo*. As for Propex II, up to the present, its precision has only been evaluated *ex vivo* and at the foramen level, with satisfactory results (16, 18, 23). Despite being based on similar operating systems, these devices have different electronic components with distinct layouts, and possible variations due to these differences are still unknown.

Regardless of their operating mechanisms, EFLs have been extensively evaluated, demonstrating satisfactory precision when files are inserted up to the apical foramen (8-19, 24). Nevertheless, some authors suggest adoption of working length measurements short of the foramen in order to preserve the vitality of the foraminal tissues and possibly allow the formation of biological seal by the pulp tissue cells present in the cemental canal (7, 20, 25). However, the effects of this protocol of EFL utilization are unknown for some operating mechanisms employed by several of the devices currently in use. Recent studies show that the precision of some EFLs is negatively affected in measurements short of the foramen, with significant variations in mean distances to the working length in their measurements (10, 20).

With this in mind, the aim of the present study was to evaluate the performance of Root ZX, Mini Apex Locator, Propex II, iPex, and RomiApex A-15, EFLs with different operating systems, in measurements conducted at the apical foramen (0.0 mm), a level at which RomiApex A-15 has never been evaluated, and at 1.0 mm short of the apical foramen (-1.0 mm), where only Root ZX and iPex have been tested and will therefore be used as controls.

Materials and Methods (Apêndice A)

Forty-two single-rooted human mandibular bicuspids with completely formed roots and referred to extraction for orthodontic reasons were selected. This study was approved by the Ethics Committee of the Federal University of Ceará, Brazil under protocol number 099/11 (Anexo B), prior to sample collection (Apêndices B e C). All teeth were healthy, corresponded to Vertucci's type I root canal configuration and did not exhibit sharp curvatures.

Coronal access was performed using #1012 and #3081 high speed diamond burs (KG Sorensen, Barueri, Brazil) under constant irrigation. When absent, flat surfaces were created to serve as anatomical reference for the rubber stops. Canals were initially explored with #10 K-files (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Switzerland) to confirm the absence of anatomic alterations and the foraminal patency. Two teeth did not meet these criteria and were excluded from the study. The remaining specimens were numbered and had their real lengths (RL) determined by K-files introduced in the canal until their tips were visualized at the foramen opening under 16x magnification using an operating microscope (DF Vasconcellos, São Paulo, Brazil). The distance between the tip of the file and the stop was measured by a digital caliper with ± 0.01 mm resolution (FNCL; Worker Gage, Esteio, Brazil). At this moment the mean diameter of the K-file adjusted at real canal lengths were determined being 250 μ m, ranging between 150 μ m and 350 μ m.

The coronal and middle thirds were prepared using K³ 30/06 files (SybronEndo, Anaheim, USA) 5.0 mm short of the RL, under irrigation with 2.5% sodium hypochlorite. After that, the excess solution was removed but canals remained moist. The root apices were embedded in alginate (Jeltrate II; Dentsply, Petropolis, Brazil) previously mixed and immediately placed in a plastic container, along with the EFL lip clip. Only five teeth were embedded per container, to ensure the alginate remained fresh. All devices were used at full power and measurements were conducted in triplicate by an operator blind to the RL. The first LEF to be used was randomly determined, alternating the sequence employed for the remaining LEFs. All the measurements were performed with files well fitted to the canal diameter at the length appointed by each device. Initially, the file was inserted until the device display that the tip was 1.0 mm short of the apex foramen, and then the instrument was removed from the canal and measured. Measurements at the foramen level were conducted in

the same manner, but the file was inserted until “APEX” and/or 0.0 were displayed. Measurements were considered concluded only after 05 seconds of stability.

The mean values obtained were compared to the RL and RL - 1.0 mm in order to calculate the mean error (discrepancy) of each device, in millimeters, at the two positions relative to the foramen. Considering the nonparametric nature of the data presented by the goodness-of-fit Shapiro-Wilks test, statistical analyses were carried out by the Wilcoxon test for the comparisons between both levels (0.0 mm and -1.0 mm) for each EFL measurement and by the Friedman test for comparisons among the EFLs at the same level, both with significance established at 5.0%.

Results

Table 1 presents the mean discrepancies, in millimeters, between the electronic measurements and the previously established RL and RL - 1.0 mm. Comparison of the measurements at 0.0 mm and -1.0 mm using Propex II, iPex, and RomiApex A-15 showed statistically significant difference ($P < 0.05$), which was not observed for Root ZX and Mini Apex Locator ($P > 0.05$). Measurements taken at the foramen (0.0) ($P > 0.05$) were statistically similar among the devices. However, at -1.0 mm, iPex demonstrated significantly lower precision than the other devices ($P < 0.05$), except for Propex II, which provided intermediate results but was not statistically different from the others. Regardless of the EFL used, statistically significant differences in precision were also detected between the measurements taken at 0.0 mm and -1.0 mm ($P > 0.05$).

Table 2 lists the percentages of measurements obtained with two different margins of error (± 0.5 mm and ± 1.0 mm) at 0.0 mm and -1.0 mm from the apical foramen, and shows the instances where the devices obtained the exact and acceptable measurements. Measurements beyond the foramen were extremely rare, occurring only with Root ZX (5.8%), RomiApex A-15 (5.8%), and iPex (2.9%).

Discussion

Although results from *ex vivo* studies should not be simply extrapolated to a clinical setting, they still provide valuable information. It would be difficult to use such large number of devices in the same patient. Furthermore, *ex vivo* tests allow, as performed in the present study, the maintenance of controlled conditions by using fresh alginate to simulate the

periapical tissues (26), keeping canals moist with NaOCl solution during the measurements (27), by verifying patency of each canal, preflaring, and measuring the canals with well-fitted files (9, 15, 28).

The values obtained for measurements at the foramen level corroborate previous studies, showing precision rates of approximately 90% (Root ZX 88.2%, Mini Apex Locator 88.2%, Propex II 91.2%, iPex 85.3%, and RomiApex A-15 91.2%), assuming a tolerance margin of ± 1.0 mm (5, 8, 10, 11, 29). Some authors, however, consider this margin to be excessive, overestimating the precision of the devices (8-11, 30). In fact, when the tolerance margin was set at ± 0.5 mm, we observed marked reduction in the precision of all EFLs (Root ZX 70.6%, Mini Apex Locator 61.8%, Propex II 67.6%, iPex 61.8%, and RomiApex A-15 72.5%), also reported by Pascon et al. (8) and Vasconcelos et al. (10). Thus, considering the risks of overestimation of the precision of the devices, it seems more adequate to consider the tolerance margin of ± 0.5 mm.

The mean error values showed that, regardless of operating system, all the devices tested had adequate precision at the foramen level (0.0 mm), corroborating previous evaluations for Root ZX (8-10, 16-19), Mini Apex Locator (9, 14, 17), Propex II (16, 18, 19), and iPex (5, 10, 21). For RomiApex A-15, no previous studies with similar design evaluating its precision were found. However, our findings show that this device had the lowest mean error among all EFLs tested, suggesting that systems based on evaluation of the energy of the signal instead of its amplitude may result in extremely reliable measurements. For measurements at -1.0 mm all devices suffered reduction in their mean error values. Previous studies show similar values for Root ZX at this position (7, 10, 20), which despite showing slight increase in its mean error (from 0.39 mm to 0.61 mm), this can still be considered a precise device for measurements at -1.0 mm. Similarly, the results for iPex corroborate previous evaluation, where great variation in mean error values were found in measurements conducted short of the apical foramen (10). In the present study, the mean discrepancy of iPex rose from 0.47 mm to 1.01 mm, corresponding to the worst result among the devices tested ($P < 0.05$). For some reason still unclear due to the relative lack of information regarding the operation of iPex, it seems that the precision of this multifrequency device is greatly affected when the instruments do not reach the apical foramen. One possible hypothesis is that its operating system interprets the capacitance and the resistance separately at some moments, which would explain its loss of reliability when the latter factor is absent when determining the position of the instruments within the canals.

The other EFLs, until now, had not been tested at positions short of the apical foramen. Mini Apex Locator, Propex II, and RomiApex A-15 also showed increase in their mean error values from 0.40 mm to 0.61 mm, from 0.39 mm to 0.80 mm, and from 0.38 mm to 0.68 mm, respectively. The results provided by the Mini Apex Locator, despite the limited technical information available, suggest that its mechanism may be quite similar to that of Root ZX, since the devices presented analogous behavior at different levels. This was also observed in previous studies, where these devices were submitted to different canal preparations or in the presence of different irrigating solution (9,14,17). Propex II and RomiApex A-15 presented statistical difference between their measurements at both levels (0.0 mm and -1.0 mm) ($P < 0.05$). This behavior suggests that although these EFLs rely on energy signal and not on its amplitude, their sensitivity is reduced when complicating factors, such as not reaching the apical foramen, are present. This may be explained by the loss of resistance data, similarly to what might have occurred to iPex.

The results demonstrate the importance of conducting electronic canal length measurements at the foraminal level, with the file tip positioned either at the apical constriction or at the major apical foramen (structures which cannot be differentiated clinically) (20, 31). All devices showed loss of precision when the instruments were inserted up to levels short of these anatomical references. Nevertheless, Mini Apex Locator, together with Root ZX, which operates by calculating the impedance at two different frequencies, had smaller loss of precision when the tip was positioned 1.0 mm short of the apical foramen. On the other hand, iPex, a multifrequency device, Propex II and RomiApex A-15, devices those operate by detecting the energy of the signal, suffered significant loss of precision. Regardless of these observations, it should be highlighted that these devices had excellent performance at the foramen level, and may be reliable measurement tools if used correctly.

Based on our results and considering the conditions of the present study, it is possible to affirm that all EFLs evaluated are safe, but not infallible tools for root canal length determination with files positioned at the foramen (0.0). Practitioners should be aware that performing measurements 1.0 mm short of the apical foramen, in order to prevent harm to the tissues present in the cemental canal, may negatively affect the precision of these devices.

REFERENCES

1. Wu MK, Shemesh H, Wessellink PR. Limitations of previously published systematic reviews evaluating the outcome of endodontic treatment. *Int Endod J* 2009;42:656-66
2. Riccuci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J* 1998;31:384-93.
3. Riccuci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. Histological study. *Int Endod J* 1998;31:394-409.
4. Ravanshad S, Adl A, Anvar J. Effect of working length measurement by electronic apex locator or radiography on the adequacy of final working length: a randomized clinical trial. *J Endod* 2010;36:1753-6.
5. Stober EK, Duran-Sindreu F, Mercandé M, Vera J, Bueno R, Roig M. An evaluation of Root ZX and iPex apex locators: An in vivo study. *J Endod* 2011;37:608-10.
6. Plotino G, Grande NM, Brigante L, Lesti B, Osma F. Ex vivo accuracy of three electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator and Propex. *Int Endod J* 2006;39:408-14.
7. Bernardes RA, Duarte MAH, Vasconcelos BC, Moraes IG, Bernardineli N, Garcia RB, Baldi JV, Victorino FR, Bramante CM. Evaluation of precision length determination with 3 electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit, RomiApex D-30. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104:e91-4.
8. Pascon EA, Marrelli M, Congi O, Ciancio R, Miceli F, Versiani MA. An ex vivo comparison of working length determination by 3 electronic apex locators. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;108:e147-51.
9. Camargo EJ, Zapata RO, Medeiros PL, Bramante CM, Bernardineli N, Garcia RG, Moraes IG, Duarte MAH. Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators. *J Endod* 2009;35:1300-2.
10. Vasconcelos BC, Vale TM, Menezes AST, Pinheiro-Jr EC, Vivacqua-Gomes N, Bernardes RA, Duarte MAH. An ex vivo comparison of root canal length determination by three electronic apex locators at positions short of the apical foramen. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;110:e57-61.
11. Siu C, Marshall JG, Baumgartner JC. An in vivo comparison of the Root ZX II, the Apex NRG XFR, and Mini Apex Locator by using rotary nickel-titanium files. *J Endod* 2009;35:962-5.

12. Beltrame AP, Triches TC, Sartori N, Bolan M. Electronic determination of root canal working length in primary molar teeth: an in vivo and ex vivo study. *Int Endod J* 2011;44:402-6.
13. Nekoofar MH, Ghandi MM, Hayes SJ, Dummer PMH. The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *Int Endod J* 2006;39:595-609.
14. D'Assunção FL, Albuquerque DS, Salazar-Silva JR, Queiroz-Ferreira LC, Bezerra PM. The accuracy of root canal measurements using the Mini Apex Locator and Root ZX II: an evaluation in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104:e50-3.
15. Ebrahim AK, Wadachi R, Suda H. In vitro evaluation of the accuracy of five different electronic apex locators for determining the working length of endodontically retreated teeth. *Aust Endod J* 2007;33:7-12.
16. Cianconi L, Angotti V, Felici R, Conte G, Mancini M. Accuracy of three electronic apex locators compared with digital radiography: an ex vivo study. *J Endod* 2010;36:2003-7.
17. D'assunção FL, Albuquerque DS, Salazar-Silva JR, Dos Santos VC, Sousa JC. Ex vivo evaluation of the accuracy and coefficient of repeatability of three electronic apex locators using a simple mounting model: a preliminary report. *Int Endod J* 2010;43:269-74.
18. Mancini M, Felici R, Conti G, Constantine M, Cianconi L. Accuracy of three electronic apex locators in anterior and posterior teeth: an ex vivo study. *J Endod* 2011;37:684-7.
19. Jung IY, Yoon BH, Lee SJ. Comparison of the reliability of "0.5" and "APEX" mark measurements in two frequency-based electronic apex locators. *J Endod* 2011;37:49-52.
20. Stool R, Urban-Klein B, Roggendorf MJ, Jablonski-Momenl A, Strauch, Frankenberger R. Effectiveness of four electronic apex locators to determine distance from apical foramen. *Int Endod J* 2010;43:808-17.
21. Nelson-Filho P, Romualdo PC, Bonifacio KC, Leonardo MR, da Silva RA, da Silva LA. Accuracy of the iPex multi-frequency electronic apex locator in primary molar: an ex vivo study. *Int Endod J* 2011;44:303-6.

22. Miletic V, Beljic-Ivanovic, Ivanovic V. Clinical reproducibility of three electronic apex locators. *Int Endod J* 2011;44:769-76.
23. Briseño-Marroquín B, Frajlich S, Goldberg F, Willershausen B. Influence of instrument size on the accuracy of different apex locators: an in vitro study. *J Endod* 2008;34:698-702.
24. Carvalho AL, Moura-Netto C, Moura AA, Marques MM, Davidowics H. Accuracy of three electronic apex locators in the presence of different irrigating solutions. *Braz Oral Res* 2010;24:394-8.
25. Versiani MA, Santana BP, Caram CM, Pascon EA, de Souza CJ, Biffi JC. Ex vivo comparison of the accuracy of Root ZX II in detecting apical constriction using different meter's readings. *Oral Surg Oral Med Oral Path Oral Radiol Endod* 2009;108:e41-5.
26. Baldi JV, Victorino FR, Bernardes RA, de Moraes IG, Bramante CM, Garcia RB, Bernardineli N. Influence of embedding media on the assessment of electronic apex locators. *J Endod* 2007;33:476-9.
27. Meares W, Steiman H. The influence of sodium hypochlorite irrigation on the accuracy of the Root ZX electronic apex locator. *J Endod* 2002;28:595-8.
28. Ibarolla J, Chapman B, Howard J, Knowles K, Ludlow M. Effect of preflaring onRoot ZX apex locators. *J Endod* 1999;25:625-6.
29. Goldberg F, De Silvio AC, Manfré S, Nastri N. In vitro measurement accuracy of an electronic apex locator in teeth with simulated apical root resorption. *J Endod* 2002;28:461-3.
30. Wrbas KT, Ziegler AA, Altenburger MJ, Schirrmeister JF. In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *Int Endod J* 2007;40:133-8.
31. Welk AR, Baumgartner JC, Marshall JG. An in vivo comparison of two frequency-based electronic apex locators. *J Endod* 2003;29:497-500.

Table 1. Distance (mm) from device measurements to 0.0 and -1.0

Device	0.0			-1.0		
	Mean	SD	Mean Ranks	Mean	SD	Mean Ranks
Root ZX	0.39 ^{a,A}	0.29	0.43	0.61 ^{a,A}	0.35	0.62
Mini Apex Locator	0.40 ^{a,A}	0.32	0.50	0.61 ^{a,A}	0.53	0.61
Propex II	0.39 ^{a,A}	0.30	0.50	0.80 ^{b,AB}	0.41	0.81
iPex	0.47 ^{a,A}	0.43	0.54	1.01 ^{b,B}	0.55	1.01
RomiApex A-15	0.38 ^{a,A}	0.27	0.39	0.68 ^{b,A}	0.38	0.66

^{a,b}Different superscript lower case letters indicate statistically significant differences between different positions in the same device according to the Wilcoxon test ($P < .05$).

^{A,B}Different superscript upper case letters indicate statistically significant differences between different devices at the same position according to the Friedman test ($P < .05$).

Table 2. Number of cases with precise and acceptable measurements for the different foramen locators

Device	0.0			-1.0		
	Precise	Acceptable		Precise	Acceptable	
		± 0.5	± 1.0		± 0.5	± 1.0
Root ZX	5.9%	70.6%	88.2%	2.9%	47.1%	88.2%
Mini Apex Locator	2.9%	61.8%	88.2%	5.9%	52.9%	85.3%
Propex II	8.8%	67.6%	91.2%	5.9%	38.2%	73.5%
iPex	8.8%	61.8%	85.3%	0.0%	38.2%	61.8%
RomiApex A-15	8.8%	73.5%	91.2%	0.0%	38.2%	85.3%

3.2 CAPÍTULO 2:

Title:

Electronic foramen locators based on different operation systems: an *in vivo* comparison of Root ZX and Propex II.

Running Title:

In vivo comparison of Root ZX and Propex II precision.

Authors:

Bruno Carvalho de Vasconcelos DDS, MSc^{1,2};
 Rebeca Bastos Rocha Araújo DDS, MSc²;
 Francisco Cláudio Fernandes Alves e Silva DDS, MSc²;
 Suyane Maria Luna-Cruz DDS, MSc¹;
 Marco Antonio Húngaro Duarte DDS, MSc, PhD³;
 Carlos Augusto de Oliveira Fernandes DDS, MSc, PhD².

Affiliations:

1- School of Dentistry of Sobral, Federal University of Ceará; 2- Faculty of Pharmacy, Dentistry and Nursing, Federal University of Ceará; 3- Faculty of Dentistry of Bauru, University of São Paulo.

Acknowledgments:

The authors deny any conflicts of interest.

Author for correspondence:

Bruno Carvalho de Vasconcelos

School of Dentistry of Sobral, Federal University of Ceará, Department of Endodontics.
 Rua Stanislau Frota s/n, Bloco da Tecnologia, Centro. (62010-560)
 Sobral, Ceará, Brazil.

Phone and Fax+55 88 36132603
 e-mail: bcv@ufc.br

Electronic foramen locators based in different operation systems: an *in vivo* comparison of Root ZX and Propex II.

ABSTRACT

Introduction: The aim of the present study was to evaluate *in vivo* the precision of two electronic foramen locators (EFLs), Root ZX and Propex II, used in the same teeth. **Methods:** After coronal access preparation and prior to extraction, the total lengths (TL) of 24 canals were sequentially determined alternating the two EFLs. All measurements were performed at the “APEX” level. Canals were kept moist using 2.5% sodium hypochlorite and K-files were fitted to the apical walls at the length presented by the devices at each canal. The last files used were affixed in place, the teeth were extracted, and the 4.0 mm apical portion of each canal was exposed in order to assess the distance between the tip of the file and the apical foramen (AF). **Results:** The mean errors were -0.03 ± 0.36 mm (Root ZX) and -0.23 ± 0.41 mm (Propex II). The AF was accurately located in 75% (Root ZX) and 66.7% (Propex II) of the specimens, considering a margin of error of ± 0.5 mm. Analysis by the Wilcoxon test for paired samples showed significantly higher values for distance from the AF for Propex II ($P < 0.05$). **Conclusions:** EFLs are reliable tools for root canal length determination *in vivo*. Under the clinical conditions of the present study, Root ZX was more precise than Propex II.

INTRODUCTION

Success of endodontic treatment may be confirmed clinically, radiographically, or histologically. Histological success is the true objective of endodontic therapy (1), despite not being normally confirmed in the clinical setting. Several *in vivo* studies have demonstrated that histological conditions are more favorable when the obturation remains *short of* or limited to the apical constriction (2, 3). However, precise determination of this anatomical landmark is extremely difficult (4-6).

Based on the principles described by Custer (7) in 1918, several devices for measuring the root canal length have been developed and tested. Despite initially frustrated tentatives, electronic foramen locators (EFLs) have evolved and today are regarded as important tools in clinical endodontic practice (8). Since their introduction, the precision of these devices has been the aim of *ex vivo* and *in vivo* investigations, demonstrating rates between 60% and 90% (9-18). Despite these high percentages, new methods for canal length determination have been studied, aiming to further enhance the accuracy of the readings and minimize the potential interference of clinical difficulties such as presence of different fluids

within the canal, anatomical variations, absence of foraminal patency, use in immature teeth with open apices, among others (5, 9, 15, 18-20).

Root ZX (J. Morita, Kyoto, Japan), one of the most extensively evaluated EFLs (8), was developed by Kobayashi and Suda (21). Its operates by calculating the impedance quotient in two distinct frequencies (0.4 and 8.0 kHz), employed simultaneously at each point within the root canals during its measurement. This device has shown precision rates greater than 90% and up to 100% even when used in unfavorable conditions, and for this reason is recognized as the gold standard of apex locators (8, 16-18).

Propex II (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Switzerland), an EFL recently launched into the market, operates by capturing the energy of the signal of the alternating current and in light of this calculating the mean square root of impedances in two frequencies (0.5 and 8.0 kHz) measured separately. The data obtained by these calculations are compared to reference values stored in its memory providing readings of the file positions during its penetration in the root canals (22, 23). Differently from most EFLs, the Propex II operating system measures not only the amplitude of the signal but also its energy, being reportedly less affected by potential interferences in the root canal (20, 22, 23). Until now, the *in vivo* precision of Propex II had not been determined in the literature. The previous *ex vivo* studies performed assessing its precision at the apical foramen level demonstrated its potential as root canal length measurement device (22, 23).

Considering the aforementioned factors, along with the lack of studies evaluating *in vivo* the precision of locators that evaluate signal energy, the promising results in terms of the precision of these devices, as well as their widespread usage among endodontists, the aim of the present study was to evaluate *in vivo* the precision of Propex II in comparison with Root ZX in clinical conditions, by determining the location of the apical foramen using both devices in the same teeth.

MATERIAL AND METHODS (Apêndice D)

Ten adult patients with no systemic disease, aged from 18 to 30 years (mean age 24 years old), and who required extraction of bicuspids for orthodontic reasons were selected. All patients signed a voluntary and informed consent form (Apêndices E e F). This study was approved by the Committee of Ethics in Research of the Federal University of Ceará, Brazil under protocol number 100/11 (Anexo C).

The inclusion criteria were: absence of systemic disease, recommended extraction of at least one bicuspid as part of orthodontic treatment planning, and that this tooth presents

vital pulp. Teeth with extensive carious lesions, metallic class II restorations or restorations with signs of leakage, presence of dental resorption, or incompletely formed apices were excluded from this study.

After sample size calculations, seventeen teeth totaling 28 canals were used in the analyses. All procedures were carried out by a single experienced operator, following the protocol described by Welk et al. (10). After periapical radiographs were taken, teeth were anesthetized with 2% mepivacaine (Scandicaine 2%, Septodont, Saint-Mar-des-Fosses, France) and isolated with a rubber dam. Access cavities were prepared using #1012 and #3081 high speed diamond burs (KG Sorensen, Barueri, Brazil) under constant irrigation. Flat surfaces, when not present, were created to provide stable reference points for the measurements. Canals were preflared with SX and S1 ProTaper rotary files (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Switzerland) attached to an electric handpiece (Endomate DT; NSK, Tochigi, Japan), maintaining a distance of 5.0 mm from the total length based on the initial radiograph. Canals were irrigated during the chemomechanical preparation with 2.5% sodium hypochlorite (Biodinâmica, Ibirapuã, Brazil), and at its conclusion, excess solution was suctioned keeping the canals moist.

Electronic measurements were conducted using hand K-files (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Switzerland) well fitted to the apical walls at the length presented by the devices at each canal. Since measurements were performed by both EFLs in all teeth, the first one to be used was randomly selected and their use was alternated. Both devices were operated according to manufacturers' instructions: after positioning the lip clip, the electrode was attached to the file inserted in the canal. The file was then advanced into the canal until the EFL screen displayed the word "APEX" (Root ZX) or "APEX" simultaneously to "0.0" (Propex II). The instrument was held in the same position for 5 seconds, the rubber stop was positioned on the occlusal reference, and a new measurement was made, with care not to inadvertently shift the file. The distance between the tip of the file and the stop was measured by a digital caliper with ± 0.01 mm resolution (FNCL; Worker, Esteio, Brazil). Measurements were recorded and the procedure was repeated with the other EFL, using the same file. Next, the file was re-inserted in the canal up to the measurement indicated by the last device and affixed at this position with a cyanoacrylate-based adhesive (Super Bonder; Loctite do Brazil, São Paulo, Brazil). After the adhesive was set, canal length measurements were confirmed, the rubber dam was removed, and the tooth was extracted.

In order to expose the canal, the apical 4.0 mm of each root was ground from buccal to lingual, under 16x magnification using an operating microscope (DF Vasconcellos,

São Paulo, Brazil). To prevent disruption of the file, the last layer was carved with a scalpel. Following that, each specimen was photographed (Apêndice G) and the images were analyzed by Image Tools 3.0 (UTHSCSA, San Antonio, TX, USA) by two previously calibrated examiners who were blinded to the device used (Apêndice H). The distance between the tip of each file and the most coronal border of the apical foramen was determined, and in case of disagreement, a third examiner was consulted. Negative and positive values were attributed to measurements that were short and beyond the apical foramen, respectively. The difference in length (in millimeters) between the file that was fixated (measurement with the last EFL) and the first file used (first EFL) was also calculated for each canal. Due to the nonparametric nature of the mean error values, attested by the goodness-of-fit Shapiro-Wilks test, data were statistically evaluated by the Wilcoxon test for paired groups with significance set at 5%. The numbers of teeth with measurements registered by the devices at each position were statistically compared by the chi-square test, with the significance level also set at 5%.

Results

Four canals were eliminated from this study: two roots were fractured during extraction and two were damaged while being prepared for analysis. Therefore, the effective sample size was 24 canals. The mean size of K-files adapted to the apical foramen determined by the LEFs was #25, ranging between #20 and #40. Table 1 shows the mean distance from the tip of the instrument to the apical foramen for Root ZX (-0.02 ± 0.36 mm) and Propex II (0.23 ± 0.41 mm). Paired statistical analysis showed that Propex II had a significantly higher number of measurements short of the apical foramen than Root ZX ($P < 0.05$).

The distribution of the measurements obtained from both EFLs is shown in Table 2. Root ZX had precision rates ranging from 75% to 100%, while the precision of Propex II ranged from 66.7% to 100% with tolerance intervals set at ± 0.5 mm and ± 1.0 mm, respectively. The analysis performed by chi-square test did not show statistical differences. The percentages of measurements beyond the apex were 37.5% for Root ZX and 20.9% for Propex II.

DISCUSSION

The present work evaluated, *in vivo*, the precision of two EFLs for establishing the distance from a coronal reference and the apical foramen, while attempting to minimize anatomical or external interferences. For this reason, only teeth with vital pulps (9, 24), subjected to coronal preflaring (13, 25), and with patent apical foramina (14, 20) were

included in the sample. In order to further limit potential interferences, we used files that were well fitted to the diameters of each canal (13, 25, 26) and 2.5% sodium hypochlorite as the only solution used for irrigation (27, 28). Also, both EFLs were used alternately in all specimens of the sample to ensure absolutely similar clinical conditions (10, 12).

The anatomical structure that should be used as apical reference for calculations of EFL error is not consensual among different researchers. Some recommend using the apical constriction (10, 12, 22, 23, 29), while others prefer the apical foramen (17, 18, 30-32). Many authors suggest that determining the accurate location of the apical constriction is extremely difficult, almost impossible in some cases (17, 30, 31), therefore we adopted the apical foramen as reference for the measurements, as previously described by Stober et al (17).

The precision rates presented by Root ZX in this study were 75% (± 0.5 mm) and 100% (± 1.0 mm), with mean discrepancy of -0.02 mm from the apical foramen. These results corroborate findings from other authors, who observed percentages ranging from 60% to 100%, depending on the tolerance margin, and mean error values near 0.0 mm (10-13, 16, 17). These values attest the efficacy of the Root ZX measurement approach, confirming that the evaluation of quotient of impedances of two frequencies assembled simultaneously may be considered a strongly reliable method. Measurements beyond the foramen occurred in 37.5% of the measurements, which is in agreement with other authors who reported 40% (12) and 30.8% (33). However, the occurrence of measurements beyond the foramen could be a consequence of the greater approximation to this anatomical reference. If we consider only measurements beyond the apex with distance greater than the tolerance margin, these occurrences make up only 12.5% of the cases.

A review of the literature failed to find any studies on the accuracy of the Propex II. For this device, we observed precision of 66.7% (± 0.5 mm) and 100% (± 1.0 mm) with mean distance from the apical foramen of -0.23 mm. Previous *ex vivo* studies show precision of 82.2% (± 0.5 mm), mean discrepancy of 0.27mm (22); and precision of 89.7% (± 0.5 mm) with discrepancy of 0.14 mm (23). Comparison of these results with those from the present work reveals that while the discrepancy values were similar, the *in vivo* precision rates of Propex II were lower. Such differences may be attributed to factors inherent to these *ex vivo* studies, such as the use of electroconductive gel to simulate the periodontal tissues. The percentage of measurements beyond the apex for Propex II (20.7%) was lower than that of Root ZX, which is in agreement with reports from previous *ex vivo* studies, where measurements beyond the apical foramen accounted for 17.8% (22). Despite the statistical

differences presented between the Propex II and the Root ZX measurements ($P < 0.05$), the operating mechanism of the novel EFL, which is based on evaluating the energy of the current signal by calculating the mean square root of impedances in two frequencies, seems to be a reliable method. This device was capable of exceeding interferences in the resistance/capacitance system, since its mean error was close to the apical foramen. Moreover, this system demonstrates to be safe, since the percentage of measurements beyond the apical foramen with distances greater than the tolerance margin was only 4.2%.

In conclusion, under the conditions of this *in vivo* study, both measurement methods tested were capable of locating the apical foramen with high precision, suggesting that both systems, in different ways, can also surpass the difficulties in determining the root canal length and could be confirmed as reliable tools, regardless of their operating system. Although Root ZX was able to locate the apical foramen more precisely than Propex II, and Root ZX presented higher percentage of readings beyond the apex, the differences were not significant when compared by the chi-square test.

REFERENCES

1. Wu MK, Shemesh H, Wessellink PR. Limitations of previously published systematic reviews evaluating the outcome of endodontic treatment. *Int Endod J* 2009;42:656-66.
2. Riccuci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J* 1998;31:384-93.
3. Riccuci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. Histological study. *Int Endod J* 1998;31:394-409.
4. Kim E, Lee SJ. Electronic apex locator. *Dent Clin North Am* 2004;48:35-54.
5. Nekoofar MH, Ghandi MM, Hayes SJ, Dummer PMH. The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *Int Endod J* 2006;39:595-609.
6. Ravanshad S, Adl A, Anvar J. Effect of working length measurement by electronic apex locator or radiography on the adequacy of final working length: a randomized clinical trial. *J Endod* 2010;36:1753-6.
7. Custer LE. Exact methods of locating the apical foramen. *J Natl Dent Assoc* 1918;5:815-9.
8. Gordon MP, Chandler NP. Electronic apex locators. *Int Endod J* 2004;37:425-37.

9. Pommer O, Stamm O, Attin T. Influence of the canal contents on the electrical associated determination of the length of root canals. *J Endod* 2002;28:83-5.
10. Welk AR, Baumgartner JC, Marshall JG. An in vivo comparison of two frequency-based electronic apex locators. *J Endod* 2003;29:497-500.
11. Bernardes RA, Duarte MAH, Vasconcelos BC, Moraes IG, Bernardineli N, Garcia RB, Baldi JV, Victorino FR, Bramante CM. Evaluation of precision length determination with 3 electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit, RomiApex D-30. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104:e91-4.
12. Wrbaas KT, Ziegler AA, Altenburger MJ, Schirrmeyer JF. In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *Int Endod J* 2007;40:133-8.
13. Camargo EJ, Zapata RO, Medeiros PL, Bramante CM, Bernardineli N, Garcia RG, Moraes IG, Duarte MAH. Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators. *J Endod* 2009;35:1300-2.
14. ElAyouti A, Dima E, Ohmer J, Sperl K, von Ohle C, Lost C. consistency of apex locator function: a clinical study. *J Endod* 2009;35:179-81.
15. Ding J, Gutmann JL, Fan B, Lu Y, Chen H. Investigation of apex locators and related morphological factors. *J Endod* 2010;36:1399-403.
16. Vasconcelos BC, Vale TM, Menezes AST, Pinheiro-Jr EC, Vivacqua-Gomes N, Bernardes RA, Duarte MAH. An ex vivo comparison of root canal length determination by three electronic apex locators at positions short of the apical foramen. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;110:e57-61.
17. Stober EK, Duran-Sindreu F, Mercandé M, Vera J, Bueno R, Roig M. An evaluation of Root ZX and iPex apex locators: An in vivo study. *J Endod* 2011;37:608-10.
18. Stool R, Urban-Klein B, Roggendorf MJ, Jablonski-Momenl A, Strauch, Frankenberger R. Effectiveness of four electronic apex locators to determine distance from apical foramen. *Int Endod J* 2010;43:808-17.
19. Dunlap C, Remeikis N, BeGole E, Rauschenberger C. An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals. *J Endod* 1998;24:48-50.

20. Miletic V, Beljic-Ivanovic, Ivanovic V. Clinical reproducibility of three electronic apex locators. *Int Endod J* 2011;44:769-76.
21. Kobayashi C, Suda H. New electronic canal measuring device based on the ratio method. *J Endod* 1994;20:111-4.
22. Cianconi L, Angotti V, Felici R, Conte G, Mancini M. Accuracy of three electronic apex locators compared with digital radiography: an ex vivo study. *J Endod* 2010;36:2003-7.
23. Mancini M, Felici R, Conti G, Constantine M, Cianconi L. Accuracy of three electronic apex locators in anterior and posterior teeth: an ex vivo study. *J Endod* 2011;37:684-7.
24. Akisue E, Gavim G, de Figueiredo JA. Influence of pulp vitality on length determination by using the Elements Diagnostic Unit and Apex Locator. *Oral Surg Oral Med Oral Path Oral Radiol Endod* 2007;104:e129-32.
25. Ibarolla J, Chapman B, Howard J, Knowles K, Lundlow M. Effect of preflaring on Root ZX apex locators. *J Endod* 1999;25:625-6.
26. Ebrahim AK, Wadachi R, Suda H. In vitro evaluation of the accuracy of five different electronic apex locators for determining the working length of endodontically retreated teeth. *Aust Endod J* 2007;33:7-12.
27. Meares W, Steiman H. The influence of sodium hypochlorite on the accuracy of Root ZX electronic apex locator. *J Endod* 2002;28:595-8.
28. Carvalho AL, Moura-Netto C, Moura AA, Marques MM, Davidowics H. Accuracy of three electronic apex locators in the presence of different irrigating solutions. *Braz Oral Res* 2010;24:394-8.
29. Tselnik M, Baumgartner JC, Marshall JG. An evaluation of Root ZX and Elements Diagnostic apex locators. *J Endod* 2005;31:507-9.
30. Martinez-Lozano M, Forner-Navarro L, Sanchez-Cortes J, Llena-Puy C. Methodological considerations in the determination of working length. *Int Endod J* 2001;34:371-6.
31. Lee SJ, Nam KC, Kim YJ, Kim DW. Clinical accuracy of a new apex locator with an automatic compensation circuit. *J Endod* 2002;28:706-9.

32. Jacobson SJ, Westpalhen VPD, da Silva-Neto UX, Fariniuk LF, Picoli F, Carneiro E. The accuracy in the control of the apical extent of rotary canal instrumentation using Root ZX and ProTaper instruments: an in vivo study. *J Endod* 2008;34:1342-5.
33. Shabahang S, Goon W, Gluskin A. An in vivo evaluation of Root ZX electronic apex locator. *J Endod* 1996;22:616-8.

Table 1. Distance from the tip of file relative to the apical foramen (mm)

Device	Mean	SD	Minimum	Maximum	Range
Root ZX (<i>n</i> = 24)	-0.02 ^a	0.36	-0.80*	0.79	1.59
Propex II (<i>n</i> = 24)	-0.23 ^b	0.41	-0.84*	0.75	1.59

^{a,b}Different letters indicate statistically significant differences between device according to the Wilconxon test for pareid samples ($P < .05$).

*Minus sign indicates file position coronal to the apical foramen.

Table 2. File tip position relative to the apical foramen

Distance from major foramen (mm)	Root ZX (n=24)		Propex II (n=24)	
	n	%	n	%
-1.0 to -0.51*	3	12.5	7	29.2
-0.5 to -0.01*	10	41.7	11	45.8
0.00	2	8.3	1	4.2
0.01 to 0.5	6	25.0	4	16.7
0.51 to 1.0	3	12.5	1	4.2

* Negative value indicates file position short (or coronal) to the major foramen.

4 CONCLUSÃO GERAL

Com base na metodologia empregada e considerando-se os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Os localizadores eletrônicos foraminais avaliados, independentemente da estratégia de medição empregada, foram capazes de identificar o forame apical com alto grau de precisão, reafirmando-se como ferramentas confiáveis, porém não infalíveis.
- Os aparelhos avaliados no estudo *ex vivo* foram precisos quando da determinação de comprimentos reais de canais radiculares se levados até o forame (0,0), independentemente da estratégia de medição empregada. Todavia, quando mantidos 1,0 mm aquém da posição foraminal apresentaram elevação dos índices de erro, tendo as estratégias desenvolvidas pelo Propex II, o iPex, e o RomiApex A-15 sofrido interferência significativa.
- Em condições de uso clínico, os localizadores eletrônicos foraminais Propex II e Root ZX, independentemente da estratégia de medição, foram capazes de apontar corretamente a distância entre o forame apical e uma referência oclusal com alto grau de precisão.

REFERÊNCIAS

AKISUE, E.; GAVIM, G.; de FIGUEREDO, J. A. Influence of pulp vitality on length determination by using the Elements Diagnostic Unit and Apex Locator. **Oral Surg. Oral Med. Oral Path. Oral Radiol. Endod.**, v. 104, n. 4, p. e129-e132, Oct. 2007.

BALDI, J. V.; VICTORINO, F. R.; BERNARDES, R. A.; de MORAES, I. G.; BRAMANTE, C. M.; GARCIA, R. B.; Bernardineli, N. Influence of embedding media on the assessment of electronic apex locators. **J. Endod.**, v. 33, n. 4, p. 476-479, Apr. 2007.

BELTRAME, A. P.; TRICHES, T. C.; SARTORI, N.; BOLAN, M. Electronic determination of root canal working length in primary molar teeth: an in vivo and ex vivo study. **Int. Endod. J.**, v. 44, n. 5, p. 402-406, May 2011.

BERNARDES, R. A.; DUARTE, M. A. H.; VASCONCELOS, B. C.; MORAES, I. G.; BERNARDINELI, N.; GARCIA, R. B.; BALDI, J. V.; VICTORINO, F. R.; BRAMANTE, C. M. Evaluation of precision length determination with 3 electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit, RomiApex D-30. **Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.**, v. 104, n. 4, p. e91-e94, Oct. 2007.

BRISEÑO-MARROQUÍN, B.; FRAJLICH, S.; GOLDBERG, F.; WILLERSHAUSEN, B. Influence of instrument size on the accuracy of different apex locators: an in vitro study. **J. Endod.**, v. 34, n. 6, p. 698-702, Jun. 2008.

CAMARGO, E. J.; ZAPATA, R. O.; MEDEIROS, P. L.; BRAMANTE, C. M.; BERNARDINELI, N.; GARCIA, R. G.; MORAES, I. G.; DUARTE, M. A. H. Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators. **J. Endod.**, v. 35, n. 9, p. 1300-1302, Sep. 2009.

CARVALHO, A. L.; MOURA-NETTO, C.; MOURA, A. A.; MARQUES, M. M.; DAVIDOWICS, H. Accuracy of three electronic apex locators in the presence of different irrigating solutions. **Braz. Oral Res.**, v. 24, n. 4, p. 394-398, Oct-Dec. 2010.

CIANCONI, L.; ANGOTTI, V.; FELICI, R.; CONTE, G.; MANCINI, M. Accuracy of three electronic apex locators compared with digital radiography: an ex vivo study. **J. Endod.**, v. 36, n. 12, p. 2003-2007, Dec. 2010.

CUSTER, L. E. Exact methods of locating the apical foramen. **J. Nat. Dent. Assoc.**, v. 5, n. 8, p. 815-819, Apr. 1918.

D'ASSUNÇÃO, F. L.; ALBUQUERQUE, D. S.; SALAZAR-SILVA, J. R.; QUEIROZ-FERREIRA, L. C.; BEZERRA, P. M. The accuracy of root canal measurements using the Mini Apex Locator and Root ZX II: an evaluation in vitro. **Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.**, v. 104, n. 3, p. e50-e53, Sep. 2007.

D'ASSUNÇÃO, F. L.; ALBUQUERQUE, D. S.; SALAZAR-SILVA, J. R.; dos SANTOS, V. C.; SOUSA, J. C. Ex vivo evaluation of the accuracy and coefficient of repeatability of three electronic apex locators using a simple mounting model: a preliminary report. **Int. Endod. J.**, v. 43, n. 4, p. 269-274, Abr. 2010.

DING, J.; GUTMNANN, J. L.; FAN, B.; LU, Y.; CHEN, H. Investigation of apex locators and related morphological factors. **J. Endod.**, v. 36, n. 8, p. 1399-1403, Aug. 2010.

DUNLAP, C.; REMEIKIS, N.; BEGOLE, E.; RAUSCHENBERGER, C. An in vivo evaluation of an electronic apex locator that uses the ratio method in vital and necrotic canals. **J. Endod.**, v. 24, n. 1, p. 48-50, Jan. 1998.

EBRAHIM, A. K.; WADACHI, R.; SUDA, H. In vitro evaluation of the accuracy of five different electronic apex locators for determining the working length of endodontically retreated teeth. **Aust. Endod. J.**, v. 33, n. 1, p. 7-12, Apr. 2007.

ELAYOUTI, A.; DIMA, E.; OHMER, J.; SPERL, K.; VON OHLE, C.; LOST, C. Consistency of apex locator function: a clinical study. **J. Endod.**, v. 35, n. 2, p. 179-181, Feb. 2009.

GOLDBERG, F.; DE SILVIO, A. C.; MANFRÉ, S.; NASTRI, N. In vitro measurement accuracy of an electronic apex locator in teeth with simulated apical root resorption. **J. Endod.**, v. 28, n. 6, p. 461-463, 2002.

GORDON, M. P.; CHANDLER, N. P. Electronic apex locators. **Int. Endod. J.**, v. 37, n. 6, p. 425-437, Jun. 2004.

GREEN, D. A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth. **Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.**, v. 9, n.11, p. 1224-1232, Nov. 1956.

GREEN, D. A stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular posterior teeth. **Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.**, v. 13, n. 6, p. 728-733, Jun. 1960.

IBAROLLA, J.; CHAPMAN, B.; HOWARD, J.; KNOWLES, K.; LUDLOW, M. Effect of preflaring on Root ZX apex locators. **J. Endod.**, v. 25, n. 9, p. 625-626, Sep. 1999.

JACOBSON, S. J.; WESTPALHEN, V. P. D.; da SILVA-NETO, U. X.; FARINIUK, L. F.; PICOLI, F.; CARNEIRO, E. The accuracy in the control of the apical extent of rotary canal instrumentation using Root ZX and ProTaper instruments: an in vivo study. **J. Endod.**, v. 34, n. 11, p. 1342-1345, Nov. 2008.

JUNG, I. Y.; YOON, B. H.; LEE, S. J. Comparison of the reliability of “0.5” and “APEX” mark measurements in two frequency-based electronic apex locators. **J. Endod.**, v. 37, n. 1, p. 49-52, Jan. 2011.

KAKEHASHI, S.; STANLEY, H. R.; FITZGERALD, R. J. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. **Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.**, v. 20, n. 9, p. 340-349, Sep. 1965.

KATZ, A.; TAMSE, A.; KAUFMAN, A. Y. Tooth length determination: a review. **Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.**, v. 72, n. 2, p. 238-242, Aug. 1991.

KIM, E.; LEE, S. J. Electronic apex locator. **Dent. Clin. North Am.**, v. 48, n. 1, p. 35-54, Jan. 2004.

KOBAYASHI, C.; SUDA, H. New electronic canal measuring device based on the ratio method. **J. Endod.**, v. 20, n. 3, p. 111-114, Mar. 1994.

KUTTLER, Y. Microscopic investigation of root apices. **J. Am. Dent. Ass.**, v. 50, n. 5, p. 544-552, May 1955.

LEE, S. J.; NAM, K. C.; KIM, Y. J.; KIM, D. W. Clinical accuracy of a new apex locator with an automatic compensation circuit. **J. Endod.**, v. 28, n. 10, p. 706-709, Oct. 2002.

MANCINI, M.; FELICI, R.; CONTI, G.; CONSTANTINE, M.; CIANCONI, L. Accuracy of three electronic apex locators in anterior and posterior teeth: an ex vivo study. **J. Endod.**, v. 37, n. 5, p. 684-687, May 2011.

MARTINEZ-LOZANO, M.; FORNER-NAVARRO, L.; SANCHEZ-CORTES, J.; LLENA-PUY, C. Methodological considerations in the determination of working length. **Int. Endod. J.**, v. 34, n. 5, p. 371-376, 2001.

MEARES, W.; STEIMAN, H. The influence of sodium hypochlorite irrigation on the accuracy of the Root ZX electronic apex locator. **J. Endod.**, v. 28, n. 8, p. 595-598, Aug. 2002.

MLETIC, V.; BELJIC-IVANOVIC, K.; IVANOVIC, V. Clinical reproducibility of three electronic apex locators. **Int. Endod. J.**, v. 44, n. 8, p. 769-776, Aug. 2011.

NEKOOFAR, M. H.; GHANDI, M. M.; HAYES, S. J.; DUMMER, P. M. H. The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. **Int. Endod. J.**, v. 39, n. 8, p. 595-609, Aug. 2006.

NELSON-FILHO P, ROMUALDO PC, BONIFACIO KC, LEONARDO MR, DA SILVA RA, DA SILVA LA. Accuracy of the iPex multi-frequency electronic apex locator in primary molar: an ex vivo study. **Int. Endod. J.**, v. 44, n. 4, p. 303-306, Apr. 2011.

PASCON, E. A.; MARRELLI, M.; CONGI, O.; CIANCIO, R.; MICELI, F.; VERSIANI, M. A. An ex vivo comparison of working length determination by 3 electronic apex locators. **Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.**, v. 108, n. 3, p. e147-e151, Sep. 2009.

PETERS, L. B.; WESSELINK, P. R.; MOORER, W. R. The fate and the role of bacteria left in root dentinal tubules. **Int. Endod. J.**, v. 28, n. 2, p. 95-99, Mar. 1995.

PLOTINO, G.; GRANDE, N. M.; BRIGANTE, L.; LESTI, B.; OSMA, F. Ex vivo accuracy of three electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator and Propex. **Int. Endod. J.**, v. 39, n. 5, p. 408-414, May 2006.

POMMER, O.; STAMM, O.; ATTIN, T. Influence of the canal contents on the electrical assisted determination of the length of root canals. **J. Endod.**, v. 28, n. 2, p. 83-85, Fev. 2002.

RAVANSHAD, S.; ADL, A.; ANVAR, J. Effect of working length measurement by electronic apex locator or radiography on the adequacy of final working length: a randomized clinical trial. **J. Endod.**, v. 36, n. 11, p. 1753-1756, Nov. 2010.

RICCUCI, D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. **Int. Endod. J.**, v. 31, n. 6, p. 384-393, Nov. 1998.

RICCUCI, D.; LANGELAND, K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. Histological study. **Int. Endod. J.**, v. 31, n. 6, p. 394-409, Nov. 1998.

SAAD, A. Y.; 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.**, v. 26, n. 3, p. 144-147, Mar. 2000.

SCHILDER, H. Cleaning and shaping the root canal. **Dent. Clin. N. Am.**, v.18, n. 2, p. 269-296, Apr. 1974.

SHABAHANG, S.; GOON, W.; GLUSKIN, A. An in vivo evaluation of Root ZX electronic apex locator. **J. Endod.**, v. 22, n. 11, p. 616-618, Nov. 1996.

SIU, C.; MARSHALL, J. G.; BAUMGARTNER, J. C. An in vivo comparison of the Root ZX II, the Apex NRG XFR, and Mini Apex Locator by using rotary nickel-titanium files. **J. Endod.**, v. 35, n. 7, p. 962-965, Jul. 2009.

STOBER, E. K.; DURAN-SINDREU, F.; MERCANDÉ, M.; VERA, J.; BUENO, R.; ROIG, M. An evaluation of Root ZX and iPex apex locators: An in vivo study. **J. Endod.**, v. 37, n. 5, p. 608-610, May 2011.

STOOL, R.; URBAN-KLEIN, B.; ROGGENDORF, M. J.; JABLONSKI-MOMENL, A.; STRAUCH, K.; FRANKENBERGER, R. Effectiveness of four electronic apex locators to determine distance from apical foramen. **Int. Endod. J.**, v. 43, n. 9, p. 808-817, Sep. 2010.

SUNADA, I. New method for measuring the length of the root canal. **J. Dent. Res.**, v. 41, n. 2, p. 375-387, Mar./Apr. 1962.

SUZUKI, K. Experimental study on iontophoresis. **Jap. J. Stomatol.**, v. 16, p. 411-429, 1942.

TSELSNIK, M.; BAUMGARTNER, J. C.; MARSHALL, J. G. An evaluation of Root ZX and Elements Diagnostic apex locators. **J. Endod.**, v. 31, n. 7, p. 507-509, Jul. 2005.

VASCONCELOS, B. C.; VALE, T. M.; MENEZES, A. S. T.; PINHEIRO-JR, E. C.; VIVACQUA-GOMES, N.; BERNARDES, R. A.; DUARTE, M. A. H. An ex vivo comparison of root canal length determination by three electronic apex locators at positions short of the apical foramen. **Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.**, v. 110, n. 2, p. e57-e61, Aug. 2010.

VERSIANI, M. A.; SANTANA, B. P.; CARAM, C. M.; PASCON, E. A.; de SOUZA, C. J.; BIFFI, J. C. Ex vivo comparison of the accuracy of Root ZX II in detecting apical constriction using different meter's readings. **Oral Surg. Oral Med. Oral Path. Oral Radiol. Endod.**, v. 108, n. 1, p. e41-e45, Jul. 2009.

WELK, A. R.; BAUMGARTNER, J. C.; MARSHALL, J. G. An in vivo comparison of two frequency-based electronic apex locators. **J. Endod.**, v. 29, n. 8, p. 497-500, Aug. 2003.

WRBAS, K. T.; ZIEGLER, A. A.; ALTENBURGER, M. J.; SCHIRMEISTER, J. F. In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. **Int. Endod. J.**, v. 40, n. 2, p. 133-138, Feb. 2007.

WU, M. K.; SHEMESH, H.; WESSELLINK, P. R. Limitations of previously published systematic reviews evaluating the outcome of endodontic treatment. **Int. Endod. J.**, v. 42, n. 8, p. 656-666, Aug. 2009.

APÊNDICE A - Descrição dos materiais e métodos empregados no trabalho intitulado: “Effect of measurements performed at positions short of the apex foramen in the precision of electronic foramen locators with different operating systems: an *ex vivo* study.”

Materiais e Métodos

Quarenta e dois pré-molares humanos inferiores unirradiculados, com formação radicular completa, extraídos por razões ortodônticas foram selecionados para o presente estudo após aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Ceará sob o número de Protocolo 099/11 (Anexo B). Para que pudessem ser utilizados os mesmos deveriam apresentar-se hígidos, corresponder à formação radicular tipo I de Vertucci, não exibir curvaturas acentuadas, e possuir forames apicais patentes. Os dentes utilizados foram doados à pesquisa por meio da assinatura do Termo de Doação de Dentes (Apêndices B e C) e mantidos em solução salina a 0,9% por período não superior a 03 semanas.

Decorrido o tempo de coleta os dentes foram imersos em solução de hipoclorito de sódio a 2,5% (Biodinâmica, Ibirapuã, Brasil) por um período de 04 horas, após o que, restos teciduais, cálculos e outras sujidades foram removidos com auxílio de curetas e um aparelho de ultra-som. Realizada a limpeza os dentes foram lavados em água corrente e conservados em um frasco com timol a 0,01% até a realização dos procedimentos que foram desenvolvidos por um único operador experiente. Os acessos coronários foram realizados de maneira padronizada utilizando pontas diamantadas #1012 e #3081 (KG Sorensen Ind. e Com. Ltda., Barueri, Brasil) acionadas em alta rotação e com abundante irrigação. Superfícies planas na porção oclusal dos dentes foram criadas com o objetivo de servirem como ponto seguro para o posicionamento dos *stops* dos instrumentos endodônticos.

A exploração inicial dos canais radiculares foi executada com limas manuais tipo K #10 (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Suíça) no intuito de verificar a ausência de alterações anatômicas e a patência foraminal dos espécimes, momento no qual, em função da impossibilidade da patência, dois espécimes foram excluídos. Neste momento restos de tecido pulpar, quando presentes, foram removidos cuidadosamente. Os espécimes restantes foram então numerados e os comprimentos reais determinados por meio da introdução de limas manuais tipo K, de diâmetro correspondente ao diâmetro anatômico de cada dente, até a visualização de suas pontas ao nível foraminal com o auxílio de microscópio clínico (DF Vasconcellos, São Paulo, Brasil) com aumento de 16 vezes. Depois de ajustar o limitador de penetração na referência oclusal de cada dente a distância entre a ponta da lima e o mesmo foi aferido com auxílio de paquímetro com $\pm 0,01$ mm (FNCL; Worker Gage, Esteio, Brasil) sendo tabulada e considerada como comprimento real (CR) para futuras comparações. Neste momento o tamanho médio dos diâmetros dos canais ao nível foraminal foi determinado, econtrando-se em média 250 μm , variando entre 150 μm e 350 μm .

A partir deste ponto os dentes foram presos a um suporte metálico a fim de permitir liberdade total às mãos do operador. O preparo biomecânico dos terços cervical e médio dos

canais foi realizado por meio de instrumentos rotatórios K³ (SybronEndo, Anaheim, EUA) até o 30/06 restringindo-se até 5,0 mm aquém do CR acionados por motor elétrico (Endomate DT; NSK, Tochigi, Japão) conforme recomendações do fabricante. Entre cada instrumento utilizado foi empregado 1,0 mL de solução de hipoclorito de sódio a 2,5% como solução irrigadora auxiliar levada ao canal por meio de seringa endodôntica e agulhas específicas (Navitip; Ultradent, Jordânia do Sul, E.U.A.). Ao final do preparo dos terços cervical e médio os excessos da solução irrigadora foram removidos por meio de suave aspiração da solução presente na câmara pulpar, mantendo-se o canal radicular úmido.

Finalizado o pré-alargamento, os dentes tiveram seus ápices radiculares imersos em alginato (Jeltrate II, Dentsply Ind. e Com. Ltda, Petropolis, Brasil), o qual foi manipulado e inserido em um recipiente plástico juntamente com a alça labial dos LEFs. Vale ressaltar que o experimento foi realizado em alginato fresco, o que corresponde a um limite de 30 minutos para a medição dos condutos, fato que obrigou a realização das medições em grupos de 05 dentes.

Dos cinco LEFs utilizados apenas o Propex II tem sua energia armazenada em baterias, todos os demais (Root ZX, Mini Apex Locator, RomiApex A-15, e iPex) utilizam pilhas para tal. Independentemente deste fato, todos os aparelhos foram utilizados com carga máxima de energia e operados por um único pesquisador cego quanto ao CR previamente determinado. Foram realizadas medições em triplicata tendo-se alternado a sequência de utilização dos aparelhos a cada nova leitura. Limas que se adaptassem ao diâmetro dos canais nas posições apontadas pelos LEFs foram inseridas nos mesmos, somente após o que, foram conectadas aos aparelhos. A medição registrada por cada aparelho foi realizada inicialmente interrompendo-se a penetração do instrumento no instante em que os aparelhos apontassem 1,0 mm aquém do forame, momento no qual o *stop* era adaptado à referência oclusal e o instrumento era retirado do canal e medido. As medições na posição 0,0 foram realizadas de maneira semelhante, porém, desta feita interrompia-se a penetração apenas quando os localizadores apontavam “APEX” ou 0,0.

Finalizadas as determinações foram calculadas as médias das triplicatas e as mesmas comparadas às medidas do CR e CR - 1,0 mm para avaliação do erro médio dos aparelhos em milímetros a cada nível de medição 0,0 e -1,0. Para a determinação da precisão dos aparelhos foram estabelecidos $\pm 0,5$ mm e $\pm 1,0$ mm como margens de tolerância. Considerando a natureza não paramétrica dos dados constatada pelo teste goodness-of-fit de Shapiro-Wilks, a análise estatística foi conduzida utilizando-se o teste de Wilcoxon para as comparações entre os LEFs nos dois níveis de medição (0,0 mm e -1,0 mm), e o teste de Friedman para as comparações entre os LEFs dentro de cada posição. Para ambos os testes foi estabelecido o nível de significância em 5%.

APÊNDICE B - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do trabalho intitulado:
“Effect of measurements performed at positions short of the apex foramen in the precision of electronic foramen locators with different operating systems: an *ex vivo* study.”

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO

Título da pesquisa – Análise comparativa da eficiência *ex vivo* de cinco localizadores eletrônicos apicais em posições aquém do forame (Root ZX, Mini Apex Locator, Propex II, iPex, e RomiApex A-15)

Pesquisador responsável – Bruno Carvalho de Vasconcelos

Cargo – Aluno do Programa de Pós-Graduação em Odontologia (Doutorado)

Objetivos – Avaliar a precisão da determinação das medidas dos canais realizadas por meio de cinco aparelhos eletrônicos.

Procedimentos – Os procedimentos clínicos desta pesquisa serão os seguintes:

- realização de radiografia inicial;
- anestesia local, para realização das extrações dos dentes como parte de seu plano de tratamento ortodôntico. Os possíveis desconfortos sofridos com este trabalho são os mesmos que ocorrem durante uma extração de dentes comum;
- sentir o dente “mexer” durante a realização do tratamento.

Após ter sido informado de forma clara e detalhada sobre a importância, procedimentos e objetivos da realização desta pesquisa, e estando de acordo, venho por meio deste instrumento de autorização por mim assinado dar pleno consentimento aos pesquisadores de verificar a eficiência destes aparelhos para fins de pesquisa e divulgação. Recebi informações sobre os procedimentos realizados, possíveis riscos e desconfortos, bem como os benefícios esperados. Todas as minhas dúvidas foram respondidas com clareza e sei que novas informações obtidas durante o estudo me serão fornecidas e que poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento sem que isto traga qualquer prejuízo ao menor. O pesquisador certificou-me de que as informações por mim concebidas terão caráter confidencial. Ressalta-se que a participação na pesquisa é voluntária, não acarretando nenhuma remuneração e/ ou indenização ao paciente.

Com sua participação, ou de seu filho, na pesquisa e a consequente doação do dente extraído poderá se testar a eficácia dos aparelhos que medem o tamanho dos dentes e diminuem assim as radiografias realizadas no tratamento de canal, reduzindo a exposição à radiação.

Este documento será impresso em duas vias, das quais uma ficará com o paciente ou responsável e a outra com o profissional responsável pela pesquisa. Caso necessite de outros

esclarecimentos quanto aos meus direitos como participante deste estudo, posso entrar em contato com:

- Bruno Carvalho de Vasconcelos no telefone 3224-8094 ou no endereço R. Joaquim Nabuco 500/1101 Cep – 60125-120.
- Comitê de Ética em Pesquisa da UFC – Tel.: (85) 3366-8338.

DECLARO QUE, APÓS CONVENIENTEMENTE ESCLARECIDO PELO PESQUISADOR E TER ENTENDIDO O QUE ME FOI EXPLICADO, CONCORDO EM PARTICIPAR DO PRESENTE PROTOCOLO DE PESQUISA, SENDO EU O RESPONSÁVEL LEGAL.

Fortaleza, _____ de _____ de 2011.

Assinatura ou digital do voluntário

Nome e assinatura do (s) responsável
(eis) pelo estudo

Assinatura ou digital do responsável legal

Nome do profissional que aplicou o
TCLE

Testemunha

DADOS DO VOLUNTÁRIO

Nome: _____

Endereço: _____

Telefone: _____

APÊNDICE C - Termo de Doação de Dentes do trabalho intitulado: “Effect of measurements performed at positions short of the apex foramen in the precision of electronic foramen locators with different operating systems: an *ex vivo* study.”

TERMO DE DOAÇÃO DE DENTES

Eu, _____, RG _____, depois de compreender as informações constantes no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, estou doando _____ dentes para a pesquisa intitulada “Análise comparativa da eficiência *ex vivo* de cinco localizadores eletrônicos apicais em posições aquém do forame (Root ZX, Mini Apex Locator, Propex II, iPex, e RomiApex A-15)” que será realizada na Faculdade de Farmácia, Odontologia e Enfermagem – Universidade Federal do Ceará, pelos pesquisadores: CD Bruno Carvalho de Vasconcelos (Doutorando) e Prof. Dr. Carlos Augusto de Oliveira Fernandes (Orientador), extraídos por motivos ortodônticos nas dependências do Curso de Odontologia da Universidade Federal do Ceará, localizado à rua Alexandre Baraúna, 949 na cidade de Fortaleza.

Fortaleza, _____ de _____ de 2011.

Assinatura ou digital do doador	Nome e assinatura do (s) responsável (eis) pelo estudo
_____	_____
Assinatura ou digital do responsável legal	Nome do profissional que realizou a exodontia
_____	_____
Testemunha	

APÊNDICE D - Descrição dos materiais e métodos empregados no trabalho intitulado: “Electronic foramen locators based on different operation systems: an *in vivo* comparison of Root ZX and Propex II.”

Material e Métodos

Dez pacientes adultos jovens sem alterações sistêmicas e com idades entre 18 e 30 anos (idade média de 24 anos) que apresentavam indicação de exodontia de dentes pré-molares como parte de seu planejamento clínico ortodôntico foram selecionados para participação no estudo. Depois de devidamente esclarecidos todos os pacientes assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndices E e F) conforme aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Ceará sob o número de Protocolo 100/11 (Anexo C).

Os critérios de inclusão contemplavam a ausência de alterações sistêmicas; a indicação de exodontia de pelo menos um dente pré-molar como parte do seu planejamento clínico ortodôntico; que o dente apresentasse ápice completamente formado; e que o mesmo apresentasse condição pulpar normal. Como critérios de exclusão foram destacados a presença de lesões cariosas extensas; presença de restaurações metálicas classe II ou com evidencia de infiltração; e presença de reabsorções dentárias internas ou externas.

Após o cálculo amostral, 17 dentes foram incluídos na pesquisa totalizando 28 canais. Todos os procedimentos foram realizados por um único operador experiente utilizando protocolo baseado em Welk *et al.* (2003). Após realização de radiografias periapicais que confirmaram os critérios de inclusão e exclusão e serviram como base para o procedimento cirúrgico os pacientes foram anestesiados pela técnica infiltrativa (Scandicaine 2%, Septodont, Saint-Mar-des-Fosses, França) e os dentes isolados com lençol de borracha. Os acessos cavitários foram realizados com pontas diamantadas #1012 e #3081 (KG Sorensen, Barueri, Brasil) acionadas em alta rotação e sob refrigeração abundante. Quando ausentes, superfícies planas foram confeccionadas com as mesmas pontas no sentido de servirem como referências para as medições. Após a localização das embocaduras dos canais o pré-alargamento foi realizado com instrumentos rotatórios do sistema ProTaper (Sx/S1; Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Suíça) acionados por motor elétrico (Endomate DT; NSK, Tochigi, Japão) mantendo-se 5,0 mm aquém do comprimento aparente do dente medido na radiografia inicial. Foi empregado o Hipoclorito de sódio a 2,5% (Biodinâmica, Ibirapuã, Brasil) como solução irrigadora auxiliar levada ao canal por meio de seringa endodôntica e agulhas específicas (Navitip; Ultradent, Jordânia do Sul, E.U.A.). Ao final do pré-alargamento os excessos da solução irrigadora foram removidos por meio de suave aspiração mantendo-se o canal radicular levemente úmido.

A odontometria eletrônica foi realizada com limas manuais tipo K (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Suíça) que melhor se adaptassem ao diâmetro da porção do canal radicular apontada pelos aparelhos. Como as determinações foram realizadas com os

dois LEFs em todos os dentes, o primeiro dispositivo a ser utilizado era selecionado de maneira aleatória e alternada. Ambos os equipamentos foram utilizados conforme as recomendações dos fabricantes, a alça labial era posicionado no lábio do paciente e o eletrodo conectado a lima previamente inserida no canal. O instrumento era então introduzido até que os aparelhos apontassem em seu *display APEX* (Root ZX) ou *APEX* simultaneamente a 0,0 (Propex II). Após cinco segundos de estabilidade os *stops* dos instrumentos eram adaptados as referencias oclusais e nova medição era realizada no sentido de evitar deslocamentos não-intencionais. Confirmada a odontometria a medição da penetração do instrumento era realizada com paquímetro digital com $\pm 0,01$ mm (FNCL; Worker Gage, Esteio, Brasil) medindo-se a distância entre a ponta da lima e o *stop* da mesma. Depois de catalogada a primeira determinação o mesmo instrumento era reinserido no canal para a realização da odontometria com o segundo LEF sendo esta segunda aferição determinada da mesma forma.

Concluída a utilização dos LEFs o instrumento utilizado para a última determinação era mais uma vez inserido no canal até o comprimento indicado pelo último dispositivo. A lima era então fixada ao dente por meio de adesivo à base de cianoacrilato (Super Bonder; Loctite do Brasil, São Paulo, Brasil). Após a presa do adesivo a odontometria era mais uma vez checada, confirmando-se a medida. O isolamento absoluto era então removido e o dente extraído com a utilização de alavancas apicais no intuito de evitar esbarros nos cabos dos instrumentos. Depois de extraídos os dentes foram mantidos em hipoclorito de sódio 5,25% por 15 minutos para remoção de restos teciduais aderidos a sua superfície e armazenados em timol 0,01% até a realização dos procedimentos laboratoriais.

Os dentes foram então levados ao microscópio clínico (DF Vasconcellos, São Paulo, Brasil) com 16x onde seus 4,0 mm apicais foram desgastados com pontas diamantadas em sentido vestíbulo-lingual de modo a permitir a visualização de toda a porção final dos canais, reservando-se a última camada de dentina para remoção com o auxílio de lamina de bisturi número 15. Os espécimes foram então fotografados com câmera digital acoplada ao microscópio em um aumento de 40x (Apêndice G) juntamente com uma referência para calibração do *software* (Image Tools 3.0; UTHSCSA, Santo Antônio, E.U.A.), onde dois examinadores, previamente calibrados e cegos quanto ao LEF utilizado, determinaram a distância entre a ponta das limas e as margens mais cervicais dos forames apicais (Apêndice H). Se os dois examinadores discordassem um terceiro era consultado para uma decisão final. Valores negativos e positivos foram atribuídos a medições aquém e além do forame apical respectivamente. Para a análise dos dados foi calculada a diferença entre a extensão dos instrumentos fixados e não fixados e em função disto o erro em milímetros, desta forma,

levando-se em consideração a natureza não paramétrica dos resultados confirmada pelo teste goodness-of-fit de Shapiro Wilks, os valores encontrados foram analisados utilizando o teste de Wilcoxon para grupos pariados com nível de significância estabelecido em $P < 0,05$.

**APÊNDICE E - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido do trabalho intitulado:
“Electronic foramen locators based on different operation systems: an *in vivo*
comparison of Root ZX and Propex II”**

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE ESCLARECIDO

Título da pesquisa – Comparação da precisão de dois localizadores eletrônicos apicais, Root ZX e Propex II, na determinação de odontometrias *in vivo*.

Pesquisador responsável – Bruno Carvalho de Vasconcelos

Cargo – Aluno do Programa de Pós-Graduação em Odontologia (Doutorado)

Objetivos – Avaliar a precisão da determinação das medidas dos canais realizadas por meio de dois aparelhos eletrônicos.

Procedimentos – Os procedimentos clínicos desta pesquisa serão os seguintes:

- realização de radiografia inicial;
- anestesia local, para realização das extrações dos dentes como parte de seu plano de tratamento ortodôntico, quando anestesiados os dentes serão abertos como se fossem fazer um canal. Os possíveis desconfortos sofridos com este trabalho são os mesmos que ocorrem durante a extração de dentes comum;
- sentir o dente “mexer” durante a realização do tratamento;
- sentir desconforto durante a realização da radiografia, e da utilização do grampo para o isolamento, pois em ambos há pressão contra a gengiva.

Após ter sido informado de forma clara e detalhada sobre a importância, procedimentos e objetivos da realização desta pesquisa, e estando de acordo, venho por meio deste instrumento de autorização por mim assinado dar pleno consentimento aos pesquisadores de verificar a eficiência destes aparelhos para fins de pesquisa e divulgação. Recebi informações sobre os procedimentos realizados, possíveis riscos e desconfortos bem como os benefícios esperados. Todas as minhas dúvidas foram respondidas com clareza e sei que novas informações obtidas durante o estudo me serão fornecidas e que poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento sem que isto traga qualquer prejuízo ao menor. O pesquisador certificou-me de que as informações por mim concebidas terão caráter confidencial. Ressalta-se que a participação na pesquisa é voluntária, não acarretando nenhuma remuneração e/ ou indenização ao paciente.

Com sua participação, ou de seu filho, na pesquisa poderá se testar a eficácia dos aparelhos que medem o tamanho dos dentes e diminuem assim as radiografias realizadas no tratamento de canal reduzindo a exposição à radiação.

Este documento será impresso em duas vias, das quais uma ficará com o paciente ou responsável e a outra com o profissional responsável pela pesquisa. Caso necessite de outros

esclarecimentos quanto aos meus direitos como participante deste estudo, posso entrar em contato com:

- Bruno Carvalho de Vasconcelos no telefone 3224-8094 ou no endereço R. Joaquim Nabuco 500/1101 Cep – 60125-120.
- Comitê de Ética em Pesquisa da UFC – Tel.: (85) 3366-8344.

DECLARO QUE APÓS CONVENIENTEMENTE ESCLARECIDO PELO PESQUISADOR E TER ENTENDIDO O QUE ME FOI EXPLICADO, CONCORDO EM PARTICIPAR DO PRESENTE PROTOCOLO DE PESQUISA SENDO EU O RESPONSÁVEL LEGAL.

Fortaleza, _____ de _____ de 2011.

Assinatura ou digital do voluntário

Nome e assinatura do (s) responsável

(eis) pelo estudo

Assinatura ou digital do responsável legal

Nome do profissional que aplicou o

TCLE

Testemunha

DADOS DO VOLUNTÁRIO

Nome: _____

Endereço: _____

Telefone: _____

APÊNDICE F - Termo de Doação de Dentes do trabalho intitulado: “Electronic foramen locators based on different operation systems: an *in vivo* comparison of Root ZX and Propex II.”

TERMO DE DOAÇÃO DE DENTES

Eu, _____, RG _____

_____, depois de compreender as informações constantes no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, estou doando _____ dentes para a pesquisa intitulada “Comparação da precisão de dois localizadores eletrônicos apicais, Root ZX e Propex II, na determinação de odontometrias *in vivo*.” que será realizada na Faculdade de Farmácia, Odontologia e Enfermagem – Universidade Federal do Ceará, pelos pesquisadores: CD Bruno Carvalho de Vasconcelos (Doutorando) e Prof. Dr. Carlos Augusto de Oliveira Fernandes (Orientador), extraídos por motivos ortodônticos nas dependências do Curso de Odontologia da Universidade Federal do Ceará, localizado à rua Alexandre Baraúna, 949 na cidade de Fortaleza.

Fortaleza, _____ de _____ de 2011.

Assinatura ou digital do doador	Nome e assinatura do (s) responsável (eis) pelo estudo
Assinatura ou digital do responsável legal	Nome do profissional que realizou a exodontia
Testemunha	

APÊNDICE G - Fotos de espécimes do trabalho intitulado: “Electronic foramen locators based on different operation systems: an *in vivo* comparison of Root ZX and Propex II.”

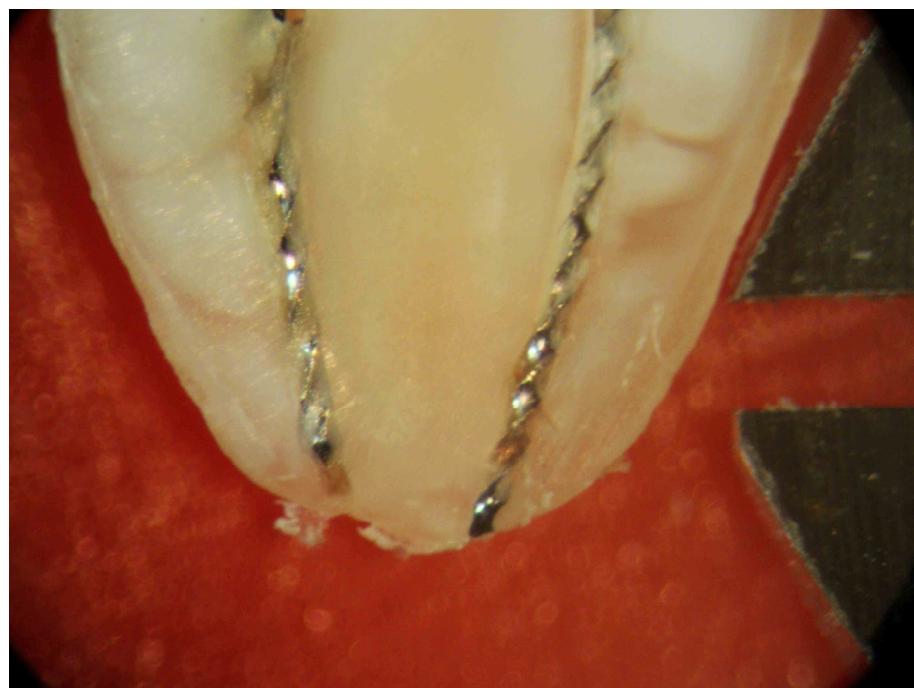


Figura 1. Figura ilustrativa de espécime do trabalho *in vivo*, em que o último LEF utilizado foi o Propex II. Imagem capturada em microscópio clínico com 40 x de aumento.

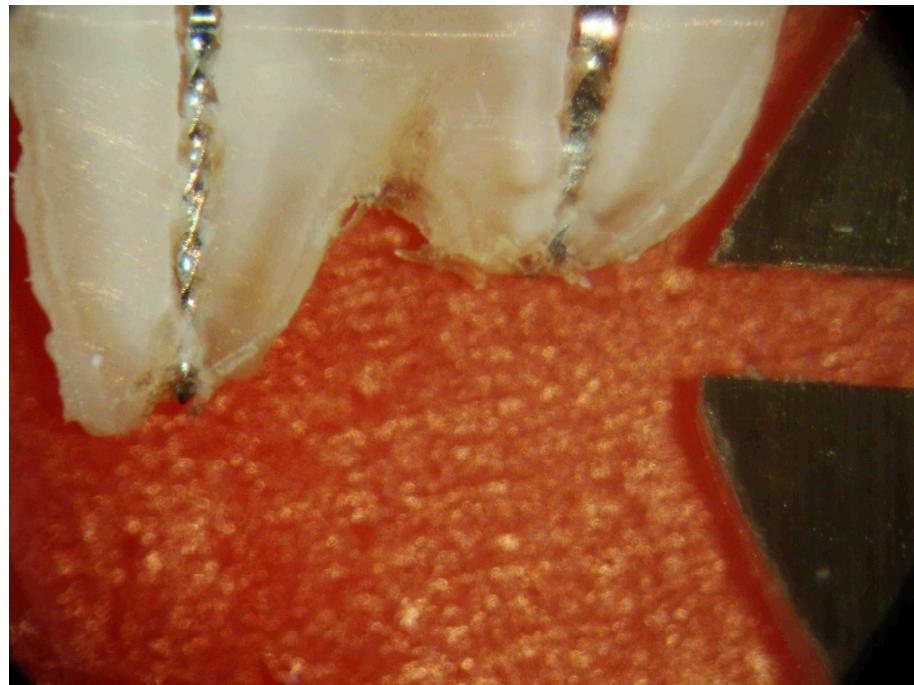


Figura 2. Figura ilustrativa de espécime do trabalho *in vivo*, em que o último LEF utilizado foi o Root ZX. Imagem capturada em microscópio clínico com 40 x de aumento.

APÊNDICE H - Imagem da utilização do software Image Tools 3.0 no trabalho intitulado: “Electronic foramen locators based on different operation systems: an *in vivo* comparison of Root ZX and Propex II.

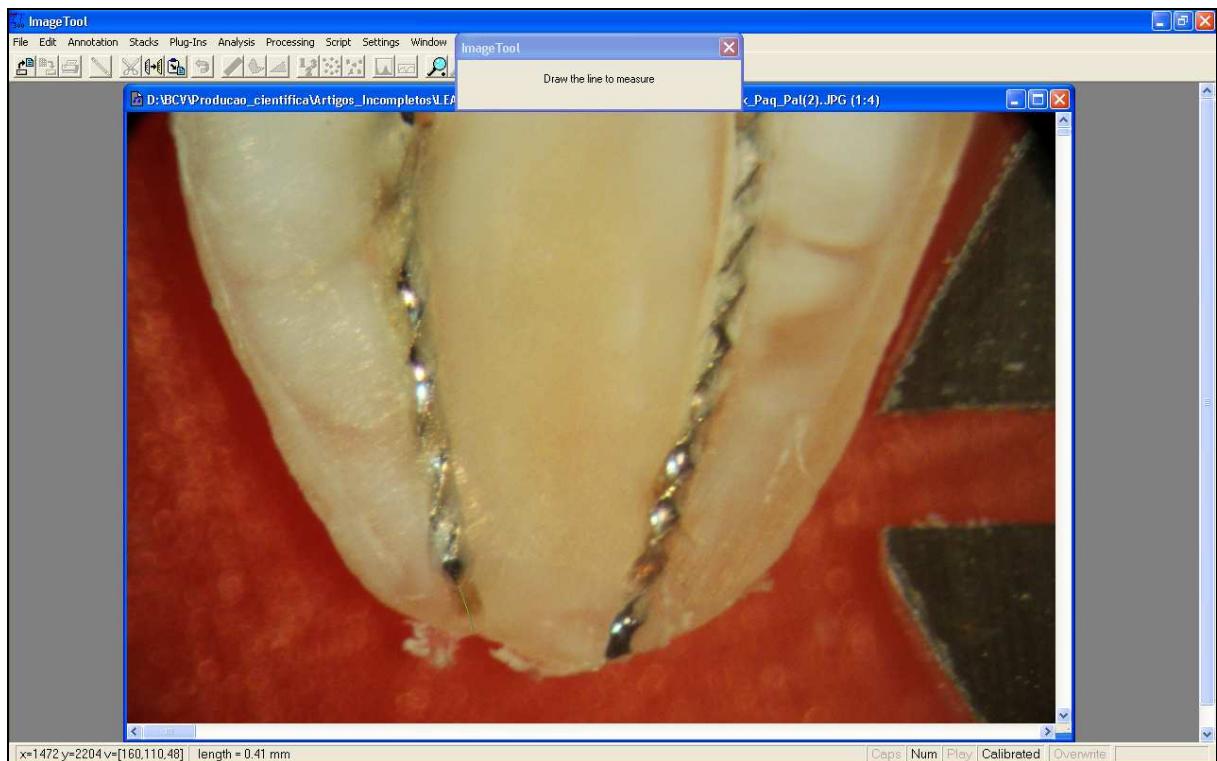


Figura 3. Figura ilustrativa de análise da distância entre a ponta da lima colada ao espécime e o forame apical realizada no software Image Tools 3.0 durante os passos do trabalho *in vivo*.

APÊNDICE I - Declaração de respeito aos direitos autorais**DECLARAÇÃO**

As cópias de artigos de minha autoria ou de minha coautoria, já publicados ou submetidos para publicação em revistas científicas sujeitas a arbitragem, que constam da minha Dissertação/Tese de Mestrado/Doutorado, intitulada "CONFIABILIDADE DE DETERMINAÇÕES DE LOCALIZADORES ELETRÔNICOS FORAMINAIS: ESTUDOS *EX VIVO* E *IN VIVO*", não infringem os dispositivos da Lei nº 9.610/98, nem o direito autoral de qualquer editora.

Fortaleza, 15 de agosto de 2011.

Autor: Bruno Carvalho de Vasconcelos

Orientador: Carlos Augusto de Oliveira Fernandes

ANEXO A - Seguimento do Regimento Interno.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE FARMÁCIA, ODONTOLOGIA E ENFERMAGEM

ou em estudo.

§3º – O aproveitamento de estudos do aluno transferido far-se-á de acordo com a decisão da coordenação do Programa.

CAPÍTULO V DA ORIENTAÇÃO

Art. 43 – O aluno poderá mudar de orientador, mediante deferimento de pedido fundamentado à coordenação do Programa de Pós-Graduação, sendo ouvido as partes interessadas.

Art. 44 – Será vedada ao professor do Programa de Pós-Graduação a orientação simultânea de mais de 05 (cinco) dissertações ou teses.

CAPÍTULO VI DOS EXAMES E DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Art. 45 - O Exame Geral de Qualificação de que trata o *Artigo 50 das Normas para os Cursos de Pós-Graduação da UFC* deverá ser realizado perante uma comissão julgadora composta de 03 (três) membros efetivos e um suplente, tendo o orientador como seu presidente.

§1º - O Exame Geral de Qualificação será realizado em duas fases. A primeira constará da defesa do projeto de pesquisa da dissertação ou tese e deverá ser realizada até seis meses após o início do período letivo. A segunda fase constará da defesa da pesquisa (uma pré-defesa) e deverá ser realizada até 45 dias antes da defesa da dissertação ou da tese.

§2º - No caso de não cumprimento do prazo estipulado no §1º, o orientador deverá encaminhar à coordenação do PPGO, antes de seu vencimento e ouvido o aluno, solicitação de ampliação do prazo, mediante justificativa e descrição da etapa de desenvolvimento do projeto.

§3º - O aluno que não obtiver aprovação no Exame Geral de Qualificação, terá direito à nova oportunidade, desde que respeitados os artigos 4º e 5º das Normas para os Cursos de Pós-Graduação da UFC.

§4º - O aluno só poderá defender a dissertação ou tese após aprovação no Exame Geral de Qualificação de que trata este artigo.

Art. 46 – As dissertações e as teses apresentadas ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal do Ceará poderão ser produzidas em formato alternativo ou tradicional. O formato alternativo estabelece: a critério do orientador e com a aprovação da Coordenação do Programa, que os capítulos e os apêndices poderão conter cópias de artigos de autoria ou co-autoria do candidato, publicados ou submetidos para

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE FARMÁCIA, ODONTOLOGIA E ENFERMAGEM

publicação em revistas científicas, escritos no idioma exigido pelo veículo de divulgação.

§1º - O orientador e o candidato deverão verificar junto às editoras a possibilidade de inclusão dos artigos na dissertação ou tese, em atendimento à legislação que rege o direito autoral, obtendo, se necessária, a competente autorização, deverão assinar declaração de que não estão infringindo o direito autoral transferido a editora.

§2º - A dissertação e a tese em formatos tradicionais ou formatos alternativos deverão seguir as normas preconizadas pelo Guia para Normalização de Trabalhos Acadêmicos da Biblioteca Universitária disponível no sítio <http://www.biblioteca.ufc.br>. As partes específicas do formato alternativo deverão ser feitas em concordância com o *Manual de Normalização para Defesa de dissertação de Mestrado e tese de Doutorado no formato Alternativo do PPGO*, disponível no sítio <http://www.ppgd.ufc.br>.

Art. 47 – Para cada aluno deverá ser constituída uma banca examinadora, que será formada por professores ou especialistas, com o título de Doutor, como membros efetivos e suplente, tendo o orientador como seu presidente.

§1º - Os membros da banca examinadora de que trata o *caput* deste artigo constituirão a comissão julgadora, cuja presidência caberá ao orientador da dissertação ou da tese.

§2º - Dentre os membros efetivos da banca examinadora, 01 (um) deverá ser professor ou especialista de outra instituição, com título de Doutor, sugerido pelo orientador da dissertação ou tese e homologado pela coordenação do Programa. Quando se tratar de doutorado, serão 02 (dois) os membros efetivos professores ou especialistas doutores de outra Instituição.

§3º - Dentre os membros suplentes da banca examinadora, 01 (um) deverá ser professor ou especialista de outra Instituição, com título de Doutor, sugerido pelo orientador e homologado pela coordenação do Programa.

§4º - Quando na orientação da dissertação ou tese houver a participação de co-orientador, este não poderá participar da banca examinadora.

Art. 48 - A arguição da dissertação ou da tese será realizada em data fixada pela coordenação do Programa, em prazo não inferior a 30 (trinta) dias, após entrega da dissertação ou tese.

§1º - A dissertação ou a tese deverão ser entregues na coordenação do Programa em 5 (cinco) e 7 (sete) vias, respectivamente, para efeito de defesa.

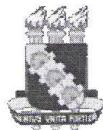
Art. 49 - A arguição da dissertação ou da tese será realizada em dia e hora estabelecidos pela Coordenação do Programa, sendo sua realização aberta ao público.

Art. 50 - Os membros da Comissão de Defesa referidos no Artigo 47 deverão atribuir ao candidato uma das seguintes menções: aprovado ou reprovado.

§1º - Será considerado aprovado na dissertação ou na tese o aluno que receber esta menção da maioria dos membros da Comissão.

§2º - Nos casos em que sejam sugeridas modificações na dissertação ou na tese, pelos membros da banca, o aluno deverá efetuar as mudanças no prazo máximo de 60 (sessenta) dias, entregando na coordenação do Programa 1 (uma) cópia definitiva, com a folha de aprovação devidamente assinada pelos membros da banca examinadora.

ANEXO B - Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa para o Trabalho intitulado: "Effect of measurements performed at positions short of the apical foramen in the precision of electronic foramen locators with different operating systems: an *ex vivo* study."



Universidade Federal do Ceará
Comitê de Ética em Pesquisa

Of. Nº 119/11
Protocolo COMEPE nº 099/11

Fortaleza, 24 de Maio de 2011

Pesquisador responsável: Bruno Carvalho de Vasconcelos.

Título do Projeto: "Análise comparativa da eficiência *ex vivo* de cinco localizadores eletrônicos apicais em posições aquém do forame (ROOT ZX, MINI APEX LOCATOR, PROPEX II, IPEX, E ROMIAPEX A-15)"

Levamos ao conhecimento de V.S^a. que o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Ceará – COMEPE, dentro das normas que regulamentam a pesquisa em seres humanos, do Conselho Nacional de Saúde – Ministério da Saúde, Resolução nº 196 de 10 de outubro de 1996 e complementares, aprovou o protocolo e o TCLE do projeto supracitado na reunião do dia 19 de maio de 2011.

Outrossim, informamos, que o pesquisador deverá se comprometer a enviar o relatório final do referido projeto.

Atenciosamente,

Fernando A. Faria Bezerra
Coordenador do Comitê
de Ética em Pesquisa
COMEPE/UFC

ANEXO C - Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa para o Trabalho intitulado: "Electronic foramen locators based on different operation systems: an in vivo comparison of Root ZX and Propex II."



Universidade Federal do Ceará
Comitê de Ética em Pesquisa

Of. Nº 117/11
Protocolo COMEPE nº 100/11

Fortaleza, 24 de Maio de 2011

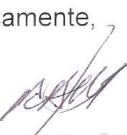
Pesquisador responsável: Bruno Carvalho de Vasconcelos.

Título do Projeto: "Comparação da precisão de dois localizadores eletrônicos apicais, ROOT ZX E PROPEX II, na determinação de odontometrias in vivo"

Levamos ao conhecimento de V.S^a. que o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Ceará – COMEPE, dentro das normas que regulamentam a pesquisa em seres humanos, do Conselho Nacional de Saúde – Ministério da Saúde, Resolução nº 196 de 10 de outubro de 1996 e complementares, aprovou o protocolo e o TCLE do projeto supracitado na reunião do dia 19 de maio de 2011.

Outrossim, informamos, que o pesquisador deverá se comprometer a enviar o relatório final do referido projeto.

Atenciosamente,



Dr. Fernanda A. Fruta Bezerra
Coordenadora do Comitê
de Ética em Pesquisa
COMEPE/UFC

ANEXO D - CONFIRMAÇÃO DE SUBMISSÃO DO ARTIGO *EX VIVO* AO PERIÓDICO.

Elsevier Editorial System(tm) for Journal of Endodontics
Manuscript Draft

Manuscript Number: JOE 11-723

Title: Precision of five electronic foramen locators in determining different positions during working length measurements: an *ex vivo* study.

Article Type: Basic Research - Technology

Keywords: Endodontics; Tooth apex/anatomy & histology; Odontometry/methods; Dental equipment; Electric impedance.

Corresponding Author: Mr. Bruno Carvalho de Vasconcelos, M.D.

Corresponding Author's Institution: Scholl of Dentistry of Sobral, Federal University of Ceará

First Author: Bruno Carvalho de Vasconcelos, M.D.

Order of Authors: Bruno Carvalho de Vasconcelos, M.D.; Michelli M Bueno, DDS; Suyane M Luna-Cruz, M.D.; Marco A Duarte, PhD; Carlos A Fernandes, PhD

Manuscript Region of Origin: Latin & South America

Abstract: Introduction: The aim of the present study was to evaluate *ex vivo* the precision of five electronic foramen locators (EFLs): Root ZX, Mini Apex Locator, Propex II, iPex, and RomiApex A-15, and the possible interference of positioning the instrument tips short of the apical foramen.

Methodology: Forty-two mandibular bicuspids had their real canal lengths (RL) previously determined. Electronic measurements were performed 1.0 mm short of the foramen (-1.0 mm), followed by measurements at 0.0 mm. Data resulting from comparison of the EFL measurements and the RL were evaluated by Wilcoxon and Friedman tests at 5% significance. Results: Considering the measurements performed at 0.0 mm and -1.0 mm, the precision rates for the EFLs were: 70.6% and 47.1% (Root ZX), 61.8% and 52.9% (Mini Apex Locator), 67.6% and 52.9% (Propex II), 61.8% and 38.2% (iPex), and 73.5% and 38.2% (RomiApex A-15), respectively, considering ± 0.5 mm of tolerance. Regarding the mean discrepancies, no differences were observed at 0.0 mm; however, in the measurements at -1.0 mm iPex had significantly more discrepant readings short of the major foramen than the other devices, except for Propex II, which had intermediate results. When EFLs measurements at 0.0 mm and -1.0 mm were compared, Propex II, iPex and RomiApex A-15 presented significant differences in their readings. Conclusions: Under the conditions of the present study, all EFLs provided acceptable measurements at 0.0 mm. However, at -1.0 mm, those EFLs had lower precision, with statistically significant differences for Propex II, iPex, and RomiApex A-15.

ANEXO E - CONFIRMAÇÃO DE SUBMISSÃO DO ARTIGO *IN VIVO* AO PERIÓDICO.

Elsevier Editorial System(tm) for Journal of Endodontics
Manuscript Draft

Manuscript Number: JOE 11-722

Title: An in vivo comparison of two electronic foramen locators: Root ZX and Propex II.

Article Type: Basic Research - Technology

Keywords: Endodontics; Tooth apex/anatomy & histology; Odontometry/methods; Dental equipment; Electric impedance.

Corresponding Author: Mr. Bruno Carvalho de Vasconcelos, M.D.

Corresponding Author's Institution: Scholl of Dentistry of Sobral, Federal University of Ceará

First Author: Bruno Carvalho de Vasconcelos, M.D.

Order of Authors: Bruno Carvalho de Vasconcelos, M.D.; Rebeca B Araújo, M.D.; Francisco C Silva, M.D.; Suyane M Luna-Cruz, M.D.; Marco A Duarte, PhD; Carlos A Fernandes, PhD

Manuscript Region of Origin: Latin & South America

Abstract: Introduction: The aim of the present study was to evaluate in vivo the precision of two electronic foramen locators (EFLs), Root ZX and Propex II, used on the same teeth Methods: After coronal access preparation and prior to extraction, the total lengths (TL) of 24 canals were sequentially determined alternating the two EFLs. All measurements were performed at the "APEX" level. Canals were kept moist using 2.5% sodium hypochlorite and K-files were fitted to the anatomical diameter of each canal. The last files used were fixated in place, the teeth were extracted, and the 4.0 mm apical portion of each canal was exposed in order to assess the distance between the tip of the file and the apical foramen (AF). Results: The mean errors were -0.03 ± 0.36 mm (Root ZX) and -0.23 ± 0.41 mm (Propex II). The AF was accurately located in 75% (Root ZX) and 66.7% (Propex II) of the specimens, considering a margin of error of ± 0.5 mm. Analysis by the Wilcoxon test for paired samples showed significantly higher values for distance from the AF for Propex II ($P < 0.05$). Conclusions: EFLs are reliable tools for root canal length determination in vivo. Under the clinical conditions of the present study, Root ZX was more precise than Propex II.