

DISSOLUÇÃO ELETROQUÍMICA DE FRAGMENTOS DE AÇO INOXIDÁVEL E CONE DE PRATA EM UM MODELO DE CANAL RADICULAR SIMULADO

Caroline Chavadian Fonseca Amaral

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

Orientadores: José Antônio da Cunha Ponciano

Gomes

Fabiola Ormiga Galvão Barbosa

Rio de Janeiro

Março de 2013

DISSOLUÇÃO ELETROQUÍMICA DE FRAGMENTOS DE AÇO INOXIDÁVEL E
CONE DE PRATA EM UM MODELO DE CANAL RADICULAR SIMULADO

Caroline Chavadian Fonseca Amaral

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS.

Examinada por:

Prof. José Antônio da Cunha Ponciano Gomes, D.Sc

Prof. Luiz Carlos Pereira, D.Sc

Prof^a Fabíola Ormiga Galvão Barbosa, D.Sc

Prof^a Patrícia de Andrade Risso, D.Sc

Dr^a Laisa Cristina Candido, D.Sc

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2013

Amaral, Caroline Chavadian Fonseca

Dissolução eletroquímica de fragmentos de aço inoxidável e cone de prata em um modelo de canal radicular simulado/ Caroline Chavadian Fonseca Amaral. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

XVII, 135 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: José Antônio da Cunha Ponciano Gomes

Fabiola Ormiga Galvão Barbosa

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 121-135.

1. Dissolução eletroquímica. 2. Limas de aço inoxidável. 3. Cones de prata. 4. Canais radiculares simulados. I. Gomes, José Antônio da Cunha Ponciano *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia

Aos meus pais Marcia e Silvio, ao meu irmão
Rafael e ao meu namorado Felipe.
Tanto amor, carinho, dedicação e suporte me fazem
agradecer todos os dias por ter vocês ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador José Antônio da Cunha Ponciano Gomes pela oportunidade, pelos seus ensinamentos durante esta etapa da minha formação, pela paciência, e pela amizade.

A Professora Fabiola Ormiga, pela confiança, pela credibilidade, pelos ensinamentos desde a especialização de Endodontia, pela oportunidade, pela paciência, pelo carinho e amizade.

Aos meus pais Marcia e Silvio, pelo amor, dedicação e incentivo durante todas as etapas de minha vida.

Ao meu irmão Rafael, pela amizade, carinho e apoio.

Ao meu namorado Felipe, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos, pelo incentivo, pela ajuda, pela confiança, pela compreensão, carinho e amor.

Aos meus avós, pelo incentivo, pela confiança, pelo carinho e amor

Aos meus familiares, pelo incentivo e torcida para que esta etapa fosse concluída.

Aos professores da especialização de Endodontia, Patrícia de Andrade Risso e Marcos Cesar Pimenta de Araújo, pelos seus ensinamentos durante a especialização, pela oportunidade, pelo incentivo, pela confiança, pelo apoio e pela amizade.

Ao Professor Luiz Carlos Pereira, pelos ensinamentos e orientações.

A Dr^a Laisa Cristina Candido, pela amizade, paciência e auxílio extremamente importante na execução de diversas fases desta pesquisa.

Aos amigos do Laboratório de Corrosão Adriana, Eduardo, Janaína, Aline, Camila, Anderson pela paciência, ajuda nas horas de dificuldade e por estarem sempre prontos a dividir seus conhecimentos.

Ao técnico Alecir pela constante ajuda, amizade e apoio imprescindível nesta dissertação.

Ao Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais pelo apoio a este trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc).

DISSOLUÇÃO ELETROQUÍMICA DE FRAGMENTOS DE AÇO INOXIDÁVEL E CONE DE PRATA EM UM MODELO DE CANAL RADICULAR SIMULADO

Caroline Chavadian Fonseca Amaral

Março/2013

Orientadores: José Antônio da Cunha Ponciano Gomes

Fabiola Ormiga Galvão Barbosa

Programa: Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Diversas técnicas tem sido propostas para a remoção de limas endodônticas e de cones de prata no interior de canais simulados, porém estes apresentam limitações clínicas. O objetivo deste trabalho foi estudar o processo de dissolução ativa de limas manuais de aço inox e de cones de prata em presença de soluções de cloreto, fluoreto e EDTA. A liga de aço inox sofreu dissolução localizada em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 no potencial constante aplicado de +0,5V_{ECS}. O consumo progressivo das limas foi observado em um tempo de polarização total de 7 min para lima #20, 9 min para lima #30 e 12 min para lima #40. Os fragmentos das limas #20 e #30 foram parcialmente dissolvidos no terço médio no interior de canais simulados, possibilitando sua ultrapassagem e a recuperação do trajeto original do canal. No entanto, os fragmentos de lima # 40 não foram dissolvidos. Nesta mesma solução a liga de prata não sofreu dissolução. Entretanto, em soluções de EDTA 17% em pH= 7,4 e de NaF 12g/L em pH= 5,0, as ligas de prata sofreram dissolução ativa. No entanto, devido ao tempo necessário para a dissolução (11h), a solução de EDTA não pode ser utilizada clinicamente uma vez que levaria ao dano da estrutura dentinária. Em contrapartida a solução de [NaF 12g/L], pH= 5,0, seria uma possível escolha dentre as estudadas. O método de remoção proposto no estudo pode ser considerado promissor, uma vez que permitiu a dissolução e ultrapassagem de fragmentos de limas fraturadas de aço inox sem que houvesse o desgaste da estrutura do canal simulado, podendo favorecer o tratamento endodôntico

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.).

ELECTROCHEMICAL DISSOLUTION OF STAINLESS STEEL AND SILVER POINTS IN SIMULATED ROOT CANALS

Caroline Chavadian Fonseca Amaral

March/2013

Advisors: José Antônio da Cunha Ponciano Gomes

Fabiola Ormiga Galvão Barbosa

Department: Metallurgic and Materials Engineering

Several techniques have been proposed for the removal of fractured stainless steel files and silver points. However, these methods present clinical limitations. The aim of this study was to investigate the active dissolution process of the fragments of stainless steel files and silver points in solution of chloride, fluoride and EDTA. The stainless steel file presented localized dissolution in [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L] solution at pH = 5.0, at the constant applied potential of +0.5 V_{ECS}. A progressive consumption of the files # 20, # 30, and # 40 was observed in polarization times of 7, 9 and 12 min, respectively. Also, the fragments of the files # 20 and # 30 were partially dissolved in the middle third of simulated root canals, allowing the passage and the recovery of its original shape. In previous solution, the silver alloys did not present any active dissolution. Nevertheless, these materials presented active dissolution in 17% EDTA solution at pH 7.4, and NaF 12g/L solution at pH = 5.0. However, due to the time required (11h) for the dissolution in EDTA this media is not indicated for clinical use. These conditions would lead to injuries in dentine structure. On the other hand, the NaF 12g/L solution at pH = 5.0 would be an interesting alternative for the dissolution technique. The method evaluated in this study allowed the dissolution of the fractured fragments of the files, throughout the simulated canals without any structural damages. It may favor the success of the endodontic treatment.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Estruturas dentinárias.....	3
2.2. Tratamento Endodôntico	8
2.3. Instrumentos Endodônticos	11
2.3.1. Fratura de Instrumentos endodônticos.....	15
2.4. Soluções irrigadoras.....	17
2.4.1. Solução de Hipoclorito de Sódio.....	18
2.4.2. Solução de EDTA (ácido etilenodiamino tetra -cético)	18
2.5. Corrosão dos materiais.....	24
2.5.1. Resistencia a corrosão do aço e do NiTi.....	27
2.5.2. Influência das soluções de cloreto e fluoreto na corrosão do aço inoxidável.....	28
2.6. Obturação dos Canais Radiculares.....	30
2.6.1. Estabilidade e corrosão da prata.....	31
2.7. Retratamento dos canais radiculares.....	33
2.8. Métodos para remoção de limas fraturadas e de cone de prata.....	34

3. JUSTIFICATIVA.....	47
4. OBJETIVOS.....	49
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
5.1. Ensaio Eletroquímico.....	51
5.1.1. Curvas Redox das Soluções de Teste.....	51
5.1.2. Curvas de polarização anódica do aço inoxidável e da liga de prata.....	52
5.1.3. Polarização das limas de aço inoxidável e de cones de prata.....	53
5.1.4. Polarização de um fragmento de lima de aço inoxidável no interior de um canal simulado	56
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
6.1. Curvas de Polarização Anódica do Eletrodo Plano de Aço Inoxidável na solução [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 e Curva Redox desta solução.....	61
6.2. Ensaio de perda de massa de limas de Aço Inoxidável (#20, #30 e #40)	64
6.3. Polarização Anódica de fragmentos de limas de Aço Inoxidável em Canais Simulados.....	72
6.4. Curvas de Polarização Anódica do Eletrodo Plano de Prata na solução [NaF 12 g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 e Curva Redox desta solução.....	85

6.5. Ensaio de perda de massa referente a cones #30 na solução de solução [NaF 12 g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 nos potenciais de +0,5V _{ecs} , +0,75V _{ecs} e +1,5V _{ecs}	88
6.6. Curvas de Polarização Anódica do Eletrodo Plano de Prata na solução de EDTA pH= 7,4 e Curva Redox desta solução	102
6.6.1. Ensaio de perda de massa referente a cones #30 na solução de solução EDTA , pH= 7,4	104
6.7. Curvas de Polarização Anódica do Eletrodo Plano de Prata na solução de NaF 12g/L, pH= 5,0 e Curva Redox desta solução.....	108
6.7.1. Ensaio de perda de massa referente a cones #30 na solução de solução NaF 12g/L, pH= 5,0.....	110
7. CONCLUSÕES.....	118
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	120
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Dente (estruturas)	4
Figura 2 - Denominação das ramificações da cavidade pulpar.....	5
Figura 3 - Métodos para avaliação de curvaturas dos canais radiculares.....	6
Figura 4- Representação esquemática de canais classe I e canais classe II.....	8
Figura 5- Representação esquemática de canais tipo III.....	8
Figura 6 - Ilustração das etapas do tratamento endodôntico	10
Figura 7 - Kit endodôntico (cânula de sucção) para irrigação dos canais radiculares.....	10
Figura 8 - Representação do isolamento absoluto do dente (grampo e lençol de borracha)	11
Figura 9 - Lima endodôntica manual de aço inoxidável número # 10.....	13
Figura 10 - Representação da seção transversal da lima tipo K quadrangular (A) e da lima H em formato de vírgula (B).....	14
Figura 11- Lima Hedstroen.....	14
Figura 12 - Análise por microscopia eletrônica de varredura da superfície dentinária do canal radicular após a exposição a soluções irrigadoras (QUIAN <i>et al.</i> , 2011)	22
Figura 13- Diagrama E(V) x pH da prata (POURBAIX, 1974)	32
Figura 14 - O diagrama de E(V) x pH da prata com os domínios teóricos da corrosão, imunidade e passivação da prata, à temperatura de 25°C.....	33
Figura 15 - Método utilizando limas manuais para remoção do instrumento fraturado..	36
Figura 16- Extrator Masserann.....	37
Figura 17 - Método iRS.....	38
Figura 18 – Técnica do laço.....	39
Figura 19- Utilização de cianoacrilato.....	41
Figura 20- Análise ao microscópio óptico de limas de NiTi K3 (ORMIGA <i>et al.</i> 2010)	44
Figura 21- Imagens radiográficas de um fragmento de lima submetido à polarização no interior de um canal simulado (BARBOSA, 2010).....	45
Figura 22- Célula de três eletrodos utilizada nos ensaios de polarização. CE= contra eletrodo; WE= eletrodo de trabalho; RE = eletrodo de referência.....	52

Figura 23- Potenciostato utilizado nos ensaios de polarização.....	53
Figura 24- Célula de três eletrodos utilizada nos ensaios de polarização. CE= contra-eletrodo; WE= eletrodo de trabalho (lima aço inoxidável #40); RE = eletrodo de referência.....	55
Figura 25- Célula de três eletrodos utilizada nos ensaios de polarização. CE= contra-eletrodo; WE= eletrodo de trabalho (cone de prata #30); RE = eletrodo de referência.....	56
Figura 26- Blocos de resina simulando um canal radicular com lima fraturada. (A) Lima de aço inoxidável fraturado no terço apical. (B) Lima de aço inoxidável fraturado no terço médio.....	59
Figura 27- Célula de três eletrodos utilizada nos ensaios de polarização. CE= contra-eletrodo; WE= eletrodo de trabalho (fio de platina + fragmento de lima); RE = eletrodo de referência.....	59
Figura 28- (A) Fio de platina 0,1mm conectado ao fragmento fraturado da lima de aço inoxidável. (B) Fragmento de lima de aço inoxidável fraturada.....	60
Figura 29- Curva redox da solução [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 e Curvas de Polarização Anódica (CPA) do Aço Inoxidável na mesma solução.....	62
Figura 30- Análise por microscopia óptica do eletrodo plano de aço inoxidável. (A) Antes do ensaio de polarização anódica; (B) Após o ensaio de polarização anódica.....	62
Figura 31- Corrente gerada durante a aplicação de um potencial de +0,5V às lima de aço inoxidável (#20, #30 e #40), em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L]; pH=5,0.....	64
Figura 32- Análise por EDS de limas de aço inoxidável #20, #30 e #40.....	67
Figura 33- Análise por microscopia óptica das limas # 20, 30 e 40 após a polarização...	69
Figura 34- Análise em microscopia eletrônica de varredura da lima #20 antes (A) e após (B) a polarização de 3,5 minutos.....	70
Figura 35- Análise em microscopia eletrônica de varredura da lima #30 antes (A) e após a polarização de 4,5 minutos.....	71
Figura 36- Análise em microscopia eletrônica de varredura da lima #40 antes (A) e após (B) a polarização de 6 minutos.....	71
Figura 37- Carga elétrica x tempo de lima #20, #30 e #40, após aplicação de um potencial de +0,5V em solução de [NaF 12g/L + NaCl 1175,5g/L], pH= 5,0.....	72

Figura 38- Corrente registrada durante a aplicação de +0,5V _{ECS} a fragmentos de lima de aço inoxidável #20 no terço médio de um canal simulado.....	73
Figura 39- Corrente registrada durante a aplicação de +0,5V _{ECS} a fragmentos de lima de aço inoxidável #20 no terço apical de um canal simulado.....	74
Figura 40- Corrente registrada durante a aplicação de +0,5V _{ECS} a fragmentos de lima de aço inoxidável #30 no terço médio de um canal simulado.....	77
Figura 41- Corrente registrada durante a aplicação de +0,5V _{ECS} a fragmentos de lima de aço inoxidável #40 no terço médio de um canal simulado.....	78
Figura 42- Imagens radiográficas do bloco de resina com fragmento de lima de aço inoxidável #20 no terço médio do canal simulado. (A) Antes da polarização anódica. (B) Após a polarização anódica. (C) Após a polarização anódica, ultrapassagem de uma lima K #10 pelo fragmento.....	80
Figura 43- Imagens radiográficas do bloco de resina com fragmento de lima de aço inoxidável #20 no terço apical do canal simulado. (A) Antes da polarização anódica. (B) Após a polarização anódica. (C) Após a polarização anódica, ultrapassagem de uma lima K #10 pelo fragmento.....	81
Figura 44- Imagens radiográficas do bloco de resina com fragmento de lima de aço inoxidável #20 no interior do canal simulado terço médio. (A) Antes da polarização anódica, não ultrapassagem pela lima K#10. (B) Após a polarização anódica. (C) Após a polarização anódica, ultrapassagem de uma lima K #10 pelo fragmento.....	82
Figura 45- Imagens radiográficas do bloco de resina com fragmento de lima de aço inoxidável #20 no interior do canal simulado terço médio. (A) Antes da polarização anódica, não ultrapassagem pela lima K#10. (B) Após a polarização anódica. (C) Após a polarização anódica, ultrapassagem de uma lima K #10 pelo fragmento.....	83
Figura 46- Curvas de polarização anódica do eletrodo plano de prata em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L]; pH= 5,0.....	85
Figura 47- Curva redox da solução [NaF12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0.....	87
Figura 48- Análise por microscopia óptica do eletrodo plano de prata. (A) Antes do ensaio de polarização anódica; (B) Após o ensaio de polarização anódica.....	87
Figura 49- Corrente gerada durante a aplicação de um potencial de +0,5V _{ECS} a um cone de prata #30, em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L]; pH= 5,0.....	89
Figura 50- Análise em microscopia eletrônica de varredura do cone de prata após a	

polarização anódica de 60 minutos em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0. (A) após a polarização anódica. (B) Aumento de 100X do cone de prata após polarização anódica mostrando duas partes do cone (B1) parte não exposta a solução. (B2) parte exposta a solução. (C) Aumento de 200x do cone de prata com marcações de dois pontos para análise das regiões por EDS.....	90
Figura 51- Análise por EDS do cone de prata após o ensaio de polarização anódica em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0. (Ponto 1) Área não exposta à solução; (Ponto 2) Área exposta à solução.....	91
Figura 52- Imagem dos cones de prata antes e após a polarização anódica de +0,5 V _{ECS} por 1 hora em solução aquosa de [NaF 12g/L + NaCl 175,5 g/L], pH = 5,0.....	92
Figura 53- Corrente gerada durante a aplicação de um potencial de +0,75V a um cone de prata #30, em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0.....	93
Figura 54- Análise por microscopia eletrônica de varredura do cone #30 depois da aplicação de um potencial de +0,75V por 72 horas. (A) após a polarização por 72 horas. (B e C) fratura em duas partes da parte exposta a solução do cone.....	94
Figura 55- Análise por EDS do cone de prata #30 mostrando a formação de cloreto de prata.....	95
Figura 56- Análise em Microscopia Óptica. (A) cone de prata antes(1) e depois (2) da polarização anódica. (B) cone após a polarização mostrando a fratura e a formação de cloreto de prata.....	95
Figura 57- Corrente gerada durante a aplicação de um potencial de +1,5V a um cone de prata #30, em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L]; pH= 5,0.....	96
Figura 58- Análise por microscopia eletrônica de varredura do cone de prata Odame (Odontologia Americana LTDA -Cones de prata calibrados). (A) cone de prata novo antes da polarização (B) cone de prata antes da polarização de +0,5V _{ECS} durante 1 hora em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5 g/L], pH= 5,0 (200X). (C) cone de prata após a polarização mostrando a formação de cloreto de prata.....	100
Figura 59- Análise por EDS do cone de prata antes da polarização e depois da polarização.....	101
Figura 60- Curva de Polarização anódica do eletrodo de prata na solução de EDTA, pH=7,4 e Curva Redox desta solução.....	103
Figura 61- Análise por microscopia óptica do eletrodo plano de prata (A) antes do ensaio de polarização anódica e (B) após o ensaio de polarização anódica.....	104

Figura 62- Corrente gerada durante a aplicação de um potencial de +0,75V o cone de prata #30, em solução de EDTA 17%, pH= 7,4.....	105
Figura 63- Análise em Microscopia Óptica. (A) cone de prata antes da polarização anódica. (B) cone após a polarização anódica.....	107
Figura 64- Curvas de Polarização Anódica do eletrodo plano de prata na solução de NaF 12g/L, pH= 5,0 e Curva redox desta solução.....	109
Figura 65- Análise por microscopia óptica do eletrodo plano de prata. (A) antes do ensaio de polarização anódica, e (B) após o ensaio de polarização anódica.....	110
Figura 66- Corrente gerada durante a aplicação de um potencial de +0,5V ao cone de prata #30, em solução de Na F 12g/L, pH= 5,0.....	111
Figura 67- Análise em Microscopia Óptica. (A) cone de prata antes da polarização anódica. (B) cone após a polarização anódica.....	113
Figura 68- Análise em Microscopia Óptica da cápsula formada na superfície do cone de prata durante a polarização anódica.....	114
Figura 69- Análise em microscopia eletrônica de varredura da cápsula formada na superfície do cone de prata durante a polarização anódica.....	114
Figura 70- Análise por EDS da capa formada na superfície do cone de prata em 2 pontos.....	115

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Potencial estabelecido para cada material nas soluções escolhidas.....	54
Tabela 2- Potencial aplicado nos tempos pré-determinados de cada material.....	55
Tabela 3- Limas utilizadas no estudo em diferentes profundidades.....	58
Tabela 4- Resultados dos ensaios de perda de massa de limas de aço inoxidável #20, #30 e #40, mostrando os valores iniciais e finais de massa, comprimento e carga elétrica	68
Tabela 5- Resultados dos ensaios de perda de massa realizados com aplicação de diferentes potenciais (+0,5V, +1,5V e +0,75V) ao cone de prata #30 em solução de [NaF12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0, mostrando os valores iniciais e finais de massa, comprimento e carga elétrica.....	97
Tabela 6- Resultados dos ensaios de perda de massa realizados com aplicação de um potencial +0,75V a cones de prata #30 em solução de EDTA; pH= 7,4, mostrando os valores iniciais e finais de massa, comprimento e carga elétrica.....	106
Tabela 7- Resultados dos ensaios de perda de massa realizados com aplicação de um potencial +0,5V a cones de prata #30 em solução de Na F12g/L, pH= 5,0.....	112

ÍNDICE DE SIGLAS

ECS	Eletrodo de calomelano saturado
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra acético
H	Eletrodo de hidrogênio
iRS	Instrument Removal System
IUP	Irrigação ultrassônica passiva
Lima H	Lima Hedstroen
Lima K	Lima Kerr
NaCl	Cloreto de sódio
NaF	Fluoreto de sódio
NaOCl	Hipoclorito de sódio
NiTi	Níquel- titânio
S.I.R	Separated Instrument retrieval System

1- INTRODUÇÃO

A fratura de limas endodônticas tem sido uma preocupação clínica para os endodontistas, pois este tipo de falha pode impedir a completa desinfecção e modelagem dos canais radiculares, tendo como consequência o fracasso do tratamento. Na literatura são descritos vários métodos para remoção de instrumentos fraturados (MASSERANN, 1971, FELDMAN *et al.*, 1974, WEISMAN, 1983, FORS & BERG, 1983, ROIG-GREENE, 1983, KRELL *et al.*, 1984, NAGAI *et al.*, 1986, HÜLSMANN, 1993, 1994, RUDDLE, 1997, SUTER, 1998, ELEAZER & O'CONNOR, 1999, OKIJI, 2003, TERAUCHI *et al.*, 2006), porém estes métodos apresentam sucesso limitado e podem ser prejudiciais, tendo como consequência a fragilização da raiz remanescente, e até mesmo sua perfuração.

Outro desafio que os endodontistas têm encontrado na clínica é a dificuldade de remoção do cone obturador de prata durante o retratamento dos canais radiculares uma vez que, estes cones de prata encontram-se bem ancorados o que dificulta a sua remoção. Por se tratar de um método de obturação fácil e rápido, muitos profissionais utilizaram por décadas o cone de prata na obturação de canais radiculares. No entanto, a utilização deste material tem sido correlacionada à selamentos apicais inadequados que permitem a micro infiltração e corrosão do material. A utilização dos cones de prata não promove uma boa vedação tridimensional principalmente dos canais acessórios resultando em falha no tratamento endodôntico. Logo, a utilização do cone de prata está diretamente relacionada com casos de falhas no tratamento endodôntico, o que requer a remoção do cone de prata para posterior retratamento dos canais em questão (LOPES & SIQUEIRA, 2010; ZUOLO, *et al.* 2009; COHEN, *et al.* 2007).

Um grande número de aparelhos e técnicas tem sido proposto na literatura para remoção de cones de prata, incluindo o ultrassom em associação com o microscópio, pinças hemostáticas, pinças de Stieglitz, entre outros. No entanto estes métodos apresentam algumas limitações, como por exemplo, a fratura dos cones, que impossibilita o tratamento endodôntico e resulta na necessidade de exodontia do elemento dentário (ZUOLO, *et al.* 2009).

Neste contexto, é de extrema importância a investigação de um método que seja eficaz para remoção de limas fraturadas e de cones de pratas do interior dos canais radiculares, sem que danifique as estruturas dentinárias. Em estudo recente, ORMIGA (2010) propôs um novo método de remoção de fragmentos metálicos do interior de canais radiculares através da dissolução ativa destes fragmentos. A autora observou a dissolução parcial de limas de NiTi, possibilitando a recuperação do trajeto original do canal.

O objetivo deste trabalho consiste em estudar o processo de dissolução ativa de limas manuais de aço inoxidável e de cones de prata em presença de soluções de cloreto, fluoreto e ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA), para possibilitar a aplicação do método desenvolvido por ORMIGA *et al* (2010).

2- REVISÃO DE LITERATURA:

2.1- Estruturas Dentárias

O dente humano é composto pela parte coronária (coroa) e pela parte radicular, com uma ou mais raízes. A coroa apresenta três estruturas básicas: esmalte, dentina e polpa (CANTISIANO *et al.* 1987). A cavidade pulpar é o espaço existente no interior do dente, ocupado pela polpa e revestido em quase toda sua extensão por dentina, exceto junto ao forame. Esta cavidade é dividida em duas partes: câmara pulpar e canal radicular (SOARES *et al.* 2001) como pode ser observada na Figura 1.

A polpa dental apresenta em sua composição tecido conjuntivo, diferentes células, incluindo as de defesa, esta é altamente vascularizada e inervada. Por ela estar confinada no interior das paredes rígidas de dentina e esmalte, ao apresentar processo de inflamação a polpa não tem como se expandir, desencadeando uma reação dolorosa. (LOPES & SIQUEIRA, 1999).

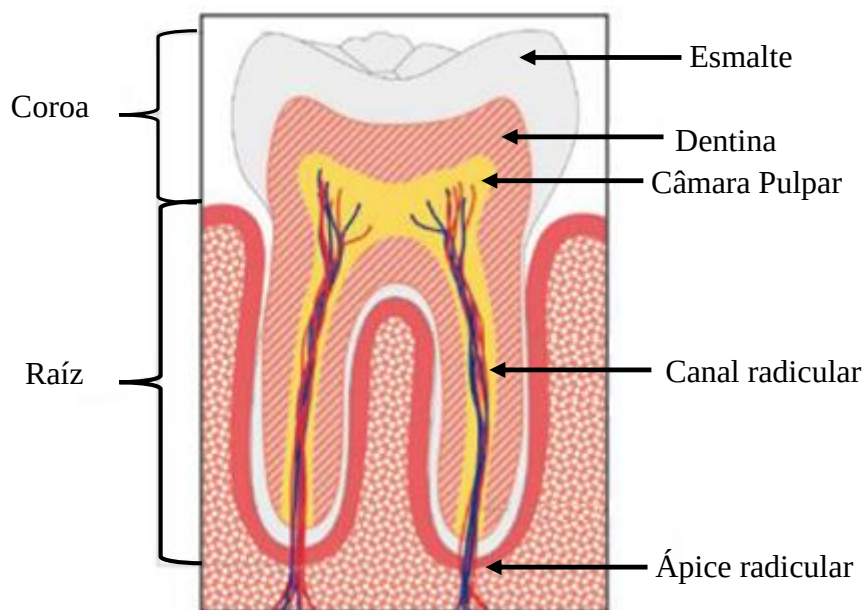
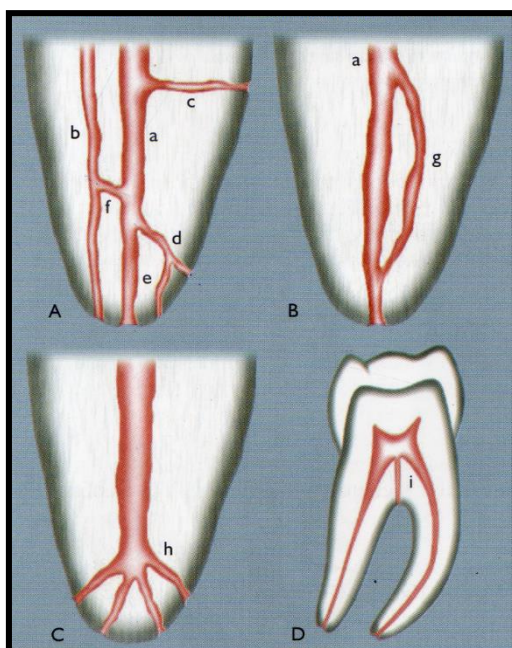


Figura 1 - Dente (estruturas) (Figura adaptada de Rodriguez - Lozano, Insausti *et al.* 2012).

Uma série de estudos envolvendo cortes histológicos, diafanização, radiografias, entre outros, têm demonstrado que o canal principal pode apresentar diversos tipos de ramificações, formando um complexo sistema de canais radiculares como observado na Figura 2 (SOARES *et al.*, 2001).



- a- Canal principal
- b- Canal colateral
- c- Canal lateral
- d- Canal secundário
- e- Canal acessório
- f- Interconduto
- g- Canal recorrente
- h- Delta apical
- i- Canal cavo - inter -radicular

Figura 2- Denominação das ramificações da cavidade pulpar (Figura adaptada de SOARES *et al.*, 2001).

Quanto à direção, os canais radiculares podem ser classificados como retilíneos ou curvilíneos. O canal é considerado retilíneo quando tem a forma de linha reta. É considerado curvilíneo quando no comprimento total ou parcial tem a forma de linha curva. Quando parcial, o arco de curva pode estar localizado no segmento cervical, médio ou apical, sendo a localização apical a mais comum (LOPES & SIQUEIRA, 2010).

A visualização das curvaturas localizadas no terço apical da raiz na radiografia muitas vezes é dificultada pelas variações angulares do cilindro radiográfico no momento da tomada radiográfica e, por esse motivo, toda radiografia inicial deve ser feita com a técnica do paralelismo, principalmente, pela presença dessas curvaturas nos canais atrésicos e achatados de raízes mesiais de molares inferiores e raízes méso-vestibulares de molares superiores. Assim, SCHNEIDER (1971), foi um dos primeiros autores a formular uma metodologia para determinar curvaturas de canais radiculares utilizando

radiografias de diagnóstico. Segundo este método, o dente é radiografado no sentido vestibulo- lingual, sendo o seu eixo longitudinal identificado na imagem radiográfica. Uma segunda linha é traçada do forame apical até o ponto onde o canal radicular começa a se distanciar deste eixo longitudinal. O ângulo considerado é o ângulo agudo formado entre essas duas linhas, como observado na Figura 3A. Outro método para análise da curvatura dos canais radiculares é o raio de curvatura, descrito por PRUETT et al (1997), que tem como objetivo analisar de uma forma mais precisa a curvatura dos canais. A sua determinação é feita traçando uma linha reta sobre as partes dos canal que seguem um trajeto aproximadamente retilíneo. Na interseção de retas perpendiculares a essas anteriormente traçadas acha-se o centro da curvatura do canal e consequentemente seu raio. De acordo com o autor, a determinação da curvatura dos canais deve ser feita a partir de dois fatores: o ângulo de curvatura formado entre os trajetos retilíneos do canal e o raio de curvatura, como observado na Figura 3B.



Figura 3: Métodos para avaliação de curvaturas. (A) Método de Schneider: determina o ângulo de curvatura. (B) Método de Pruett: determina o ângulo e raio da curvatura. (Figura adaptada de BARBOSA, 2010).

De acordo com o método descrito por SCHNEIDER (1971) os canais podem ser classificados em função do grau do ângulo de curvatura mensurado na radiografia em:

Classe I – Canal amplo ou mediano. Quanto à inclinação, esses canais são retos ou possuem uma curvatura gradual discreta (menos de 25°). A exploração do canal é acessível até a abertura foraminal com uma lima #15 (correspondente a 0,15mm de diâmetro na ponta) (Figura 4).

Classe II – Canal atresiado, com curvatura gradual acentuada (26° até 40°). A exploração do canal é relativamente mais difícil. A lima # 10 (0,10mm de diâmetro na ponta) penetra com dificuldade em toda extensão do canal (Figura 4).

Classe III – Canal atresiado, com curvatura severa. Apresentam angulação acentuada (acima de 41 ° a 90 °) ou dupla curvatura. A lima 08 (0,08mm de diâmetro na ponta) penetra com dificuldade na extensão do canal (Figura 5).

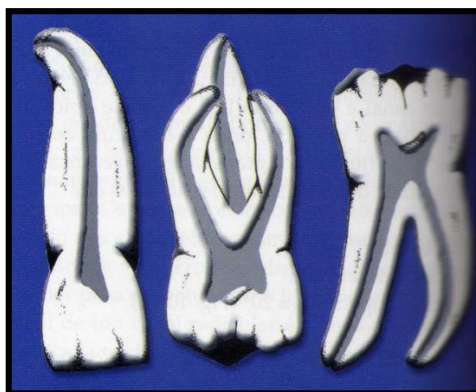


Figura 4 – Representação esquemática de canais classe I e canais classe II (Figura adaptada de LOPES & SIQUEIRA, 2010).

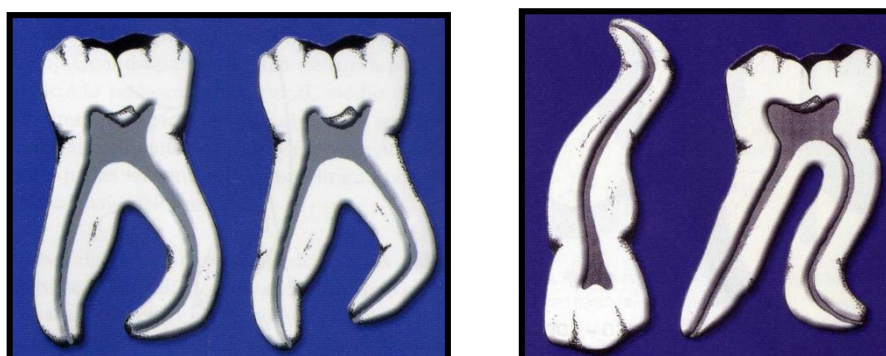


Figura 5- Representação esquemática de canais tipo III. (Figura adaptada de LOPES & SIQUEIRA, 2010).

2.2 - Tratamento Endodôntico

O tratamento endodôntico é indicado em casos de inflamação irreversível da polpa, necrose pulpar e por finalidade protética. A polpa dental encontra-se asséptica dos microorganismos presentes na cavidade bucal, estando isolada pelo esmalte e dentina na

coroa dentaria e pelo cimento e dentina na porção radicular. No entanto, quando a polpa é exposta à cárie dental desencadeia um processo inflamatório que pode ocasionar a rápida degeneração e necrose pulpar sendo necessário o tratamento endodôntico. (COHEN *et al*, 2007). Este tratamento consiste no acesso à câmara pulpar onde é removida a cárie existente através de brocas do tipo carbide, diamantada, entre outras (Figura 6A), remoção da polpa com objetivo de eliminar a infecção (Figura 6B), preparo químico-mecânico com utilização de limas endodônticas e auxílio de substâncias irrigadoras como NaOCl 5,25% (Figura 6C) e obturação tridimensional do sistema de canais radiculares com um polímero termoplástico denominado guta-percha junto com um cimento endodôntico (Figura 6D).

O preparo químico-mecânico tem por objetivo promover a limpeza, ampliação e modelagem dos canais radiculares. Além disso, o conhecimento da complexa anatomia dentária é importante para a eficácia do tratamento endodôntico. O controle da infecção é obtido através da instrumentação dos canais radiculares principais por meio de limas endodônticas, aliada ao uso de soluções irrigadoras. A solução irrigadora é aspirada com auxílio de uma cânula de sucção endodôntica como observado na Figura 7 após cada renovação da solução no interior dos canais radiculares. O isolamento absoluto do dente é realizado com auxílio de um grampo, um lençol de borracha e um arco, este é essencial para obtenção de um campo operatório limpo, seco e iluminado favorecendo o sucesso no tratamento endodôntico como observado na Figura 8.

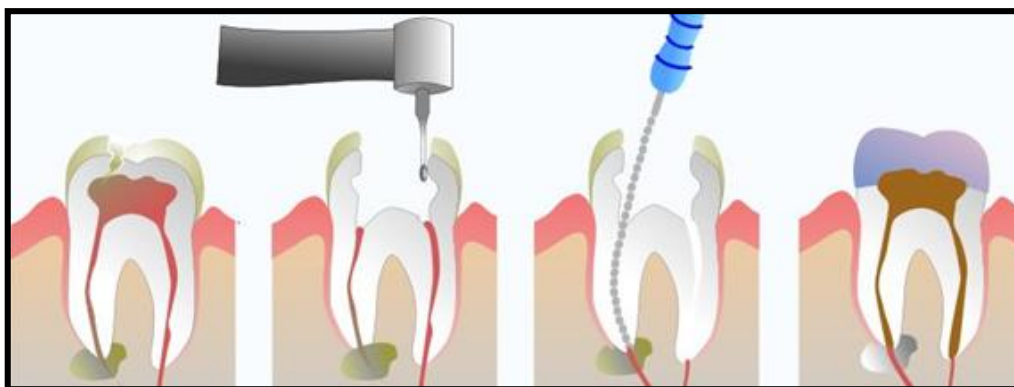


Figura 6 – Ilustração das etapas do tratamento endodôntico. (A) Acesso a câmara pulpar; (B) Remoção da polpa; (C) Preparo Químico – Mecânico dos canais radiculares com uso de lima de aço inoxidável manual; (D) Obturação dos canais radiculares. (Figura adaptada de <http://www.evidenteodontologiarj.com> - 20/10/2011).



Figura 7 - Kit endodôntico (cânula de sucção) para irrigação dos canais radiculares. (Figura adaptada de <http://www.dentalweb.com.br/kit-endodontico-de-irrigacao.html>- 16/01/2013).

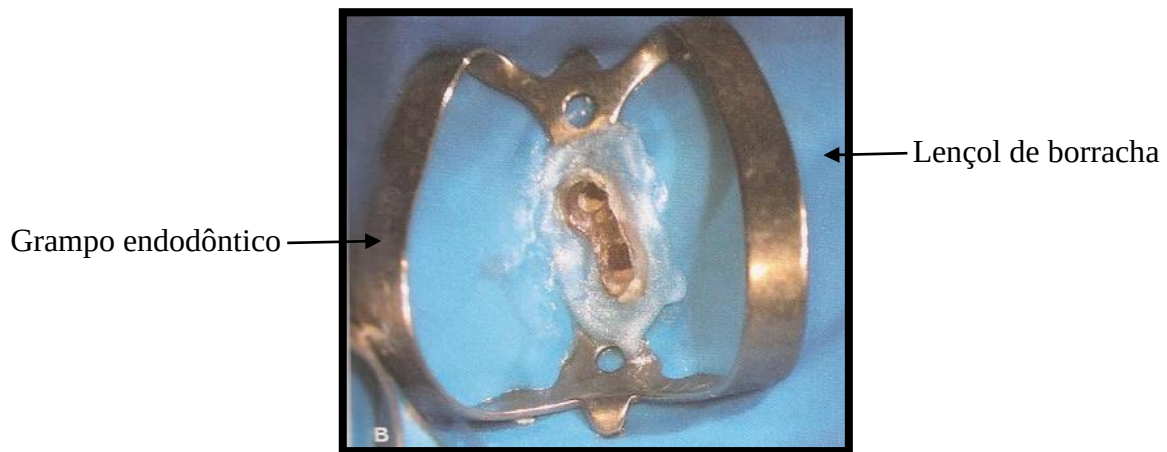


Figura 8: Representação do isolamento absoluto do dente (grampo e lençol de borracha. (Figura adaptada de LOPES & SIQUEIRA, 2010).

2.3- Instrumentos Endodônticos

Os instrumentos endodônticos são empregados como agentes mecânicos na instrumentação de canais radiculares. São fabricados com ligas de aço inoxidável ou níquel-titânio (NiTi) (LOPES & SIQUEIRA, 2010).

Na odontologia, o aço inoxidável passou a ser empregado com maior frequência na fabricação de instrumentos endodônticos a partir de 1961(INGLE *et al*, 1994; LOPES & SIQUEIRA, 2004).

Os instrumentos endodônticos promovem desgaste da dentina durante a instrumentação dos canais radiculares através de movimentos de limagem, de alargamento ou de ambos (LOPES & SIQUEIRA, 2010). Atualmente, o preparo dos canais radiculares pode ser obtido através da instrumentação manual utilizando limas de aço inoxidável ou pela instrumentação rotatória utilizando limas de aço inoxidável ou de NiTi.

Com a introdução da liga de níquel-titânio na Endodontia e posterior desenvolvimento dos instrumentos rotatórios, diversos estudos têm demonstrado a superioridade e rapidez destes no preparo biomecânico (AHQUIST *et al.* 2001, ANKRUM *et al.* 2004, BARATTO FILHO *et al.* 2009, CÂMARA *et al.* 2008, SHAFER *et al.* 2004). Alguns sistemas rotatórios têm sido utilizados atualmente na prática endodôntica, como os sistemas Mtwo (VDW, Alemanha), LightSpeed (LightSpeed Technology Inc., EUA), ProTaper (Dentsply-Maillefer, Suíça), K3 (Sybronendo, EUA), dentre outros.

Entretanto, as limas manuais de aço inoxidável ainda são muito utilizadas pelos endodontistas, em função de um custo menor quando comparado com as limas rotatórias.

Em geral, os aços inoxidáveis são divididos em diferentes categorias, de acordo com a composição química e a microestrutura em: aços inoxidáveis ferríticos, aços inoxidáveis austeníticos e aços inoxidáveis martensíticos. Os instrumentos endodônticos são produzidos em ligas de aço inoxidável austeníticos de acordo com o fabricante, por apresentarem composição Fe-Cr- Ni com estrutura cristalina cúbica de face centrada. Essas ligas possuem boa resistência à corrosão e à fratura, grande tenacidade e dureza, o que permite que os instrumentos endodônticos resistam a fraturas durante a instrumentação dos canais radiculares (LOPES & SIQUEIRA, 2010).

As limas manuais de aço inoxidável de acordo com a Figura 9 possuem padronização pela norma ISO (International Organization for Standardization). Estes instrumentos são fabricados com comprimentos de 21, 25, e 31 mm. A parte de trabalho mede 16 mm, sendo o comprimento da parte intermediária variável. O diâmetro na ponta da parte de trabalho de um instrumento é denominado D0. Os diâmetros nominais de D0, expressos em centésimos de milímetros, correspondem aos números dos instrumentos padronizados (ISO) e variam entre 6 e 140. De acordo com a norma ISO, os instrumentos

são divididos em quatro séries: especial, com numeração de 6 a 10; primeira série, numerada de 15 a 40; segunda série, numerada de 45 a 80 e terceira série, com numeração de 90 a 140 (LOPES & SIQUEIRA, 2010). A conicidade destes instrumentos é de 0,02mm/mm (INGLE E LEVINE, 1994).

As limas tipo K (Kerr Manufacturing Co), são usadas para o corte e remoção de dentina, e possuem formato de seção transversal quadrangular (Figura 10A). Estas limas podem ser pré-curvadas para facilitar sua inserção no interior dos canais radiculares e minimizar o transporte apical (COHEN *et al.* 2007).

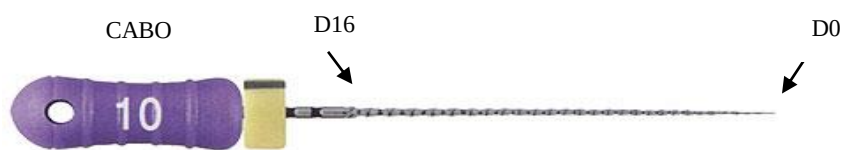
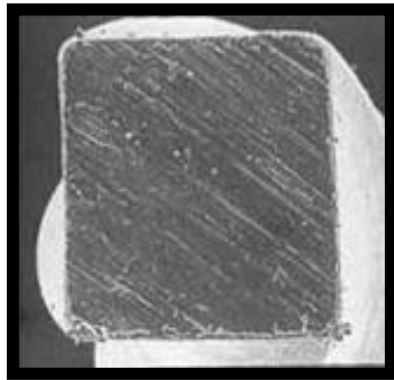


Figura 9- Lima endodôntica manual de aço inoxidável número # 10 (Figura adaptada de

<http://www.dentalcapitalbh.com.br/?op=galeria&act=detalhe&galid=25&pagina=3> – 04/12/2011).

As limas tipo Hedstroen (Figura 11) são bastante utilizados na endodontia. Estas limas são produzidas através da micro usinagem de fios metálicos de aço de seção circular, de modo a criar sulcos e lâminas longitudinais que cortam a dentina de maneira

eficiente. As limas Hedstroen devem ser usadas manualmente através de movimentos de limagem, sem executar qualquer tipo de rotação no interior do canal sob risco de fratura. A seção transversal apresenta-se no formato de uma vírgula. (Figura 10B).



A



B

Figura 10- Representação da seção transversal da lima tipo K quadrangular (A) e da lima H em formato de vírgula (B). (Figura adaptada de SICILIANO,2008).



Figura 11 - Lima Hedstroen (Figura adaptada de <http://www.dentsply.com.br> – 15/02/2013).

A instrumentação de canais curvos com o mínimo de alteração do seu trajeto continua sendo um dos maiores desafios no tratamento endodôntico. Erros de procedimentos que podem ocorrer durante o preparo de canais curvos têm uma origem comum: a rigidez das ligas de aço inoxidável (WALIA *et al.* 1998).

2.3.1- Fratura de Instrumentos Endodônticos

Os defeitos encontrados nos instrumentos advindos do processo de fabricação, podem levar à fratura dos mesmos durante o processo de instrumentação. Esses defeitos são encontrados comumente após usos sucessivos dos instrumentos e também antes mesmo de serem usados. Esses defeitos vão atuar como concentradores de tensão levando a fratura dos mesmos. LOPES *et al.*(2002) levando em consideração o alto índice de fratura de limas acionadas a motor, descreveram o mecanismo de fratura dos instrumentos endodônticos, que podem ser fabricados com aço inoxidável austenítico ou com ligas NiTi. Os autores concluíram que em função da microestrutura das ligas metálicas empregadas na fabricação das limas endodônticas a fratura é do tipo transgranular por cisalhamento, também chamada de dúctil ou transgranular por coalescência de microcavidades.

As fraturas das limas tipo K de aço inoxidável ocorre por torção, dobramento ou pela combinação destes. Em contrapartida a fratura das limas de NiTi rotatórias podem apresentar fratura por torção, flexão em rotação ou pela combinação destes. (LOPES & SIQUEIRA, 2010).

Durante o preparo químico-mecânico dos canais radiculares, os instrumentos endodônticos são submetidos a grandes tensões e deformações que podem variar de acordo com a anatomia do canal e a habilidade do profissional. Nessas condições, os instrumentos sofrem carregamentos extremamente adversos que modificam continuamente sua resistência à torção e à flexão em rotação ou dobramento. Por essa razão, observa-se a falha de alguns instrumentos. (LOPES *et al.* 2001; LOPES &SIQUEIRA, 2004).

A fratura por dobramento ocorre quando um instrumento endodôntico de aço inoxidável dobrado é movimentado no interior do canal radicular. Na área dobrada, ocorrem tensões trativas na superfície externa, e tensões compressivas na superfície interna. Com a repetição cíclica do dobramento e desdobramento surgem trincas na área dobrada as quais se propagam até que haja fratura do instrumento (LOPES *et al.* 2001). SCHNEIDER *et al.* (1971) formularam uma metodologia para determinar curvaturas de canais radiculares utilizando radiografias de diagnóstico para conseguir uma boa visualização das curvaturas com intuito de diminuir acidentes durante a instrumentação principalmente na região apical onde a incidência de fratura dos instrumentos é elevada.

PRUETT *et al.* (1997) analisaram a incidência de fratura de instrumentos endodônticos quando utilizados em raízes curvas e observaram que a fratura ocorre sempre no ponto de maior curvatura. TZANETAKIS *et al.* (2008) avaliaram um alto índice de fratura no terço apical quando comparado no terço médio e cervical, sendo que de acordo com RUDDLE (2004), as fraturas ocorrem nos 3 a 5 mm apicais do canal uma vez que é esta região onde os canais apresentam maiores curvaturas. Do mesmo modo, ZELADA *et al.* (2002), SPILI *et al.* (2005), WOLCOTT *et al.* (2006) e IQBAL *et al.* (2006 a), observaram uma maior incidência de fratura no terço apical de dentes

posteriores e inferiores, uma vez que esta é a região onde os canais radiculares apresentam maior curvatura, o que confirma o estudo anterior.

Neste contexto, é possível concluir que a incidência de instrumentos fraturados está relacionada com a anatomia dos canais radiculares, com a morfologia e dimensão dos instrumentos.

2.4- Soluções Irrigadoras

Durante a instrumentação dos canais radiculares a utilização de soluções irrigadoras é importante na desinfecção destes devido à complexidade do sistema de canais radiculares.

Inúmeras soluções químicas já foram recomendadas como auxiliares ao preparo mecânico dos canais radiculares, porém, o hipoclorito de sódio (NaOCl) continua sendo a substância mais utilizada e indicada durante a terapia endodôntica (ZEHNDER, 2006). Entretanto, outras substâncias, entre elas a clorexidina, vêm sendo preconizadas como substâncias auxiliares no preparo dos canais radiculares (MOHAMMADI & ABBOTT, 2009).

Outra aplicação de substâncias químicas no tratamento endodôntico é para a remoção da “smear layer”, que é uma camada formada devido ao atrito dos instrumentos com as paredes do canal, composta por materiais inorgânicos, como raspas de dentina, e orgânicos, entre eles restos de tecido pulpar e bactérias (MC COMB & SMITH, 1975). As soluções utilizadas para esse fim são: o EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético) 17%, ácido cítrico 10%, ácido fosfórico 37%, entre outras (LOPES & SIQUEIRA, 2010).

2.4.1- Solução de Hipoclorito de Sódio

Em 1936, WALKER propôs o emprego do hipoclorito de sódio a 5%, em endodontia, como solução auxiliar na instrumentação de canais radiculares.

Os compostos de cloro da classe dos hipocloritos apresentam-se nas formas líquidas (hipoclorito de sódio) e sólidas (hipoclorito de cálcio, di-cloro-iso-cianureto) e são os mais utilizados na desinfecção química, pois apresentam amplo espectro de atividade antimicrobiana (RUTALA, 1996), inativam endotoxinas bacterianas (SILVA *et al.* 2004) e dissolvem tecido orgânico (GROSSMAN & MEINAM, 1941, GULABIVALA *et al.* 2005). Devido ao seu poder antimicrobiano, essa solução é ainda empregada para descontaminação de materiais obturadores sólidos como a guta-percha e o Resilon®, utilizados na obturação do sistema de canais radiculares (ROYAL *et al.* 2007; PRADO, 2009).

O mecanismo de ação do hipoclorito de sódio ocorre pela degradação das moléculas de gordura (reação de saponificação), neutralização dos aminoácidos, (reação de neutralização) e liberação de cloro que em contato com o grupamento amina das proteínas forma cloraminas (reação de cloraminação) (ESTRELA, 2002).

2.4.2- Solução de EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético)

O EDTA começou a ser utilizado na terapia endodôntica desde 1957 (OSTBY, 1957). O EDTA é composto por um pó branco, cristalino, insolúvel e inodoro que possui quatro grupos acéticos ligados ao etilenodiamino. Devido a sua baixa insolubilidade em água, a quantidade de íons que libera é mínima por isso tem sido convertido em sais dissódicos, trissódicos ou tetrassódicos, através do acréscimo de hidróxido de sódio a sua

fórmula. O valor do pH do EDTA é em torno de 7,4. Quanto maior a quantidade de átomos de sódio em substituição ao átomo de hidrogênio, maior a solubilidade do composto e maior o poder de descalcificação. (SOUZA *et al.* 1999; VOGEL, 1992).

A reação do sal do EDTA com o íon cálcio da dentina resulta no complexo EDTA-Ca estável, responsável por desmineralizar a dentina e remover a camada de smear layer. (CRUZ FILHO, 1998). À medida que o processo de descalcificação ocorre, o pH do sal de EDTA diminui. Em pH próximo de 7,0 ocorre um maior efeito desmineralizador da solução tendo em vista que, abaixo deste valor, a capacidade de quelação decresce. (HOLLAND, 1974).

Segundo CURY (1981) a maior capacidade desmineralizadora da solução ocorre em valores de pH entre 5,0 e 6,0. Se o pH da solução for inferior a 5,0 (pH ácido) a reação cessa porque o EDTA não consegue mais sequestrar íons de cálcio da dentina.

Apesar de possibilitar a remoção de smear layer, as soluções quelantes desmineralizam a dentina, o que é indesejável. ÇALT, *et al.* (2002) compararam os efeitos das variações da concentração e do pH das soluções de EDTA na desmineralização da dentina. Vinte dentes humanos unirradiculares extraídos foram usados no experimento. Os efeitos das soluções de EDTA a 10% e a 17% com pH de 7,5 e 9 na desmineralização da dentina foram determinados pela quantidade de fósforo liberado após 1, 2, 3, 5 e 10 minutos de ação. Os resultados revelaram que a solução mais concentrada de EDTA foi efetiva na liberação de fósforo. O tempo de exposição, assim como o pH neutro da solução de EDTA influenciaram positivamente na capacidade de desmineralização da dentina.

O EDTA 17% é indicado como coadjuvante do preparo biomecânico, por ser um quelante específico para os íons cálcio, em canais atresados e calcificados, para remoção de smear layer e combinado com o NaOCl (hipoclorito de sódio) durante o preparo de canais radiculares infectados (MARENDING *et al.* 2007).

Nesse contexto, OZDEMIR *et al.* (2010), avaliaram os efeitos do EDTA e NaOCl sobre o *Enterococcus faecalis* no crescimento do biofilme intracanal de indivíduos jovens e idosos. Os autores concluíram que os canais radiculares de idosos são mais susceptíveis à infecção, sendo que a aplicação combinada de EDTA e NaOCl reduziu significativamente a quantidade de biofilme intracanal.

SOUZA, *et al.* (2005), avaliaram a capacidade de limpeza das paredes dos canais radiculares no terço apical quando irrigados com EDTA 17% e EGTA 1% alternados com hipoclorito de sódio 1% na proporção 1:1. Vinte dentes incisivos centrais inferiores humanos foram utilizados no experimento, divididos em dois grupos em função da solução irrigante utilizada no preparo biomecânico da seguinte forma: grupo 1- EDTA 17% e grupo 2- EGTA 1%, ambos utilizaram o hipoclorito de sódio 1% associado a irrigação. Os resultados mostraram que nenhuma das soluções irrigantes testadas foi capaz de remover completamente os detritos das paredes apicais do canal radicular. A ação do EDTA 17% foi estatisticamente superior a do EGTA 1%.

MALVAR *et al.* (2009), analisaram o efeito do EDTA em concentrações de 3%, 5%, 10% e 17%, na remoção da camada residual e na desobstrução dos túbulos dentinários, nos tempos de 1 e 3 minutos através de microscopia eletrônica de varredura. Os resultados mostraram que o EDTA nas concentrações de 10 e 17% foram mais eficazes independentes do tempo de aplicação. A respeito da remoção da camada superficial e da desobstrução dos túbulos dentinários do canal radicular, a eficácia do EDTA não se altera com o aumento do tempo de aplicação.

SILVEIRA *et al.* (1994) avaliaram o poder irritante do EDTA sobre o tecido conjuntivo de ratos. Os resultados encontrados não permitiram uma conclusão quanto ao uso na clínica, entretanto os autores salientaram que o contato íntimo com os tecidos perirradiculares podem causar danos.

SEGURA *et al.* (1997), demonstraram que a solução de EDTA 17% apresenta sério potencial irritante e que a extrusão do sal do EDTA pode diminuir a função fagocitária.

QUIAN *et al.* (2011) analisaram o nível de erosão da dentina das paredes dos canais radiculares causada pela imersão em diferentes soluções irrigadoras e em sequências alternadas. Amostras de dentina de dente foram instrumentadas e divididas em cinco grupos. Cada grupo foi submetido à irrigação com EDTA 17%, EGTA 17%, ácido cítricos 10% e hipoclorito de sódio 5,25%, variando o tempo de exposição e a ordem dos irrigantes. As amostras foram submetidas à avaliação por microscopia eletrônica de varredura. Os resultados mostraram que não houve erosão quando os agentes desmineralizadores foram utilizados no final após a irrigação com hipoclorito de sódio, no entanto foi detectada a erosão da dentina peritubular quando EDTA, EGTA e ácido cítrico foram usados em primeiro lugar antes do hipoclorito (Figura 12).

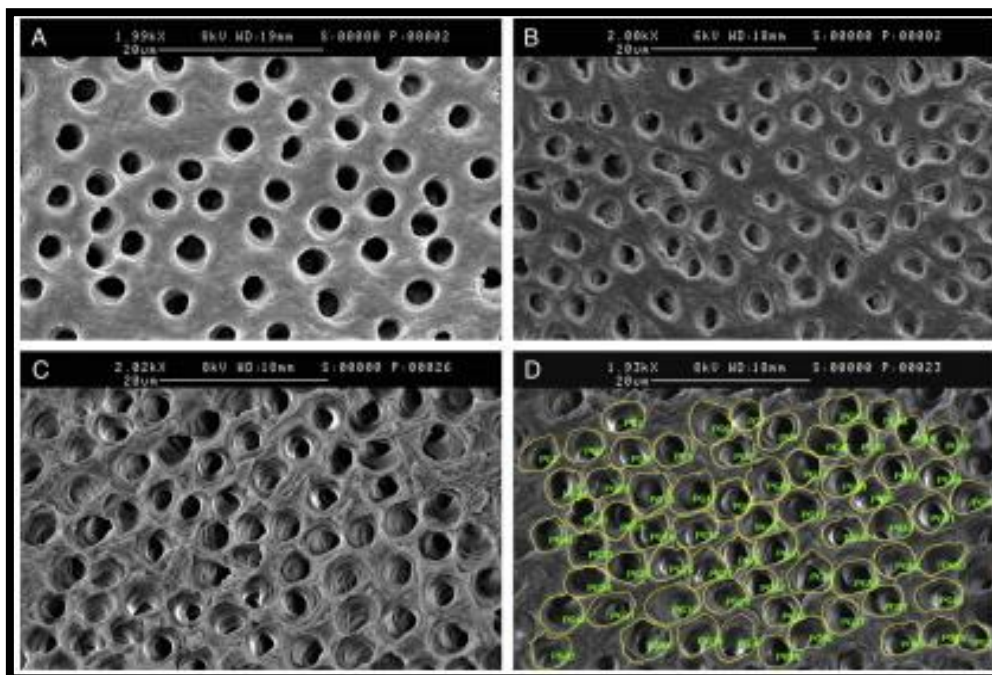


Figura 12- Análise por microscopia eletrônica de varredura da superfície dentinária do canal radicular após a exposição a soluções irrigadoras. (A) NaOCl por 5 minutos e EDTA por 5 minutos - *smear layer* completamente removida e superfície intertubular e peritubular lisa e plana; (B) EDTA por 1minuto seguido de NaOCl por 1minuto - erosão peritubular e intertubular da dentina; (C) Solução de EDTA por 5 minutos e NaOCl por 1 minuto - forte erosão da dentina; (D) EDTA por 5 minutos e NaOCl por 5 minutos - erosão da dentina e irregularidades dos túbulos dentinários (Figura adaptada de QUIAN *et al.*, 2011).

ÇALT, *et al.* (2000) avaliaram os efeitos do EDTA e do EGTA (Etileno Bis-glicol (β-amino-ester-etil) – ácido tetra acético) na dentina humana, através de microscopia eletrônica de varredura. Os autores concluíram que o smear layer foi completamente removido pelo EDTA, porém foi constatada erosão dentinária. O EGTA também removeu

o smear layer, mas sem provocar erosão dentinária. No entanto, no terço apical, o EGTA não foi capaz de proporcionar uma limpeza adequada.

ÇALT *et al.* (2002) também avaliaram os efeitos do tempo de aplicação do EDTA na dentina humana, através de microscopia eletrônica de varredura. Os autores concluíram que, quando aplicado por 1 minuto o EDTA foi eficaz na remoção do smear layer. Porém quando aplicado por 10 minutos o EDTA promoveu excessiva erosão da dentina peritubular e intertubular.

MAI *et al.* (2010), avaliaram a agressividade diferencial do EDTA 17% na erosão da parede do canal radicular na presença de solução de hipoclorito de sódio 5,25% em diferentes tempos. Foram utilizados dois protocolos de irrigação. Grupo1- NaOCl 5,25% por 10 minutos + neutralização com água deionizada + EDTA 17% por 2 minutos. Grupo 2- NaOCl 5,25% por 60 minutos + neutralização com água deionizada + EDTA 17% por 2 minutos. Grupo controle- solução aquosa. Os resultados mostraram que só houve erosão da dentina quando o dente ficou exposto por 60 minutos à solução de NaOCl 5,25% seguido da irrigação com EDTA 17% por 2 minutos. A agressividade do EDTA está correlacionada com o uso prolongado do NaOCl 5,25%.

HU *et al.* (2010) avaliaram a hipótese das soluções irrigadoras influenciarem nas propriedades físicas da dentina do canal radicular. Vinte dentes anteriores foram seccionados e divididos em quatro grupos com diferentes tratamentos: (1) EDTA 17% 10 minutos, (2) NaOCl 5,25% 10 minutos, (3) H₂O₂ 3% 10 minutos e (4) água destilada como grupo controle. A Microscopia de Força Atômica foi utilizada para medir a rugosidade da superfície. Os resultados mostraram que todas as soluções podem alterar as características físicas da dentina e podem influenciar na adesão.

AKCAY *et al.* (2012) investigaram o efeito de diferentes concentrações de cetrimida com ou sem solução de EDTA com objetivo de avaliar a microdureza da dentina

radicular humana in vitro. Os grupos foram divididos e tratados com EDTA 5%, EDTA5% + cetrimida 0,25%, EDTA 5% + cetrimida 0,50%, cetrimida 0,25%, cetrimida 0,50%. Os resultados mostraram que todas as soluções reduziram a microdureza da camada superficial da dentina. O EDTA com cetrimida 0,50% foi mais eficaz, portanto, o uso de cetrimida maior que 0,25% é questionável para o uso na clínica.

AKISUE *et al.* (2000) avaliaram a ação da solução de EDTA 17% e do ácido cítrico 25% na dureza da dentina durante diferentes períodos de tempo. Sessenta e cinco fragmentos provenientes do terço médio de quatro caninos superiores foram imersos nas soluções de teste da seguinte forma: grupo 1- solução fisiológica (controle), grupo 2- EDTA 17% por 3 minutos, grupo 3- EDTA 17% por 15 minutos, grupo 4- ácido cítrico 25% por 3 minutos e grupo 5- ácido cítrico 25% por 15 minutos. Os resultados mostraram que o EDTA diminuiu a microdureza da dentina quando comparado com o grupo controle, porém quando comparado com o ácido cítrico mostrou-se com menor redução da microdureza. O ácido cítrico foi mais efetivo que o EDTA independente da variação do tempo, além de apresentar maior redução na dureza da dentina.

2.5- Corrosão dos materiais

A deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos pode ser definida como corrosão. A degradação é representada por alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgastes e modificações estruturais (GENTIL, 2003).

A desintegração do metal através da corrosão pode ocorrer por meio da ação de umidade, atmosfera, solução ácida ou alcalina. Determinados elementos químicos podem ter papel importante na corrosão de certas ligas, como por exemplo, o oxigênio e o cloreto,

que estão envolvidos na corrosão das restaurações de amálgamas. O enxofre pode causar corrosão das ligas fundidas de prata, apesar de o cloreto ter sido identificado também como um elemento que contribua para a degradação (PHILLIPS, 2005).

A corrosão pode acontecer de diferentes formas. Estas podem ser apresentadas pela aparência ou forma de ataque e as diferentes causas da corrosão e seus mecanismos. A corrosão pode ser classificada conforme a morfologia em: uniforme, por placas, puntiforme, alveolar, entre outras; conforme as causas ou mecanismos em: corrosão por aeração diferencial, eletrolítica ou por correntes de fuga, galvânica, associada a solicitações mecânicas, entre outras; e pelos fatores mecânicos em: corrosão sob tensão, sob fadiga, por atrito, associada a erosão; pelo meio corrosivo em: atmosférica, pelo solo, água do mar, entre outros; e pela localização de ataque em: corrosão por pite, uniforme, intergranular e transgranular (GENTIL, 2003).

A resistência à corrosão baseia-se na formação de uma camada passiva protetora. Determinados ambientes podem causar a ruptura desse filme passivo, deixando na liga uma região susceptível ao ataque corrosivo. Em alguns metais o filme de óxido pode ser rompido com facilidade, bastando a presença de um determinado íon agressivo para que o filme se deteriore. Alguns outros filmes não são tão sujeitos a destruição, mesmo quando o metal é solicitado mecanicamente, porque podem ser refeitos, se a velocidade de repassivação for superior à velocidade de iniciação da corrosão localizada (POURBAIX, 1974).

Estudos realizados com ligas NiTi demonstraram que a camada de passivação pode ser dissolvida pelo contato com íons de fluoreto e cloreto. (ORMIGA *et al.*, 2010; ABOUD, 2012).

As ligas de NiTi, estão sujeitas a corrosão em certos meios. Uma de suas formas primárias é a corrosão por pite, que consiste em um ataque localizado, na forma de uma

cavidade, que ocorrem em materiais passivos expostos a meios que contém, principalmente, íons cloreto. Esse íon possui a capacidade de romper de maneira localizada o filme passivo protetor, acarretando a formação do pite. A corrosão generalizada consiste no ataque em toda a extensão da superfície, ocorrendo perda uniforme da espessura.

Na corrosão sob tensão é observado a deterioração de materiais devido a ação combinada de tensões e meios corrosivos. Quando se observa a fratura dos materiais ela é chamada de corrosão sob tensão fraturante. Observa-se a ação sinérgica da tensão e do meio corrosivo, ocasionando a fratura em um tempo mais curto do que a soma das ações isoladas de tensão e corrosão. Na corrosão sob tensão tem-se solicitações estáticas diferentemente da corrosão sob fadiga onde as solicitações mecânicas são cíclicas ou alternadas. Na corrosão sob tensão não se observa perda de massa do material, este permanece com bom aspecto até a ocorrência da fratura. (GENTIL, 2003).

O tempo para ocorrer corrosão sob tensão fraturante no material metálico depende da tensão, por isso é necessário evitar regiões de concentrações de tensões como pites e entalhes; da concentração ou natureza do meio corrosivo; da temperatura; da estrutura ou da composição do material, geralmente o material com grãos menores é mais resistente a corrosão sob tensão fraturante do que o mesmo material com grãos maiores. (GENTIL, 2003).

A estrutura cristalina também influencia a corrosão sob tensão fraturante, assim o aço inoxidável ferrítico (CCC) é muito mais resistente a corrosão sob tensão fraturante quando exposto a soluções aquosas de cloreto do que o aço inoxidável austenítico (CFC). (GENTIL, 2003).

2.5.1- Resistencia a corrosão do aço

O aço inoxidável é uma liga de ferro e carbono, contendo cromo em sua composição química. É utilizado na engenharia por sua excelente resistência a corrosão, atribuído principalmente ao alto teor de cromo (NETTO, 2009)

A liga de aço inoxidável possui inúmeras aplicações como, por exemplo, na fabricação de instrumentos endodônticos manuais. Os aços inoxidáveis podem ser divididos em diferentes categorias, de acordo com a composição química, que é a principal determinante da microestrutura:

- Aços inoxidáveis ferríticos
- Aços inoxidáveis austeníticos
- Aços inoxidáveis martensíticos

As limas de aço inoxidável utilizadas na fabricação dos instrumentos endodônticos são classificadas como ligas de aço inoxidável austeníticas, por apresentarem composição Fe-Cr-Ni com estrutura cristalina cúbica de face centrada (CFC). Este aço possui baixa resistência ao escoamento e elevadas ductilidade e tenacidade. Essas propriedades mecânicas, aliadas à alta taxa de deformação plástica, fazem do grau austenítico o mais comum entre aços inoxidáveis. Com relação às propriedades físicas, essas ligas possuem baixa condutividade térmica e elevada expansão térmica. Os aços austeníticos podem sofrer sensitização quando sujeitos a elevadas temperaturas, ficando suscetíveis à corrosão intergranular quando expostos a meios agressivos. Todos os aços austeníticos são susceptíveis à corrosão sob tensão. Alguns, entretanto, possuem elevados teores de níquel e molibdênio, apresentando desempenho satisfatório. Por conter molibdênio, o aço inoxidável 316, torna-se mais resistente à corrosão por pite (LEÃO, 2008).

2.5.2- Influência das soluções de cloreto e fluoreto na corrosão do aço inoxidável

Em 1936, WALKER propôs a utilização do hipoclorito de sódio na irrigação dos canais radiculares. GROSSMAN em 1941 difundiu sua utilização no preparo químico-mecânico dos canais radiculares como solução irrigadora. O hipoclorito de sódio é constantemente utilizado no preparo dos canais radiculares para irrigação e desinfecção dos mesmos pois só a instrumentação com as limas não é capaz de promover a limpeza devido ao canal radicular apresentar inúmeras ramificações além dos canais principais.

DANDARA *et al.* (2004) estudaram a suscetibilidade à corrosão localizada de instrumentos endodônticos de aço inoxidável e de níquel-titânio em hipoclorito de sódio e ácido etilenodiamino tetracético, através de curvas de polarização potenciodinâmica cíclica. Os resultados mostraram curvas de polarização cíclica com histerese, indicando que a corrosão não ocorreu nos materiais ensaiados. Apesar de apresentar propriedades satisfatórias como amplo espectro de atividade antimicrobiana (RUTALA, 1996), inativação de endotoxinas bacterianas (SILVA *et al.* 2004) e dissolução de tecido orgânico (GROSSMAN & MEINAM, 1941, GULABIVALA *et al.* 2005) o hipoclorito de sódio (NaOCl) pode provocar corrosão.

KIM & JOHNSON (1999) avaliaram a corrosão de fios ortodônticos de aço inoxidável, de titânio e de NiTi: puro, o revestido com nitreto e o revestido com epóxi. Dois espécimes de cada fio foram submetidos a dissolução anódica em solução de NaCl 0,9%, (pH neutro) à temperatura ambiente. A corrosão dos fios foi analisada através de um potenciostato e avaliação pelo MEV. Os resultados mostraram que os fios de aço inoxidável sofreram corrosão, sendo que os de NiTi se mostraram sensíveis à corrosão localizada.

A aplicação profilática de flúor, tem se tornado rotina na prática odontológica, tendo uma participação decisiva na prevenção de cárie dentária. O flúor é capaz de aumentar a capacidade de reposição de minerais perdidos pelo dente, na forma de fluorapatita, levando a remineralização do dente, agindo de forma a retardar a progressão da cárie. (CURY, 2001).

O flúor pode ser utilizado de forma tópica e/ou sistêmica. O flúor sistêmico é encontrado na forma de gotas, comprimidos, fluoretação do sal e fluoretação da água de abastecimento (TOASSI *et al.* 2007; MARTINS *et al.* 2008). O flúor tópico é encontrado nos dentifrícios, bochechos e aplicações profissionais de gel, espuma ou verniz pelo cirurgião dentista que estabelece a necessidade da frequência das aplicações. (CONCEIÇÃO *et al.* 2007).

MENEZES *et al.* (2006), avaliaram o efeito da aplicação de fluoreto de sódio (NaF 1,23%) sobre a superfície dos braquetes de titânio e de aço inoxidável. Os resultados mostraram que os braquetes de titânio apresentaram uma coloração mais acinzentada e opaca quando comparados com os de aço inoxidável, que apresentou coloração prateada e brilhante. O processo corrosivo do titânio pode ser observado em imersão em gel acidulado de fluoreto de sódio, que não provocou nenhum processo corrosivo no aço inoxidável.

KAO *et al.* (2010), avaliaram as características da superfície e o potencial de corrosão de fios ortodônticos de aço inoxidável e de NiTi em meios de NaF acidulado e saliva artificial em pH= 4 e pH= 6. A microscopia eletrônica de varredura foi utilizada para analisar os defeitos da superfície e corrosão. Os resultados mostraram que os fios de aço inoxidável foram facilmente corroídos na solução de NaF e saliva artificial pH=4, enquanto os fios de NiTi foram corroídos pela saliva em pH= 4,0. Em análise por MEV

foi observado corrosão por pite na superfície dos fios em todos os meios utilizados no estudo.

Na literatura não foi possível encontrar mais estudos referentes ao aço inoxidável testado em soluções de cloreto e fluoreto pois a maioria dos estudos são avaliados com a liga de NiTi.

2.6- Obturação de Canais Radiculares

No tratamento dos canais radiculares a obturação tem como objetivo promover o selamento tridimensional do sistema de canais radiculares (LOPES & SIQUEIRA, 2010). Após o canal radicular ter sido apropriadamente preparado, ele deve ser obturado por um material capaz de prevenir completamente a comunicação entre a cavidade oral e os tecidos periapicais. Materiais utilizados com este propósito devem ser compatíveis com a cicatrização (COHEN *et al.* 2007)

Vários materiais são propostos para a obturação do sistema de canais radiculares. No entanto, há um consenso na literatura de que se deve utilizar um material sólido, por exemplo, cones de gutta-percha, associados a cimentos endodônticos (LOPES & SIQUEIRA, 2010).

A gutta percha foi introduzida na endodontia por BOWMAN, em 1867, e é o material sólido mais utilizado na obturação do sistema de canais radiculares, sendo encontrada comercialmente na forma de cones. Os cones de gutta percha apresentam uma composição básica de gutta percha (19 a 20%), óxido de zinco (60 a 75%), radiopacificadores como o sulfato de bário (1,5 a 17%) e outras substâncias como resina, cera e corantes (1 a 4%) (PRADO *et al.* 2009).

Outro material obturador muito utilizado para obturação de canais radiculares foi o cone de prata, introduzido na endodontia por TREBITSCH, em 1929. Segundo HEUER (1976), os cones de prata contêm uma porcentagem de prata de 99,8 a 99,9%, contendo níquel e cobre em diminutas proporções (LEONARDO & LEAL, 1998). Devido à facilidade de seu emprego e excelente contraste radiográfico, os cones de prata tiveram grande aceitação como material obturador de canais radiculares sempre associados a uma substância cimentante. No entanto, GUTIERREZ et al. (1982) relataram que eles podem sofrer corrosão quando entram em contato com os fluidos teciduais e certas substâncias químicas utilizadas em endodontia, incluindo o hipoclorito de sódio. Além disso, esse material não amolece e não se adapta às irregularidades das paredes do canal por suas características de rigidez, sugerindo uma impressão errônea de uma boa obturação radiograficamente. Outro fator relevante se refere à complexa remoção desses cones por estarem bem adaptados no interior dos canais radiculares nos casos que necessitam de retratamento (DE DEUS, 1992). Por esses motivos, a substituição de cone de prata pela guta-percha na obturação de canais vem sendo amplamente indicada.

2.6.1- Estabilidade e corrosão da prata

A prata é um metal nobre cujo domínio de estabilidade cobre uma grande porção do domínio de estabilidade da água. Este metal pode ser dissolvido em soluções ácidas mas, em pH mais alcalino, pode ser observada a formação de uma camada protetora (passivação). O diagrama de $E(V)$ x pH da prata está representado na Figura 13, que mostra a estabilidade da água entre a linha “a” e a linha “b”. Abaixo da linha “a” observa-se o domínio de estabilidade do hidrogênio. Acima da linha “b”, observa-se o domínio de estabilidade do oxigênio. Para mais altos valores de pH e potencial, observa-se o domínio

de passivação da prata, ou seja, a formação do filme de óxido protetor. Dentre os óxidos possíveis de serem formados, o Ag_2O é o mais conhecido, produzido em soluções alcalinas e sendo solúvel em meio ácido (POURBAIX, 1974).

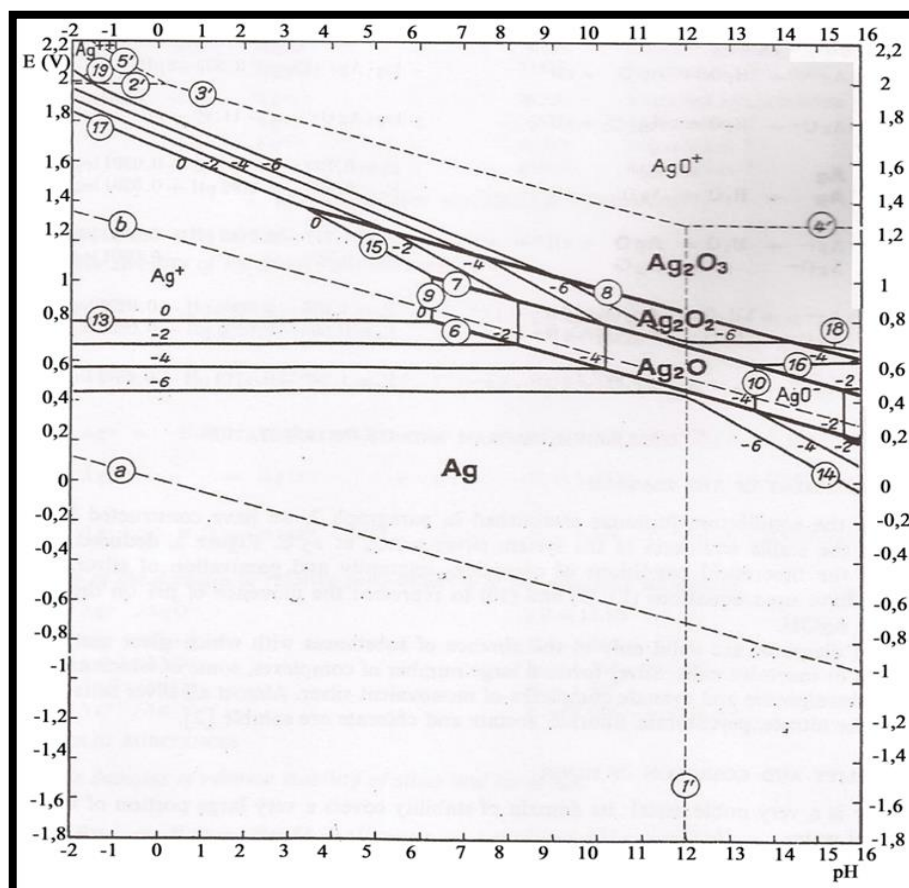


Figura 13- Diagrama E(V) x pH da prata. (Figura adaptada de POURBAIX, 1974).

Neste estudo, foram realizados testes nas soluções para trabalho dentro das condições de dissolução apresentadas no diagrama E(V) x pH. A região de corrosão pode ser observada no diagrama simplificado da Figura 14. O valor mínimo de pH utilizado no estudo foi de 5,0 pois neste valor não há agressão aos tecidos dentinários.

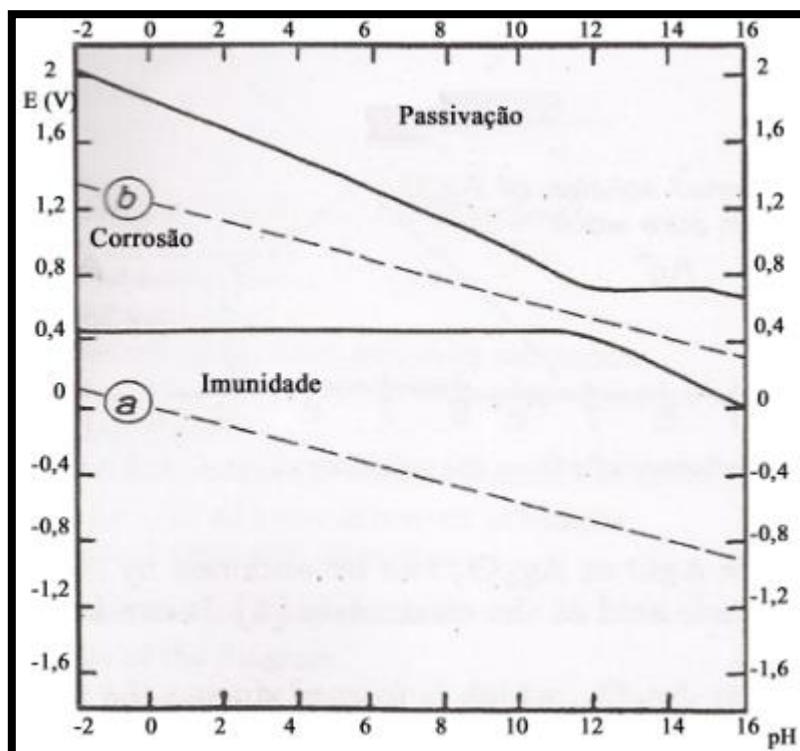


Figura 14 – O diagrama de E(V) x pH da prata com os domínios teóricos da corrosão, imunidade e passivação da prata, à temperatura de 25°C. (Figura adaptada de POURBAIX, 1974).

2.7- Retratamento de Canais Radiculares

O retratamento endodôntico consiste na realização de um novo tratamento que tenha fracassado. Este consiste em realizar a remoção do material obturador, a reinstrumentação (limpeza e modelagem) e a reobturação dos canais radiculares com o objetivo de superar as deficiências da terapia endodôntica anterior.

A desinfecção insuficiente e a obturação inadequada dos canais radiculares são responsáveis pela maioria dos casos de insucesso, seguida pelos acidentes operatórios. Os

microorganismos envolvidos nos casos de retratamento são aqueles que persistiram após o tratamento endodôntico inicial. O principal microorganismo envolvido nesses casos é o *Enterococcus faecalis*. (AGNES, 2009).

As falhas endodônticas podem ocorrer em casos onde há infiltração coronária (GIULIANI, 2008). No entanto existem casos que resultam em fracasso apesar do tratamento ter seguido os padrões e técnicas corretos, sendo estes, normalmente associados à complexidade anatômica do sistema de canais radiculares (LOPES & SIQUEIRA, 2010).

O retratamento pode promover a extrusão, pelo forame apical, de microorganismos e seus subprodutos, raspas de dentina contaminadas, substâncias químicas usadas como solventes e materiais obturadores, que poderão exacerbar a resposta inflamatória, contribuindo para a indução da dor pós-operatória. Portanto, uma técnica de esvaziamento e reinstrumentação adequada deve ser empregada em casos de retratamento endodôntico evitando o movimento de limagem (LOPES & SIQUEIRA, 2010).

Neste contexto, a infecção é o principal motivador do insucesso endodôntico. Para que haja o controle desta, é necessário que o clínico tenha conhecimento das técnicas e segurança na realização do tratamento.

2.8- Métodos utilizados para remoção de cones de prata e de fragmentos de lima

Para a resolução clínica de um instrumento fraturado existem quatro opções: remoção do fragmento fraturado, ultrapassagem do fragmento do instrumento, não ultrapassagem do fragmento e remoção cirúrgica do fragmento fraturado.

Para a remoção de instrumentos metálicos, uma lima Kerr de calibre fino como por exemplo (#06, #08 e #10) pode ser utilizada para ultrapassar o fragmento e criar espaço para sua remoção como observado na Figura 15. A lima é posicionada entre o fragmento e as paredes de dentina e, com movimentos de cateterismo, cria-se espaço entre os dois para ultrapassar o fragmento. Os movimentos de vaivém devem ser utilizados com o objetivo de alargar o espaço criado. Obtendo êxito nesta etapa, tenta-se fazer o mesmo em outros pontos ao redor do fragmento fazendo com que o mesmo fique praticamente solto no canal, podendo ser removido com a própria ação mecânica do instrumento ou durante a irrigação. O uso de IUP (Irrigação ultrassônica passiva) posicionados no espaço criado pelas limas manuais é adequado neste caso, uma vez que a vibração ultrassônica atua deslocando o fragmento das paredes dentinárias (ZUOLO *et al.*2009).

Alguns autores preconizam o uso de uma ou mais limas tipo Hedstroen (H) no espaço criado entre a parede do canal e o fragmento, uma vez que o ângulo das arestas de corte favorece a remoção do fragmento metálico. É importante salientar que há riscos de fratura destas limas tipo H neste procedimento. KRELL (1984) propôs a inserção de uma lima hedstroem entre o cone e a parede do canal e a vibração ultrassônica desta lima para fazer com que o cone se desprendesse do canal. De acordo com RUDDLE (2004) a técnica Endogroup é uma técnica que consiste na utilização simultânea da microscopia e do ultrassom para remoção de fragmentos metálicos. Porém, este protocolo está contra indicado em casos de limas separadas e alojadas no terço apical dos canais, abaixo da curvatura, onde o acesso visual e manipulativo não puder ser obtido.

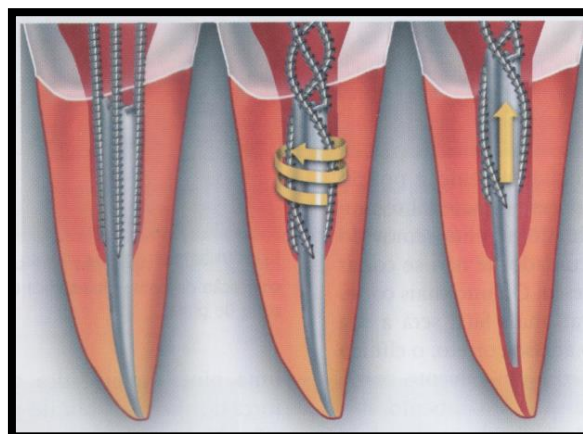


Figura 15- Método utilizando limas manuais para remoção do instrumento fraturado (Figura adaptada de COHEN *et al*, 2007).

Vários dispositivos para remoção de fragmentos metálicos têm sido lançados no mercado. A maioria dos sistemas foi desenhada para engajar mecanicamente a obturação intracanal, através de microtubos posicionados entre o instrumento e a parede dentinária. RUDDLE (2004) ressalta que a maioria destes sistemas provoca excessivo desgaste de dentina com risco de degraus, perfurações ou enfraquecimento radicular e dificuldade da utilização dos dispositivos que muitas vezes não são efetivos. A utilização de microtubos deve ser a última alternativa para remoção de fragmentos metálicos. Alguns exemplos desses dispositivos são: Masserann Kit (Micromega, França); Endo Extractor/ Meisinger Meitrac (Hager & Meisinger GmbH, Germany) como observado na figura 16; iRS: Instrument Removal System (Dentsply, Tulsa Dental, USA) como observado na figura 17; S.I.R: Separated Instrument Retrieval System (Vista Dental Products - USA); Cancellier Extractor Kit (SybronEndo, USA) (RUDDLE, 2004).

O método Masserann (MASSERANN, 1971) consiste em liberar o fragmento através do desgaste da dentina periférica, com a utilização de brocas de trepanação de diferentes diâmetros, que devem corresponder aos diâmetros dos fragmentos a serem

removidos. Segundo o autor, o próprio fragmento serve como guia para a broca, evitando que se forme um novo trajeto. Em alguns casos, a resistência à remoção do fragmento é reduzida com o aumento da profundidade de penetração. Caso seja necessário, um segundo instrumento deve ser utilizado para extrair o fragmento. A vibração ultrassônica da broca de trepanação deste sistema foi proposta por OKIJI em 2003 para casos de dificuldade de remoção do fragmento.

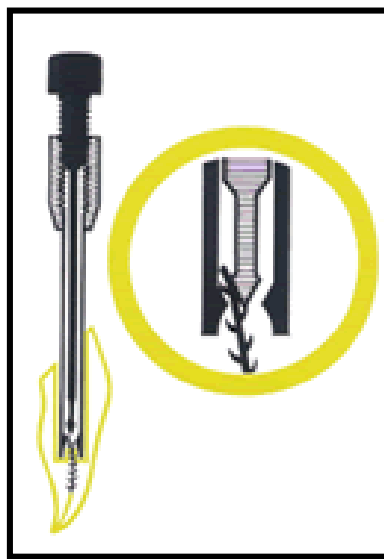


Figura 16- Extrator Masserann (<http://www.micro-mega.com/anglais/produits/masseran/index.php> - 15/01/2013).

O Endo Extractor/ Meisinger Meitrac (Hager & Meisinger GmbH, Germany) foi proposto por FELDMAN et al. (1974). Este sistema utiliza brocas de trepanação associado ao uso de um extrator denominado Extractor (Medidenta, Woodside, NY, EUA). De acordo com os autores, uma broca de Peeso deve ser usada para obtenção do acesso ao fragmento. Logo após, uma broca de trepanação deve ser usada para expor alguns milímetros do fragmento com o auxílio da trans-iluminação deste com fibra óptica.

O instrumento Extractor deve ser então inserido no canal de forma que sua ponta deslize ao redor da porção livre do fragmento. Ao apertar o êmbolo rosqueado do instrumento, o fragmento fica preso e pode ser removido com um movimento no sentido anti-horário do cabo do extrator.

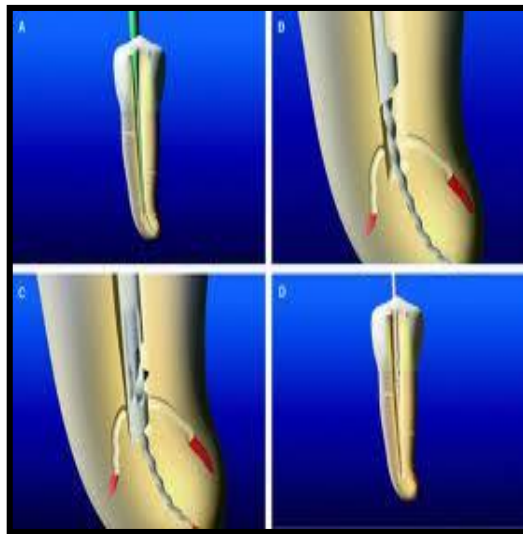


Figura 17- Método iRS (RUDDLE, 2004).

A utilização do alicate de Perry e de uma pinça hemostática foi proposta por WEISMAN (1983) para a remoção de cones de prata do interior de canais radiculares. De acordo com o autor, o alicate de Perry tem uma ponta serrilhada muito fina e pode alcançar facilmente a extremidade do cone. O alicate deve ser travado por uma pinça hemostática, que permite a aplicação da força necessária para soltá-lo das paredes do canal. Apesar de o autor ter descrito esta técnica para a remoção de cones de prata do interior de canais radiculares, fragmentos de instrumentos também podem ser removidos, desde que tenham a extremidade exposta.

A técnica do laço foi proposta por ROIG-GREENE (1983). De acordo com o autor, este método deve utilizar um sistema composto por uma agulha descartável e um segmento de fio de aço onde as extremidades do fio devem ser passadas por dentro da agulha, formando um laço em sua ponta livre como observado na Figura 18. Segundo o autor, este método não deve ser usado para remover fragmentos que estejam firmemente aderidos às paredes do canal, mas aqueles que já tenham sido previamente soltos por outro método. SUTER (1998) e TERAUCHI *et al.* (2006), afirmam que a técnica do laço descrita por ROIG-GREENE (1983) requer a exposição de uma grande porção do instrumento, sendo que neste estágio o fragmento pode ser removido por qualquer outro sistema.

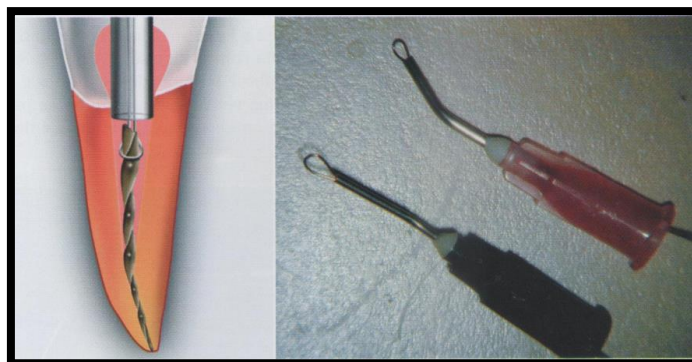


Figura 18- Técnica do laço (Figura adaptada de COHEN *et al* , 2007)

ELEAZER & O' CONNOR (1999) propuseram um método que consiste no uso de uma agulha hipodérmica com o bisel cortado para remover dentina adjacente ao fragmento do instrumento. Segundo os autores, esta remoção é conservadora uma vez que o próprio fragmento guia a agulha.

Para remoção de fragmentos que estejam soltos no interior do canal radicular, RAHIMI & PARASHOS (2009) propuseram que um cone de guta-percha deveria ser

imerso em clorofórmio até que a plasticidade do material fosse alcançada. O cone plastificado deve ser introduzido no canal de forma que o contato entre este e o fragmento seja obtido. Após a recuperação da rigidez do cone, este pode ser removido do canal, de forma que o fragmento seja removido juntamente.

Outro método sugerido por SPRIGGS (1990) e HULSMANN (1993) foi à utilização do cianoacrilato, um material adesivo que se liga a extremidade oca do Endo Extrator como observado na Figura 19. Neste método, o canal é ampliado pelo endodontista até o fragmento metálico expondo uma extensão que permita a sua apreensão pelo extrator. Posteriormente é aplicado o cianocrilato na extremidade oca do extrator, levando-o de encontro ao fragmento metálico. Após o endurecimento, o extrator é removido por tração. COUTINHO FILHO (1998) demonstrou a recuperação de um instrumento fraturado em molar através do uso de cianoacrilato. No entanto, a utilização de cianoacrilato só deve ser feita quando o fragmento estiver solto das paredes do canal para que não haja contaminação nas paredes. LOPES & SIQUEIRA (2004) sugerem a utilização deste método com duas gotas de Super Bonder aplicada em sua extremidade oca. No entanto este método não é muito indicado em canais curvos devido à falta de flexibilidade.



Figura 19- Utilização de cianocrilato (Figura adaptada de COHEN *et al* , 2007).

Os métodos Masseram e Endo Extractor podem ser usados na remoção de cones de prata e pinos metálicos presentes no interior de um canal radicular. No entanto estes métodos promovem um acentuado desgaste na dentina e o material empregado na fabricação dos instrumentos componentes destes sistemas é rígido oferecendo emprego limitado, sendo recomendados apenas em canais radiculares retos ou segmentos retos de canais curvos e raízes dentárias volumosas (LOPES & SIQUEIRA, 2010).

Segundo HULSMANN (1993) várias técnicas foram relatadas com o uso de agentes químicos como ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorídrico, cristais de iodo, entre outros, com o objetivo de corroer obturações metálicas intencionalmente. No entanto, estes agentes químicos podem ser prejudiciais aos tecidos periapicais quando extravasados pelo forame, além de serem agressivos ao próprio tecido dentinário podendo aumentar o risco de perfuração radicular (HULSMANN, 1993, NAGAI, 1986, FORS & BERG, 1983).

Outro método proposto por RUDLE (1997) foi à utilização da vibração ultrassônica, como o uso de pontas ultrassônicas para desgaste de dentina. Este método utiliza brocas Gates-Glidden modificadas para criar uma plataforma na porção coronária

do fragmento, a fim de que a ponta ultrassônica entre em contato com o fragmento. De acordo com RUDDLE (2004), a inserção da ponta ultrassônica entre o fragmento e a parede do canal é suficiente para que o fragmento seja ejetado do canal. A utilização do microscópio clínico foi proposta pelo autor para uma melhor visualização do fragmento. Um estudo semelhante foi descrito por MELLO JR & KHERLAKLAN (2010) no qual foi observada a remoção de um instrumento fraturado com uso de microscópio e ultrassom.

Em estudo recente de ORMIGA et al. (2010), foi proposto um novo método de remoção do fragmento metálico através da sua dissolução ativa, visando a desobstrução do trajeto original do canal sem danos às estruturas dentárias. Esta nova técnica poderá aumentar a eficácia do tratamento endodôntico, uma vez que contribuirá para a diminuição de casos de perfurações e perdas desnecessárias do dente devido à redução da resistência mecânica da raiz pelo desgaste dentinário promovido pelos instrumentos endodônticos. Além disso, facilitará o preparo químico-mecânico dos canais radiculares prevenindo infecções, favorecendo assim um melhor prognóstico para o retratamento endodôntico. Este método consiste na remoção de limas de NiTi do interior dos canais radiculares por dissolução eletroquímica em solução de NaF 5g/L + NaCl 1g/L com pH= 5,0. Neste estudo, foi observado que a liga de NiTi sofreu dissolução ativa desde o potencial de corrosão até 9,0 V_{ECS}. A amperimetria referente à aplicação de diferentes valores de potencial ao eletrodo plano de NiTi neste meio mostrou que quanto maior o potencial aplicado, maior é a perda de massa do NiTi, considerando que a corrente gerada esteja diretamente relacionada à dissolução do metal. (BARBOSA, 2010). Nos ensaios de perda de massa realizados, houve uma significativa dissolução das limas em tempo inferior a 30 minutos, utilizando um potencial de 8,0 V_{ECS} como observado na Figura 20. A polarização de 0,7V_{ECS} dos fragmentos de lima no interior de canais simulados durante

seis horas resultou na dissolução parcial do fragmento, possibilitando a recuperação do trajeto original do canal. Tal dissolução pode ser observada nas imagens radiográficas do fragmento antes e após o ensaio de polarização. A recuperação do trajeto original do canal pode ser confirmada através ultrapassagem do fragmento com uma lima manual # 10 após o ensaio. (Figura 21).

Os autores escolheram o pH = 5,0 para o estudo, pois neste valor foi capaz de promover a dissolução ativa liga de NiTi desde o potencial de corrosão até 9,0 V_{ECS}, sendo o pH mais próximo do fisiológico. A redução do pH para 4,0 não teve influência significativa sobre o tempo de dissolução. Além disso, valores mais baixos de pH tendem a provocar descalcificação da estrutura dentinária. (MARSHALL *et al.*, 1997).

ABOUD (2012) estudou o processo de dissolução ativa de fragmentos de três diferentes tipos de limas endodônticas rotatórias (K3, Pro Taper e MTwo) com diâmetros correspondentes. Visando aperfeiçoar o estudo de ORMIGA (2010), a solução de escolha foi [NaF 12g/L + Na Cl 1g/L] com o objetivo de reduzir o tempo de dissolução dos fragmentos de limas. Os resultados mostraram que houve dissolução ativa mais intensa em solução de [NaF 12g/L + Na Cl 1g/L] com potencial de corrosão de +0,6V o que acarretou na diminuição do tempo de dissolução quando comparada com a utilizada no estudo de ORMIGA *et al.* 2010. A amperimetria mostrou um consumo progressivo das limas no tempo de 30 minutos em ordem decrescente de consumo, as limas K3 20.06 apresentam maior dissolução, seguidas pelas limas ProTaper F1 e MTwo 20.06. A polarização dos fragmentos no interior de canais simulados durante 60 minutos gerou correntes mais altas na lima MTwo 20.06, seguidas da ProTaper F1 e K3 20.06. Isso resultou na dissolução parcial do fragmento possibilitando a ultrapassagem pelo mesmo com a lima K#10, possibilitando a recuperação do trajeto original do canal e a instrumentação deste. Pode ser observado, quando comparado com o estudo de ORMIGA

et al. 2010, que houve uma redução no tempo de dissolução de seis horas para 1 hora, o que poderá viabilizar no futuro o uso desta técnica de dissolução ativa, através de dispositivos apropriados. No entanto, mais estudos são necessários para o aperfeiçoamento desta nova técnica, sendo de extrema importância para o sucesso no tratamento endodôntico.

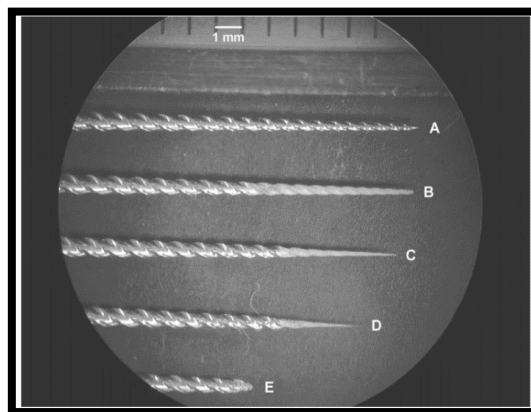


Figura 20 - Análise ao microscópio óptico de limas de NiTi K3. (A) Lima nova; (B) Lima submetida a um potencial constante por 8 minutos; (C) Lima submetida a um potencial constante por 17 minutos; (D) Lima submetida a um potencial constante por 25 minutos; (E) Lima submetida a um potencial constante por 53 minutos. (Figura adaptada de ORMIGA *et al.* 2010).

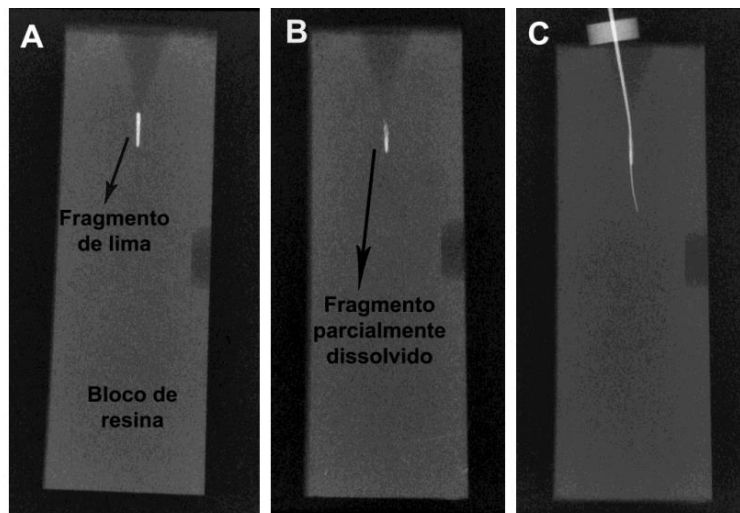


Figura 21- Imagens radiográficas de um fragmento de lima submetido à polarização no interior de um canal simulado. (A) Imagem obtida antes do ensaio; (B) imagem obtida após o ensaio; (C) imagem de uma lima manual #10 ultrapassando o fragmento após o ensaio. (Figura adaptada de BARBOSA, 2010).

A utilização de eletrodos já vem sendo feita durante o tratamento endodôntico antes do novo método proposto por ORMIGA et al. 2010, através do uso de aparelhos chamados de localizadores apicais, que tem como objetivo realizar a medida do comprimento do canal radicular. Baseado nos princípios de Mc DONALD em 1992, os aparelhos são classificados em: corrente contínua, que tem como base a utilização de uma corrente continua na medição da resistência elétrica e leituras a partir de um eletrodo positivo e outro negativo, fechando o circuito, e corrente alternada, utilização de corrente alternada na medição de resistência elétrica, fazendo leituras a partir de alta frequência. Outro tipo de aparelho que funciona por meio de eletrodos é o Pulp Tester, que realiza um teste elétrico da sensibilidade pulpar através da aplicação de uma corrente de baixa voltagem e intensidade crescente na superfície externa da coroa dentária. Este teste tem como objetivo estimular as fibras sensoriais pulpares, obtendo respostas positivas ou

negativas. As respostas positivas serão consideradas normais dentro de uma escala fornecida pelo fabricante. Já em casos de anormalidade das condições pulpare, as respostas colhidas serão obtidas através de estímulos abaixo do esperado, indicando uma inflamação pulpar, ou acima deste indicando necrose pulpar.

O teste é feito da seguinte forma: o eletrodo é umedecido com creme dental para aumentar a condutividade elétrica, e é encostado na superfície da coroa do elemento dentário a ser testado. Para que não ocorram respostas falso-positivas, evita-se encostar o eletrodo na gengiva e em restaurações metálicas; o paciente deve estar segurando com a mão ou dedo a peça de mão do Pulp Tester. O paciente é instruído a remover o dedo do eletrodo caso sinta “formigamento ou queimação” no dente (LOPES & SIQUEIRA, 2010, COHEN *et al.* 2007).

3- JUSTIFICATIVA

Os instrumentos endodônticos são submetidos às tensões e deformações durante a instrumentação dos canais radiculares, podendo sofrer fratura, principalmente em raízes curvas.

Na área da Endodontia, há necessidade de uma técnica de remoção de instrumentos fraturados do interior de canais radiculares que cause um menor dano às estruturas dentinárias. (TERAUCHI *et al.* 2006; MADARATI *et al.* 2008b, ALOMAIRY, 2009). No entanto, existe uma grande controvérsia na literatura em relação a um método seguro e eficaz para remoção de instrumentos fraturados, uma vez que as técnicas e dispositivos atualmente utilizados na clínica não apresentam o sucesso esperado e em muitos casos podem levar prejuízos à raiz remanescente dentária (ALOMAIRY, 2009, HÜLSMANN & SCHINKEL, 1999).

Outro desafio na endodontia é a dificuldade de remoção de cone de prata obturador durante o retratamento de canais radiculares. A utilização desses cones de prata não promove uma boa vedação nos canais radiculares, resultando em falha no tratamento endodôntico. Logo existe uma grande necessidade na busca de uma técnica que remova o cone de prata sem prejuízo da estrutura dentinária.

A dissolução do fragmento metálico no interior do canal, permitindo a desobstrução do seu trajeto original sem danos às estruturas dentárias, é uma possibilidade viável para a solução destes problemas. Através da dissolução eletroquímica de um fragmento de lima endodôntica rotatória, ORMIGA *et al.* (2010) com a solução de [NaF 5g/L + NaCl 1g/L] em pH 5,0, demonstraram que a liga de NiTi sofre dissolução ativa. A dissolução parcial do fragmento de uma lima rotatória K3 no

interior de um canal simulado teve a duração de seis horas, com a polarização de $+0,7V_{ECS}$.

Em estudo recente de ABOUD (2012), a liga de NiTi sofre dissolução ativa mais intensa em solução de [NaF 12g/L + NaCl 1g/L], em pH=5,0 com o potencial de corrosão de $+0,6 V_{ECS}$, quando comparado na solução [NaF 5g/L + NaCl 1g/L], em pH=5,0, proposta por ORMIGA *et al.* (2010). A autora observou a diminuição do tempo de dissolução do NiTi para 1 hora. Com isso, o tempo de seu uso na prática clínica seria mais aceitável quando as limas sofressem fratura no interior de um canal radicular.

4- OBJETIVOS

Objetivo geral:

- Estudar o processo de dissolução de limas manuais de aço inoxidável e de cones de prata

Objetivos específicos:

- Estudo das soluções para a dissolução de limas de aço inoxidável e cones de prata.
- Dissolução de fragmentos no interior de canais radiculares simulados pelo método proposto por ORMIGA (2010) e aperfeiçoado por ABOUD (2012).

5- MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo os materiais utilizados foram: eletrodo plano de aço inoxidável 316 ($0,7 \text{ cm}^2$) e eletrodo plano de prata pura ($0,7 \text{ cm}^2$); limas de aço inoxidável 17% Cr e 8% Ni (Maillefer Instruments AS 1338, Suíça) de diâmetros #20, #30 e #40 e cones obturadores de prata 99,5% Ag de diâmetro #30 (Alfa Aeser, US, Washington). Os eletrodos planos receberam tratamento superficial constituído por polimento mecânico com lixas de granulação 220, 400 e 600, lavagem e secagem com ar quente antes de cada ensaio.

A solução utilizada para os ensaios do aço inoxidável foi a solução de NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L, em pH=5,0. Os ensaios com eletrodo plano e com a lima foram realizados em triplicata. Foram realizados dez ensaios em canais simulados para todos os diâmetros de limas descritos no presente estudo, nesta etapa foi realizada a renovação da solução no interior do canal uma vez a cada 5 minutos. As soluções utilizadas para os ensaios da prata foram soluções de NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L, em pH=5,0. Os ensaios com eletrodo plano de prata foram realizados em triplicata, e foi realizado apenas um ensaio com o cone de prata em diferentes potenciais ($0,5 V_{ECS}$; $0,75 V_{ECS}$ e $1,5 V_{ECS}$), sendo que no potencial de $0,75 V_{ECS}$ foi realizado o ensaio em duplicata. Em solução de EDTA (ácido etilenodiamino tetra-cético), pH= 7,4, os ensaios com eletrodo plano e com a lima foram realizados em triplicata. Em solução de NaF em pH= 5,0, os ensaios foram realizados sob as mesmas condições descritas da solução anterior. Em cada ensaio realizado foi utilizado um volume de 300 ml de solução.

As soluções foram preparadas a partir dos reagentes NaCl da marca *VETEC*, NaF da marca *REAGEN QUIMIBRAS* e EDTA da marca *VETEC*. Todas as soluções foram

preparadas com água destilada. O pH das soluções foi ajustado com HCl 1M antes da realização dos ensaios.

A massa de cada lima ou cone foi medida com uma balança de alta precisão antes e após o ensaio, possibilitando o cálculo da perda de massa ocorrida em cada ensaio. Os comprimentos iniciais e finais de cada lima ou cone foram medidos, possibilitando o cálculo da perda de comprimento durante os diferentes tempos de polarização. As alterações morfológicas das limas ou cones ensaiados em relação às limas ou cones novos equivalentes foram avaliadas através de microscopia eletrônica de varredura e de microscopia óptica.

5.1- Ensaios Eletroquímicas

5.1.1- Curvas Redox das Soluções de Teste:

A curva redox de cada solução foi obtida para definir a estabilidade eletroquímica dos meios, e determinar a faixa de potencial na qual os materiais poderão ser ensaiados sem que ocorram reações de oxidação da solução.

Uma célula eletroquímica convencional foi montada contendo um eletrodo de calomelano saturado como eletrodo de referência, um eletrodo de platina como contra-eletrodo e outro eletrodo de platina como eletrodo de trabalho. Os eletrodos foram imersos na solução de teste e conectados a um potenciostato digital AUTOLAB PGSTAT 302N (Metrohm). A varredura de potencial partiu do potencial a circuito aberto do eletrodo de trabalho até $\pm 2,0 \text{ V}_{\text{ECS}}$, com uma polarização catódica inicial e subsequente polarização anódica. A velocidade de varredura foi de $1,6 \text{ mV/s}$.

5.1.2. Curvas de polarização anódica do aço inoxidável e da liga de prata

Uma célula eletroquímica convencional foi usada contendo um eletrodo de calomelano saturado como eletrodo de referência, a platina como contra-eletrodo e um eletrodo plano do material de teste.

Os eletrodos foram imersos na solução de teste e conectados a um potenciostato digital AUTOLAB PGSTAT 302N (Metrohm), como pode ser observado nas figuras 22 e 23. O corpo de prova foi submetido a uma polarização anódica a partir do potencial a circuito aberto até o potencial de $1,3 V_{ECS}$, a uma velocidade de varredura de $0,8 mV/s$. Este ensaio foi realizado em triplicata para todos os meios com o eletrodo plano de aço inoxidável e com o eletrodo de prata pura. O mesmo eletrodo de trabalho foi utilizado em cada teste, passando sempre pelo procedimento de preparação descrito anteriormente.

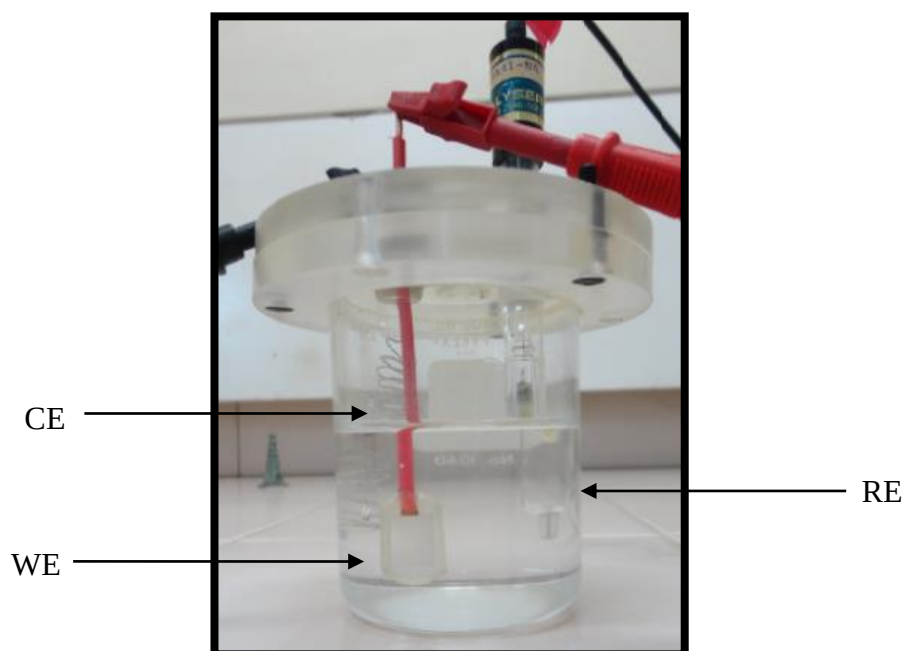


Figura 22 - Célula de três eletrodos utilizada nos ensaios de polarização. CE= contra-eletrodo; WE= eletrodo de trabalho; RE = eletrodo de referência.

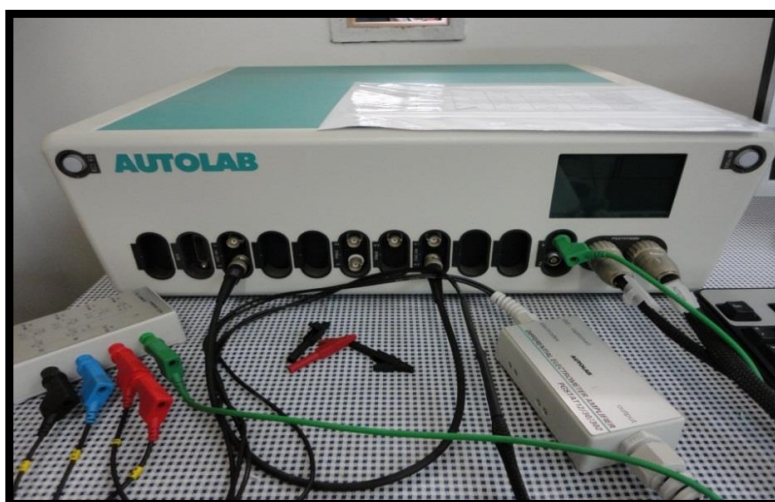


Figura 23 - Potenciostato utilizado nos ensaios de polarização.

5.1.3- Polarização das limas de aço inoxidável e cones de prata

Com base nos resultados das curvas redox e das curvas de polarização anódica, foi estabelecido um potencial ótimo no qual as limas de aço inoxidável poderiam sofrer dissolução ativa com estabilidade da solução de teste. Assim, foi aplicado um potencial para cada condição conforme observado na Tabela 1. Neste caso, também foi utilizada uma célula eletroquímica convencional. O eletrodo de calomelano saturado foi usado como eletrodo de referência, a platina como contra-eletrodo e uma lima ou um cone de prata como o eletrodo de trabalho, dependendo do teste a ser realizado como observado nas Figuras 24 e 25. Os eletrodos foram imersos em um volume aproximado de 300 ml da solução de teste e somente 6mm da ponta da lima e do cone ficaram imersos e conectados a um potenciostato digital AUTOLAB PGSTAT 302N (Metrohm). O potencial selecionado para cada condição foi aplicado durante um tempo determinado, de

acordo com os dados da Tabela 2. O critério para a determinação do tempo de dissolução da lima de aço inoxidável foi baseado no tempo gasto para a dissolução total e na metade deste tempo, já nos cones de prata, o tempo foi determinado a partir da dissolução total do cone de prata. A corrente gerada foi registrada durante todo o ensaio.

Tabela 1- Potencial estabelecido para cada material nas soluções escolhidas

Material	Diâmetro (mm)	Solução	pH	Potencial (V _{ECS})
Lima de Aço Inoxidável	0,20	NaF 12g/L +NaCl 175,5g/L	5,0	0,5
	0,30			
	0,40			
Cone de prata	0,30	NaF 12g/L +NaCl 175,5g/L	5,0	0,5
				0,75
				1,5
		NaF 12g/L	5,0	0,5
		EDTA 17 %	7,4	0,75

Tabela 2- Potencial aplicado nos tempos pré-determinados de cada material

Material	Diâmetro (mm)	Solução	pH	Potencial (V _{ECS})	Tempo (min)
Lima de Aço Inoxidável	0,20	NaF 12g/L +NaCl 175,5g/L	5,0	0,5	3,5; 7
	0,30				4,5; 7
	0,40				6; 12
Cone de prata	0,30	NaF 12g/L +NaCl 175,5g/L	5,0	0,5	71
				0,75	4320
				1,5	55
		NaF 12g/L	5,0	0,5	1080
		EDTA 17 %	7,4	0,75	1080

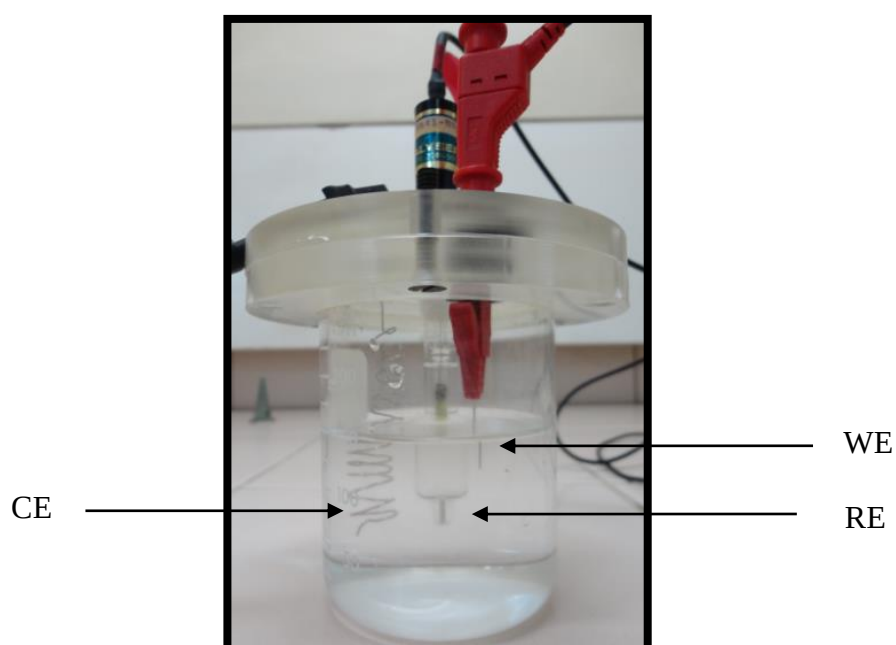


Figura 24 - Célula de três eletrodos utilizada nos ensaios de polarização. CE= contra-eletrodo; WE= eletrodo de trabalho (lima aço inoxidável #40); RE = eletrodo de referência.

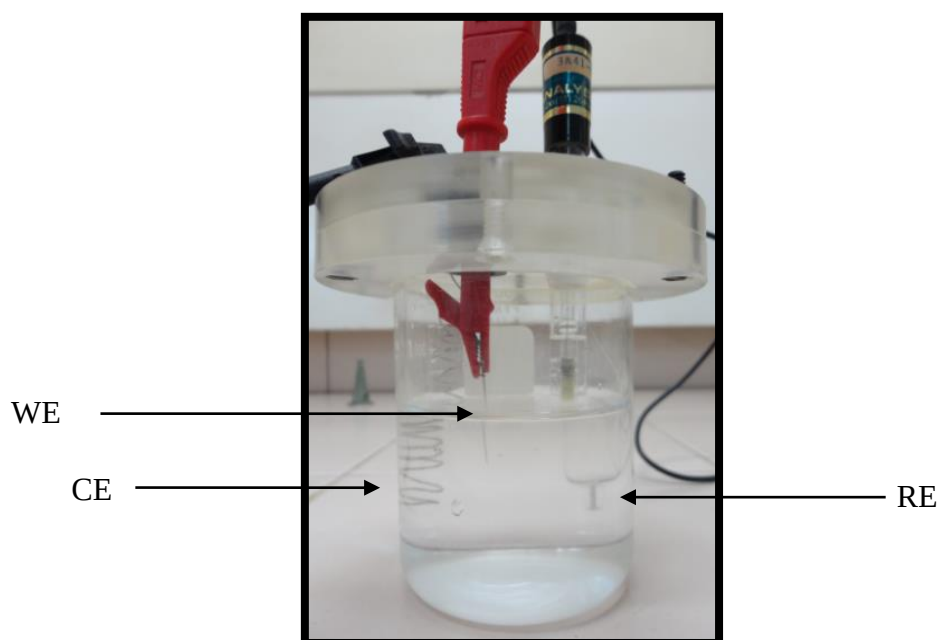


Figura 25 - Célula de três eletrodos utilizada nos ensaios de polarização. CE= contra-eletrodo; WE= eletrodo de trabalho (cone de prata #30); RE = eletrodo de referência.

5.1.4- Polarização de um fragmento de lima de aço inoxidável no interior de um canal simulado

Foram realizadas polarizações de fragmentos de lima de aço inoxidável no interior de canais simulados em blocos de resina (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Suíça) nos terços médio e apical. Fragmentos de 3,0 mm da ponta de cada lima foram gerados por fadiga sob flexão. Alguns fragmentos de lima de aço inoxidável # 20, # 30 e #40 foram obtidos e posicionados no interior de canais simulados com auxílio de uma pinça com pressão suficiente para que fosse ajustada no terço médio do canal radicular simulado e outros fragmentos de limas de aço inoxidável #20 foram posicionadas no terço apical com auxílio de uma lima de diâmetro inferior em cada caso com pressão suficiente para que fosse

ajustada no terço apical do canal simulado (Figura 26). Uma lima manual #10 (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Suíça) foi utilizada para a verificação da obstrução do canal pelo fragmento de lima. Todos os blocos com canal simulado foram preparados antes com limas rotatórias K3 para que estes ficassem com um preparo bem regular antes da colocação dos fragmentos de limas. A sequência do preparo no terço médio foi: lima # 20 - lima 15 manual e lima 20.02 até o comprimento 1/3 M; lima # 30 - lima 15 manual e limas 20.02, 25.02 e 30.02 até o comprimento 1/3 M e lima # 40 - lima 15 manual e limas 20.02, 25.02, 30.02, 35.02 e 40.02 até o comprimento 1/3 M. No terço apical foi: lima # 20 - Pré alargamento com lima 25.06; limas #10 e #15 manual e lima 20.02 até 1 mm aquém do forame (mantendo patência).

Uma célula eletroquímica convencional foi montada contendo um eletrodo de calomelano saturado como eletrodo de referência, a platina como contra-eletrodo e um fio de platina de diâmetro 0,1mm como eletrodo de trabalho. Os três eletrodos foram imersos na solução de NaF12g/L+NaCl175,5g/L, com valor de pH= 5,0 e ligados ao potenciostato digital AUTOLAB PGSTAT 302N (Metrohm). O canal simulado contendo o fragmento de lima foi imerso na solução de escolha, de forma que a ponta do fio de platina usado como eletrodo de trabalho fizesse contato com o fragmento como observado nas Figuras 27 e 28. Desta forma, cada fragmento foi submetido à polarização com aplicação de potencial constante de $+0,5V_{ECS}$ durante 60 minutos, enquanto eram registradas a corrente e a carga geradas. Baseado na anatomia do canal simulado e na dificuldade de acesso a escolha do tempo foi cinco vezes o tempo obtido no teste de polarização eletroquímica com a lima. Este experimento foi realizado com diferentes fragmentos de limas e em diferentes profundidades cujas condições estão resumidas na Tabela 3.

Após os ensaios, uma lima manual #10 (Dentsply, Maillefer, Ballaigues, Suíça) foi utilizada para a verificação da possibilidade de ultrapassagem do fragmento. A análise radiográfica dos canais simulados foi realizada antes e após os ensaios para a verificação da dissolução do fragmento fraturado.

Os ensaios com o cone de prata não foram realizados nesta etapa, pois não foi possível até o presente momento definir uma condição ótima para dissolução ativa destes sem risco de danos à estrutura dentinárias.

Tabela 3- Limas utilizadas no estudo em diferentes profundidades

Diâmetro das limas (mm)	Solução	pH	Profundidade
0,20	[NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L]	5,0	Médio e apical
0,30			Médio
0,40			Médio

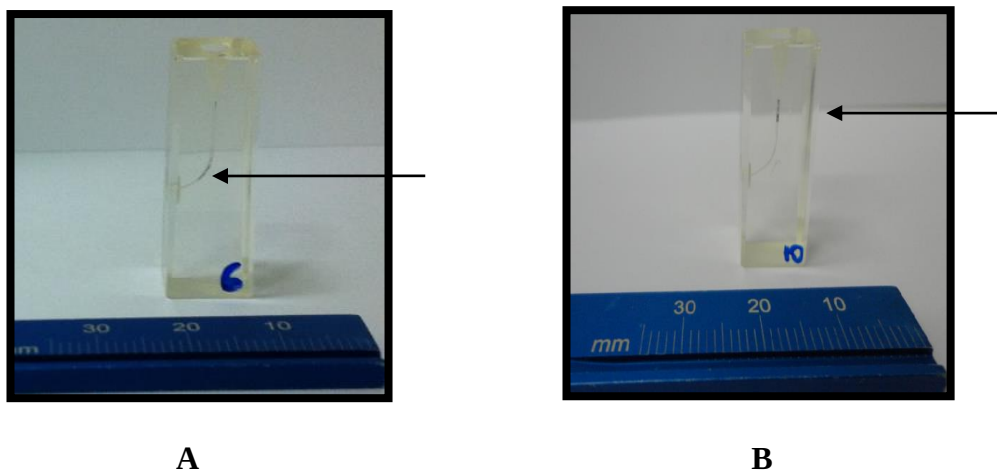


Figura 26 - Blocos de resina simulando um canal radicular com lima fraturada. (A) Lima de aço inoxidável fraturado no terço apical. (B) Lima de aço inoxidável fraturado no terço médio.

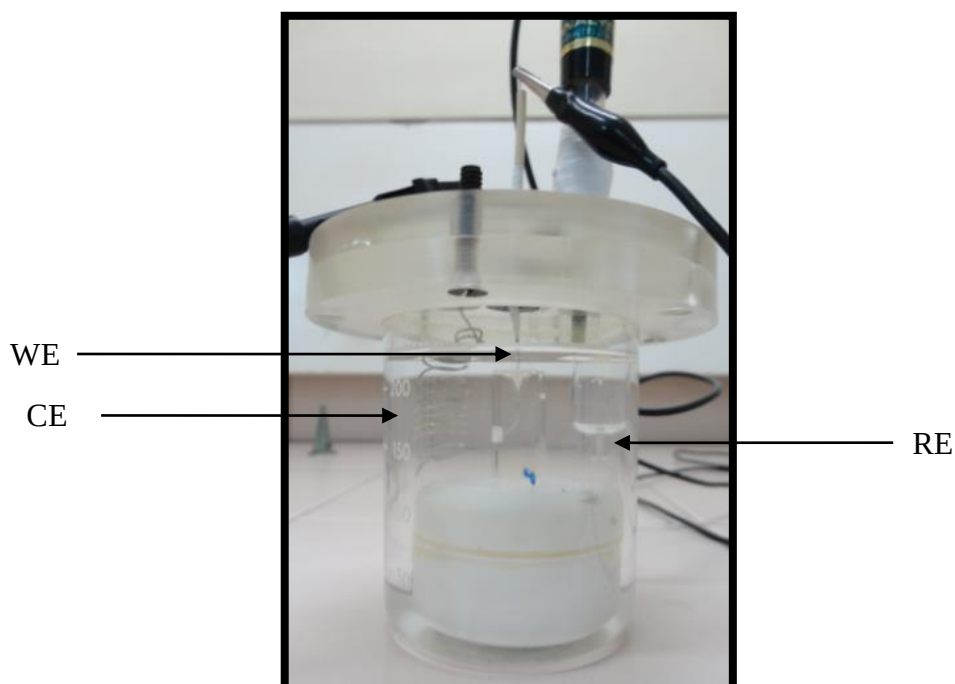


Figura 27- Foto da célula de três eletrodos utilizada nos ensaios de polarização. CE= contra-eletrodo; WE= eletrodo de trabalho (fio de platina + fragmento de lima); RE = eletrodo de referência.

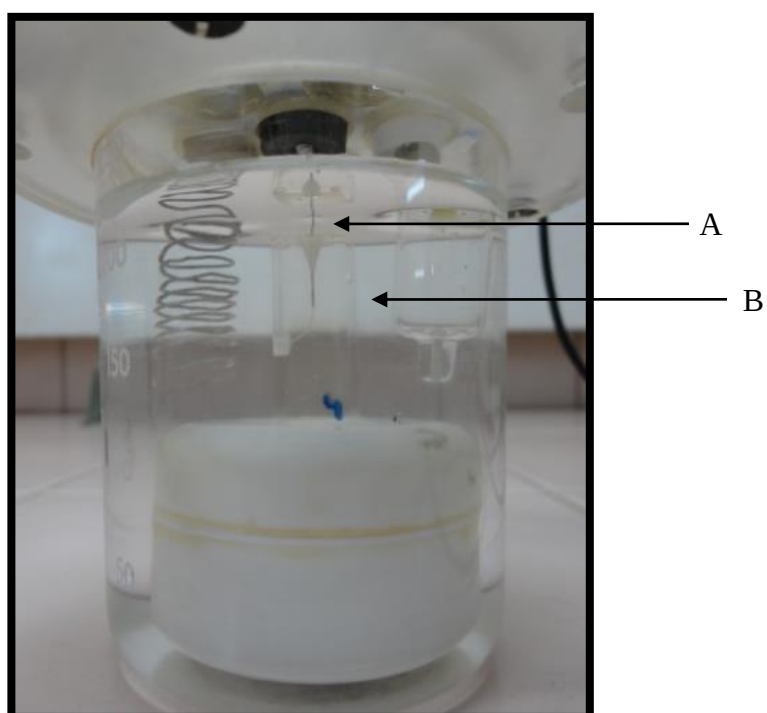


Figura 28- (A) Fio de platina 0,1mm conectado ao fragmento da lima de aço inoxidável. (B) Fragmento de lima de aço inoxidável.

6- RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1- Curvas de Polarização Anódica do Eletrodo Plano de Aço Inoxidável na solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 e Curva Redox desta solução

A Figura 29 mostra a Curva de Polarização Anódica do eletrodo plano de aço inoxidável realizada em triplicata na solução [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 e a Curva Redox desta solução.

A Curva Redox indica que até o potencial de aproximadamente $-0,2 V_{ECS}$ a solução apresenta-se estável e a partir deste ponto a solução se torna instável. Isso indica que até este valor de potencial o meio continua estável sem sofrer processos oxidativos. A partir deste valor a solução se altera ocorrendo reações de oxidação.

As curvas de polarização anódica mostraram valores de corrente próximos de $0,5 \text{ mA/cm}^2$ do potencial de corrosão até valores de potencial entre $+0,1V_{ECS}$ e $+0,2V_{ECS}$, a partir dos quais houve um aumento significativo de corrente, indicando dissolução localizada do material devido à quebra do filme protetor do material. Tal dissolução pode ser confirmada na análise por microscopia óptica dos eletrodos antes e após os ensaios (Figura 30).

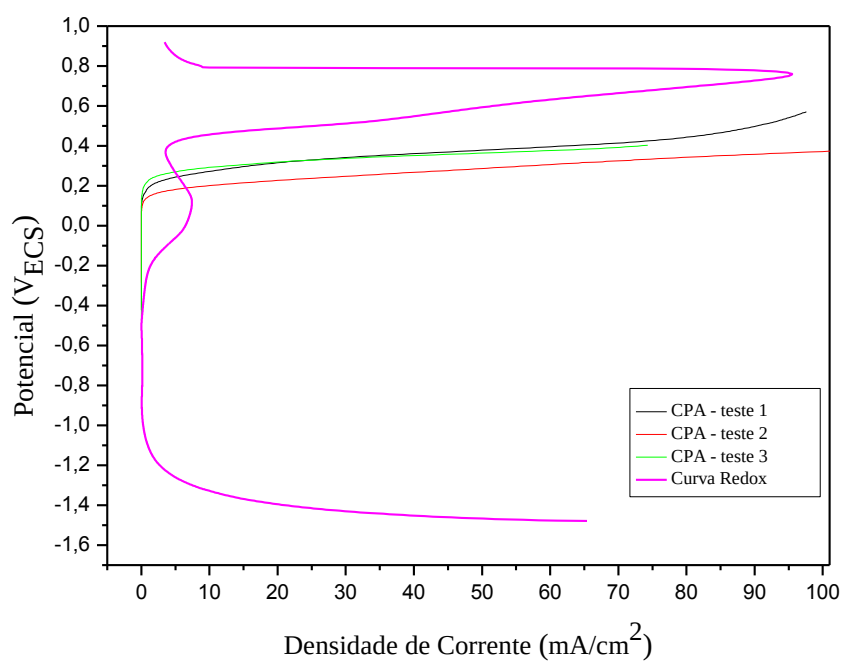
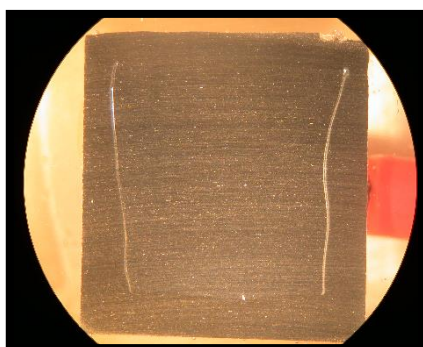
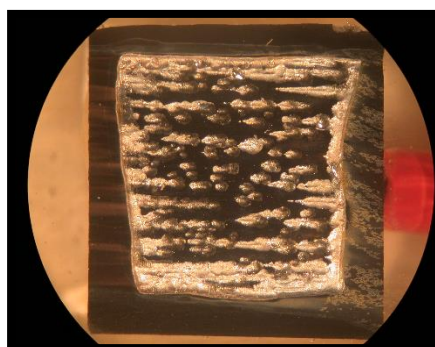


Figura 29- Curva redox da solução [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 e Curvas de Polarização Anódica (CPA) do Aço Inoxidável na mesma solução.



A



B

Figura 30- Análise por microscopia óptica do eletrodo plano de aço inoxidável. (A) Antes do ensaio de polarização anódica; (B) Após o ensaio de polarização anódica.

A escolha da solução [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 foi baseada nos estudos de ORMIGA *et al.* (2010) e ABOUD *et al.* (2012), que utilizaram as soluções [NaF 5g/L + NaCl 1g/L] e [NaF 12g/L + NaCl 1g/L]. No presente estudo, a opção pela maior concentração de cloreto teve como objetivo de alcançar uma maior intensidade de dissolução do aço inoxidável. A concentração de fluoreto foi escolhida em concordância com o estudo de ABOUD (2012) e SAUNDERS & MCINTYRE (2005), que utilizaram em seus estudos uma concentração de fluoreto de 12,3g/L, sendo uma concentração aceitável para o uso na Endodontia, pois não altera a dentina.

Os resultados deste estudo estão de acordo com estudos prévios que mostraram que o cloreto e o fluoreto agem negativamente sobre as ligas de aço inoxidável e ligas de NiTi, favorecendo a corrosão (KIM & JOHNSON *et al.*, 1999; LOPES *et al.*, 1994; SUN *et al.*, 2011; RONDELLI & VICENTINI *et al.*, 1999; ORMIGA *et al.*, 2006; MENEZES *et al.*, 2006; LEE *et al.*, 2010; KAO *et al.*, 2010; LI *et al.*, 2007; MASAHIRO *et al.*, 2010, KONDO *et al.*, 2010; ORMIGA *et al.*, 2010; ABOUD *et al.*, 2012).

A utilização do pH 5,0 nos ensaios foi baseado nos estudos de MARSHALL (1997), ORMIGA *et al.* (2010) e ABOUD *et al.* (2012), considerando que neste valor de pH há uma menor possibilidade de alteração da estrutura dentinária presente nas paredes dos canais radiculares, uma vez que valores mais baixos de pH tendem a provocar descalcificação deste tecido.

Com base na análise gráfica, ficou estabelecido o potencial de +0,5V_{ECS} onde se observa a dissolução do material para a aplicação nos ensaios subsequentes. No entanto, neste valor de potencial como indicado no gráfico observa-se a instabilidade da solução porém esta alteração na estabilidade da solução não interferiu nos resultados do presente estudo.

6.2- Ensaio de perda de massa de limas de Aço inoxidável (# 20, #30 e #40).

A Figura 31 mostra o registro de corrente gerada durante a aplicação constante de um potencial de $+0,5V_{ECS}$ às limas de aço inoxidável em solução de $[NaF\ 12g/L + NaCl\ 1175,5g/L]$, $pH= 5,0$ durante 7 minutos, no caso das limas #20, 9 minutos, no caso das limas #30, e 12 minutos, no caso das limas #40.

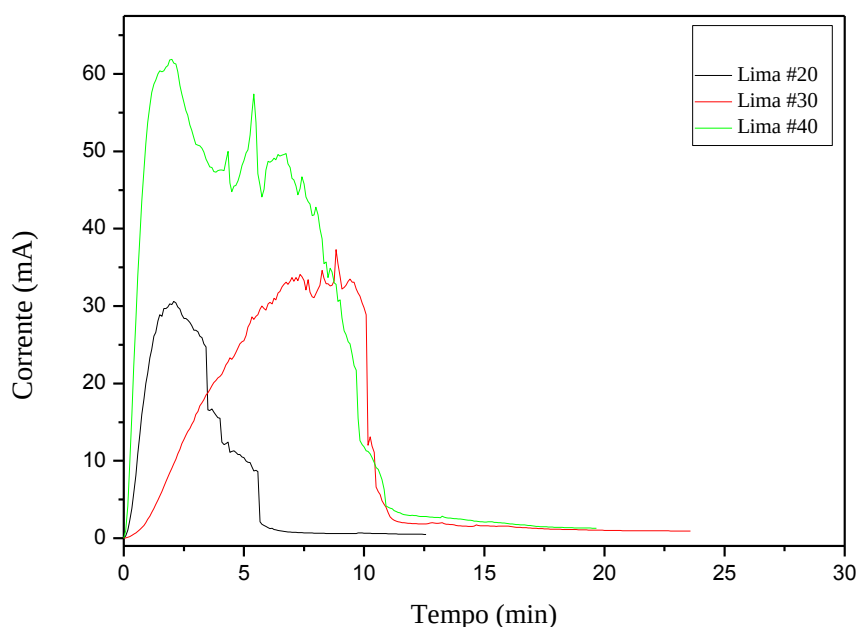


Figura 31- Corrente gerada durante a aplicação de um potencial de $+0,5V$ às lima de aço inoxidável (#20, #30 e #40), em solução de $[NaF\ 12g/L + NaCl\ 175,5g/L]$; $pH= 5,0$.

Podemos observar que houve um aumento significativo da corrente gerada até a metade do tempo em todas as limas estudadas. A partir deste momento a corrente começa a diminuir, até a dissolução completa do material (Figura 31). A corrente gerada na dissolução das limas é menor que a gerada no eletrodo plano de aço inoxidável uma vez

que a área é menor e a geometria da lima é mais complexa quando comparada com o eletrodo plano de aço inoxidável, o que dificulta o cálculo da densidade de corrente. Além disso, a distribuição de corrente na lima não é uniforme em função de sua geometria.

As polarizações anódicas foram realizadas em triplicata com a programação inicial de 60 minutos. Porém, como as limas foram totalmente dissolvidas antes deste tempo, os ensaios foram interrompidos após a dissolução total das limas. Logo, pode ser observado que aos 7 minutos os 6 mm da ponta da lima #20 imersos na solução foram completamente dissolvidos, aos 9 minutos os 6 mm da ponta da lima #30 foram completamente dissolvidos e aos 12 minutos os 6 mm da ponta da lima #40 foram completamente dissolvidos. Estes resultados mostraram que quanto menor o diâmetro da lima menor o tempo gasto para dissolver totalmente. Portanto, o tempo estabelecido para a perda de massa das limas de aço inoxidável foi determinado conforme o diâmetro. O presente estudo se baseou no trabalho de ORMIGA *et al* (2010) e ABOUD *et al* (2012), onde foram feitos os mesmos testes de perda de massa. Cabe salientar que o material utilizado nestes estudos foi a liga de NiTi e as durações máximas dos ensaios foram de 53 minutos e de 30 minutos, respectivamente.

Com a definição de que os tempos máximos de polarização das limas seriam: 7 minutos para as limas #20, 9 minutos para as limas #30 e 12 minutos para as limas #40, estes intervalos de tempo foram divididos pela metade para um estudo mais criterioso da dissolução progressiva das limas. Assim, o tempo foi dividido da seguinte forma: Limas #20 - tempos de 3,5 minutos e 7 minutos, Limas #30 - tempos de 4,5 minutos e 9 minutos e Limas #40- tempos de 6 minutos e 12 minutos, sendo realizado 1 ensaio para cada tempo. Da mesma forma ORMIGA *et al* (2010) e ABOUD (2012) propuseram dividir os tempos de 53 minutos e 30 minutos em quatro.

A escolha de três diâmetros diferentes e de duas localizações de fratura das limas (terço médio e terzo apical) foram pautadas na prática clínica, uma vez que, a instrumentação do canal radicular é feita através da utilização de uma sequência de limas de primeira e segunda série com diâmetros diferentes, e podem fraturar em diferentes profundidades principalmente na região apical (LOPES & SIQUEIRA, 2010).

A lima de menor diâmetro geralmente é a que fratura com maior frequência durante a instrumentação dos canais radiculares, pois o diâmetro é menor e quando introduzida no interior do canal para instrumentação principalmente em canais com menor raio de curvatura, a sobrecarga é maior e, dependendo do tempo de uso da lima, há um maior desgaste favorecendo a fratura do material quando comparada com as de diâmetro maior.

Com base na literatura, as limas de aço inoxidável são mais susceptíveis a fratura principalmente na instrumentação de canais com menor raio de curvatura. Além disso, quanto maior o diâmetro das limas menor será o tempo de fratura das limas de aço inoxidável. No presente estudo o tempo de dissolução ativa é proporcional ao diâmetro das limas, ou seja, as limas de maior diâmetro levam um tempo maior para serem consumidas totalmente quando comparadas com as limas de diâmetro menor.

Clinicamente, as curvaturas de pequeno raio estão localizadas no terzo apical dos canais e quanto menor o raio mais rápido as limas tendem a fraturar (BLUM et al., 1999) sendo mais difícil a remoção desses fragmentos, o que justifica o estudo em avaliar a fratura das limas em diferentes profundidades.

A análise por EDS das limas #20, #30 e #40 foi realizada para avaliar a presença dos elementos químicos citados na composição das limas fornecidas pelo fabricante (Figura 32).

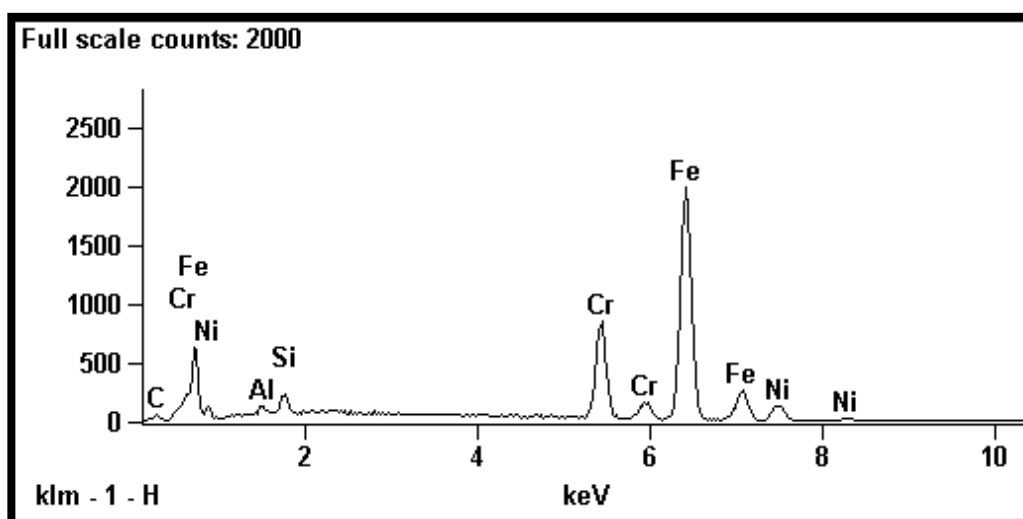


Figura 32- Análise por EDS de limas de aço inoxidável #20, #30 e #40.

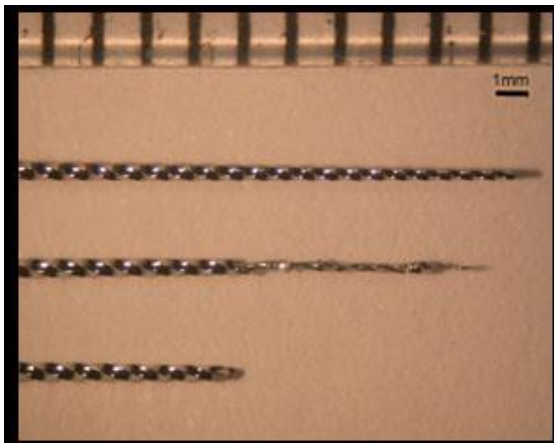
A Tabela 4 mostra os valores médios de perda de massa, perda de comprimento das limas e também os valores de carga elétrica totais geradas em cada intervalo de tempo. Os valores de perda de massa e de comprimento mostraram que houve consumo progressivo das limas com o aumento do tempo de polarização (Figura 33). O aumento dos valores de carga elétrica com o tempo corresponde à dissolução do aço.

Tabela 4- Resultados dos ensaios de perda de massa de limas de aço inoxidável #20, #30 e #40, mostrando os valores iniciais e finais de massa, comprimento e carga elétrica.

Amostras de Lima de aço inoxidável	Lima #20		Lima #30		Lima #40	
Tempo (minutos)	3,5 (n=1)	7 (n=3)	4,5 (n=1)	9 (n=3)	6 (n=1)	12 (n=3)
Massa inicial(g)	0,0249	0,0247	0,0414	0,0417	0,0496	0,0496
Massa final (g)	0,0237	0,0224	0,0397	0,0369	0,0445	0,0414
Perda de massa (g)	0,0012	0,0023	0,0017	0,0048	0,0051	0,0082
Comprimento inicial (mm)	24,5	25	24,5	24,5	24,5	24,5
Comprimento final (mm)	23	19	24,5	18,5	24,5	18,5
Perda de comprimento (mm)	1,5	6	0	6	0	6
Carga elétrica (C)	4,87	12,67	5,90	17,39	19,28	31,84

A Figura 33 mostra a análise por microscopia óptica do consumo progressivo de cada lima nos tempos inicial, na metade do tempo e no tempo final. Esta análise mostrou que houve dissolução total de todas as limas estudadas nos diferentes tempos.

Lima # 20

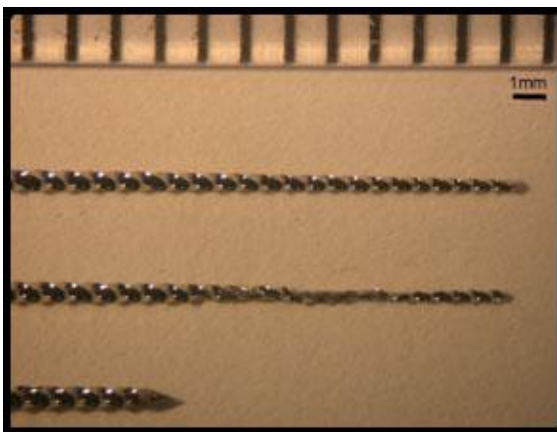


INICIAL

3,5 MINUTOS

7 MINUTOS

Lima # 30

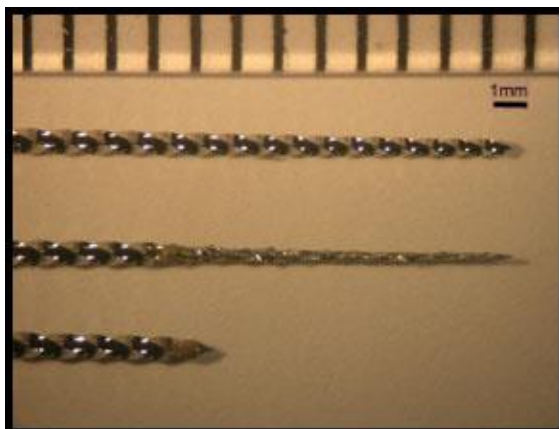


INICIAL

4,5 MINUTOS

9 MINUTOS

Lima # 40



INICIAL

6 MINUTOS

12 MINUTOS

Figura 33- Análise por microscopia óptica das limas # 20, 30 e 40 após a polarização.

As Figuras 34, 35 e 36 mostram a análise por microscopia eletrônica de varredura das limas submetidas à aplicação de $+0,5 V_{ECS}$ em solução aquosa de $[NaF\ 12g/L + NaCl\ 175,5\ g/L]$, $pH = 5,0$, durante a metade do tempo referente a cada lima (lima #20 – 3,5 minutos; lima #30 - 4,5 minutos e lima # 40- 6 minutos). Esta análise mostrou perda significativa do formato geométrico original e corrosão das mesmas já no tempo médio quando comparada com nas limas novas equivalentes.

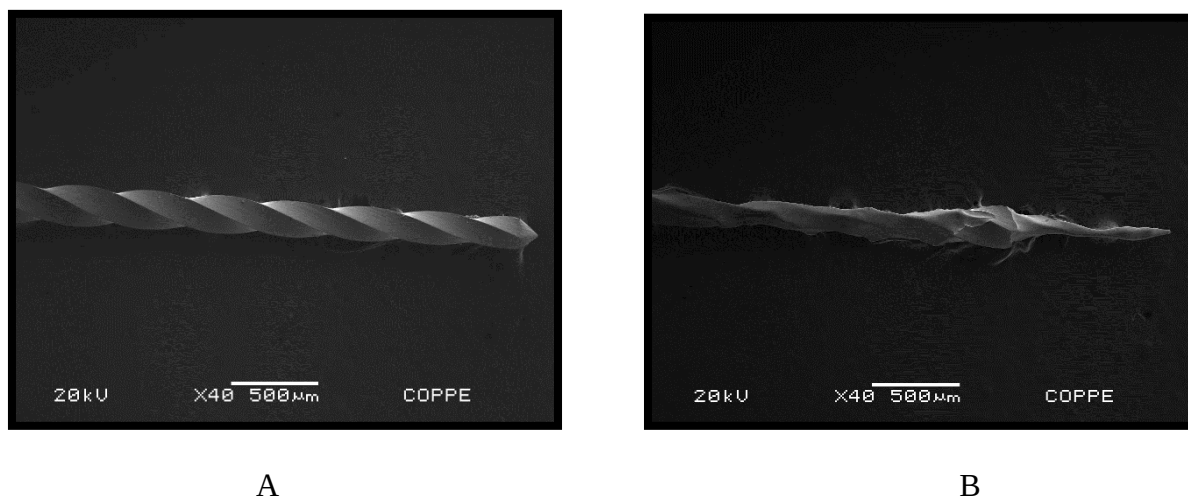
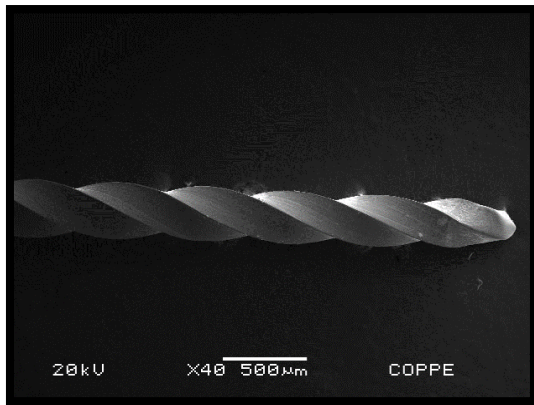
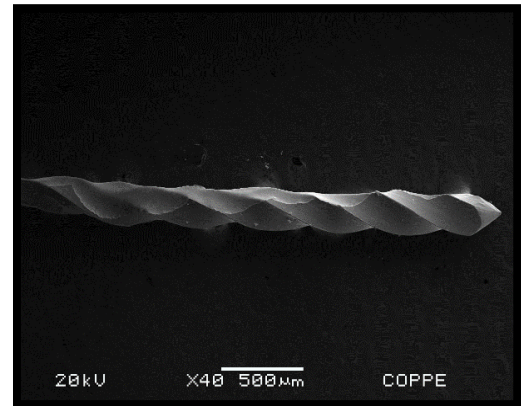


Figura 34 – Análise em microscopia eletrônica de varredura da lima #20 antes (A) e após (B) a polarização de 3,5 minutos.

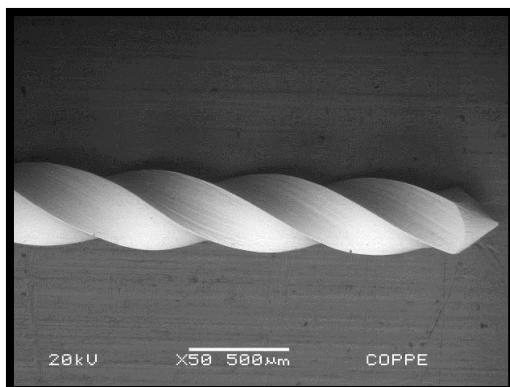


A

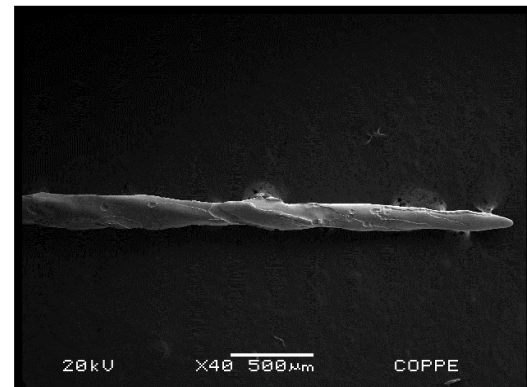


B

Figura 35 – Análise em microscopia eletrônica de varredura da lima #30 antes (A) e após a polarização de 4,5 minutos.



A



B

Figura 36 – Análise em microscopia eletrônica de varredura da lima #40 antes (A) e após (B) a polarização de 6 minutos.

A análise comparativa dos valores de carga elétrica (Q) obtidos no final de cada tempo de ensaio pode ser observado na Figura 37. As limas de aço inoxidável #40 apresentam o maior índice de carga elétrica, seguido das limas de aço inoxidável #30 e #20, o que mostra a correlação entre o aumento de Q e o maior consumo da lima.

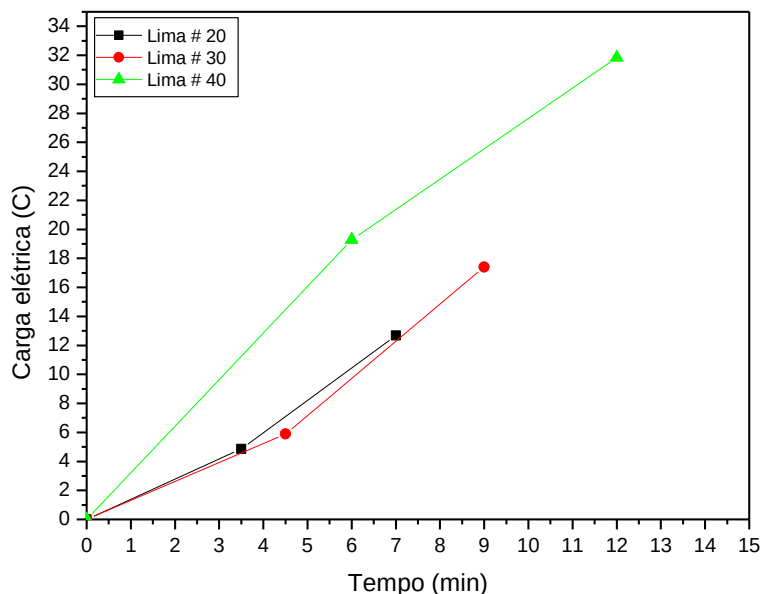


Figura 37- Carga elétrica x tempo de lima #20, #30 e #40, após aplicação de um potencial de +0,5V em solução de [NaF 12g/L+NaCl 1175,5g/L], pH= 5,0.

6.3- Polarização Anódica de fragmentos de limas de Aço Inoxidável em Canais Simulados

Os resultados mostraram que foi possível ultrapassar pelo fragmento de lima em todos os blocos com canal simulado utilizando limas #20, #30 no terço médio, já no terço

apical apresentou só a ultrapassagem em apenas 4 blocos com canal simulado. E no terço médio com a lima #40 não foi possível a ultrapassagem pelo fragmento fraturado em nenhum dos blocos com canal simulado.

A Figura 38 mostra o registro de corrente gerada durante a aplicação de $+0,5V_{ECS}$ por meio de uma ponta de platina de 0,1mm de diâmetro a um fragmento de lima de aço inoxidável #20 no terço médio de um canal simulado em um bloco de resina durante 60 minutos.

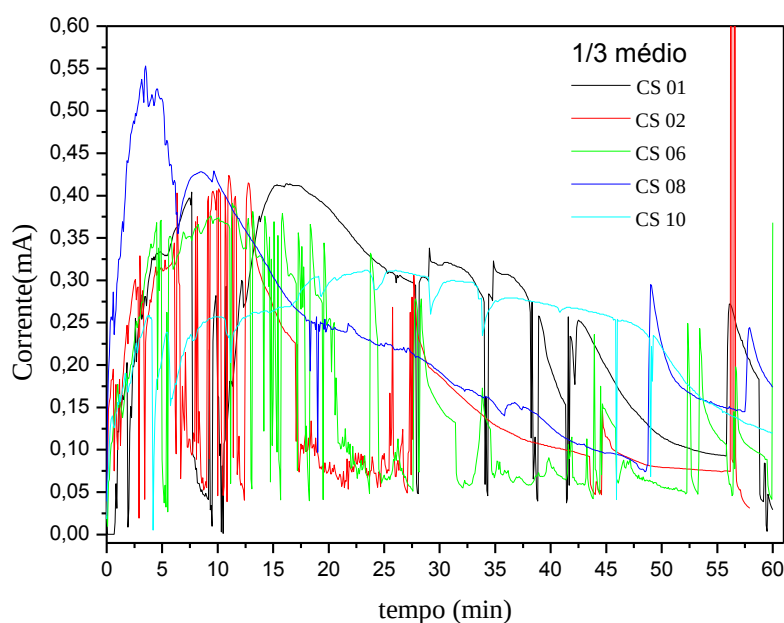


Figura 38- Corrente registrada durante a aplicação de $+0,5V_{ECS}$ a fragmentos de lima de aço inoxidável #20 no terço médio de um canal simulado.

Os valores iniciais de corrente oscilaram na faixa entre 0,000 mA e 0,59 mA em todos os ensaios realizados ($n = 10$). A média dos valores totais de carga elétrica gerada foi igual a 0,8354 C. A corrente assumiu valores finais entre 0,001 mA e 0,004 mA.

A Figura 39 mostra o registro de corrente gerada durante a aplicação de $+0,5V_{ECS}$ por meio de uma ponta de platina de 0,1mm de diâmetro a um fragmento de lima de aço inoxidável #20 no terço apical de um canal simulado em um bloco de resina durante 60 minutos.

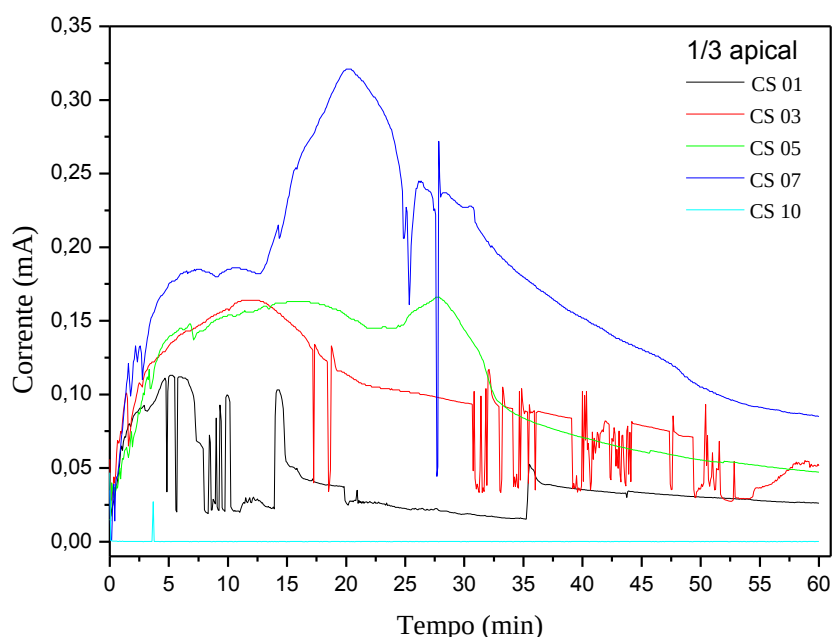


Figura 39- Corrente registrada durante a aplicação de $+0,5V_{ECS}$ a fragmentos de lima de aço inoxidável #20 no terço apical de um canal simulado.

Os valores iniciais de corrente oscilaram na faixa entre 0,000 mA e 0,31 mA em todos os ensaios realizados ($n = 10$). A média dos valores totais de carga elétrica gerada foi igual a 0,5058 C. A corrente assumiu valores finais entre 0,0012 mA e 0,08 mA.

Foi possível ultrapassar pelo fragmento de lima em todos os blocos com canal simulado no terço médio. Já no terço apical, o manuseio e contato foi mais difícil, ocorrendo a ultrapassagem somente em 4 blocos com canal simulado.

Durante a instrumentação dos canais radiculares os instrumentos são submetidos a grandes tensões e deformações que podem variar de acordo com a anatomia do canal radicular e a habilidade do profissional. Nessas condições os instrumentos podem vir a fraturar no terço médio ou apical do dente, o que vai definir é a presença da curvatura. Quanto menor o raio de curvatura, a lima ficará mais propensa a fraturar na região apical (SHNEIDER, 1971; PRUETT, 1997; TZANETAKIS, 2008; RUDDLE, 2004, ZELADA, 2002; SPLIT, 2005; WOLCOTT, 2006; IQBAL, 2006 a), sendo mais difícil a sua remoção podendo levar em muitos casos a perda do elemento dentário. Diante disso, o presente estudo avaliou através do método de dissolução proposto por ORMIGA *et al.* (2010) a dissolução do fragmento de lima fraturada na região média e na região apical.

Os resultados mostraram que no terço médio foi possível a ultrapassagem com a lima #10 pelo fragmento fraturado em todos os blocos (n=10) ensaiados, expressando um resultado favorável para a obtenção no sucesso do tratamento endodôntico. Já no terço apical foi possível a ultrapassagem com a lima #10 pelo fragmento fraturado em apenas 4 blocos de um total de 10. O fato de não conseguir ultrapassar em todos os blocos com canal artificial simulado, pode estar relacionada com: a dificuldade de contato da ponta de platina com o fragmento durante todo o ensaio; a reduzida área do fragmento exposta a solução no interior do canal e dificuldade no manuseio para o operador.

Os blocos de resina foram utilizados para avaliar a dificuldade apresentada numa situação real encontrada na clínica quando uma lima é fraturada no interior do canal principalmente com relação a profundidade com que esta é fraturada, pois quanto mais o fragmento de lima estiver para o terço apical, menor a chance de sua remoção e maior

chance do insucesso no retratamento endodôntico, tendo como consequência a perda do elemento dentário.

A vantagem da utilização de blocos de resina contendo um canal simulado é a padronização da morfologia dos canais uma vez que em dentes humanos é impossível obter a mesma morfologia pois os dentes apresentam a sua própria morfologia sendo diferentes entre si. Além disso, tanto os blocos de resina quanto a dentina são isolantes elétricos o que é vantajoso. Esta padronização possibilita o uso de um número menor de espécimes a serem ensaiados (OTOBONI FILHO *et al.* 2006). No entanto, apresentam a desvantagem de não reproduzir fielmente as variações anatômicas dos canais radiculares de dentes humanos, por apresentar apenas uma geometria, além de não possuir a mesma consistência da dentina radicular. No entanto, é uma excelente alternativa para testes.

A Figura 40 mostra o registro de corrente gerada durante a aplicação de $+0,5V_{ECS}$ por meio de uma ponta de platina de 0,1mm de diâmetro a um fragmento de lima de aço inoxidável #30 no terço médio de um canal simulado em um bloco de resina por um tempo de 60 minutos.

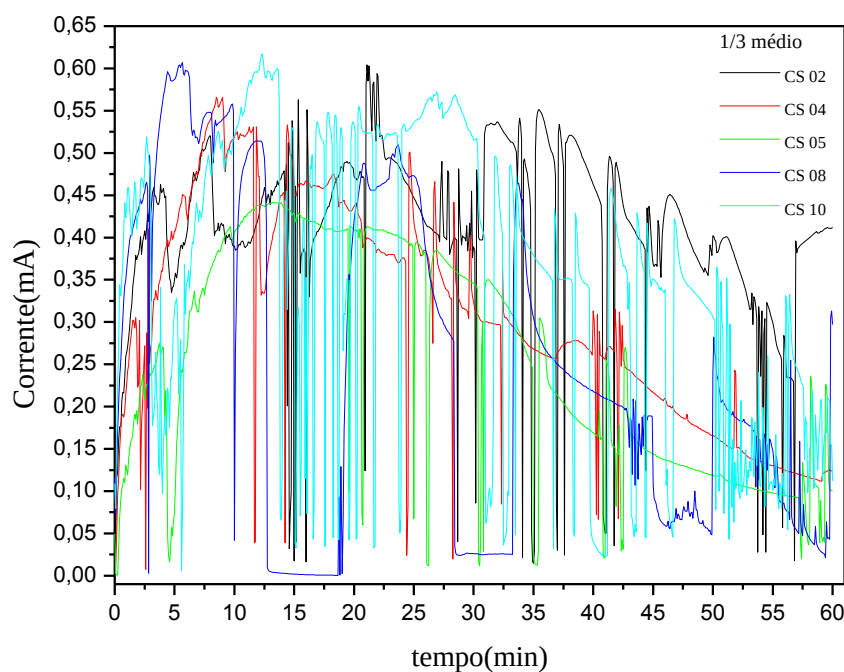


Figura 40- Corrente registrada durante a aplicação de $+0,5V_{ECS}$ a fragmentos de lima de aço inoxidável #30 no terço médio de um canal simulado.

Os valores iniciais de corrente oscilaram na faixa entre 0,00 mA e 0,60 mA em todos os ensaios realizados ($n = 10$). A média dos valores totais de carga elétrica gerada foi igual a 1,14 C. A corrente assumiu valores finais entre 0,11 mA e 0,40 mA.

A Figura 41 mostra o registro de corrente gerada durante a aplicação de $+0,5V_{ECS}$ por meio de uma ponta de platina de 0,1mm de diâmetro a um fragmento de lima de aço inoxidável #40 no terço médio de um canal simulado em um bloco de resina por um tempo de 60 minutos.

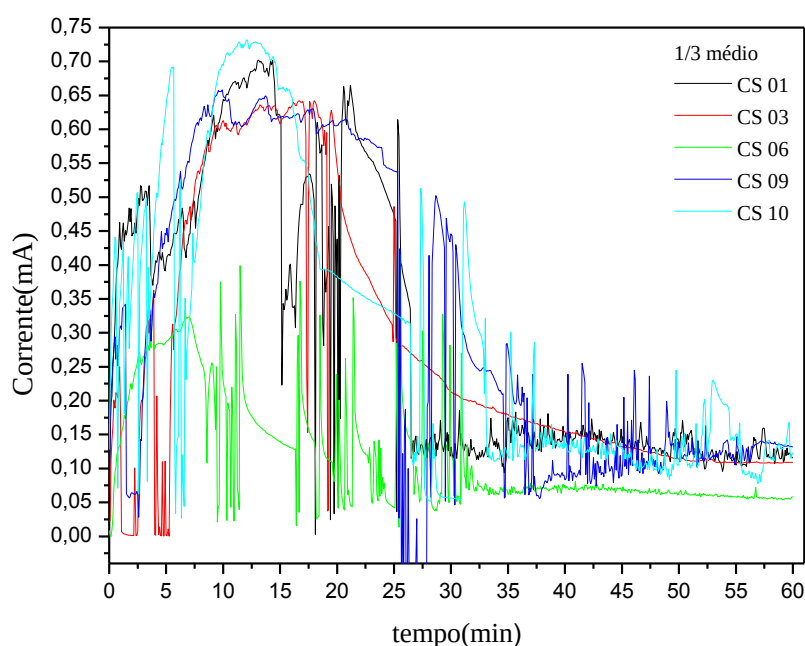


Figura 41- Corrente registrada durante a aplicação de $+0,5V_{ECS}$ a fragmentos de lima de aço inoxidável #40 no terço médio de um canal simulado.

Os valores iniciais de corrente oscilaram na faixa entre 0,000 mA e 0,72 mA em todos os ensaios realizados ($n = 10$). A média dos valores totais de carga elétrica gerada foi igual a 1,19 C. A corrente assumiu valores finais entre 0,05 mA e 0,012 mA.

O tempo escolhido no estudo foi de 60 minutos, pois mesmo que a ponta das limas #20, #30 e #40 tenham sido totalmente dissolvidas nos seus referentes tempos (7 minutos, 9 minutos e 12 minutos), existem condições adversas a polarização: como o confinamento da lima entre as paredes do bloco, dificuldade da penetração da solução [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 para gerar corrente e a dificuldade do contato da ponta de platina ao fragmento, o que prejudica o andamento do processo.

O tempo de polarização anódica foi maior em relação aos ensaios de imersão das limas para que o fragmento de lima que se encontrava ajustado entre as paredes do canal

simulado pudesse entrar em contato melhor com a solução dando início ao processo de dissolução do material. O eletrodo usado para promover o contato com o fragmento situado no interior do canal foi proposto por ORMIGA *et al.* (2011) e consiste em um fio de platina de 0,1 mm de diâmetro que foi embutido em tubos poliméricos concêntricos utilizados como suporte ao fio, para compensar baixa resistência mecânica. Neste estudo foi demonstrado que a ponta de platina proposta gerou valores de corrente próximos a 1,6 mA durante todo seu ensaio, indicando a capacidade da ponta de conduzir corrente elétrica.

As correntes em todas as limas (#20, #30 e #40) foram menores que no ensaio onde a ponta da lima era imersa diretamente na solução, em função da restrição de acesso do eletrólito.

As análises radiográficas mostraram perda de comprimento apenas das limas #20 no terço médio (Figura 42) porém com relação as limas #20 (terço apical), #30 (terço médio) não mostraram perda do comprimento do fragmento, pode ser observado a perda da espessura deste pois foi possível a ultrapassagem com a lima #10 do fragmento fraturado tanto no terço apical quanto no médio referentes as limas estudadas (Figuras 43 e 44). Tal ultrapassagem tende a possibilitar a recuperação do trajeto original do canal em condições clínicas durante o retratamento endodôntico. Com relação a lima #40 (terço médio) as análises radiográficas (Figura 45) não mostraram perda no comprimento e nem perda na espessura pois com a utilização de uma lima # 10 não foi conseguido a ultrapassagem do fragmento de lima no terço médio. A não ultrapassagem pelo fragmento da lima #40 pode ser explicado pelo diâmetro maior da lima exposta no interior do canal simulado que poderia restringir a quantidade de eletrólito ao redor do fragmento em comparação com os fragmentos de limas #20 e #30 impedindo a passagem da solução para o interior do canal simulado, o que prejudicaria o processo de dissolução, pois se não

tem eletrólito suficiente, não gerará corrente e consequentemente o processo de dissolução não ocorrerá.

As imagens radiográficas foram digitalizadas através de um scanner (HP ScanJet 3670). O método de avaliação radiográfica possibilita um diagnóstico de rotina na prática odontológica, principalmente na área da Endodontia e em diversas pesquisas. (FERREIRA *et al.*, 2007, PIRES *et al.*, 2009, ORMIGA *et al.*, 2010). Diante desta afirmação, este método foi utilizado para avaliação no estudo com a finalidade de analisar os fragmentos das limas no interior dos canais simulados antes e após o processo de dissolução ativa.

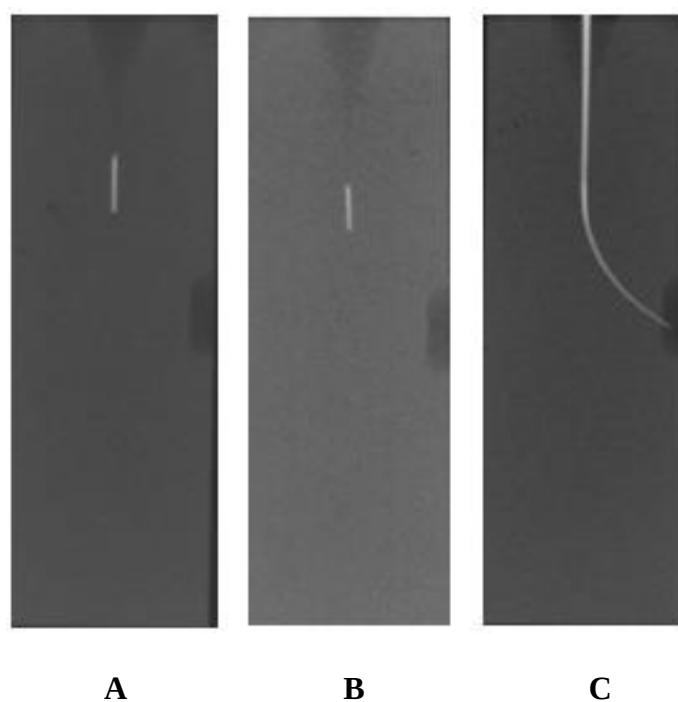


Figura 42- Imagens radiográficas do bloco de resina com fragmento de lima de aço inoxidável #20 no terço médio do canal simulado. (A) Antes da polarização anódica. (B) Após a polarização anódica. (C) Após a polarização anódica, ultrapassagem de uma lima K #10 pelo fragmento.

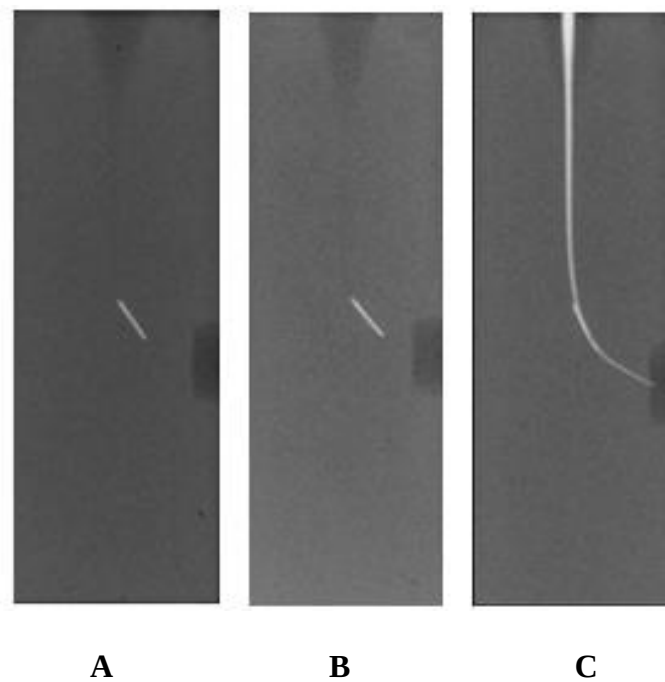


Figura 43- Imagens radiográficas do bloco de resina com fragmento de lima de aço inoxidável #20 no terço apical do canal simulado. (A) Antes da polarização anódica. (B) Após a polarização anódica. (C) Após a polarização anódica, ultrapassagem de uma lima K #10 pelo fragmento.

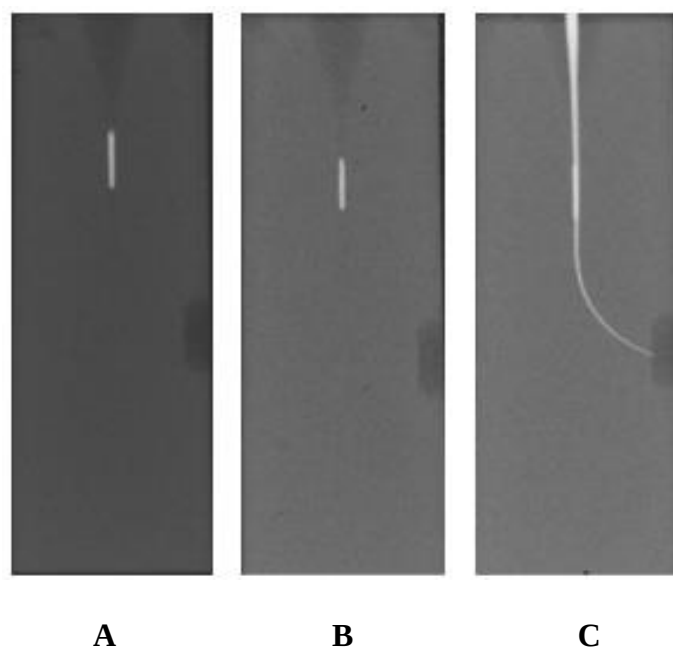


Figura 44- Imagens radiográficas do bloco de resina com fragmento de lima de aço inoxidável #30 no interior do canal simulado terço médio. (A) Antes da polarização anódica, não ultrapassagem pela lima K#10. (B) Após a polarização anódica. (C) Após a polarização anódica, ultrapassagem de uma lima K #10 pelo fragmento.

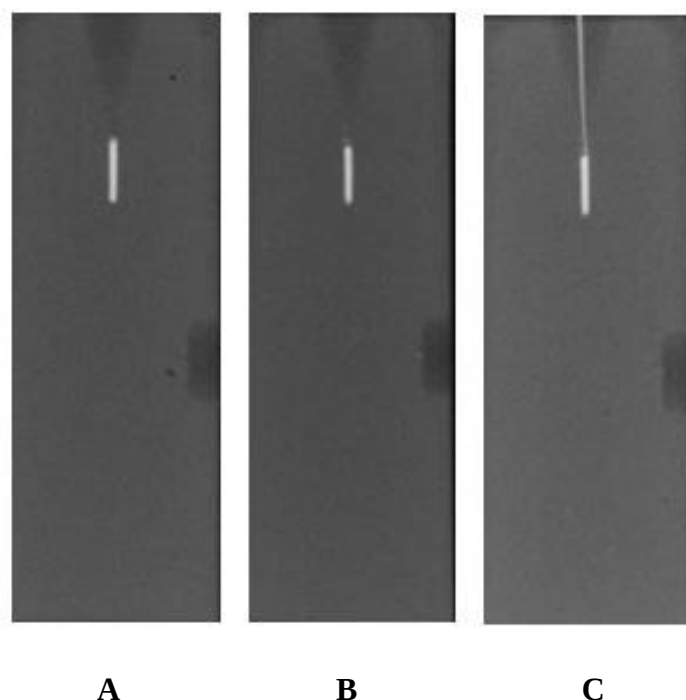


Figura 45- Imagens radiográficas do bloco de resina com fragmento de lima de aço inoxidável #40 no interior do canal simulado terço médio. (A) Antes da polarização anódica, não ultrapassagem pela lima K#10. (B) Após a polarização anódica. (C) Após a polarização anódica, ultrapassagem de uma lima K #10 pelo fragmento.

A dissolução parcial do fragmento possibilitou a recuperação do trajeto original do canal, permitindo a instrumentação deste em todo o seu comprimento. A aplicação do potencial de +0,5 V_{ECS} por 60 minutos a fragmentos de 3 mm de limas no interior de canais simulados não resultou em dissolução total do fragmento, conforme observado radiograficamente. No entanto, a ultrapassagem dos fragmentos de diferentes diâmetros de limas localizados em diferentes profundidades com uma lima manual K #10 confirmou

a desobstrução dos condutos. O tempo de 1 hora torna viável o uso do método de dissolução ativa na prática clínica. Este tempo foi satisfatório, quando comparado ao estudo de ORMIGA *et al.* (2010) que obteve um tempo de 6 horas. Cabe salientar que no estudo não houve uma tentativa em realizar a dissolução com menor tempo.

A ultrapassagem do fragmento de lima é considerada um grande passo para o sucesso clínico, por permitir a adequada instrumentação do conduto radicular.

Quando uma lima encontra-se fraturada no interior do canal radicular, a corrosão desta promoverá a desobstrução do conduto facilitando o tratamento endodôntico sem danos à estrutura dentária, o que seria bastante interessante, já que, na literatura os métodos de remoção de limas fraturadas apresentam limitações, podendo muitas vezes ocasionar a fragilização da estrutura dentinária, levando à perda do dente.

No entanto, um dispositivo feito de um anodo conectado ao fragmento da lima através de uma ponta inerte que conduza a corrente elétrica é necessário. A ponta inerte e o catodo devem ser introduzidos no interior do canal radicular entrando em contato com o fragmento da lima contendo um eletrólito que garanta a transferência de elétrons do anodo para o catodo. (ORMIGA *et al.* 2010).

Diante dos resultados obtidos no presente estudo, este método de remoção pode ser considerado promissor, por permitir a ultrapassagem do fragmento de lima sem que haja o desgaste da estrutura do canal simulado. Porém mais estudos são necessários para desenvolver um dispositivo com melhor condutividade. Além disso, estudos com dentes humanos extraídos devem ser realizados afim de consolidar este novo método para remoção de fragmentos de limas na endodontia. Cabe salientar que, de acordo com o fabricante, a lima de aço inoxidável é austenítica, porém quando avaliada em presença de um imã, o material apresentou ser magnético, isto implica que o material não é 100% austenítico.

6.4. Curvas de Polarização Anódica do Eletrodo Plano de Prata na solução [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 e Curva Redox desta solução

A Figura 46 mostra os resultados das curvas de polarização anódica do eletrodo plano de prata realizadas em triplicata em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0.

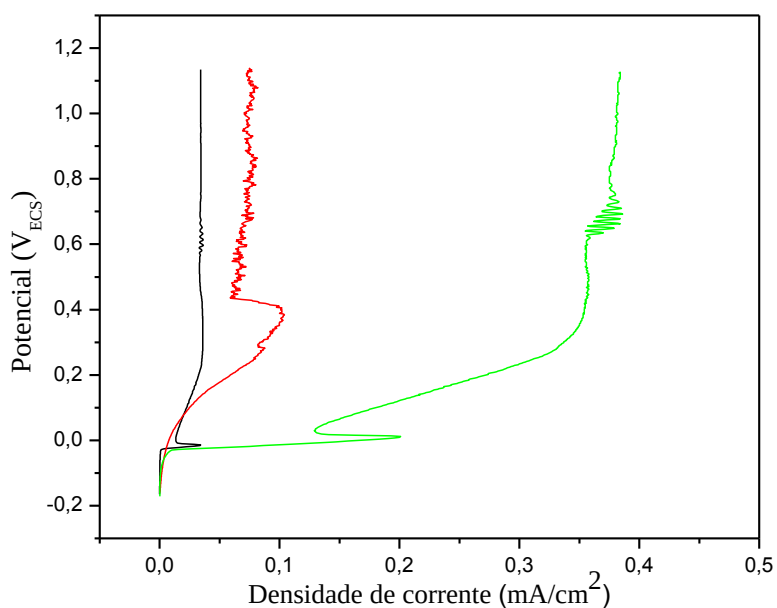


Figura 46- Curvas de polarização anódica do eletrodo plano de prata em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L]; pH= 5,0.

Houve passivação do material, o que impediu a dissolução ativa do material neste meio. A curva em verde indica dissolução do material a partir de valores de aproximadamente $+0,025V_{ECS}$. As curvas de polarização indicam que o comportamento da prata apresentou significativa dispersão nas condições adotadas.

A Figura 47 mostra a Curva Redox da solução $[NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L]$, $pH=5,0$ e a Curva de Polarização Anódica realizada em triplicata do eletrodo plano de prata.

A Curva Redox indica que até o potencial de aproximadamente $-0,3 V_{ECS}$ o meio continua estável sem sofrer processos oxidativos. A partir deste valor a solução se alteraria ocorrendo reações de oxidação. No entanto, pode ser observado que as modificações do meio não influenciaram na resposta do material, pois a partir deste potencial o material continuou passivo como visto na Figura 47.

O potencial de circuito aberto foi de $-0,17V_{ECS}$, que encontra-se na região de estabilidade da solução.

A análise por microscopia óptica confirma a formação de um filme protetor na prata em solução de $[NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L]$ em $pH=5,0$. (Figura 48)

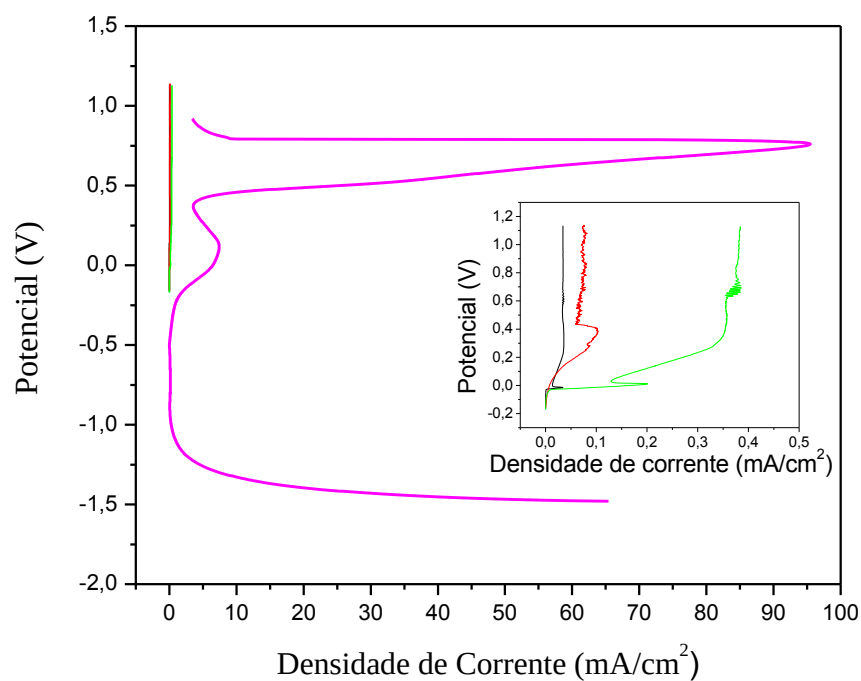


Figura 47- Curva redox da solução [NaF12g/L+NaCl1175,5g/L], pH= 5,0.

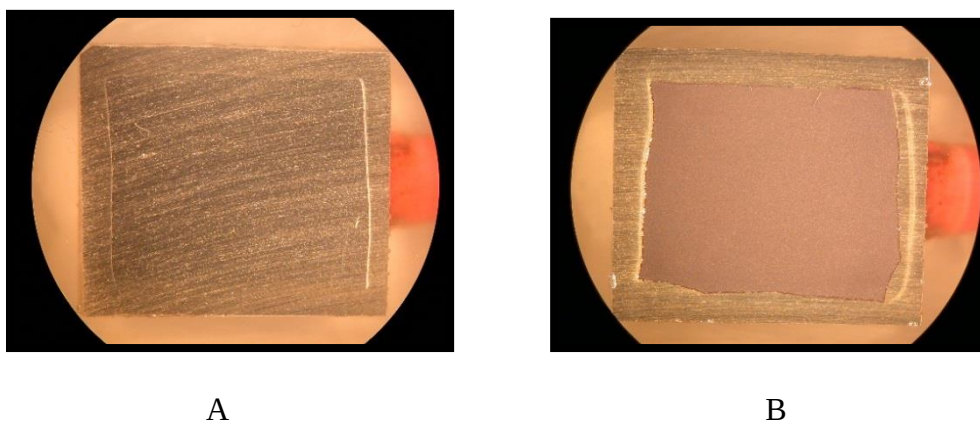


Figura 48- Análise por microscopia óptica do eletrodo plano de prata. (A) Antes do ensaio de polarização anódica; (B) Após o ensaio de polarização anódica.

De acordo com os resultados apresentados não seria possível dissolver a liga de prata na solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH=5,0, devido à formação de um filme o que pode ter impedido a dissolução ativa da prata.

De acordo com POURBAIX (1971), considerando-se critérios de estabilidade termodinâmica, a prata só se dissolve em presença de soluções ácidas. Porém, a escolha desta solução foi baseada em padronizar uma solução que fosse ideal para dissolver as diversas ligas metálicas que podem apresentar fragmentos intracanais. A dissolução das ligas pode ser confirmado neste estudo através da dissolução da liga de aço inoxidável e em estudos de ORMIGA et al. (2010) e ABOUD et al. (2012), onde também foram conseguidos resultados de dissolução favoráveis para as ligas de NiTi em soluções contendo fluoreto e cloreto.

Apesar dos resultados da curva de polarização terem indicado tendência a passivação, foram realizados testes em diferentes potenciais e tempos para observar se o cone de prata sofreria dissolução anódica. Os ensaios subsequentes avaliaram esse poder de dissolução.

6.5. Ensaios de perda de massa referente a cones de prata # 30 na solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L]; pH= 5,0 nos potenciais de +0,5V_{ECS}, +0,75 V_{ECS} e 1,5 V_{ECS}.

A solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 foi utilizada para polarização dos cones de prata #30 nos potenciais de +0,5V_{ECS}, 0,75V_{ECS} e 1,5V_{ECS}. Os potenciais de escolha no presente estudo foram baseados no diagrama de POURBAIX (1971) que pode ser observado na Figura 13.

A Figura 49 mostra o registro de corrente gerada durante a polarização de +0,5V_{ECS} do cone de prata #30 em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0 durante 71 minuto.

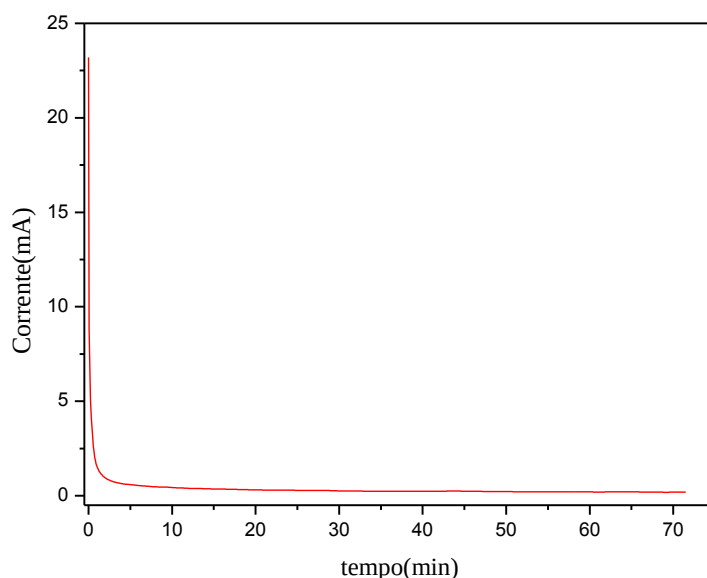


Figura 49- Corrente gerada durante a aplicação de um potencial de +0,5V_{ECS} a um cone de prata #30, em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L]; pH= 5,0.

Pode ser observado na Figura 49 que a corrente no início é alta, em torno de 23mA, e com o decorrer do tempo esta corrente cai acentuadamente para 0,6 mA no tempo de 3 minutos e se torna constante até o tempo de 71 minutos, indicando a formação de um filme na superfície do material impedindo a dissolução do cone de prata. O potencial de escolha de +0,5V_{ECS} foi escolhido, pois este foi o potencial selecionado no ensaio com o aço inoxidável que obteve um resultado satisfatório para a dissolução.

Pelas análises por microscopia eletrônica de varredura, microscopia óptica e por EDS, pode ser inferida a formação de cloreto de prata como produto da oxidação na

superfície do cone de prata no meio estudado. Esta substância se forma na superfície do material como observado nas Figuras 50, 51 e 52.

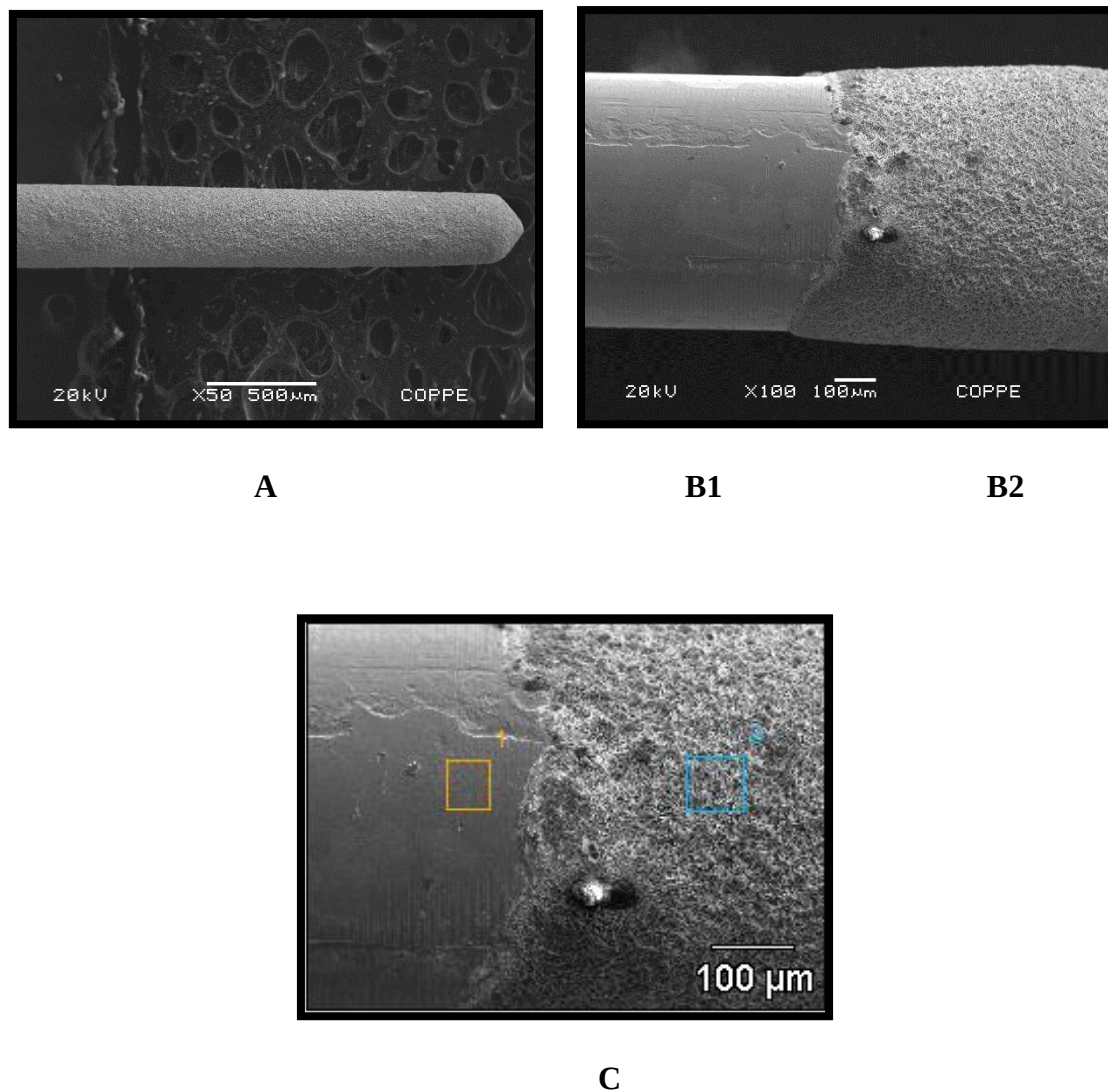
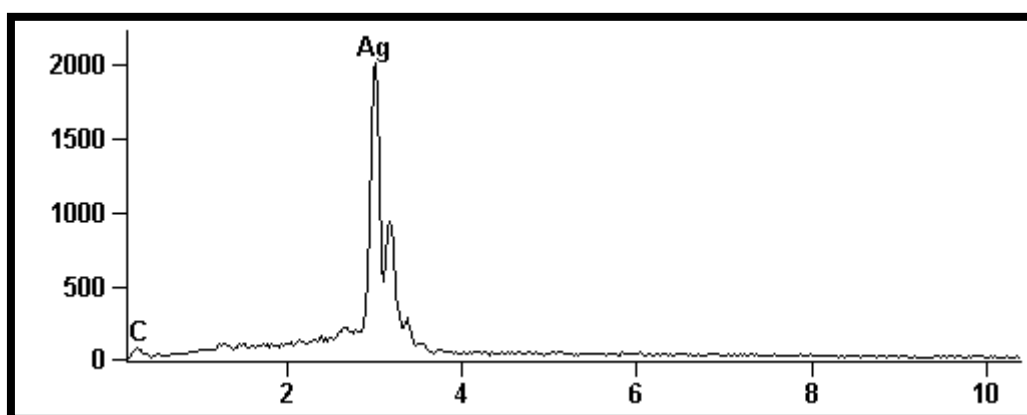
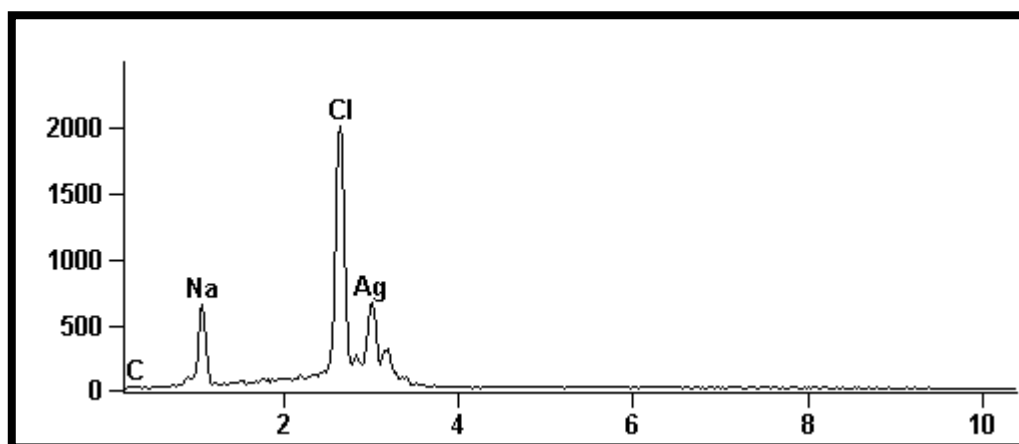


Figura 50 - Análise em microscopia eletrônica de varredura do cone de prata após a polarização anódica de 60 minutos em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0. (A) após a polarização anódica. (B) Aumento de 100X do cone de prata após polarização anódica mostrando duas partes do cone (B1) parte não exposta a solução. (B2) parte exposta a solução. (C) Aumento de 200x do cone de prata com marcações de dois pontos para análise das regiões por EDS.



Ponto 1



Ponto 2

Figura 51 – Análise por EDS do cone de prata após o ensaio de polarização anódica em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0. (Ponto 1) Área não exposta à solução; (Ponto 2) Área exposta à solução.

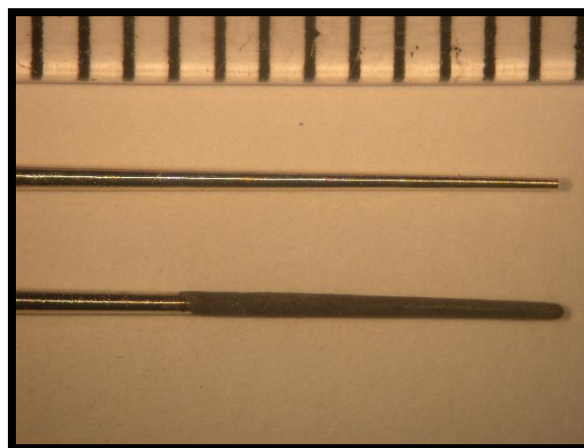


Figura 52 – Imagem dos cones de prata antes e após a polarização anódica de +0,5 V_{ECS} por 1 hora em solução aquosa de [NaF 12g/L + NaCl 175,5 g/L], pH = 5,0.

A Figura 53 mostra o registro de corrente gerada durante a polarização do cone de prata #30 em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0, ocorrido durante a aplicação constante de um potencial de +0,75V até um tempo máximo de 4320 minutos.

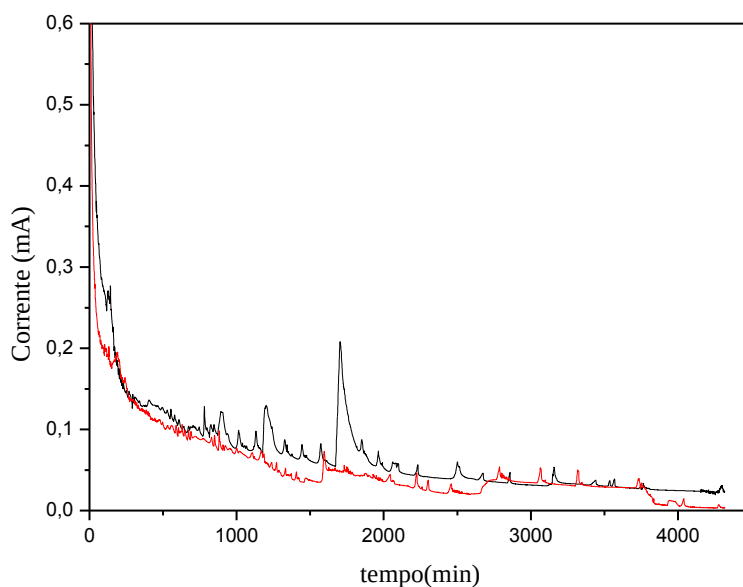
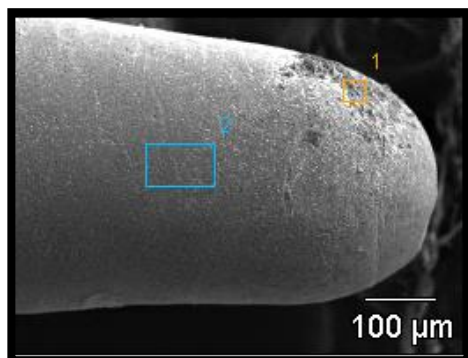


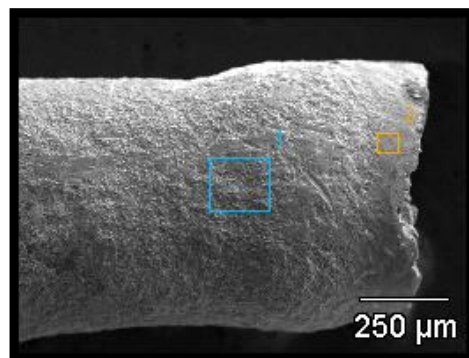
Figura 53- Corrente gerada durante a aplicação de um potencial de +0,75V a um cone de prata #30, em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0.

Os resultados mostram que a corrente no início também é alta, em torno de 0,5 mA, e com o decorrer do tempo esta corrente cai acentuadamente para 0,1 mA no tempo de 611 minutos mantendo-se constante a partir de 2754 minutos até o tempo de 4320 minutos. Este resultado implica na formação de um filme na superfície do material impedindo a dissolução do cone de prata. Após este tempo o cone de prata foi retirado e lavado com água destilada e logo em seguida o material fraturou devido a fragilidade. No entanto essa corrosão não foi suficiente para que o cone fosse dissolvido totalmente.

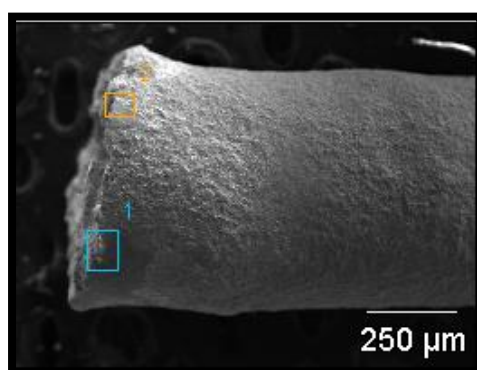
Pelas análises por microscopia eletrônica de varredura, análise por EDS e microscopia óptica representados nas Figuras 54, 55 e 56 pode ser observada a formação de cloreto de prata na superfície do cone de prata.



A



B



C

Figura 54 – Análise por microscopia eletrônica de varredura do cone #30 depois da aplicação de um potencial de +0,75V por 72 horas. (A) após a polarização por 72 horas. (B e C) fratura em duas partes da parte exposta a solução do cone.

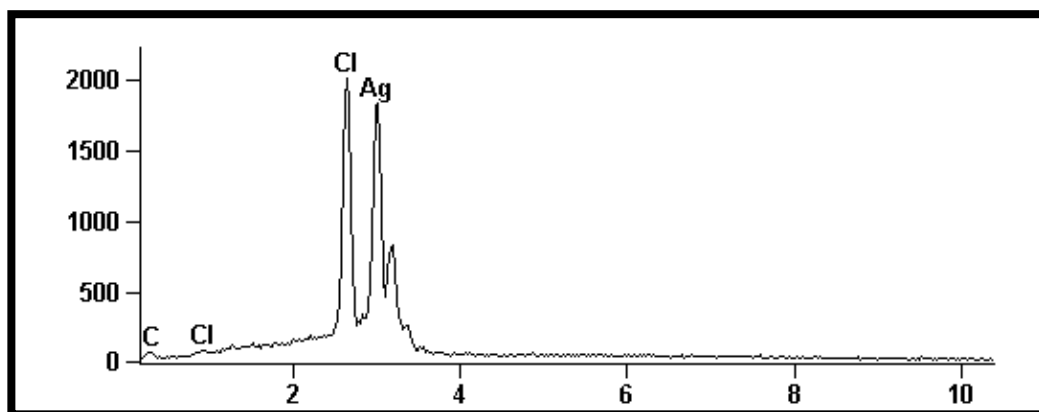


Figura 55 - Análise por EDS do cone de prata #30 mostrando a formação de cloreto de prata.

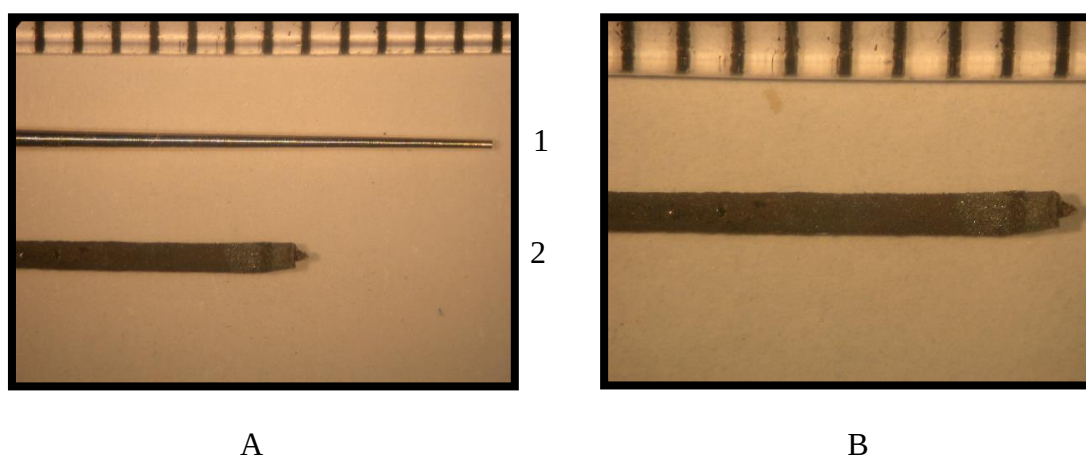


Figura 56 - Análise em Microscopia Óptica. (A) cone de prata antes(1) e depois (2) da polarização anódica. (B) cone após a polarização mostrando a fratura e a formação de cloreto de prata.

Como visto em microscopia eletrônica de varredura, a porosidade do cone de prata após ser submetido a polarização anódica, pode ser a causa de sua fratura após 72 horas. Diante

desse resultado é possível concluir que na solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5 g/L], pH=5,0 no potencial de 0,75V e durante o tempo de 72 horas o cone de prata se tornou frágil o que poderia favorecer a ultrapassagem com uma lima de aço inoxidável (#08; #10) pelo cone, já que o cone encontra-se mais macio podendo ser removido pelo método utilizando uma lima endodôntica.

No entanto, o tempo de 72 horas torna este método de dissolução ativa inviável, uma vez que numa situação real na clínica duraria 3 dias para remoção do cone de prata. Desta forma, os ensaios com este material e esta solução não foram realizados em canais simulados, nos quais o tempo de dissolução tenderia a ser ainda maior.

A Figura 57 apresentou comportamento semelhante ao da Figura 49 quando submetido as mesmas condições. Nessa condição de potencial +1,5 V_{ECS}, assim como na condição do potencial de +0,5V_{ECS}, não foi possível dissolver completamente o cone de prata.

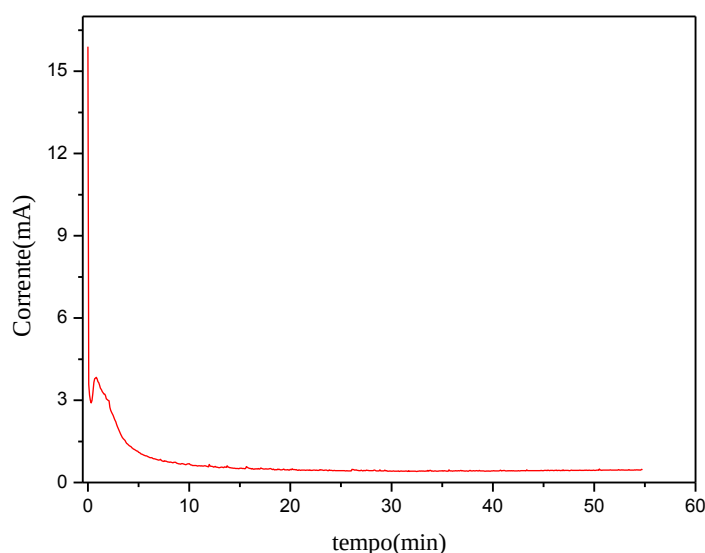


Figura 57- Corrente gerada durante a aplicação de um potencial de +1,5V a um cone de prata #30, em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L]; pH= 5,0.

A Tabela 5 mostra os valores médios de perda de massa, perda de comprimento dos cones e também os valores de carga elétrica total gerada em cada ensaio. Os valores de perda de massa e comprimento mostram que não houve dissolução significativa do cone.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de variação de massa realizados com aplicação de diferentes potenciais (+0,5V, +1,5V e +0,75V) ao cone de prata #30 em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L], pH= 5,0, mostrando os valores iniciais e finais de massa, comprimento e carga elétrica.

Material/ Potencial(V _{ECS})/ Tempo (min)	Cone de prata 0,5V/ 60 minutos	Cone de prata 1,5V/ 55	Cone de prata 0,75V/ 72h
Massa inicial(g)	0,1106	0,0771	0,0773
Massa final(g)	0,1105	0,0780	0,0810
Perda de massa (g)	- 0,0001	- 0,0009	- 0,0037
Comprimento inicial (mm)	28	30	30
Comprimento final (mm)	28	30	30
Carga Elétrica (C)	1,53	2,21	19,62

Pode ser observado que houve um ganho de massa dos cones nos potenciais $1,5V_{ECS}$ e $0,75V_{ECS}$, o que está provavelmente relacionado à formação de cloreto de prata como produto da oxidação.

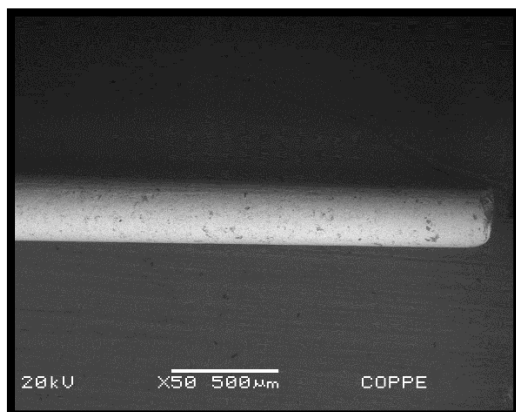
Foi feita a conversão dos dados obtidos através da referência de calomelano saturado para eletrodo de hidrogênio somando o valor de 242 mV para todos os potenciais utilizados no ensaio, pois de acordo com o diagrama de POURBAIX (1971) da prata representado na Figura 13, o valor de potencial é dado pela referência de eletrodo de hidrogênio, sendo que neste estudo o eletrodo usado como referência foi o calomelano saturado. Os valores de potenciais utilizados quando feito a conversão foram $+0,7V_H$; $+0,9V_H$; $+1,7V_H$.

De acordo com o diagrama de POURBAIX (1971) da prata, referente ao potencial de $0,7V_H$, foi observado que nestas condições de ensaio, ou seja, este potencial e $pH=5,0$, promovem condições para que a corrosão do material aconteça, o que foi indicado pela sua dissolução. Porém, neste potencial não foi observado a dissolução do cone de prata, que pode estar associado a formação de cloreto de prata. No potencial de $0,9V_H$ com mesmo valor de pH , o diagrama também indica a possível dissolução do material. Porém, neste potencial também não foi observado a dissolução total do cone de prata, mas neste caso, o material apresentou-se poroso e fraturou posteriormente. Na condição de mesmo pH mas com potencial de $+1,7 V_H$ o diagrama indica que não houve dissolução do material, como pode ser observado nos resultados.

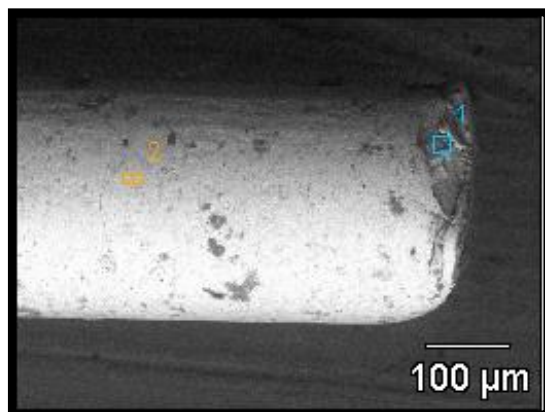
Na odontologia, por muitos anos foi utilizado o cone de prata como material obturador para canais radiculares. No entanto, a utilização deste material tem sido correlacionada com selamentos apicais inadequados que permitem a micro-infiltração e corrosão do material. Logo, a utilização do cone de prata está diretamente relacionada com casos de falhas no tratamento endodôntico, o que requer a remoção do cone de prata

para posterior retratamento dos canais. Com intuito de analisar a composição e o processo de dissolução foram feitos testes em cones de prata usados antigamente (Odontologia Americana LTDA- Cones de prata da marca Odame) e cones de prata fabricados atualmente (Henry Schein – Melville, NY 11747 USA) apesar desses cones não serem mais utilizados.

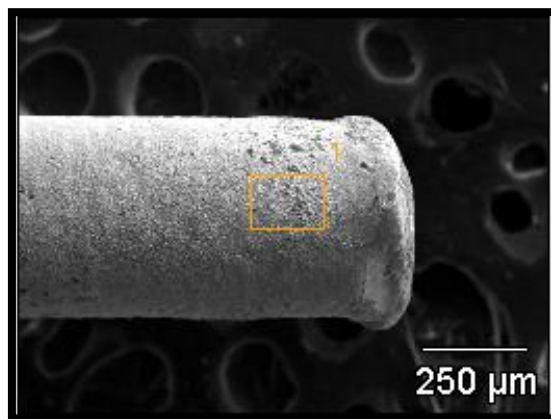
Com a finalidade de saber se esses cones apresentavam os mesmos elementos químicos na composição, foi realizado a análise por EDS que pode ser observado na Figura 59 A e B. Além disso, foi feito a polarização do cone da marca Odame para comparar com o cone da marca Henry Schein, com a intenção de constatar se o mesmo processo ocorreria em ambos. Os resultados estão indicados na Figura 59 C e D.



A



B



C

Figura 58 – Análise por microscopia eletrônica de varredura do cone de prata Odame (Odontologia Americana LTDA -Cones de prata calibrados). (A) cone de prata novo antes da polarização (B) cone de prata antes da polarização de +0,5V_{ECS} durante 1 hora em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5 g/L], pH= 5,0 (200X). (C) cone de prata após a polarização mostrando a formação de cloreto de prata.

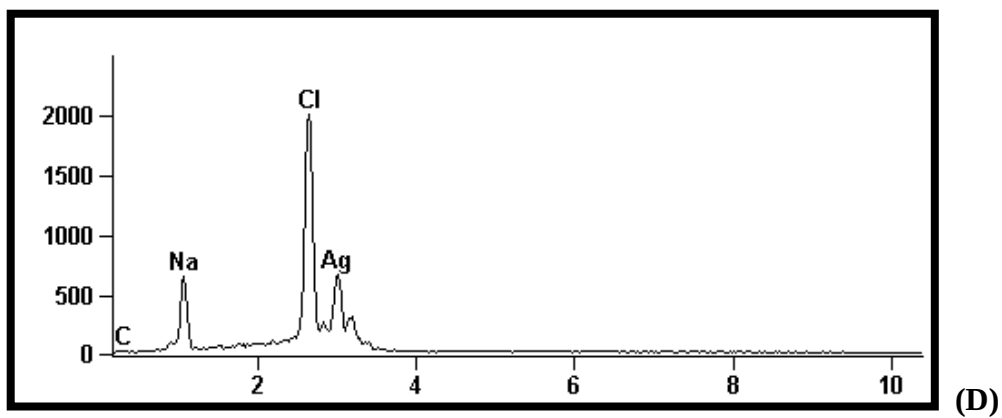
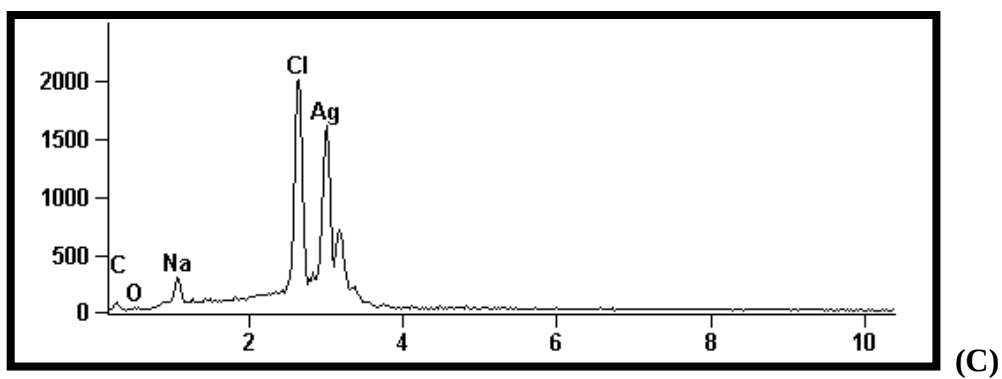
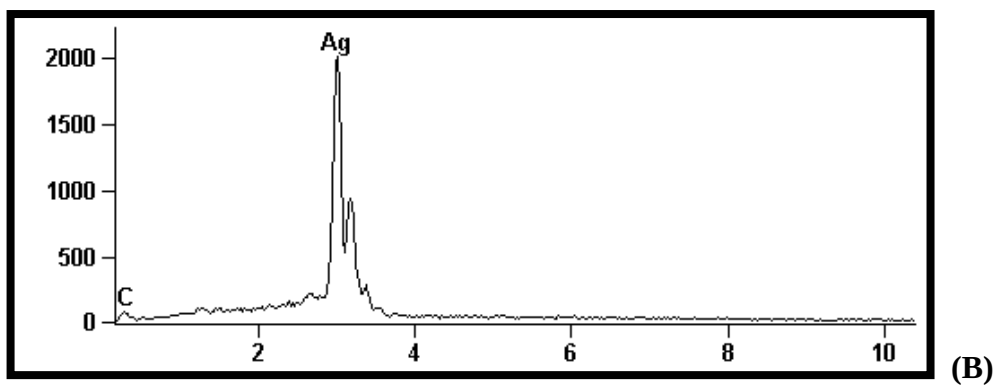
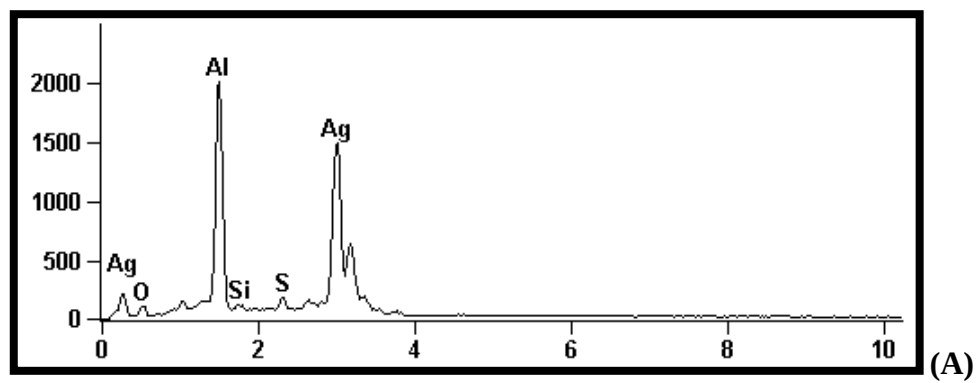


Figura 59 – Análise por EDS do cone de prata. (A – cone antigo e B- cone novo) antes da polarização. (C- cone antigo e D- cone novo) depois da polarização.

Diante dos resultados pode ser confirmado por EDS que ambos os cones apresentam composição química similar e que em contato com a solução testada ambos formaram cloreto de prata na superfície. Cabe salientar que o elemento químico Al apresentado na Figura 59 A é referente a base das amostras durante a análise por EDS.

6.6- Curvas de Polarização Anódica do Eletrodo Plano de Prata na solução de EDTA, pH= 7,4 e Curvas Redox desta solução

A escolha desta solução como mais uma tentativa de dissolução, foi baseada na literatura, uma vez que esta solução é empregada no tratamento endodôntico no final da instrumentação dos canais radiculares para remoção de smear layer ajudando na desinfecção destes.

A Figura 60 mostra a Curva Redox da solução EDTA 17%, pH= 7,4 e as Curvas de Polarização Anódica realizadas em triplicata do eletrodo plano de prata.

Houve um aumento de corrente partindo de valores de $0,2 \text{ mA/cm}^2$ e valores de potencial entre $+0,1V_{ECS}$ e $+0,2V_{ECS}$ indicando dissolução ativa deste a partir deste valor.

A Curva Redox indica uma densidade de corrente de $0,15 \text{ mA/cm}^2$ até o potencial de aproximadamente $+0,5 V_{ECS}$ e a partir deste ponto sofre um aumento considerável. Isso indica que até este valor de potencial o meio continua estável sem sofrer processos oxidativos. A partir deste valor a solução se alteraria ocorrendo reações de oxidação. Pode ser observado, através desta curva redox, que os níveis de corrente são altos mesmo em potenciais que indicam estabilidade a solução, o que indica que a corrente está relacionada com a dissolução do material.

Pela análise gráfica ficou estabelecido o potencial de + 0,75V para aplicação nos ensaios subsequentes.

Através de microscopia óptica representada na Figura 61 pode ser observado a corrosão generalizada da prata em solução de EDTA 17% em pH= 7,4.

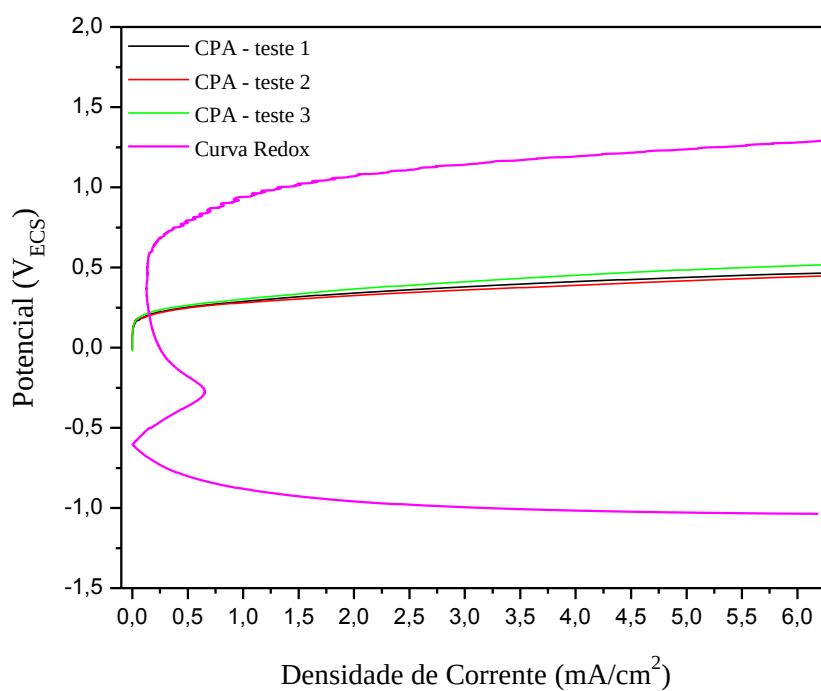
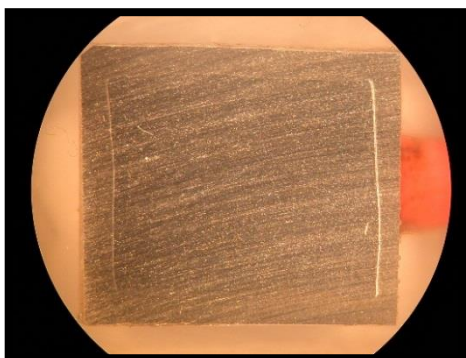
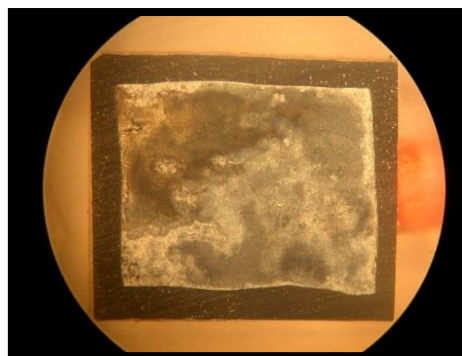


Figura 60- Curva de Polarização anódica do eletrodo de prata na solução de EDTA, pH+7,4 e Curva Redox desta solução



A



B

Figura 61- Análise por microscopia óptica do eletrodo plano de prata (A) antes do ensaio de polarização anódica e (B) após o ensaio de polarização anódica.

6.6.1- Ensaios de perda de massa referente a cones de prata # 30, na solução de EDTA, pH=7,4.

A Figura 62 mostra o registro de corrente durante a triplicata da polarização de $+0,75V_{ECS}$ do cone de prata em solução de EDTA 17%, pH= 7,4 por 1080 minutos.

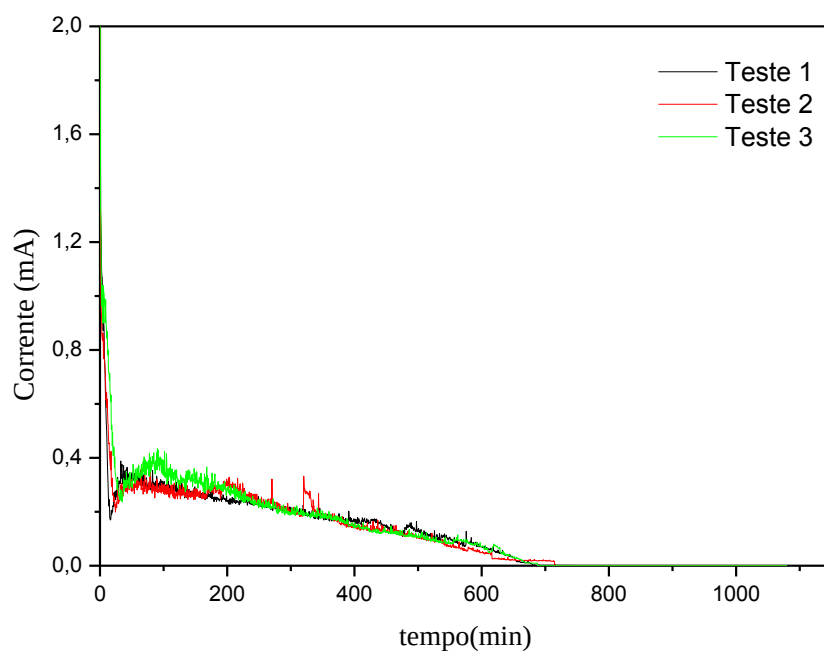


Figura 62 - Corrente gerada durante a aplicação de um potencial de +0,75V o cone de prata #30, em solução de EDTA 17%, pH= 7,4.

Pode ser observado que a corrente no início é alta em torno de 2 mA e com o decorrer do tempo esta corrente cai acentuadamente. A partir do tempo de 678 minutos, permanece constante até 1080 minutos, indicando a dissolução ativa do cone de prata em 11 horas.

A Tabela 6 mostra os valores médios de perda de massa, perda de comprimento dos cones e também os valores de carga elétrica totais geradas em cada ensaio. Os valores de perda de massa e comprimento mostram que houve a dissolução total da parte do cone imersa na solução (6mm) após 11h.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios de perda de massa realizados com aplicação de um potencial +0,75V a cones de prata #30 em solução de EDTA; pH= 7,4, mostrando os valores iniciais e finais de massa, comprimento e carga elétrica

Material	Cone de prata (1)	Cone de prata (2)	Cone de prata (3)
Massa inicial(g)	0,0789	0,0791	0,0780
Massa final(g)	0,0702	0,0707	0,0701
Perda de massa (g)	0,0087	0,0084	0,0079
Comprimento inicial (mm)	30,5	30,5	30,5
Comprimento final (mm)	24,5	24,5	24,5
Carga Elétrica (C)	8.08	7,94	8.09

Pode ser observado a perda do comprimento de 6 mm do cone de prata imerso na solução. Este resultado mostrou a dissolução total do cone de prata.

A análise em microscopia óptica representada na Figura 63, mostrou o consumo dos 6 mm do cone submetido à aplicação de +0,75 V_{ECS} em solução de EDTA 17%, pH=7,4, durante 11 horas.

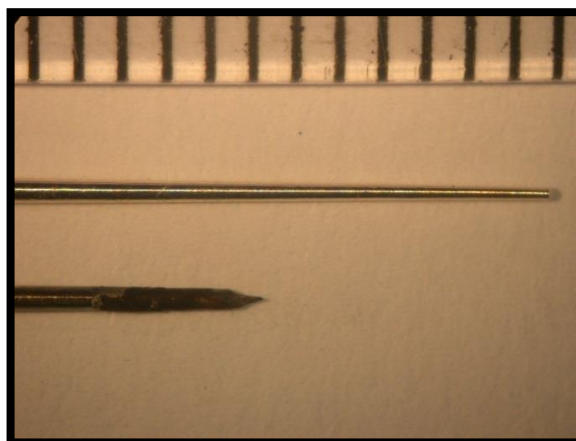


Figura 63 - Análise em Microscopia Óptica. (A) cone de prata antes da polarização anódica. (B) cone após a polarização anódica.

Conforme explicado anteriormente o potencial utilizado no estudo foi convertido de acordo com o diagrama de POURBAIX (1971) da prata.

O diagrama de POURBAIX (1971) da prata mostra que este valor de potencial e pH promovem condições termodinâmicas para que a corrosão deste metal aconteça, o que foi indicado pela dissolução do cone de prata como observado no estudo.

No entanto, esta solução não pode ser utilizada por um tempo longo, pois QUIAN *et al* (2011) mostraram que quando usada em tempo de 5 minutos já ocorre desmineralização e erosão da dentina causando a fragilização da estrutura dentinária podendo levar a fratura. No presente estudo, só pode ser observada a dissolução total do cone de prata em 11 horas, impossibilitando a utilização desta solução devido ao tempo excessivo. Diante disso, não foi cogitado passar para a próxima etapa que seria o cone de prata ancorado no interior do canal simulado mostrando como seria numa situação real na prática clínica.

6.7- Curvas de Polarização Anódica do Eletrodo Plano de Prata na solução de NaF 12g/L, pH= 5,0 e Curva Redox desta solução.

A solução de NaF 12g/L, pH= 5,0 foi escolhida como mais uma tentativa de dissolver o cone de prata dentro das condições desejáveis sem agressão à estrutura dentinária. Esta solução foi escolhida baseada na literatura, já que o flúor é bastante utilizado na odontologia como prevenção da cárie. O valor do pH= 5,0 foi escolhido pois neste valor não é observada agressão na dentina (CURY, 2001).

A Figura 64 mostra a Curva Redox da solução NaF 12g/L, pH= 5,0 e a Curva de Polarização Anódica realizada em triplicata do eletrodo plano de prata.

Houve um aumento de densidade corrente partindo de valores de $0,2 \text{ mA/cm}^2$ e valores de potencial entre $+0,3V_{ECS}$ e $+0,4V_{ECS}$ indicando dissolução ativa do material a partir deste valor.

A Curva Redox indica uma densidade de corrente de $0,4 \text{ mA/cm}^2$ até o potencial de aproximadamente $+1,05 V_{ECS}$. A partir deste ponto sofre um aumento considerável. Isso indica que até este valor de potencial o meio continua estável sem sofrer processos oxidativos. Para valores acima deste, a solução se alteraria sofrendo reações de oxidação. Pode ser observado através desta curva redox que o material já sofre dissolução ativa dentro da estabilidade da solução, o que indica a oxidação na prata sem ocorrências de oxidação da solução.

Pela análise gráfica ficou estabelecido o potencial de $+0,5V_{ECS}$ para aplicação nos ensaios subsequentes.

Através de microscopia óptica, representada na Figura 65, pode ser observada a corrosão generalizada da prata em solução de NaF 12g/L em pH= 5,0.

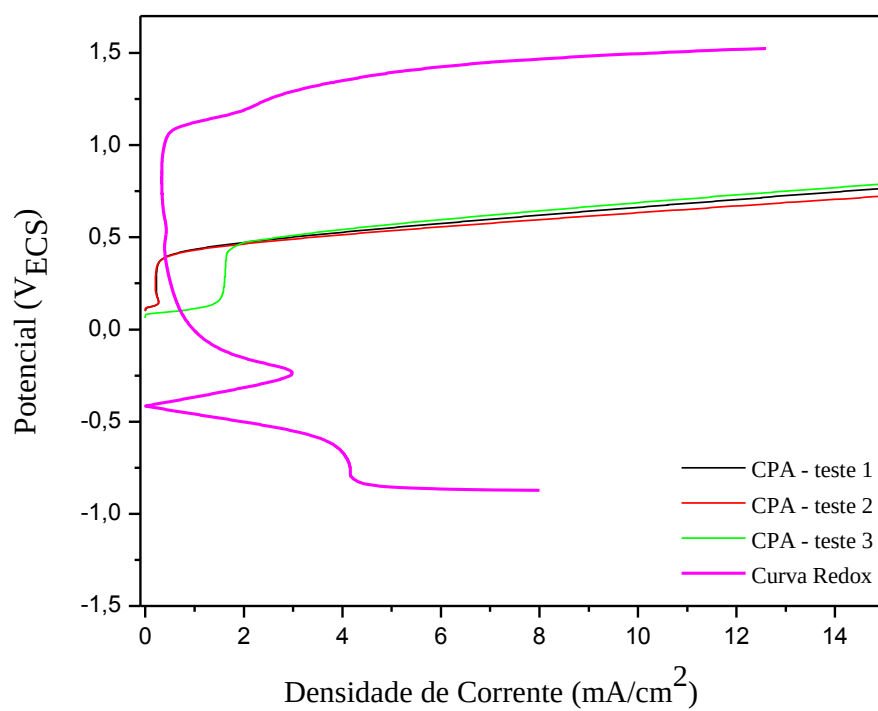
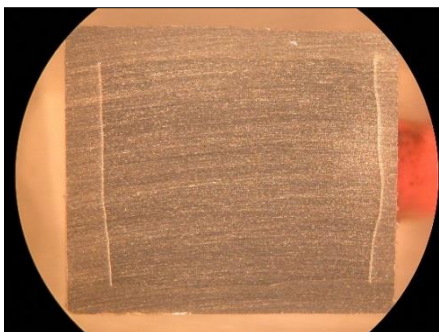
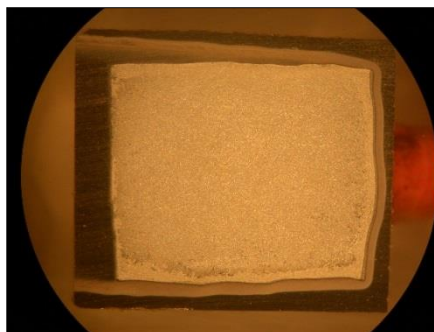


Figura 64 - Curvas de Polarização Anódica do eletrodo plano de prata na solução de NaF 12g/L, pH= 5,0 e Curva redox desta solução



A



B

Figura 65- Análise por microscopia óptica do eletrodo plano de prata. (A) antes do ensaio de polarização anódica, e (B) após o ensaio de polarização anódica.

6.7.1. Ensaio de perda de massa de cones de prata # 30 na solução de NaF 12g/L; pH= 5,0.

A Figura 66 mostra o registro da corrente gerada durante a triplicata da polarização de +0,5V_{ECS} do cone de prata em solução de NaF 12g/L, pH= 5,0 durante 1080 minutos.

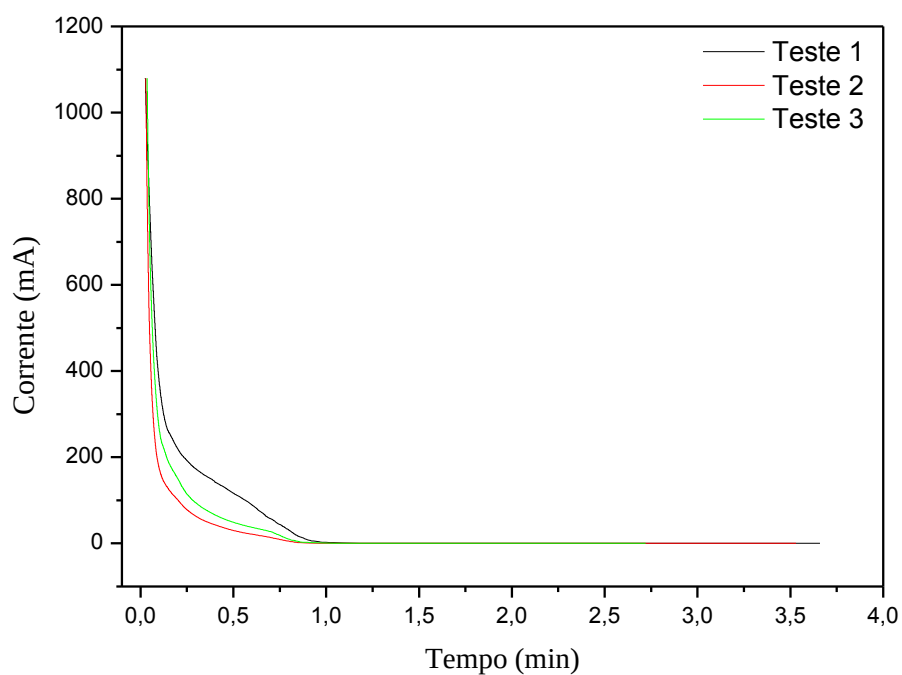


Figura 66 - Corrente gerada durante a aplicação de um potencial de +0,5V ao cone de prata #30, em solução de Na F 12g/L, pH= 5,0.

Pode ser observado que a corrente no início é alta, em torno de 1059 mA, e após 1 minuto de ensaio, esta corrente cai acentuadamente e se torna constante até o tempo de 4 minutos, indicando a dissolução ativa do cone de prata em 1 minuto.

A Tabela 7 mostra os valores médios de perda de massa, perda de comprimento dos cones e também os valores de carga elétrica totais geradas em cada ensaio. Os valores de perda de massa e comprimento mostram que houve a dissolução total da parte do cone imersa na solução.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de perda de massa realizados com aplicação de um potencial +0,5V a cones de prata #30 em solução de Na F12g/L, pH= 5,0.

Material	Cone de prata (1)	Cone de prata (2)	Cone de prata (3)
Massa inicial(g)	0,0785	0,0781	0,0770
Massa final(g)	0,0680	0,0677	0,0674
Perda de massa (g)	0,0105	0,0104	0,0096
Comprimento inicial (mm)	30	30	30,5
Comprimento final (mm)	23	23	23,5
Carga Elétrica (C)	8,08	7,94	7,62

Pode ser observado a perda do comprimento de 6 mm do cone de prata imerso na solução. Este resultado mostrou a dissolução total do cone de prata em solução de NaF 12g/L.

A análise em microscopia óptica, Figura 67, mostrou o consumo dos 6 mm do cone submetido a aplicação de +0,5 V_{ECS} em solução de Na F 12g/L, pH = 7,4, durante o tempo de 1 minuto.

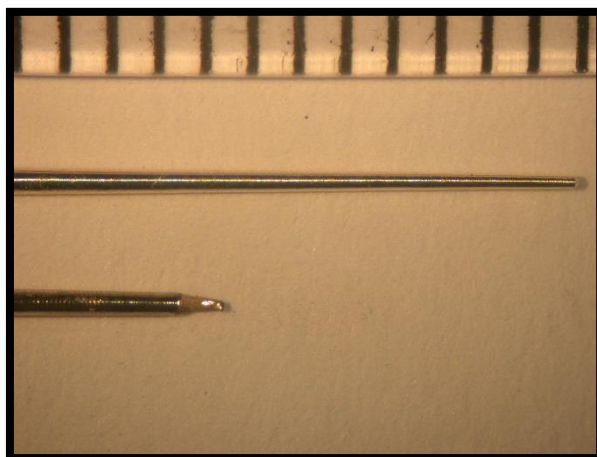


Figura 67 - Análise em Microscopia Óptica. (A) cone de prata antes da polarização anódica. (B) cone após a polarização anódica.

O potencial utilizado no estudo foi convertido de acordo com o diagrama de POURBAIX (1971) da prata conforme mencionado anteriormente.

O diagrama de POURBAIX (1971) da prata mostra que este valor de potencial e pH promovem condições termodinâmicas para que a corrosão do material aconteça, o que foi indicado pela dissolução do material como observado no estudo.

Logo que o ensaio é iniciado com os 6mm da ponta do cone de prata imersa na solução de NaF12g/L, pH=5,0 é observada a formação de uma cápsula envolvendo a superfície do cone de coloração lilás clara (macroscópico). Ao termino do ensaio essa capa foi capturada com uma pinça e lavada com água destilada para análise por microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e por EDS (Figuras 68, 69 e 70).



Figura 68 - Análise em Microscopia Óptica da cápsula formada na superfície do cone de prata durante a polarização anódica.

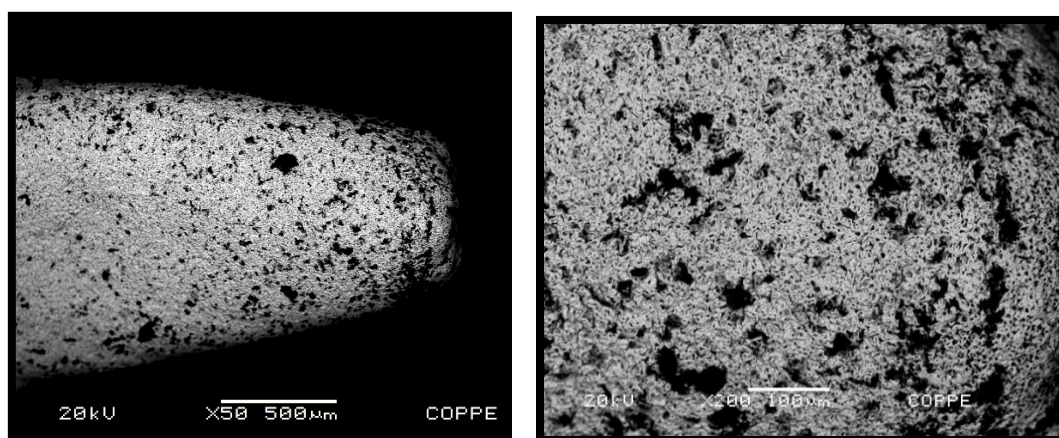
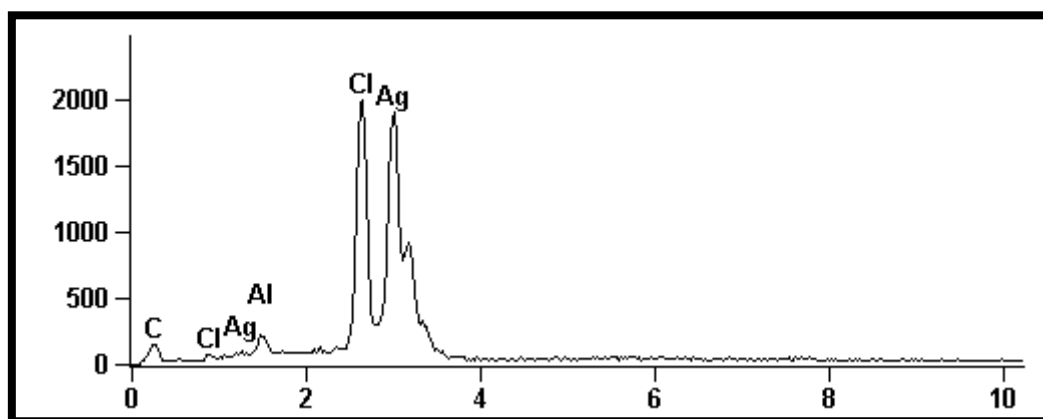
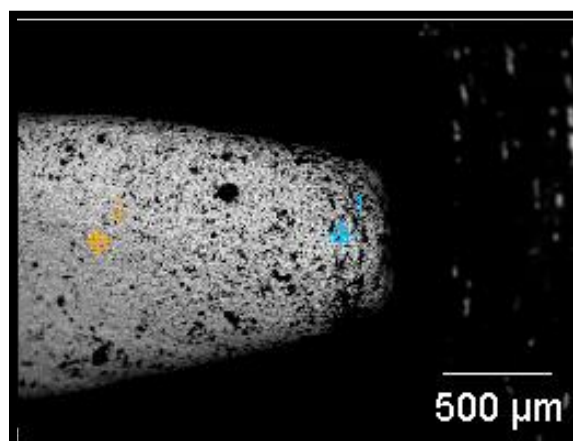
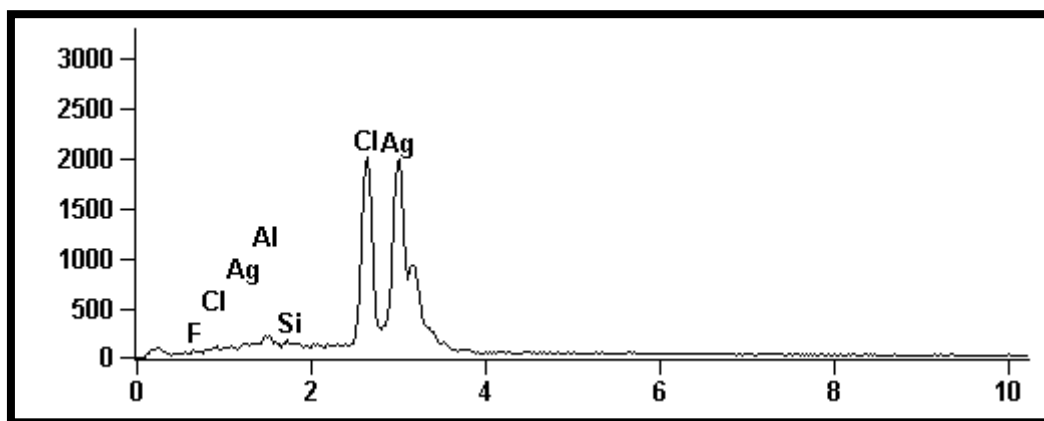


Figura 69 - Análise em microscopia eletrônica de varredura da cápsula formada na superfície do cone de prata durante a polarização anódica.

Pode ser observado através de microscopia eletrônica de varredura o aspecto de coloração não uniforme da cápsula que foi formado na superfície do cone de prata.



Ponto 1



Ponto 2

Figura 70 – Análise por EDS da capa formada na superfície do cone de prata em 2 pontos.

Pode ser observado através do EDS que a composição da cápsula formada na superfície do material é cloreto de prata. A formação desta substância não condiz com o resultado esperado, pois a solução utilizada no estudo foi NaF 12g/L. A presença de cloreto seria então justificada por uma possível contaminação da solução pelo eletrodo de calomelano saturado, que contém KCl.

Diante de todos os resultados descritos da prata em três soluções, podemos observar que em solução de [NaF 12g/L +NaCl 175,5g/L], pH= 5,0, não houve a dissolução do cone de prata. Na solução de EDTA 17%, pH= 7,4 pode ser observada a dissolução total do cone de prata em 11 horas, porém esta solução não pode ser utilizado por mais de 5 minutos pois já provoca erosão na dentina, por isso foi descartado a sua utilização no estudo. Na solução de NaF 12 g/L, pH=5,0 pode ser observado a dissolução total do cone de prata em 1 minuto. Quando comparada com as outras soluções testadas, a solução de NaF 12g/L foi a que proporcionou o melhor resultado de dissolução com

relação ao tempo. No entanto, os ensaios em canais simulados são sugeridos para trabalhos futuros.

7- CONCLUSÕES

- 1- A liga de aço inoxidável sofre dissolução localizada em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L] em pH= 5,0. As polarizações de +0,5V_{ECS} de limas de aço inoxidável #20, #30 e #40, resultaram em um consumo progressivo das limas. Todos os fragmentos de limas #20 e #30 foram parcialmente dissolvidos, o que possibilitou sua ultrapassagem com uma lima manual K #10 e a recuperação do trajeto original do canal. Entretanto, os fragmentos de lima #40 não foram dissolvidos. Apenas 40% dos fragmentos de lima #20 polarizados no terço apical foram dissolvidos devido à dificuldade no manuseio e acesso.
- 2- A liga de prata não sofreu dissolução em solução de [NaF 12g/L + NaCl 175,5g/L] em pH= 5,0. A polarização de +0,5 V_{ECS} e de +1,5 V_{ECS} de cones de prata nesta solução resultou na formação de cloreto de prata, que impediu a dissolução completa do cone de prata. A polarização de +0,75 V_{ECS} de cones de prata por 72 horas nesta solução resultou na fratura do cone, que ficou poroso e frágil. No entanto, neste tempo fica inviável a utilização deste método de dissolução, uma vez que, numa situação real na clínica, duraria 3 dias para remoção deste cone.
- 3- A liga de prata sofre dissolução ativa em solução de EDTA 17% em pH= 7,4. A polarização de +0,75V do cone de prata, nesta solução resultou na dissolução total do cone de prata em 11 horas. No entanto, devido ao tempo

necessário para a dissolução, a solução de EDTA não pode ser utilizada clinicamente uma vez que levaria ao dano da estrutura dentinária.

- 4- A liga de prata sofre dissolução ativa em solução de NaF 12g/L em pH= 5,0. A polarização de +0,5V_{ECS} do cone de prata, resultou na dissolução total do cone de prata em 0,017 horas. Logo esta solução seria uma possível escolha para a dissolução de fragmentos de cone de prata.
- 5- O presente estudo demonstrou que o método de remoção investigado permitiu a dissolução parcial e ultrapassagem de fragmentos de limas fraturadas de aço inoxidável preservando a estrutura do canal simulado, deste modo a técnica de dissolução ativa empregada no estudo possui um grande potencial clínico para a remoção de limas endodônticas. No entanto, estudos complementares são necessários utilizando dentes humanos extraídos como modelo, além do desenvolvimento de um dispositivo com melhor condutividade para consolidar esta técnica para remoção de fragmentos de limas fraturadas na endodontia.

8- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A) Estudos complementares são necessários para aprimorar o método proposto, aperfeiçoamento da ponta de platina, e confecção de um dispositivo para a utilização clínica em pacientes.

B) A realização de experimentos com dentes humanos extraídos, mimetizando uma situação clínica real, é de extrema importância no sentido de consolidar o uso clínico desta técnica.

C) Testes adicionais em dentina descritos previamente por ORMIGA (2010) e ABOUD (2012) são necessários para avaliar a agressividade da solução na estrutura dentinária.

D) A avaliação da viabilidade da dissolução de cones de prata no interior de canais simulados deve ser considerada em estudos posteriores, pois os resultados mostraram que há uma possibilidade de dissolução em um tempo satisfatório.

9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUD L, 2012, “*Dissolução ativa de NiTi- Aplicação a processo de remoção de fragmentos de limas endodonticas rotatórias*”. Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

AGNES,A.G., 2009, “*Retratamento Endodôntico: uma revisão de literatura*”, Universidade Federal do Rio Grande do Sul- Porto Alegre, Brasil.

AHLQUIST M; HULTENBY K., 2001 “The effectiveness of manual and Rotary techniques in the cleaning of root canals: a scanning electron miscroscopy study”. *International Endodontic Journal*; v. 34, pp. 533-7.

AKCAY, I. AND B. H. SEN ,2012. "The effect of surfactant addition to EDTA on microhardness of root dentin." *Journal of Endodontics* , v.38, pp. 704-707.

AKISSUE, E., GAVANI, G.,2000.”Efeito das soluções de ácido citrico a 25% e de EDTA a 17% na dureza dentinaria”. *ECLER Endodontics*, v.2.

ANKRUM MT; TRUITT JE., 2004 “K3 Endo, ProTaper, and Profile systems: breakage and distortion in severely curved roots of molars”. *Journal of Endodontics*, v. 30, pp.234-7.

ALOMAIRY, K.H., 2009, “Evaluating two techniques on removal of fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals: an in vitro study”, *Journal of Endodontics*, v.35, pp. 559-562

BARATTO FILHO; SOUZA NETO MD., 2009, “ Influence of Pro Taper finishing files and sodium hypochlorite on cleaning and shaping of mandibular central incisors- histological analysis”. J. Appl Oral Sci., v.17, pp.229-33.

BARBOSA, F.O.G., 2010, “*Estudo da dissolução ativa de instrumentos endodônticos de NiTi em soluções de fluoreto de sódio*”. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

BLUM J.Y., COHEN A., MACHTOU P., MICALLEF J.P., 1999, "Analysis of forces developed during mechanical preparation of extracted teeth using ProFile NiTi rotary instruments.” *International Endodontics Journal*, v. 32, pp. 24 – 3.

CÂMARA AC; FIGUEIREDO JAP. 2008 “Evaluation of root dentine cutting effectiveness of the Hero 642. Hero Apical and Hero Schaper rotary system”. *Australian Endodontic Journal*.; v.34, pp. 94-100.

CANTISANO, W., PALHARES, W.R., SANTOS, H.J., 1987, *Anatomia Dental e Escultural*. 3 ed. Rio de Janeiro.

COHEN & HARGREAVES, 2007, *Caminhos da polpa*, 9 ed., Rio de Janeiro, Editora – Elsevier.

CONCEIÇÃO, E., 2007, *Dentística Saúde e Estética*, 2 ed. Porto Alegre ,Rio grande do Sul, Brasil, Editora – Artmed

COUTINHO FILHO, T., KREBS, R.L., BERLINCK, T.C.A., GALINDO, R.G.S., 1998, “ Recuperação de um instrumento endodôntico quebrado usando adesivo de cianoacrilato: Relato de caso”, *Brazilian Dental Journal*, v.9, pp.57-60.

CRUZ FILHO AM., 1998, "Avaliação da ação dos quelantes EDTAC, CDTA e EGTA sobre a microdureza da dentina radicular." Tese M. Sc, São Paulo, Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, Brazil

CURY JA, BRAGATTO C, VALDRIGHI L., 1981, "The demineralizing efficiency of EDTA solutions on dentin I influence of pH.", *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, v. 52, pp. 446-8.

CURY, J.A., 2001, "Uso do Flúor e o Controle da Cárie como Doença". In: BARATIER L. N., et al., *Odontologia Restaurador - Fundamentos e Possibilidades*, 1 ed., São Paulo, Brasil, Editora - Santos.

ÇALT, S. AND A. SERPER, 2000, "Smear layer removal by EGTA." *Journal of Endodontics*, v. 26, pp. 459-461.

ÇALT, S. AND A. SERPER, 2002. "Time-dependent effects of EDTA on dentin structures." *Journal of Endodontics*, v.28, pp. 17-19.

ÇALT, S. AND SERPER, A. 2002, "The demineralizing effects of EDTA at different concentrations and pH", *Journal of Endodontics*, v. 28 pp.501-2.

DARABARA, M., BOURITHIS, L., ZINELIS, S., et al., 2004, "Susceptibility to localized corrosion of stainless steel and NiTi endodontic instruments in irrigating solutions", *International Endodontic Journal*, v.37, pp.705-710.

DE DEUS, Q.D., 1992, *Endodontia*, 5ª. Edição, Rio de Janeiro.

ELEAZER, P.D., O'CONNOR, R.P., 1999, "Innovative uses for hypodermic needles in endodontics", *Journal of Endodontics*, v. 25, pp. 190-191.

ESTRELA, C., et al. (2002). "Mechanism of action of sodium hypochlorite." *Brazilian Dental Journal*, v. 13, pp. 113-117.

FELDMAN, G., SOLOMON, C., NOTARO, P., 1974, "Retrieving broken endodontic instruments", *Journal of the American Dental Association*, v. 88, pp. 588-591.

FERREIRA, H.L.J.; GUIMARÃES, S.M.R., 2007, "Avaliação radiográfica de obturações de canais radiculares", *Rev. Odonto Ciênc.*, v. 22, n. 58, pp. 340-345.

FORS, U.G.H., BERG, J.O., 1983, "A method for the removal of broken endodontic instruments from root canals", *Journal of Endodontics*, v. 9, pp. 156-159.

GENTIL, V., 2003, *Corrosão*. 3 ed. Rio de Janeiro, Brasil, Guanabara Koogan.

GIULIANI,V; COCHETTI,R; PAGAVINO,G., 2008 "Efficacy of protaper universal retreatment files in removing filling materials during root canal retreatment". *Journal of Endodontics*, Baltimore, v.34, n.11,p. 1381-1384.

GROSSMAN LI, MEINAM BW, 1941, "Solution of pulp tissue by chemical agents", *Journal of American Dental Association*, v.28, pp.223-225.

GULABIVALA K, PATEL B, EVANS G, NG Y-L, 2005, "Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces", *Endodontic Topics* v.10, pp.103-122.

GUTIERREZ, JH; VILLENA, F; GIGOUX, C; MUJICA, F., 1982 "Microscope and scanning electron microscope examination of silver points corrosion caused by

endodontic materials". *Journal of Endodontics*, v. 8, pp.301.

HEUER, M.A., 1976 "Instruments and materials." In: Cohen & Burns, R.c. Pathways of the Pulp. St. Louis. Mosby, pp.357-9.

HOLLAND R, SOUZA V, NERY MJ, MELO W., 1973 "Efeitos de diferentes preparados à base de EDTA na dentina dos canais radiculares. " *Revista Faculdade Odontologia Araçatuba*, v. 2, pp. 127-31.

HU, X., J. LING, et al., 2010. "Effects of irrigation solutions on dentin wettability and roughness." *Journal of Endodontics*, v. 36, pp. 1064-1067.

HÜLSMANN, M., 1993, "Methods for removing metal obstructions from the root canal", *Endodontics & Dental Traumatology*, v.9, pp. 223-237.

HÜLSMANN, M., 1994, "Removal of fractured instruments using a combined automated/ultrasonic technique", *Journal of Endodontics*, v. 20, pp. 144-146.

HULSMANN, M., SCHINKEL, I., 1999, "Influence of several factors on the success or failure of removal of fractured instruments from the root canal", *Endodontics & Dental Traumatology*, v.15, pp.252-258.

INGLE JI, BAKLAND LK. 1994, *Endodontics*. 4 ed. Philadelphia: Williams & Wilkins.

IQBAL, M.K., KOHLI, M.R., KIM, J.S., 2006a, "A retrospective clinical study of incidence of root canal instrument separation in an endodontics graduate program: a PennEndo database study", *Journal of Endodontics*, v. 32, pp. 1048-1052.

KAO, C., HUANG, T., 2010, "Variations in surface characteristics and corrosion behavior of metal brackets and wires in different electrolyte solutions", *The European Journal of Orthodontics*, v.1, pp.146.

KIM, H., JOHNSON, J.W., 1999, "A corrosão de fios ortodônticos revestidos de aço inox e NiTi ", *Ângulo de Ortodontia*, v.69, pp.39-44.

KONDO, M., NAKASAGA, T., ET AL., 2010, "Corrosion of reduced activation ferritic martensitic steel JLF-1 in purified Flinak at static and flowing conditions", *Fusion Engineering and Design*, v. 85, n.7-9, pp. 1430-1436.

KRELL, K.V., FULLER, M.W., SCOTT, G., 1984, "The conservative retrieval of silver cones in difficult cases", *Journal of Endodontics*, v. 10, pp. 269-273.

LEÃO, E.R.C. , 2008 , "Síntese e Estudo Do Comportamento De Aços Inoxidáveis Austeníticos E Austeno-Ferríticos Em Sistemas De Resfriamento Industrial Com Elevado Ciclo De Concentração." Tese de D. Sc, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brazil.

LEE, T. H., T. K. HUANG, et al.,2010, "Corrosion resistance of different nickel-titanium archwires in acidic fluoride-containing artificial saliva." *Angle Orthodontic* , v. 80, pp. 547-553.

LEONARDO, M.R., LEAL, J.M., 1998, *Endodontia, tratamento de canais radiculares*, 3ª Ed., São Paulo, Editorial Medica Panamericana.

LI, X., J. WANG, et al. ,2007, "Influence of fluoride and chloride on corrosion behavior of NiTi orthodontic wires." *Acta Biomaterials*, v. 3, pp. 807-815.

LOPES, H.P., 1994, "Corrosão em limas endodônticas de aço inoxidável", *Revista Brasileira de Odontologia*, v.51, pp.26-28.

LOPES, H.P., SIQUEIRA, J.F., 1999, *Endodontia - Biologia e Técnica*, 1 ed. Rio de Janeiro, Brasil, Editora Medsi – Editora Guanabara Koogan.

LOPES HP, ELIAS CN., 2001 “Fraturas das limas endodônticas de NiTi.” *Fundamentos teóricos e práticos. RBO*, v.58, pp.406-9.

LOPES H.P., ELIAS C.N., SIQUEIRA JUNIOR J.F., 2002,” Defeitos do processo de fabricação de instrumentos endodônticos tipo K.” *Revista Paulista de Odontologia*, v. 24, pp. 4-7

LOPES, H.P; SIQUEIRA, JR., 2004 *Endodontia: Biologia e Técnica*, 2 ed. Rio de Janeiro, Editora Medsi – Guanabara Koogan.

LOPES, H.P; SIQUEIRA, JR., 2010 *Endodontia: Biologia e Técnica*, 3 ed. Rio de Janeiro, Editora Medsi – Guanabara Koogan.

MADARATI, A.A., WATTS,D.C., QUALTROUGH,A.J.E., et al., 2008b, “Opinions and attitudes of endodontists and general dental practioners in the UK towards the intracanal fracture of endodontic instruments. Part 2”, *International Endodontic Journal*, v.41, pp.1079-1087.

MAI, S., Y. K. KIM, ET AL. (2010). "Differential aggressiveness of ethylenediamine tetraacetic acid in causing canal wall erosion in the presence of sodium hypochlorite." *Journal Dental* , v.38, pp. 201-206.

MALVAR, M., S. SILVA ALBERARIA, et al. ,2009, "Estudo da Ação do EDTA sobre a camada residual no tempo de 1 e 3 minutos." *Pesuisa Brasileira Odontopediatria Clinica Integrada*, v.9, pp. 367-372.

MARSHALL,G.W., INAI, N., MAGIDI, C.W., 1997, “Dentin demineralization: Effects of dentin depth, pH and different acids”, *Dental Materials*, v.13, pp.338-343.

MASSERANN, J., 1971, “Translation of Entfernen metallischer fragmente aus wurzelkanälen, by Jean Masserann, which describes a technique for the removal of metallic fragments which remain lodged in root canals”, *Journal of the British Endodontic Society*, v. 5, pp. 55-59.

MARENDING, M., F. PAQUE, ET AL. (2007). "Impact of irrigant sequence on mechanical properties of human root dentin." *Journal of Endodontics*, v. 33, pp.1325-1328.

MARTINS,C.,PAIVA,M.,LIMA/ARSATI,B., et al., 2008, “Prospective Study of the Association between Fluoride Intake and Dental Fluorosis in Permanent Teeth”, *Caries Research*,v.42, pp.125/133.

MASAHIRO, I., et al., 2010, “Corrosão de ions de NiTi implantados em fios ortodônticos em soluções de enxaguatório bucal com fluoreto.”, *Jornal Materiais Dentários*, v.29, pp.53-58.

MCCOMB D, SMITH D, 1975, “A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures”, *Journal of Endodontics*, v.1, pp. 238-42.

MC DONALD, N., 1992, “The electronic determination of working length.” *Dental Clinics of North America*, v.16, pp. 293-307.

MELLO JR, J.E., KHERLAKIAN,D.,2010, “Reintervenção endodôntica: Remoção de fragmentos metálicos do interior do canal radícula”, *APCD Saúde*, v.27, pp. 11-12.

MENEZES,L. M., LIMA,E. M. S., RIZZATTO,S. M. D., *et al.*, 2006. “Avaliação da superfície de braquetes de titânio após a aplicação de fluoreto de sódio”, *Revista de Odontologia da Universidade Cidade de São Paulo*, v.11, pp. 93-103.

MOHAMMADI Z, ABBOT PV, 2009, “The properties and applications of chlorhexidine in endodontics”, *International Endodontic Journal*, v.42, pp. 288-302.

NAGAI, O., TANI, N., KAYABA, Y., *et al.*, 1986, “Ultrasonic removal of broken instruments in root canals”, *International Endodontic Journal*, v. 19, pp. 298-304.

NETTO,H.V.C., 2009, “*Influência da temperatura de ensaio e de tratamento térmico na resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis austeníticos AISI 304 e AISI 316.*” Projeto de graduação, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil.

OKIJI, T., 2003, “Modified usage of the Masserann kit for removing intracanal broken instruments, *Journal of Endodontics*, v. 29, pp. 466-467.

ORMIGA, F., J. A. DA CUNHA PONCIANO GOMES, *et al.* 2010, "Dissolution of nickel-titanium endodontic files via an electrochemical process: a new concept for future retrieval of fractured files in root canals." *Journal of Endodontics*, v. 36, pp. 717-720.

ORMIGA, F., J. A. DA CUNHA PONCIANO GOMES, *et al.* 2011, "An initial investigation of the electrochemical dissolution of fragments of nickel-titanium endodontic files." *Journal of Endodontics*, v.37, pp. 526-530.

OSTBY N, 1957, “Chelating in root canal therapy. Ethylenediamine tetra-acetic acid for cleaning and widening of root canals”, *Odontologie Tidskrift*, v.65, pp.3-11.

OTOBONI FILHO, J.A., et al.,2006, “Avaliação da preparação do canal com sistema derotação alternada e diferentes limas de aço inoxidável”, *Revista de Odontologia da Universidade de São Paulo*, v. 18, n.3, pp.251-256.

OZDEMIR, H. O., H. D. BUZOGLU, et al. ,2010. "Effect of ethylenediaminetetraacetic acid and sodium hypochlorite irrigation on *Enterococcus faecalis* biofilm colonization in young and old human root canal dentin: in vitro study." *Journal of Endodontics*, v. 36, pp. 842-846.

PHILLIPS, 2005, *Materiais Dentários*. 11 ed. Rio de Janeiro, Brasil, Elsevier

PRADO M, 2009, “Ação das soluções irrigadoras na superfície dentinária e de materiais obturadores”, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PRUETT, J.P., CLEMENT, D.J., CARNES, D.L., 1997, “Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments”, *Journal of Endodontics*, v. 23, pp. 77-85.

PIRES, L.B., ALBERGARIA, S.J., FAGUNDES TOMAZINHO, F.S., TOMAZINHO, L.F., 2009, “Avaliação radiográfica do desvio apical de canais radiculares curvos após o emprego da instrumentação manual e rotatória”, *RSBO*, v.6, pp.279-285.

POURBAIX, M., 1974, *Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions*, 2 ed. Houston, Texas, USA, CEBELCOR.

QIAN, W., Y. SHEN, et al., 2011. "Quantitative analysis of the effect of irrigant solution sequences on dentin erosion." *Journal of Endodontics*, v.37, pp. 1437-1441.

RAHIMI, M., PARASHOS, P., 2009, "A novel technique for the removal of fractured instruments in the apical third of curved root canals", *International Endodontic Journal*, v. 42, pp. 264-270.

RODRIGUEZ-LOZANO, F. J., C. L. INSAUSTI, et al. ,2012. "Mesenchymal dental stem cells in regenerative dentistry." *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* , v. 17, pp,1062-1067.

ROIG-GREENE, J., 1983, "The retrieval of foreign objects from root canals: a simple aid", *Journal of Endodontics*, v. 9, pp. 394-397.

RONDELLI, G., VICENTINI, B., 1999, "Localized corrosion behaviour in simulated human body fluids of commercial NiTi orthodontic wires", *Biomaterials*, v.20, pp.785-792.

ROYAL MJ, WILLIAMSON AE, DRAKE DR, 2007,"Comparison of 5,25% sodium hypochlorite, MTAD and 2% chlorhexidine in the rapid disinfection of polycaprolactone based root canal filling material", *Journal of Endodontics*, v.33, pp.42- 44.

RUDDLE, C.J., 1997, "Micro-endodontic nonsurgical retreatment", *Dental Clinics of North America*, v. 41, pp. 429-454.

RUDDLE, C.J., 2004, "Nonsurgical retreatment", *Journal of Endodontics*, v. 30, pp. 827-845.

RUTALA, W. A. ,1996. "APIC guideline for selection and use of disinfectants. 1994, 1995, and 1996 APIC Guidelines Committee. Association for Professionals in Infection Control and Epidemiology, Inc." *American Journal Infect Control* , v.24, pp. 313-342.

SAUNDERS, J.G.C., MCINTYRE, J.M., 2005 “The ability of 1.23% acidulated phosphate fluoride gel to inhibit simulated endogenous erosion in tooth roots”, *Australian Dental Journal*, v.50, pp. 263-266.

SCHNEIDER, S.W., TEXAS, A., 1971, “A comparison of canal preparation in straight and curved canals”, *Oral Surgery*, v. 32, pp. 271-275.

SEGURA JJ, CALVO JR, GUERRERO JM, JIMENEZ-PLANAS A, SAMPEDRO C, LLAMAS R., 1997, “EDTA inhibits in vitro substrate adherence capacity of macrophages: endodontic implications.” *Journal of Endodontics*, v. 23, pp.205-8.

SHAFER E, Vlassis M., 2004 “Comparative investigation of two rotatory nickel- titanium instruments: PrpTaper versus Race.” *International Endodontics Journal*, v.37, pp.239-48.

SICILIANO, M.C.R., 2008, Análise da correlação entre perfil geométrico transversal e eficiência de corte de instrumentos endodônticos rotatórios de níquel-titânio. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SILVA LA, LEONARDO MR, ASSED S, et al., 2004, “Histological study of the effect of some irrigating solutions on bacterial endotoxin in dogs”, *Brazilian Dental Journal*, v.15, pp.109-114.

SILVEIRA NL, TAVARES T, SOARES IJ, 1994, “Potencial irritativo de soluções à base de EDTA.” *Rev Assoc Paul Cir Dent*, v. 48, pp. 1489-93.

SPILI, P., PARASHOS,P., MESSER,H.H., 2005, “The impact of instrument fracture on outcome of endodontic retreatment ”, *Journal of Endodontics*, v.31, pp.845-850.

SOARES & GOLDBERG, 2001, Endodôntia: Técnicas e Fundamentos, São Paulo, Editora – Artmed

SOUZA SMG, BERBET FLCV, FERLINI FILHO J, NUNES E, CECÍLIA MS, RAMOS CAS, et al., 1999, “ Quelantes em endodontia”, *Revista Brasileira de Odontologia*, v.56, pp. 30-3.

SOUZA, R.E.,SOUZA, E.A.,VALERA,F.B., et al., 2005, “ Avaliação da remoção de debris após irrigação com EDTA 17% e EGTA1% associados ao hipoclorito de sódio 1%- Análise histológica”, *Revista Odonto Ciência*, v.20, pp.11-17.

SPRIGGS, K.A., GETTLEMAN, B.H., MESSER, H.H., 1990, “Evaluation of a new method for silver point removal”, *Journal of Endodontics*, v.31, p. 845-850.

SUN, X.T., KANG, Z.X., JIANG, H.J., GUAN, R.F., ZHANG, X.P., 2011, “ A comparative study on the corrosion behavior of porous and dense NiTi shape memory alloys in NaCl solution” *Electrochimica Acta*, v.56, , p.6389 -6396.

SUTER, B., 1998, “A new method for retrieving silver points and separated instruments from root canals”, *Journal of Endodontics*, v. 24, pp. 446-448.

TERAUCHI, Y., O’LEARY, L., SUDA, H., 2006, “Removal of separated files from root canals with a new file-removal system: case reports”, *Journal of Endodontics*, v. 32, pp. 789-797.

TOASSI,R.,KUHNEN,M.,CISLAGHI,G.,etal.,2007,“Heterocontroleda fluoretação da água de abastecimento público de Lages,SantaCatarina,Brasil”,*Ciênc. Saúde coletiva*,v.12, pp.727-732.

TREBITSCH, H. “Über die verwertung der Heikraft silvers.”, 1929 Zahnartl. Rdsch, v.38. p.1009,16. Apud: Grossman, L.I. An improved root – canal cement. *Journal of American Dental Association.*, v.56, n.3, p.381-5,1958

TZANETAKIS, G.N., KONTAKIOTIS, E.G., MAURIKOU, D.V, 2008, “Prevalence and management of instrument fracture in the postgraduate endodontic program at the Dental School of Athens: a five-year retrospective clinical study”, *Journal of Endodontics*, v. 34, pp. 675-678.

VOGEL AI. Análise química quantitativa, 5a. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992.

WALIA, H., BRANTLEY, W.A., GERSTEIN, H., 1988 “An initial investigation of the bending and torsional properties of NiTinol root canal files” , *Journal of Endodontics*, v. 14, pp. 346-351

WALKER RE, 1936, “A definite and dependable therapy for pulpless teeth”, *Journal of American Dental Association*, v.23, n.2, pp.1418-1425.

WEISMAN, M.I., 1983, “The removal of difficult silver cones”, *Journal of Endodontics*, v. 9, pp. 210-211.

WOLCOTT, S., WOLCOTT, J., ISHLEY, D., et al., 2006, “Separation of Protaper rotary instruments: a large cohort clinical evaluation”, *Journal of Endodontics*, v.32, pp.1139-1141.

www.evidenteodontologiarj.com. - 20/10/2011

www.dentalweb.com.br/kit-endodontico-de-irrigac-o.html- 16/01/2013

www.dentsply.com.br – 15/02/2013

ZEHNDER M, 2006, “Root canal irrigants”, *Journal of Endodontics*, v.32, pp.389-398.

ZELADA,G., VARELA, P., MARTIN, B., et al., 2002, “The effect of rotational speed and the curvature of root canals on the breakage of rotary endodontic instruments ”, *Journal of Endodontics*, v.28, pp.540-542.

ZUOLO, KHERLAKIAN, MELLO JR, CARVALHO, FAGUNDES, 2009, *Reintervenção em Endodôntia*, São Paulo, Editora – Santos.