Instituto Alberto Luiz Coimbra de
Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
COPPE UFRJ

AVALIAÇÃO "IN VITRO" DA MICROINFILTRAÇÃO EM DENTES RESTAURADOS COM RESINAS, POR IMAGENS RADIOGRÁFICAS

André Luís Nunes Barbosa

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Nuclear, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Nuclear.

Orientador: Verginia Reis Crispim

Rio de Janeiro
Dezembro de 2013

AVALIAÇÃO “IN VITRO” DA MICROINFILTRAÇÃO EM DENTES RESTAURADOS COM RESINAS, POR IMAGENS RADIOGRÁFICAS

André Luís Nunes Barbosa

TESE 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 À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS ENGENHARIA NUCLEAR.

Examinada por:

_____

Prof. Ademir Xavier da Silva, D.Sc.

_____

Profa. Verginia Reis Crispim, D.Sc

_____

Dr. Luís Eduardo Barreira Brandão, D.Sc

_____

Prof. Eduardo Gomes Dutra do Carmo, D.Sc

_____

Dr. Luiz Antonio Ribeiro da Rosa, D.Sc

_____

Dr. Francisco José de Oliveira Ferreira, D.Sc

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

DEZEMBRO DE 2013

Barbosa, André Luís Nunes

Avaliação "In Vitro" da Microinfiltração em Dentes Restaurados com Resinas, por Imagens Radiográficas / André Luís Nunes Barbosa – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

XV, 100 p.:il.; 29,7 cm

Orientador: Vergínia Reis Crispim

Tese de Doutorado – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Nuclear, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 089-100

1. Restauração. 2. Neutrongrafia. 3. Resinas. I. Crispim,Verginia Reis. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Nuclear. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Não me canso de agradeçer, a Deus por tudo que tem me proporcionado nesta vida e por ter me ofertado as condições possíveis para a realização deste trabalho.

Agradeço a minha esposa e filhos, por todo o apoio por eles dedicado.

A minha orientadora, Verginia Reis Crispim, pela maneira como conduziu minha orientação.

A todos os professores do Programa de Engenharia Nuclear da COPPE/UFRJ, pelos ensinamentos nas diversas fases desta caminhada.

Aos funcionários do PEN/ COPPE pela disposição em ajudar sempre que solicitados.

A Rosilda Maria G. Lima, do Laboratório de Pesquisa do Processo do Ciclo de Combustível Nuclear – IEN, pela colaboração.

A Odontóloga Ana Paula F. Rodrigues pela grandiosa colaboração e a permissão para o uso de alguns materiais.

À equipe de operação do reator Argonauta, do IEN, da qual me orgulho de fazer parte, nas pessoas do Francisco José, Flávio, João e Renke.

E, finalmente, a todos que ajudaram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

Dedico este trabalho a Deus, minha amada esposa e meus filhos, sem os quais eu nada seria.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Doutor em Ciências (D.Sc.).

AVALIAÇÃO "IN VITRO" DA MICROINFILTRAÇÃO EM DENTES RESTAURADOS COM RESINAS, POR IMAGENS RADIOGRÁFICAS

André Luís Nunes Barbosa

Dezembro / 2013

Orientador: Verginia Reis Crispim

Programa: Engenharia Nuclear

Inspeções neutrongráficas de microinfiltrações em dentes restaurados fornecerão aos odontólogos, informações quanto a aderência de resinas poliméricas sintéticas à cavidade dentária, após o completo processo restaurativo. Para tal, submeteu-se amostras dentárias à intervenção com broca rotativa, produzindo nelas cavidades de dimensões similares, que foram cuidadosamente preenchidas com diferentes resinas sintéticas de forma a se evitar a ocorrência de vazios. Empregou-se oito tipos de resinas, dentre as mais comercializadas no Rio de Janeiro. Os dentes restaurados foram neutrongrafados e radiografados e suas imagens analisadas. Pelas imagens neutrongráficas obtidas, concluiu-se que houve uma boa aderência em todas as resinas empregadas, não sendo visualizadas microinfiltrações, como era de se esperar, num procedimento esmerado de restauração. Fez-se necessário a simulação de defeitos, como: ausência de adesivos ou limpeza ácida, durante as restaurações. Com o uso do sistema, cuja resolução máxima em torno de 56 μm, microinfiltrações puderam ser visualizadas através das imagens neutrongráficas o desempenho da Neutrongrafia mostrou-se superior ao da técnica radiográfica convencional.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

IN VITRO EVALUATION OF MICROLEAKAGE IN RESTORED TEETH WITH SYNTHETIC RESINS BY NEUTRONGRAPHY

André Luís Nunes Barbosa

December/2013

Advisor: Verginia Reis Crispim

Department: Nuclear Engineering

Neutrongráphic inspections of microleakage in restored teeth will provide to dentists, information regarding about adhesion of polymeric synthetic resins to tooth cavity after the complete restorative process . So, was subjected to intervention with dental rotary drill samples to produce them cavities of similar dimensions , which have been carefully filled with different synthetic resins in order to avoid the occurrence of voids. We used eight types of resins , among the most commercialized in Rio de Janeiro . The restored teeth were radiographed and neutrongraphed and their images analyzed . by the neutrongraphic mages obtained , it was concluded that there was good grip in all resins used , not being viewed microleakage , as was expected , a painstaking restoration procedure . It was necessary to simulate defects such as : no adhesives or acid cleaning during the restorations . Using the system , with a maximum resolution of about 56 microns microleakage could be visualized through neutrongraphic images and the Neutrongraphy performance was superior to conventional radiographic technique .

ÍNDICE

CAPÍTULO I
INTRODUÇÃO

I.1 – Introdução 1

I.2 – Motivação e Objetivo 3

I.3 – Revisão Bibliográfica 4

I.3.1 – Trabalhos sobre Neutrôngrafia 4

I.3.2 – Trabalhos sobre Resinas Compostas/ Microinfiltrações 8

CAPÍTULO II
FUNDAMENTOS TEÓRICOS

II.1 – Ensaios Não Destrutivos 20

II.2 – Nêutrons 22

II.2.1 – Interação do nêutron com a matéria 22

II.2.2 – Atenuação dos nêutrons 24

II.3 – Fontes de nêutrons 26

II.4 – Neutrongrafia 27

II.5 – Sensor Radiográfico 32

II.5.1 – Conversor de nêutrons 33

II.5.2 – Neutrongrafia com Filmes Radiográficos 33

II.5.3 – Processamento dos Filmes Radiográficos 39

II.6 – Amostras Dentárias 40

II.6.1 – Composição Dentária 42

II.6.2 – Tipos de Dentes Humanos 42

II.7 – Restaurações Dentárias 43

II.7.1 – Técnicas de Restauração 44

CAPÍTULO III

MÉTODOS E MATERIAIS

III.1 – Generalidades 45

III.2 – Obtenção das Amostras Dentárias 46

III.2.1 – Preparação das Amostras 47

III.3 – Materiais Restauradores 47

III.3.1 - Descrição das Resinas 48

III.3.2 - Materiais usados na Restauração 50

III.4 – Ensaio Neutrongráfico 50

III.4.1 - Características da Fonte de Nêutrons 51

III.5 – Revelação 57

III.5.1 – Materiais usados para a revelação das imagens 59

III.6 – Sistema Tomográfico 59

III.6.1 – Reconstrução da Imagem Tomográfica 60

III.6.2 - Materiais e equipamentos usados na Reconstrução das imagens 60

III.7 – Tratamento das Imagens Neutrongráficas 61

III.7.1 – Filtros digitais para processamento das imagens 62

III.7.2 - Materiais e equipamentos usados no Tratamento das imagens 62

III.8 – Neutrongrafia versus Radiografia com raios -x - Intercomparação 63

III.8.1 – Amostras com defeitos 63

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

IV.1 – Imagens neutrongráficas 64

IV.1.1 – Determinação do tempo de exposição 64

IV.1.2 – Determinação do tempo de imersão no agente contrastante 66

IV.2 – Comparação entre as imagens Neutrongráficas e as Radiográficas convencionais 68

IV.3 – Imagens neutrongráficas de amostras contendo defeitos simulados 77

IV.3.1 - Resolução e sensibilidade do sistema 80

IV.4 – Quantificação dos micro defeitos 80

IV.5 – Imagem Tomográfica 85

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

V.1 - Conclusões 87

V.2 - Sugestões 88

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 89

LISTA DE FIGURAS

Figura II.1 – Diagrama das possíveis interações dos nêutrons com a matéria. 23
Figura II.2 – Desenho esquemático representando um feixe de nêutrons que ultrapassa um material com espessura t. 25
Figura II.3 – Coeficientes mássicos de atenuação de alguns elementos para raios-X monoenergéticos e seções de choque (absorção e espalhamento) para nêutrons 26
Figura II.4 – Principio básico da técnica neutrongráfica, utilizando filme radiográfico como registrador de imagem. 29
Figura II.5 – Principio básico da técnica neutrongráfica utilizando filme radiográfico como registrador de imagem. 32
Figura II.6 – Densidade óptica e grau de enegrecimento de um filme Radiográfico. 35
Figura II.7 – Curva característica de um típico filme radiográfico. 37
Figura II.8 – Curva característica de um sistema tela-filme radiográfico. O gradiente foi avaliado em dois pontos da curva 39
Figura II.9 – Composição dentária. 41
Figura II.10 – Tipos dentários humanos. 42
Figura III.1 – Espectro de nêutrons emergentes do canal de irradiação J-9 do reator Argonauta. 51
Figura III.2 – Coluna Térmica Externa do reator Argonauta. 52
Figura III.3 – Disposição dos componentes no interior do canal J-9. 53
Figura III.4 – Disposição das blindagens do reator Argonauta/IEN. 54
Figura III.5 – Desenho esquemático do Indicador de Resolução Visual (IRV), segundo a Norma ASTM E 1025-84. 55
Figura III.6 – Amostras dentinárias fixadas no chassi radiográfico para irradiação no feixe neutrônico. 56
Figura III.7 – Mesa Tomográfica com controle automático de rotação, em torno do eixo central. 61

Figura IV.1- NR de amostras restauradas com as resinas Z-100 (1), Opallis (2), Helio Fill-AP (3) e Charisma (4), imersas em agente contrastante (nitrato de Gd) visando-se estimar o tempo de exposição adequado. 65
Figura IV.2- NR de dentes restaurados com as resinas Fill Magic (a), Herculite (b), TPH (c) e Durafilll (d), submetidos ao agente contrastante(nitrato de Gd), visando-se estimar o tempo de exposição adequado. 65
Figura IV.3- NR de dentes restaurados com as resinas Fill Magic (a), Herculite (b), TPH (c) e Durafilll (d), imersos por 24 horas em agente contrastante (Gd), para determinação do tempo de exposição adequado. 66
Figura IV.4- NR de dente não restaurado , obtida, após 24h de imersão no nitrato de gadolínio e um tempo de exposição ao feixe neutrônico de 60 minutos. 67
Figura IV.5- Neutrongrafia de dente sem restauração, tempo de exposição de 60 min, sem imersão no Gadolínio. Amostra a. 67
Figura IV.6- Neutrongrafia de dente restaurado com a resina Opallis, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio. Amostra b. 68
Figura IV.7- Fotografia das amostras restauradas com resina Durafill 69
Figura IV.8- (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Durafill, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio 69
Figura IV.9- Fotografia das amostras restauradas com resina Helio fill 70
Figura IV.10- (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Helio Fill, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio. 70
Figura IV.11- Fotografia das amostras restauradas com resina Opallis 71
Figura IV.12- (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Opallis, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio. 71
Figura IV.13- Fotografia das amostras restauradas com resina Fill Magic 72
Figura IV.14- (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Fill Magic, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio 72
Figura IV.15 – Fotografia das amostras restauradas com resina Charisma 73

Figura IV.16 – (a)Radiografia com raios X e (b)Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Charisma, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio. 73
Figura IV.17 – Fotografia das amostras restauradas com resina Z-100 74
Figura IV.18 – (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Z-100, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio 74
Figura IV.19 – Fotografia das amostras restauradas com resina TPH 75
Figura IV.20 – (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina TPH, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio. 75
Figura IV.21 – Fotografia das amostras restauradas com resina Herculite 76
Figura IV.22 – (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Herculite, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio. 76
Figura IV.23 – NR de amostras restauradas com as resinas (a) Herculite e (b) Z-100 sem o uso de contrastante e com defeito simulado. 77
Figura IV.24 – NR de amostras com defeito simulado, imersas em gadolínio por 24 horas e restauradas com as resinas (c) Herculite e (d) Z-100. 78
Figura IV.25 – R-X de amostras restauradas com a resina Z-100, cujo defeito é a ausência do agente de união, simulando um esquecimento do odontólogo. 79
Figura IV.26 – R-X de amostra restaurada com a resina Herculite, cujo defeito se deve à limpeza inadequada, simulando a ausência de aplicação do ataque ácido pelo odontólogo. 79
Figura IV.27 – Microdefeito encontrado na amostra restaurada com a resina Z100, sem o agente de união. 81
Figura IV.28 – Microdefeito encontrado na amostra restaurada com a resina Herculite, sem ataque ácido. 82
Figura IV.29 – Microdefeito encontrado na amostra restaurada com a resina Z100, sem agente de união. 83
Figura IV.30 – Microdefeito encontrado na amostra restaurada com as resina Herculite, sem ataque ácido. 84

Figura IV.31 – Reconstrução Tomográfica de dente restaurado com a resina Herculite, com defeito simulado devido a ausência de ataque ácido. 85
Figura IV.32 – Amostra montada no sistema tomográfico 86
Figura IV.33 – Projeção neutrongráfica da amostra em foco, a 30º. 86

LISTA DE TABELAS

Tabela II. 1 - Classificação dos nêutrons quanto à energia. 24
Tabela II.2 – Características dos isótopos de gadolínio para a conversão de nêutrons térmicos em radiação secundária. 33
Tabela III.1 – Características do feixe de nêutrons do reator Argonauta do IEN. 51
Tabela IV.1 – Valores de Resolução e sensibilidade para o arranjo neutrongráfico (IEN). 80
Tabela IV.2 – Comparação entre as microfissuras encontradas. 84

SIGLAS E ABREVIATURAS

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear.

END – Ensaios Não Destrutivos.

IEN – Instituto de Engenharia Nuclear.

IPF – Indicador de Pureza de Feixe.

IQI – Indicador de Qualidade de Imagem.

IS – Indicador de Sensibilidade.

COPPE – Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia.

NRTR – Neutrongrafia em Tempo Real.

PEN – Programa de Engenharia Nuclear.

IRV – Indicador de Resolução Visual.

ARIEM – Algoritmo de Reconstrução de Imagem baseado em Entropia Máxima.

NR - Neutrongrafia

ºC – Graus Celsius

s - Segundos

Gd - Gadolínio

µm - Micron

CAPÍTULO I
INTRODUÇÃO

I.1 – Introdução.

A Neutrongrafia é uma técnica radiográfica capaz de fornecer imagens do interior de um determinado objeto, através da interação dos nêutrons com os núcleos dos materiais que compõem esses objetos.

A utilização do nêutron como partícula de prova, para fins radiográficos, data de 1935, logo após sua descoberta, em 1932. Historicamente, a primeira radiografia com nêutrons data do período compreendido entre 1935 a 1938, em Berlim, onde H. Kallmann e Khun (DOMANUS, 1992), usando fontes de Ra-Be e um pequeno gerador de nêutrons, realizaram experiências no laboratório de I. G. Farben Aktiengesellschaft, conseguindo desenvolver uma metodologia para se obter imagens neutrongráficas.

O. Peter, trabalhando no laboratório Forschungsanstalt der Deutschen Reichspost (OTTO, 1993), produziu várias Neutrongrafias de diferentes objetos, porém, usando um feixe neutrônico mais intenso provindo de um gerador de nêutrons. Seus experimentos terminaram em dezembro de 1944, em Berlim. Poucas informações estão disponíveis sobre esses experimentos. Tanto os equipamentos, como muitos documentos, neste período, foram perdidos, durante e depois da batalha em Berlim (1944/1945).

Com o advento dos reatores nucleares, houve a necessidade de se realizar inspeções não destrutivas de seus elementos combustíveis e componentes, porém, só na década de 60, surgiram as primeiras imagens internas desses componentes, através do uso de neutrongrafias. A partir de então, a Neutrongrafia tem se firmado como uma técnica de Ensaios Não Destrutivos (END), sendo cada vez mais utilizada em diferentes áreas, atuando onde os raios x ou raios γ não fornecem resultados satisfatórios.

Atualmente, os ensaios neutrongráficos tem auxiliado em áreas, como: Arqueologia, na realização de exames compostos; Geologia, no estudo da porosidade de rochas; Biologia, no estudo de raízes; Arte, na investigação de pinturas; Indústria, na manutenção de dutos e controle de qualidade de peças; Aeronáutica, na manutenção de

aeronaves; e Segurança Pública, no combate ao tráfico de drogas, armas e explosivos plásticos.

Um arranjo neutrongráfico convencional é composto por três elementos: uma fonte de nêutrons, que pode ser um reator nuclear, uma fonte radioativa ou mesmo um acelerador de partículas; um conversor de nêutrons, que produz a radiação secundária que irá sensibilizar o filme radiográfico, pois o nêutron, por ser eletricamente neutro, tem pequena probabilidade de interagir com os núcleos de prata presentes na composição do filme radiográfico; e um dispositivo para registro e visualização da imagem, que pode ser, além de um filme radiográfico, um Sistema Eletrônico de Imageamento (S.E.I.), capaz de fornecer imagens em tempo real.

Dentro da área nuclear, os ensaios neutrongráficos estão se tornando cada vez mais freqüentes e sendo alvo de pesquisas, porém, existem alguns setores onde esses ensaios são pouco utilizados, como, por exemplo: o setor de Engenharia Civil, onde a grande maioria dos profissionais pouco os utiliza; o setor de Engenharia de Materiais, onde a maioria dos materiais odontológicos são desenvolvidos, e a própria área odontológica, que se pretende, dar o primeiro passo para tornar a técnica conhecida entre os profissionais dessa área. Neste sentido tornam-se necessários alguns esclarecimentos relativos às características da amostra (corpo de prova) a ser examinada pela técnica neutrongráfica.

Restauração dentária é a técnica de renovar um dente quanto a suas funções, integridade e morfologia. Para tal, é necessário remover toda zona cariada, realizar a limpeza da área afetada e preencher a cavidade com um material restaurador.

Atualmente, para um paciente, torna-se difícil saber o que está sendo colocado em um dente, durante uma restauração, tamanho o número de materiais restauradores no mercado. Dentre os materiais restauradores, que podem incluir ouro, porcelana, resinas compostas e a amálgama (uma mistura de mercúrio, prata, cobre, estanho e as vezes zinco). As resinas compostas, foram sem dúvida, as que apresentaram maior estudo.

Em princípio, as resinas compostas foram desenvolvidas, em 1963, por Bowen, para restaurações em dentes anteriores. Pelas suas características e após aprimoramentos fisioquímicos, passaram a ser recomendadas em dentes posteriores pelos seus fabricantes, embasadas por diversos estudos clínicos.(FIGUEIREDO et al,2008)

As resinas sintéticas surgiram como substitutas da amálgama, devido suas características estéticas, pois, apresentam aparência semelhante à estrutura dental e,

também, por haver uma preocupação, ainda não comprovada, de intoxicação por mercúrio contido naquele material restaurador (NAMEN, 2006).

O desenvolvimento tecnológico dessas resinas contribuiu para que a área estética em Odontologia fosse a área de maior evolução e grande alvo de pesquisas. Apesar de ser alvo de estudo e terem, nos últimos anos, conhecidos avanços tecnológicos significativos e desenvolvimento, bem como melhoria em suas características estruturais, alguns fatores prejudiciais aos trabalhos restaurativos continuam presentes e precisam ser melhorados, por exemplo: a contração de polimerização e a alteração volumétrica, podendo causar descolamentos na interface dente/restauração, o que possibilita o aparecimento de micro infiltrações e o comprometimento dos serviços restaurativos.

Acredita-se que, se possa mostrar aos pesquisadores da área odontológica que a Neutrongrafia pode lhes fornecer uma ferramenta para inspecionar "in vitro" restaurações dentárias, em função dos materiais utilizados e dos procedimentos adotados, bem como, orientar os fabricantes de resinas, quanto à utilização da técnica neutrongráfica como meio de realizarem o controle da qualidade de seus materiais, antes de serem lançados do mercado ou, após, garantindo a continuidade deles no mercado.

I.2 – Motivação e Objetivo

O objetivo deste trabalho é visualizar, reconhecer e estudar a microinfiltração marginal em dentes restaurados com resina composta, empregando-se agentes de contraste específicos e Ensaios Não-Destrutivos (END), visando otimizar os procedimentos adotados pelos profissionais, ao empregarem resinas nas restaurações dentárias.

Semelhante ao que acontece na indústria "high tech", o emprego dessa metodologia fornecerá aos profissionais da área odontológica uma ferramenta que permitirá investigar, previamente e não-destrutivamente, a atuação de novos produtos lançados no mercado destinados às restaurações dentárias e, ainda, a otimização do procedimento de restauração, de forma a minimizar a ocorrência de microinfiltrações. Bem como o controle de qualidade e acompanhamento no desenvolvimento de materiais odontológicos.

No Instituto de Engenharia Nuclear, IEN/CNEN, o reator nuclear de pesquisa, Argonauta, construído na década de 60, vem sendo utilizado como fonte de nêutrons térmicos, fornecendo um feixe que torna possível inspeções com a utilização da técnica neutrongráfica, desde 1972, após a instalação de um arranjo experimental no canal de irradiação central, J-9 (CRISPIM, 1992).

Ao longo dos anos, diversas pesquisas realizadas pelo Programa de Engenharia Nuclear (PEN) da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) foram aperfeiçoando o arranjo citado, mostrando a potencialidade da técnica neutrongráfica no Brasil.

Também, a partir de meados dos anos noventa, o Laboratório de Neutrongrafia em Tempo Real (LNRTR) do PEN/COPPE – UFRJ iniciou estudos, visando novas aplicações da técnica neutrongráfica. Diversos trabalhos de relevância para o País foram realizados, tanto na área de segurança pública (FERREIRA,2008), como nas áreas de medicina e indústria. Nesse laboratório, são aplicados os agentes contrastantes nas amostras para os ensaios radiográficos, são reveladas as Neutrongrafias e realizado o processamento das imagens radiográficas, após serem digitalizadas num escaner específico.

Dispõe-se das amostras dentárias, que foram obtidas por meio de doações, onde as restaurações foram feitas segundo os procedimentos convencionais adotados e com uso de diversos tipos de resinas compostas, as mais utilizadas no mercado nacional, e também obtidas por meio de doações.

I.3 - Revisão Bibliográfica

I.3.1 - Trabalhos sobre Neutrongrafia

Foram consultadas as bases de dados da CAPES, WEB OF SCIENCE e INIS pela Web. Último acesso em março de 2013.

Anualmente diversos trabalhos, pesquisas e artigos sobre Neutrongrafia são publicados no mundo. Foram selecionados os trabalhos que tiveram relevância para o tema em epígrafe, não sendo, portanto os únicos sobre o assunto.

Em 1963, H. Berger determinou experimentalmente diferentes métodos de registro de imagens neutrongráficas com alto contraste. Para se determinar a resolução

espacial, foram realizadas Neutrongrafias de um Indicador de Resolução Visual, um penetrâmetro. Dos métodos de detecção avaliados os que produziram o melhor resultado para imagens com nêutrons térmicos foram os que utilizaram o método direto, com os conversores de gadolínio, de fluoreto de lítio enriquecido ^{6}LiF e de um cintilador fino composto de boro e sulfeto de zinco ativado com prata ^{10}B+ZnS(Ag) (BERGER, 1963).

Em 1975, J. John realizou uma série de ensaios destinados à implantação de sistemas neutrongráficos dotados de um Sistema Eletrônico de Imageamento (SEI), visando a inspeção não-destrutiva de aeronaves e de seus componentes. Dos estudos realizados concluiu claramente a superioridade da Neutrongrafia sobre as demais técnicas de END, por conta da sua capacidade de detectar corrosão oculta em estruturas de alumínio (JOHN, 1975).

Em 1986, H. Berger publicou um artigo sobre os avanços na área de radiografias com nêutrons, enumerando suas aplicações na inspeção de explosivos, lâminas de turbinas, montagens mecânicas, escoamento de fluídos e detecção de corrosão oculta em metais. Segundo Berger, uma fonte de nêutrons adequada para radiografia deve atender às seguintes especificações: fluxo de nêutrons térmicos no plano da imagem igual ou superior a $10^{6}\ n \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$; razão de colimação L/D igual ou superior a 20; conteúdo de nêutrons térmicos igual ou superior a 55%; razão n/γ igual ou maior a $10^{5}\ n \cdot cm^{-2} \cdot mR^{-1}$. Nessa época, dois métodos radiográficos com nêutrons vinham recebendo grande atenção em pesquisa e desenvolvimento: a tomografia computadorizada e a formação eletrônica de imagem em tempo real (BERGER, 1986).

Em 1989, H. Wakao, e colaboradores publicaram um artigo sobre estudos em amostras dentárias restauradas, onde elas eram imersas em uma solução de gadolínio e depois neutrongrafadas e radiografadas, objetivando encontrar vazios, e posteriormente, discutir as vantagens e desvantagens das técnicas. Mencionavam que haviam poucos trabalhos envolvendo Neutrongrafia na área odontológica (WAKAO et al, 1989).

Em 1993, Crispim em sua tese de doutorado**,** utilizou a técnica neutrongráfica na realização de END, tendo como fonte de nêutrons o reator de pesquisa Argonauta do IEN/CNEN, com o objetivo de detectar corrosões ocultas em ligas de alumínio AA7075. Construiu alguns Indicadores de Qualidade, IQ's, para que fosse possível categorizar o arranjo neutrongráfico utilizado. Realizou inspeções tomográficas de diversas amostras, fazendo uso do algorítimo ARIEM, para reconstruir as imagens tomográficas, utilizando apenas 06 projeções neutrongráficas (CRISPIM, 1993).

Em 1995, Casali, Chirco, Zanarini descreveram os avanços da técnica de produção de imagens com nêutrons. Descreveram também as técnicas de ensaios com nêutrons, Neutrongrafia e Tomografia, e deram grande destaque aos SEI. Como descreveram os princípios de funcionamento de cada uma das técnicas, bem como, seus componentes e os métodos de se qualificar as imagens obtidas, o artigo tornou-se de grande importância para trabalhos desenvolvidos por pesquisadores que atuam nesta área (CASALI et al, 1995).

Em 1996, Sinha, e outros usaram como fonte de nêutrons, um pequeno irradiador composto de fonte de Pu-Be com moderador de polietileno e blindagem de parafina borada. A fluência obtida foi de $2 \cdot 10^7 n \cdot s^{-1}$, para uma razão de colimação, L/D, de 10 e uma razão de cádmio de 2,5. O SEI utilizava o cintilador NE-426, com acoplamento óptico, através de lentes e fibra ótica. O sinal de vídeo era enviado a um micro-computador para digitalização das imagens (8bits), as quais eram processadas via funções de integração e equalização. Concluíram que, mesmo em poucos minutos, entre 10 e 12 minutos, podia-se perfeitamente obter Neutrongrafias de boa qualidade, podendo-se verificar falhas de até $2\,mm$ (SINHA et al, 1996).

Em 1996, Crispim e Silva obtiveram resultados bastante relevantes na detecção de: 1) corrosões ocultas na liga de alumínio AA7075 utilizadas em aeronaves; 2) impurezas espalhadoras e absorvedoras de nêutrons em aço e lucite; 3) microfissuras em concreto de alta resistência; 4) materiais radioativos, explosivos, inclusões metálicas e hidrogenadas ocultas por invólucros metálicos de altas densidades atômicas. Concluíram que, mesmo tendo obtido bons resultados, ainda eram esperados avanços tecnológicos, como por exemplo: implantação de um sistema transportável de nêutrons térmicos capaz de viabilizar a realização dos ensaios neutrongráficos no local da irradiação; o desenvolvimento de um sistema neutrongráfico em tempo real; e a construção de uma câmera neutrongráfica portátil (CRISPIM e SILVA, 1996).

Em 1996, T. Gozani publicou dois trabalhos, onde apresentavam diversas técnicas de END, dando ênfase ao emprego da Neutrongrafia. No primeiro trabalho, foram citados os sistemas desenvolvidos e suas capacidades de detecção de drogas e outros matériais ilícitos, tendo obtido altos índices de acertos. No segundo trabalho, apresentado em congresso, descreveram as técnicas de END e suas possíveis contribuições na detecção dos diversos materiais ilícitos(GOZANI, 1996 ; GOZANI, 1996).

Em 1999, Silva**,** em sua tese de doutorado, apresentou as potencialidades da técnica neutrongráfica em conjunto com a Tomografia computadorizada, na detecção de drogas e explosivos ocultos em materiais como: alumínio, chumbo e algodão (tecidos). Para tal, utilizou simulações com o código MCNP-4B e, para a reconstrução de imagens, o algorítimo ARIEM com apenas 6 projeções neutrongráficas, tendo obtido resultados satisfatórios (SILVA, 1999).

Em 2000, Silva e Crispim modelaram empregando o código MCNP-4B um sistema neutrongráfico portátil dotado de uma fonte Cf^{252} e testaram diversos materiais na busca pela melhor condição de moderação térmica, que resultasse também numa alta razão de colimação, de forma a obterem o maior e mais uniforme fluxo de nêutrons térmicos no plano da imagem. Concluíram que o moderador mais eficiente era o polietileno de alta densidade alcançando um fator de termalização de 56 cm^2 (SILVA e CRISPIM, 2000).

Em 2004, T. Gozani evidenciou a importância da aplicação conjunta de técnicas para detecção de material ilícito, pois, técnicas como raios x, raios γ**,** detecção por traços nucleares e vapor são deficientes, quando usados isoladamente. Salientou que o emprego de técnicas com nêutrons, era mais apropriada, devido ao grande poder de penetração dos nêutrons, que permite se realizar inspeções de materiais ilícitos, com: velocidade na inspeção, sensibilidade, flexibilidade e resposta automatizada (GOZANI, 2004).

Em 2005, Eberhardt e outros, o desenvolveram um sistema que combina Neutrongrafia com nêutrons rápidos e radiografia com raios gama, produzindo imagens com alta resolução, capaz de detectar materiais ilícitos armazenados num container. Com o sistema, em apenas 2 minutos de exposição era realizada a inspeção. Destacou também que os ensaios com raios-x se mostraram deficientes neste caso(EBERHARDT et al, 2005).

Em 2005, Lima utilizou a técnica neutrongráfica com filme radiográfico, em sua dissertação de mestrado, onde visou desenvolver uma tela conversora nacional, evitando dessa maneira a aquisição de telas importadas que podem chegar a valores muito altos. Foram utilizadas duas metodologias na confecção. A primeira metodologia foi por deposição por evaporação da parte mineral, constituída por cloreto de gadolínio e a segunda por deposição jateada do mesmo cloreto. Ambas utilizaram como substrato uma folha de alumínio de 10 a 12,7 micras de espessura. Após a confecção das telas

procedeu-se a uma comparação entre as telas nacionais e a importada, em termos de resolução. As telas nacionais alcançaram uma resolução de até 90% da resolução da importada, mostrando ser viável a técnica (LIMA, 2005).

Em 2008, Barbosa em sua dissertação de mestrado, objetivou desenvolver uma tela cintiladora nacional, tendo utilizado três metodologias: na primeira utilizou como substrato uma folha de celulose e a parte mineral, ZnS-Ag, dopada a 5% de Ag + Cl_3 Gd a 50%, que foi depositada por jateamento; a segunda metodologia consistiu em preparar um agregado, cuja parte mineral foi misturada ao substrato, no caso EVA, sendo confeccionada uma folha com a ajuda de uma prensa térmica; na terceira confeccionou-se uma tela de EVA e se adicionou, por depósito jateado, a parte mineral (BARBOSA, 2008).

Em 2011, Moraes realizou ensaios neutrongráficos de amostras de concreto contendo PET reciclado em sua composição. O trabalho consistiu em verificar as microfissuras das amostras de concreto modificado, após serem submetidas a um esforços de compressão. As amostras foram fatiadas e mergulhadas numa solução de gadolínio, usada como agente contrastante, com o objetivo de evidenciar as micro fissuras. As imagens neutrongráficas mostraram que a neutrongráfia forneceu excelente resposta nesse tipo de inspeção (MORAES, 2011).

I.3.2 – Trabalhos sobre resinas compostas/microinfiltrações

De maneira similar aos trabalhos sobre Neutrongrafia, diversas pesquisas têm sido publicadas, anualmente, envolvendo resinas odontológicas, microinfiltrações ou microfissuras, porém, como são geralmente análises a respeito de resistência mecânica, muitos trabalhos foram descartados. A seqüência a seguir contém aqueles que, de alguma forma, contribuíram para esta tese. Foram consultados as bases da CAPES, INIS e BBO, pela Web.

Em 1969, Guzman, Swartz e Phillips estudaram o efeito da variação da temperatura sobre a adesão marginal de alguns materiais restauradores incluindo a resina composta. Concluiram que após um intervalo de três meses a resina empregada ainda apresentava uma perfeita adesão. Esse resultado persistiu, mesmo quando a restauração foi submetida a testes de variação de temperatura (GUZMAN et al, 1969).

Ainda em 1969, Tani e Buonocore realizaram "in vitro" restaurações em dentes bovinos com as resinas Sevriton, Bonfil, Addent-35, Dakor e cimento de silicato. Verificaram que a menor microinfiltração ocorreu em preparos retentivos, após submeterem as amostras à variação da temperatura, ciclagem térmica, compreendidas entre 4ºC e 50ºC. Concluíram que as micro infiltrações são muito influenciadas pelos contornos das paredes cavitárias preparadas (TANI e BUONOCORE, 1969).

Em 1970, W. Garone Filho verificou que o vedamento marginal das resinas compostas está relacionado aos seguintes fatores: contração de polimerização, do coeficiente de expansão térmica, adesão e absorção d'água. Concluiu que uma restauração pode sofrer infiltração devido a diferença entre seus coeficientes de expansão térmica, como por exemplo: resinas acrílicas, resinas compostas e o dente, cujos valores são:$90x10^{-6}$/ºC, $26x10^{-6}$/ºC e $10x10^{-6}$/ºC, respectivamente (GARONE, 1970).

No mesmo ano, Retief verificou através de testes, que a adesão nas cavidades dentais são extremamente dificultada pelas diversidades das superfícies do esmalte e a dentina, da umidade local, da rugosidade das superfícies e da presença de impurezas no interior das cavidades. Concluiu ser imprescindível a adequada limpeza das cavidades, antes das restaurações (RETIEF, 1970).

Em 1972, Asmusen e Jorgesen com o uso de um microscópio eletrônico de varredura, estudaram a aderência de algumas resinas compostas às paredes cavitárias e observaram fendas de 20 μm a 40 μm de largura, nas restaurações com polimento imediato a polimerização da resina e alterações na largura das fendas marginais, em dentes que foram armazenados em água. Concluíram que o fato ocorreu devido a perda de material no processo de polimento das restaurações, e recomendam que o acabamento não seja feito de imediato (ASMUSEN e JORGESEN, 1972).

Em 1973, Buonocore, Sheykholeslam e Glena estudaram a capacidade do adesivo Nuva Seal de vedar as superfícies cavitárias de restaurações, em dentes bovinos restaurados com as resinas Adaptic e Nuva Fil. Durante o trabalho, verificaram que, nas amostras onde não utilizaram o ataque ácido, para limpeza do esmalte, apareceram maiores infiltrações, sendo nula, nas amostras onde se fizeram duas aplicações do material selador nas superfícies (BUONOCORE et al, 1973).

Em 1974, E. Asmusen estudou a influência das variações de temperatura em restaurações com resinas acrílicas e compostas. Observou que, com variações compreendidas entre 10ºC e 32ºC, não foi identificado nenhum tipo de defeito ou micro

infiltração entre a dentina e a resina. Nos casos, onde se visualizavam fendas nas amostras restauradas com resinas compostas e com resinas acrílicas, variou a temperatura até 60ºC e as fendas tiveram pouca variação em seus tamanhos, sendo um pouco maiores, nas amostras preparadas com resinas acrílicas (ASMUSEN, 1974).

Continuando no ano de 1974, E. Asmusen estudou o grau de adaptação de diversas amostras restauradas com resinas compostas, quando submetidas a variações de temperaturas. As amostras, após serem colocadas em um recipiente contendo água, tiveram suas temperaturas variadas de 2ºC a 60ºC. Concluiu que as resinas compostas respondem as variações de temperaturas muito melhor que as resinas acrílicas (ASMUSEN, 1974).

Em 1975, Al-Rafei e Moore verificaram a infiltração marginal em restaurações da classe V, utilizando as resinas Nuva Fil e Adaptic, em preparos cavitários do tipo convencional, situados logo abaixo da junção cemento-esmalte, no máximo de 2mm. Limpezas das paredes foram feitas com ácido fosfórico. Concluíram que todas as amostras preparadas com Nova fil estavam isentas de infiltrações enquanto que mais de 50% amostras preparadas com Adaptic apresentaram infiltrações (AL-RAFEI e MOORE, 1975).

Ainda em 1975, Al-Kamadami e Crabb observaram a infiltração marginal em amostras preparadas com três resinas compostas, por meio de microscopia eletrônica de varredura. Concluíram que a infiltração marginal foi maior nas paredes cervicais do que nas oclusais e que o uso de um ataque ácido nas paredes e margens do esmalte ou mesmo de uma resina mais líquida, com coeficiente de viscosidade baixo, antes da aplicação da resina composta na restauração, proporcionava uma adesão melhor (AL-KAMADAMI e CRABB, 1975).

Também em 1975, E. Asmusen avaliou a influência da composição das resinas compostas na contração de polimerização. O autor pode observar que a fase orgânica, especialmente, a concentração de monômero com coeficiente de viscosidade baixo, teve uma importância fundamental na contração de polimerização entre paredes. Concluiu que a redução dos monômeros de coeficientes de viscosidades baixos contribuiu para melhor aderência (ASMUSEN, 1975).

Em 1976, Eriksen e Buonocore estudaram as micro infiltrações em restaurações de amostras dentárias com resina composta, variando as configurações das cavidades margem cavo-superficial. Os autores prepararam amostras com margens terminadas contra prismas cortados longitudinalmente e com bisel do ângulo cavo superficial.

Concluíram que, associando a técnica do bisel com a limpeza ácida e a utilização de um adesivo apropriado, poderiam eliminar ou reduzir em muito as micro infiltrações marginais (ERIKSEN e BUONOCORE, 1976).

Ainda em 1976, Galan Jr e colaboradores estudaram a infiltração em cavidades, em dentes caninos e pré-molares restaurados com resinas Concise e Nuva Fill. Os autores utilizaram a técnica do acondicionamento ácido e aplicaram o adesivo também sobre as restaurações. Concluíram que apenas a aplicação da limpeza ácida não era suficiente para evitar as micro infiltrações e que, com o uso do adesivo sob e sobre as restaurações, eliminaram as micro infiltrações (GALAN et al,1976).

Também em 1976, Hembree Jr e Andrews estudaram a infiltração marginal em restaurações onde utilizaram a resina Nuva. Os autores estudaram amostras restauradas um ano antes e concluíram que apenas a limpeza com ataque ácido ao esmalte não seria capaz de evitar microinfiltrações e que melhoraria significativamente o processo, ao se associar a técnica do acondicionamento ácido com a aplicação de adesivo, selante, antes e depois das restaurações (HEMBREE e ANDREWS, 1976(a)).

No mesmo ano, Hembree Jr e Andrews realizaram estudos com amostras "in vitro" de microinfiltrações, em restaurações com o resinas, fluidas e compostas. As resinas foram combinadas da seguinte maneira: Nuva fil c/ Nuva Seal, Concise c/ Concise Bond e Prestige Finite e Restodent. Os autores concluíram que as resinas mais eficientes na prevenção de micro infiltrações eram aquelas ativadas por luz ultra-violeta, porém, a limpeza ácida se fazia necessária, bem como a aplicação de adesivo, resina fluida, sob e sobre a resina de restauração (HEMBREE e ANDREWS,1976(b)).

Continuando em 1976, Kempler, Stark, Leung e Greenspan realizaram estudos sobre a microinfiltração entre o esmalte e a resina, com relação a três pontos, variações térmicas, resistência mecânica e a ação dos adesivos. Para tal estudo utilizaram as seguintes resinas Adaptic e Simulate. Os autores prepararam as cavidades de duas maneiras, a convencional e a biselada, e todas foram submetidas a limpeza ácida, porém, apenas 50% tiveram aplicação sob as resinas restauradoras. Concluíram que as cavidades convencionais, 90% de inclinação, tiveram menores índices de micro infiltração quando recebiam uma camada de adesivo sob as restaurações (KEMPLER et al, 1976).

Em 1977, Barnes verificou a existência de infiltrações com o auxílio de um microscópio eletrônico, nas superfícies de contato das cavidades. As amostras foram restauradas com o uso das resinas Adaptic e Cosmic. O autor conseguiu visualizar

fissuras de até 3 micras de largura. Concluiu que os defeitos foram causados de um modo geral pela contração de polimerização das resinas (BARNES, 1977).

Em 1979, M. Randal avaliou a microinfiltração em restaurações com resinas compostas em pré-molares, submetidas a tensões. As amostras foram preparadas com e sem o uso de limpeza c/ ácido. Tendo sido submetidas a cargas de 147 N de maneira cíclica por 20 ciclos e depois armazenadas por um período de três dias a temperatura constante, e então submetidas a variações de temperaturas também em ciclos. O autor concluiu que com a limpeza ácida (ataque ácido) combinado com o adesivo, não se faz necessário a diluição da resina composta em resina fluida (RANDAL, 1979).

Também em 1979, Jones, Grieve e Harrington criaram um equipamento capaz de variar a temperatura da água de banhos. Este equipamento possuía uma câmara onde eram colocadas as amostras, com este equipamento puderam determinar o grau de micro infiltrações com ciclagem térmica. Duas resinas compostas foram utilizadas neste experimento, a Concise e a Cosmic, e também foi usado um cimento de ionômero de vidro. Os autores concluíram que, nas restaurações com as resinas compostas, os índices de micro infiltração foram maiores que com o uso do cimento (JONES et al, 1979).

Ainda em 1979, Ortiz, Phillips, Swartz e Osborne estudaram o efeito dos agentes de união na microinfiltração de resinas compostas. Para esta pesquisa, utilizaram as resinas Adaptic, Concise e Simulate, com seus respectivos adesivos (agentes de união). Os autores prepararam as amostras em 4 grupos. No grupo 1, as amostras tiveram aplicação direta das resinas compostas; no grupo 2, tiveram aplicação de adesivo + resina; no grupo 3, as amostras tiveram ataque ácido + resina; e, no grupo 4, ataque ácido + adesivo + resina. Concluíram que a infiltração foi maior nos grupos 1 e 2 (ORTIZ et al, 1979).

Em 1980, Avila Jr, Mondelli, Marques e Coradazzi analisaram a infiltração marginal, em restaurações utilizando diferentes tipos de materiais restauradores, amálgama, resina acrílica, resina composta e cimento de silicato. Os autores concluíram que cada material possui um índice de infiltração diferente e que as resinas compostas, somadas a um ataque ácido e um adesivo, durante a restauração, apresentaram menor nível de infiltração, dentre as amostras analisadas (AVILA et al, 1980).

Ainda em 1980, Crim e Mattingly avaliaram “in vitro” a microinfiltração de restaurações feitas com a resina Concise, utilizando diferentes métodos restaurativos, com e sem ataque ácido, com e sem adesivos. Efetuaram uma ciclagem térmica e

dispuseram as amostras numa solução aquosa. Concluíram que em todos os processos empregados havia a presença de infiltrações (CRIM e MATTINGLY, 1980).

Também em 1980, Nelson, Osborne, Gale, Norman e Phillips compararam o comportamento da resina composta Adaptic e da amálgama Dispersalloy em restaurações em molares, quanto a microinfiltrações. Durante 2 anos, os autores procuraram diferenças significativas entre as amostras restauradas com os dois materiais e não encontraram. Concluíram então que, os dois materiais restauradores poderiam ser utilizados perfeitamente como material restaurador e que o tempo médio de permanência das restaurações deveria ser de três anos (NELSON et al, 1980).

No mesmo ano, Hormati e Chan verificaram a infiltração em restaurações feitas com amálgama e com resina composta Adaptic. Os autores prepararam 20 amostras restauradas com resinas compostas, sendo 10 com a limpeza ácida e as restantes sem o tratamento. Para a visualização das infiltrações, as amostras foram submersas numa solução de violeta de genciana, por 24 horas. Concluíram que as restaurações com amálgama apresentaram um índice de infiltração menor do que com as resinas. Dentre as resinas, as que obtiveram menor infiltração foram as tratadas com a limpeza ácida (HORMATI e CHAN, 1980).

Ao mesmo tempo, D. W. Martin analisou "in vitro" a infiltração em restaurações com o uso das resinas Nuva Fill e Simulate, em dentes humanos pré-molares e caninos. Martin preparou as amostras utilizando duas técnicas para as restaurações: a) inserção normal da resina na cavidade; b) aplicação de resina fluida, sob e sobre a resina. As amostras, após restauradas, foram submetidas a ciclagem térmica. O autor verificou que a aplicação de resina fluida sobre as restaurações com resinas compostas obtiveram menos infiltrações (MARTIN, 1980).

Ainda em 1980, Tonn, Ryge e Chambers avaliaram "in vitro" o comportamento da resina composta Epoxydent e o amálgama Optaloy em restaurações de molares. Os autores realizaram mais de 100 pares de restaurações que tiveram seus preparos protegidos com cimento de hidróxido de cálcio e que ficaram isoladas e sendo observadas pelo período de 24 meses. Concluíram que o desgaste é menor nas restaurações com amálgama e que, quanto a adesão, os dois materiais se comportaram de maneira semelhante (TONN et al, 1980).

Em 1982, Retief, Rutland e Jamison avaliaram a infiltração marginal em pré-molares, restaurados com as resinas Concise e Silar. Após restauradas, as amostras foram submetidas a testes de ciclagem térmica. Concluíram observando as paredes, que

a micro infiltração nas cervicais foi maior do que nas oclusas e que os tipos de infiltrações eram semelhantes (RETIEF et al, 1982).

Em 1983, Hembree Jr estudou a microinfiltração em restaurações feitas com as resinas Isopast, Superfil, Finesse e Silar (micropartículas) e com a resina convencional Sevriton. Parte das amostras restauradas tiveram as cavidades limpas por ataque ácido e com o uso de adesivos e outro grupo, não. Hembree concluiu que as resinas produzidas com micropartículas apresentaram menor grau de infiltração do que a resina convencional, independentemente do uso ou não do ataque ácido (HEMBREE, 1983).

Também em 1983, Meeker, Hirsch e Kain estudaram a micro infiltração marginal em restaurações feitas com o uso da resina Adaptic. As amostras restauradas sofreram reparos propositais com adição de camadas de resinas e foram submetidas à variações térmicas em ciclos. Concluíram que as microinfiltrações encontradas ocorreram devido aos diferentes coeficientes de expansão térmica das resinas e da estrutura dental e, também, devido à contração de polimerização (MEEKER et al, 1983).

No ano seguinte, Vucain, Carcreff, Bonnaure-Mallet e Bayon utilizaram o solvente GK-101 e, após o uso, constatou que as superfícies, nas quais preparadas as cavidades, ficaram completamente limpas, ao serem observadas por microscopia eletrônica e por Neutrongrafia. Os autores concluíram que os instrumentos rotativos, usados para a retirada dos pontos cariados, deixam uma lama que precisa ser totalmente removida, antes da aplicação da resina (VUCAIN et al, 1984).

Ainda em 1984, Bauer e Henson analisaram diversos materiais restauradores, visando à detecção de micro infiltrações em suas amostras. Concluíram que, devido a sua baixa resistência e ao alto coeficiente de expansão térmica, as resinas compostas são mais frágeis, porém, com um tratamento adequado das cavidades, ataque ácido e adesivo, as restaurações com este tipo de material possuem uma excelente adesão e um perfeito selamento (BAUER e HENSON, 1984).

No mesmo ano, Hembree e Taylor avaliaram a micro infiltração marginal de diversos tipos de resinas, algumas polimerizadas por luz e outras polimerizadas quimicamente. As amostras foram preparadas com as paredes em forma de bisel. Os autores concluíram que a utilização de luz visível para a polimerização da resina não influencia na infiltração, dependendo apenas do tipo de resina, e que as resinas produzidas com micropartículas apresentaram mais infiltrações (HEMBREE e TAYLOR, 1984).

Em 1985, Crim e Mattingly opinaram que os melhores métodos para detecção de infiltrações marginais de materiais restauradores são os que utilizam as amostras imersas em soluções corantes e os que utilizam radioisótopos. Os autores procuraram infiltrações em pré-molares restaurados com a resina Concise e que foram submetidos a ciclagem térmica. Concluíram que os dois métodos são igualmente efetivos e que penetram nas interfaces dentes/restauração (CRIM e MATTINGLY, 1985).

Ainda em 1985, Hansen e Asmussen estudaram adesivos dentinários cujos preparos eram feitos em cavidades com ângulos diferentes nas bordas, variando de 90° a 160°. As avaliações das amostras foram feitas em tempos variados: 10min, 1h, 1dia, 7 dias, respectivamente. Concluíram que o aumento do ângulo resultava em melhor adesão entre o material restaurador e o dente (HANSEN e ASMUSSEN, 1985).

No mesmo ano, Arends, Veen, Groeninge e Schuthof estudaram a microinfiltração com o uso de três de resinas compostas: Sevriton, Concise e Isocap, relacionando as infiltrações às expansões. Foram feitas restaurações em dentes bovinos, preparando as amostras com bisel a 45º e ataque ácido. Concluíram que a infiltração de todas as amostras diminuiu com o tempo (ARENDS et al, 1985).

Em 1986, Holan, Fucks, Grajower e Chosack**,** através do uso de um corante, conseguiram determinar a microinfiltração em restaurações de classe II, em resinas compostas em molares decíduos, com o adesivo Scotchbond. Prepararam 48 amostras com bisel a 45º e com aproximadamente 1,5mm de extensão. As amostras foram separadas em dois grupos: a) Scotchbond como adesivo para a dentina e esmalte; b) dentina encoberta com Dycal somente no esmalte. Após as restaurações, as amostras sofreram acabamento e polimento; em seguida, passaram por uma ciclagem térmica e foram submersas no corante. Concluíram que o Scotchbond não foi efetivo quanto a prevenção de infiltrações (HOLAN et al, 1986).

Ainda em 1986, Staninec, Mochiznki, Tanizari e Fukuda verificaram as variações nas infiltrações e trincas, causadas devido a variações de temperatura nas restaurações com as resinas compostas Clearfil e Isopast. Todas as amostras receberam o ataque ácido e parte foi restaurada com a resina Clearfil e outra parte com a resina Isopast. Os grupos passaram por uma ciclagem térmica. Os autores concluíram que as variações térmicas causam um deslocamento no material restaurador (STANINEC et al, 1986).

Em 1987, Lambrechts, Braem e Vanherle avaliaram resinas compostas e determinaram que a contração de polimerização é diferente para cada tipo de resina:

compostas, híbridas ou convencionais. Após a análise das amostras, concluíram que a contração de polimerização é maior nas resinas do tipo Microfil, seguida pelas híbridas e pelas convencionais e que as híbridas necessitavam de um acréscimo de resinas diluentes, para uma viscosidade ideal (LAMBRECHTS et al, 1987).

Ainda em 1987, Lui, Masutani, Setcos, Lutz, Swartz e Phillips estudaram "in vitro" a qualidade de restaurações e a infiltração de diversas resinas compostas. Os autores armazenaram as amostras, dentes, em água por três semanas. Após esse período foram submetidas a uma ciclagem térmica. Prepararam réplicas em silicone e as analisaram em microscópio eletrônico, com o objetivo de estuda-las morfologicamente. Concluíram que os problemas de aderência marginal é inerente apenas à resina (LUI et al, 1987).

No mesmo ano, J. Kanca avaliou a microinfiltração em restaurações com resinas compostas, quando a penetração ultrapassava a junção cemento-esmalte. Aplicou um ionômero de vidro para a proteção das paredes e, depois, as amostras passaram por uma ciclagem térmica e imersão em corante. A avaliação foi feita segundo uma escala. Concluiu que a infiltração era tão menor quanto maior fosse a exposição do ionômero, e que, quando a infiltração era encontrada, ocorria apenas entre o dente e o ionômero (KANCA, 1987).

No ano seguinte, Kemp-Scholte e Davidson estudaram restaurações com resinas compostas da classe V. Os autores prepararam 40 amostras "in vivo" e "in vitro" e as expuseram a variações de temperatura. Concluiram que a contração de polimerização era o principal provocador de microfendas entre a dentina e a restauração (KEMP-SCHOLTE e DAVIDSON, 1988).

Ainda em 1988, Veira estudou a microinfiltração em cavidades empregando cinco diferentes sistemas adesivos com preparo em esmalte e cemento. O autor analisou diversas restaurações com resinas compostas encontradas no comércio. Concluiu que nenhum dos sistemas adesivos analisados conseguiram impedir totalmente o aparecimento de infiltrações, principalmente, os preparados no cemento (VIEIRA, 1988).

No mesmo ano, Garcia-Godoy e Malone avaliaram a microinfiltração em restaurações da classe V, e usaram as resinas Fulfill e Occlusin, aplicadas com os cimentos Gc Lining e Ketac Bond. As preparações foram realizadas "in vitro" e todas sofreram um ataque ácido com um gel de ácido fosfórico. As amostras passaram por um polimento e foram armazenadas em água, por 24 horas. Depois, sofreram uma ciclagem

térmica e foram imersas em corante. Concluiram que o emprego da resina Occlusin apresentou menor infiltração e o cimento como base não reduziu a infiltração (GARCIA-GODOY e MALONE, 1988).

No ano seguinte, Hansen e Asmussen estudaram o efeito de diferentes agentes de união, Gluma e Scotchbond 2, nas resinas compostas: Fulfil, Estilux, Oclusin e Silux. Com o auxílio de um microscópio eletrônico mediram as microinfiltrações, após 10 min e 28 dias dos procedimentos de restauração, mantendo as amostras conservadas em água destilada durante todo o período. Concluíram que todos os adesivos e resinas se comportaram da mesma forma, sendo que a resina Silux apresentou o melhor selamento após 28 dias (HANSEN, e ASMUSSEN, 1989).

Ainda em 1989, Chohayeb e Rupp realizaram comparações entre adesivos comerciais e experimentais, resinas de alta e baixa viscosidade, avaliando as microinfiltrações de cada material. Os dentes, antes de restaurados, foram colocados em imersão em água destilada e, após os preparos, também, porém, por um período de 24 horas, numa temperatura de aproximadamente 37 ºC. Em seguida, as amostras foram submetidas a variações de temperatura em ciclos, de 5 a 55 ºC, pelo período de 7 dias. Os autores não detectaram infiltrações nas paredes oclusais e concluíram que as resinas de baixa viscosidade eram menos suscetíveis à infiltrações (CHOHAYEB e RUPP, 1989).

Em 1991, Vieira**,** em sua tese de doutorado, avaliou "in vitro" a infiltração marginal de restaurações com resinas compostas fotoativadas em molares decíduos. O autor, na preparação de suas amostras, utilizou a resina Dentsply. Foram preparadas 32 amostras, sendo que 50 % pela técnica convencional e todas as amostras passaram por ciclagem térmica. Concluiu que não houve diferença, no que tange a infiltração, para os dois processos restaurativos, que o tipo de preparação das paredes também não influenciou e que a utilização de cimento de ionômero de vidro auxiliou na redução de microinfiltrações (VIEIRA, 1991).

Em 1991, Sorensen, Dixit, White e Avera estudaram "in vitro" a microinfiltração marginal de adesivos dentinários. As amostras, após restauradas, ficaram armazenadas, por 21 dias, imersas em água, à temperatura ambiente. Passado esse período, as amostras foram submetidas a uma ciclagem térmica e imersas em solução de nitrato de prata, por 60 minutos, e secas por exposição ao calor emanado de lâmpada durante 6 horas. Concluíram que em todas as amostras ocorreram micro infiltrações (SORENSEN et al, 1991).

Em 1993, Abdalla e Davidson realizaram comparações de infiltrações "in vivo" e "in vitro" em restaurações com resinas compostas. As amostras "in vivo" foram restauradas e, após aproximadamente 35 dias, os dentes foram extraídos e armazenados em água. As amostras "in vitro", após as restaurações, ficavam aproximadamente 20 dias em água, sendo então submetidas à ciclagem térmica e à ciclagem mecânica. Todas as amostras foram cobertas com esmalte cosmético e imersas em corante. Concluíram que as amostras "in vivo" apresentaram maior infiltração (ABDALLA e DAVIDSON, 1993).

Em 1994, Miranda Jr em sua tese de doutorado avaliou "in vitro" as infiltrações de pré-molares humanos restaurados com diferentes adesivos e resinas compostas. O autor utilizou resinas com características diferentes, ultrafina e feitas com micropartículas, e preparou suas amostras com diferentes adesivos encontrados no mercado. As cavidades foram terminadas em esmalte e em dentina, sendo esta última seca e úmida. Concluiu que as infiltrações foram mais intensas em dentina do que no esmalte, que, mesmo variando o adesivo, a manutenção de umidade na dentina reduziu as infiltrações; e qu,e com o uso de resina fluida, houve redução da infiltração (MIRANDA, 1994).

Em 1999, Ribeiro, Sá, Franco, Navarro avaliaram a resistência mecânica à tração de quatro diferentes sistemas adesivos. Cinqüenta amostras foram divididas em cinco grupos. Aplicaram resina em pequenas porções de uma matriz e, em seguida, aplicaram o adesivo sobre a resina. Após, a matriz foi adaptada num equipamento de ensaio, tipo Kratos. Os autores puderam concluir que não houve influência do verniz no sistema adesivo das resinas (RIBEIRO et al, 1999).

Em 2003, Sansivieiro, Mamede, Matumoto, Blass prepararam quarenta amostras coletadas de pessoas do sexo masculino e do sexo feminino. Nas amostras produziram cavidades em duas faces de cada amostra, que foram submetidas a reparos pelo mesmo operador e e passaram pelo mesmo processo. Depois, receberam forração com verniz. As amostras foram cortadas longitudinalmente e analisadas em microscópio eletrônico. Concluíram que o verniz não conseguiu selar totalmente as cavidades (SANSIVIEIRO et al, 2003).

Em 2006, Peixe, Firoosmand, Araujo realizaram estudos para avaliar a microinfiltração em restaurações de resina composta, quando eram utilizados adesivos dentinários de um mesmo fabricante ou em associação com diferentes fabricantes, as amostras restauradas foram imersas em corantes e, posteriormente, numa solução foto

reveladora sob luz fluorescente, foram realizados dois cortes e analisados com auxílio de uma lupa esterioscópica Zeis. Concluíram que a aplicação dos diversos adesivos não contribuíram para a redução ou aumento da micro infiltração (PEIXE et al, 2006).

Em 2010, Arora, Kundabala, Parolia, Thomas e Pai analisaram e compararam um novo adesivo dental aos mais antigos disponíveis no mercado, preparando, para tal, 36 amostras, divididas em três grupos. Em cada grupo, utilizaram restaurações com resinas, o adesivo tendo como variante. No primeiro grupo usou o adesivo Adper Single Bond-2; no segundo, Adper Prompt-L pop; e no terceiro não empregaram adesivo. Concluíram que se faz necessária a utilização dos adesivos e que o desempenho do novo adesivo foi comparável ao dos que já estão disponíveis no mercado (ARORA et al, 2010).

Em 2011, Barbosa e Crispim verificaram a micro infiltração, em amostras de dentes humanos restaurados com quatro tipos de resinas. Cavidades de mesmas dimensões foram produzidas nas amostras, para o emprego de uma mesma quantidade de resina em cada dente. Após as restaurações, as amostras foram submersas num líquido contrastante, de forma a evidenciar as possíveis falhas. Os autores utilizaram a técnica neutrongráfica como ensaio não destrutivo(END), na tentativa de visualizar as microinfiltrações. Conforme esperavam, nas amostras ensaiadas, não foram visualizadas microinfiltrações, porque o profissional que realizou as restaurações primou pelo esmero. Não observaram diferença na adesão, entre as resinas analisadas, e concluíram que os defeitos em restaurações muitas vezes são decorrentes de falhas do profissional, ao realizar os procedimentos (BARBOSA e CRISPIM, 20011).

CAPÌTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

II.1 - Ensaios Não-Destrutivos

São aqueles que, quando realizados sobre as amostras, não prejudicam nem interferem no uso e na estrutura das peças. Os Ensaios Não-Destrutivos aplicam-se à medição, à detecção de propriedades e à capacidade de desempenho de materiais metálicos, partes e peças de equipamentos e estrutura, por meio de energias físicas que não os lesam. Dentre os ensaios mais usados, citam-se:

****Visual***, o mais antigo deles, que exige uma definição clara e precisa de critérios de aceitação e rejeição do produto e inspetores treinados e especializados, para cada tipo ou família de produtos, podendo ser empregados para a verificação de alterações dimensionais e padrão de acabamento superficial, além da observação de descontinuidades superficiais visuais, tais como: trincas, corrosão, deformação, alinhamento, cavidades, porosidade.

****Líquidos penetrantes***, quando aplicados sobre a superfície a ser ensaiada, agem por um tempo de penetração e, depois, são removidos dela. Um revelador mostrará descontinuidades, com precisão, embora suas dimensões sejam ampliadas. Podem ser utilizados na detecção de vazamentos em tubos, tanques, soldas e componentes.

****Ultrassom***, onde um pulso ultrassônico é gerado e transmitido através de um transdutor especial, encostado ou acoplado ao material. Os pulsos ultrassônicos refletidos por uma descontinuidade ou pela superfície oposta da peça são captados pelo transdutor, convertidos em sinais eletrônicos e são mostrados na tela do aparelho. Detecta descontinuidades internas em materiais, mede espessura de peças e determina a corrosão com extrema facilidade e precisão.

****Partículas Magnéticas***, que se baseia na geração de um campo magnético que percorre toda a superfície do material ferromagnético. As linhas magnéticas do fluxo induzido no material desviam-se de sua trajetória ao encontrar uma descontinuidade superficial

ou subsuperficial, criando, assim, uma região com polaridade magnética, altamente atrativa às partículas magnéticas. Detectam descontinuidades superficiais e subsuperficiais em materiais ferromagnéticos, tais como, trincas, junta fria, inclusões, gota fria, dupla laminação, falta de penetração, dobramentos, segregações, etc.

****Termografia***, que utiliza raios infravermelhos, para medir temperaturas ou observar padrões diferenciais de distribuição de temperatura, e propicia informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo. Realiza medições sem contato físico com a instalação (segurança), verifica equipamentos em pleno funcionamento (sem interferência na produção) e inspeciona grandes superfícies, em pouco tempo, com alto rendimento.

****Radiografia convencional***, que emprega as radiações X emitidas das camadas eletrônicas dos átomos. Essas emissões não ocorrem de forma desordenada, mas possuem um "padrão" de emissão denominado espectro de emissão. Os raios X são gerados numa ampola de vidro, denominada tubo de Coolidge, que possui duas partes distintas: o anodo e o cátodo. Usa a propriedade de penetração da radiação X para examinar o interior de materiais e conjuntos lacrados. Num processo de inspeção radiográfica, as radiações penetrantes atravessam a amostra em ensaio. Uma pequena parte delas é absorvida pela amostra e o restante incide sobre um filme radiográfico, deixando impresso nele toda a estrutura do corpo de prova. A análise da espessura e da densidade do material em ensaio é que determina a energia necessária da radiação ou a tensão da máquina de raio-X para se executar a inspeção radiográfica.

****Gamagrafia*** *(radiografia com raios γ)*, que usa a propriedade de penetração da radiação γ (origem nuclear) para examinar o interior de materiais e de conjuntos lacrados. Os raios γ são radiações de natureza eletromagnética, que possuem grande poder de penetração, sendo necessária uma espessura de vários centímetros de chumbo para reduzir sua intensidade a valores não detectáveis.

****Neutrongrafia*** *(radiografia com nêutrons)*, que também usa a propriedade de penetração, sendo que, neste caso, usa-se os nêutrons (partícula de origem nuclear, desprovida de carga) para examinar o interior da matéria. Esta foi a técnica utilizada nesse trabalho e que será detalhada no decorrer do mesmo.

*__Tomografia__, técnica assistida por computador, onde, dados de diferentes perfis ou ângulos, são combinados e calculados para formar imagens "em fatias" dos objetos analisados, sendo mais comum o seu uso, atualmente, em medicina. Esses dados podem ser obtidos através de diferentes técnicas.

II-2- Nêutrons

Niels Bohr e Ernest Rutherford propõem a existência de uma nova partícula no núcleo atômico cuja massa fosse muito próxima à massa do próton e cuja carga elétrica fosse nula (GAMOW, 1963).

Em 1930, Walther Bothe observa a presença de uma radiação desconhecida e altamente penetrante, ao bombardear um alvo de berílio com partículas alfas, cuja reação nuclear é descrita abaixo:

$$ {}^{9}_{4}Be \; + \; {}^{4}_{2}\alpha \;\; \rightarrow \; {}^{12}_{6}C \; + \; {}^{1}_{0}n \qquad \text{(II.1)} $$

Dois anos mais tarde, o mesmo laboratório retornou a pesquisa objetivando provar a existência do nêutron, sob a dedicação do físico James Chadwick, que, no mesmo ano, estudando a radiação observada por Bothe, provou que ela consistia, na verdade, de um fluxo de partículas de massa muito próxima à do próton, sendo eletricamente neutra; a essa partícula foi cunhado o nome “nêutron” (GAMOW, 1963). Em 1934, Enrico Fermi foi o primeiro físico a usar nêutrons como projéteis nucleares.

Como partícula livre, o nêutron apresenta uma meia-vida em torno de 10 minutos, decaindo, posteriormente, em um próton (p), com a emissão de um elétron (e^-) e um antineutrino ($\overline{\nu}$), cuja equação pode ser visualizada a seguir:

$$ n \rightarrow \; p \; + \; e^{-} + \; \overline{\nu} \qquad \text{(II.2)} $$

II-2.1- Interação dos Nêutrons com a matéria

Os nêutrons, por não possuírem carga, podem atravessar grandes espessuras através da matéria, sem interagir com os núcleos dos átomos que a constituem e, nesta

situação, tornam-se totalmente invisíveis aos detectores mais comuns. Contudo, quando os nêutrons interagem com os núcleos, podem ser absorvidos por eles, que ficarão em num estado excitado e decairão emitindo radiações secundárias. Poderão ainda sofrer colisões e, então, mudar suas direções e seus estados energéticos.

Os tipos de interações dos nêutrons com os núcleos dependem de sua energia inicial. Para nêutrons lentos (abaixo de 0,5 eV), as interações incluem espalhamento elástico com os núcleos e um grande número de reações nucleares. Devido à sua baixa energia, os nêutrons eventualmente podem entrar em equilíbrio térmico com o absorvedor, tornando-se nêutrons térmicos, com uma energia média de 0,025 eV.

Se a energia do nêutron for suficientemente grande, acontece espalhamento inelástico com o núcleo, que recua e passa a um estado excitado. Posteriormente, o núcleo se desexcita, em geral, emitindo radiação gama secundária. Com as perdas de energia em sucessivos choques inelásticos, o nêutron torna-se lento ou térmico (BERGER,1963).

Os dois principais mecanismos de interação do nêutron com a matéria são o espalhamento e a absorção (LAMARSH, 1978), como pode ser observado na figura II.1.

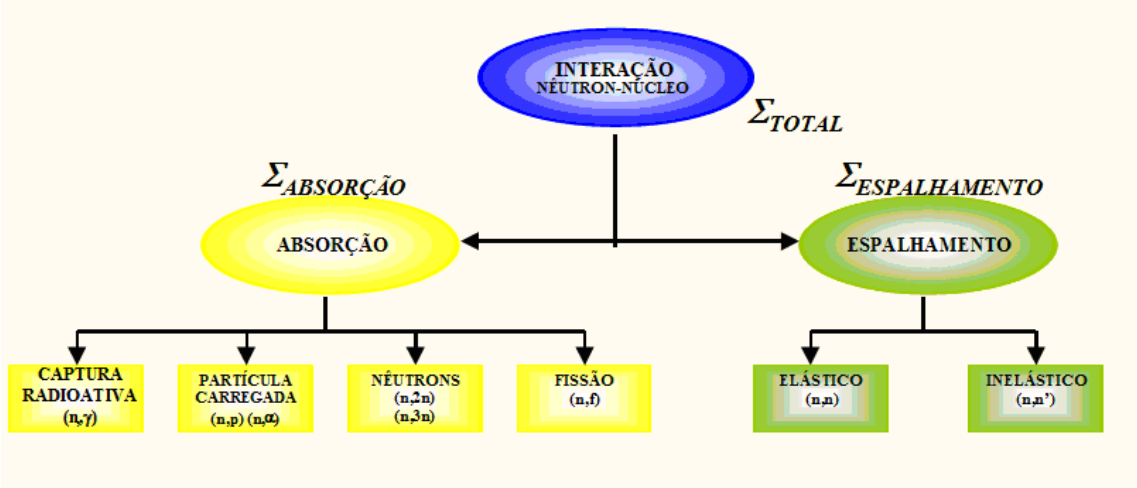


Figura II.1 – Diagrama das possíveis interações dos nêutrons com a matéria.

Em um espalhamento elástico (n,n), o núcleo com o qual o nêutron interagiu não tem sua estrutura alterada, ocorrendo apenas uma simples transferência de energia cinética e de momento linear. Um outro nêutron aparece e o núcleo se mantém em seu

estado fundamental. Essa interação é análoga ao de uma colisão entre duas esferas rígidas.

No processo de absorção, o núcleo captura o nêutron e sofre alteração. Não há conservação de energia cinética, sendo uma fração dela responsável pelo estado excitado do núcleo formado, denominado núcleo composto, que, ao retornar ao seu estado fundamental, proporciona a ocorrência de vários fenômenos, sendo os principais: espalhamento inelástico, captura radioativa e fissão nuclear.

A probabilidade de ocorrência de uma reação nuclear é medida por grandezas chamadas seções de choque. O conceito de seção de choque microscópica (σ) é fundamental, podendo-se entendê-la, classicamente, como uma medida da fração da área do núcleo atômico que foi atingida pela partícula incidente, tornando provável a ocorrência de uma determinada reação nuclear.

Um fator preponderante nesse processo é a energia dos nêutrons, uma vez que a probabilidade de ocorrer certo tipo de interação, depende dela.

Tabela II. 1 - Classificação dos nêutrons quanto à energia

Classe	***Energia (eV)***	***Subclasse***	***Energia (eV)***	***Observação***
Lentos	$0<E<10^3$	***Frios***	$0<E<2x10^{-3}$	***Pode atingir a rede cristalina dos materiais***
		Térmicos	$E\sim0,025$	***Distribuição Maxwelliana***
		Epitérmicos	$0,1<E<10^3$	***Fase de ressonância***
Intermediários	$10^2<E<5x10^5$			
Rápidos	$10^5<E<5x10^7$			
Muito Rápidos	$10^7<E<2x10^7$			
Relativísticos	$E>10^7$			

II-2.2- Atenuação dos Nêutrons

Um feixe de nêutrons pode ser atenuado por mecanismos de absorção ou de espalhamento, cujo efeito resultante é caracterizado pela seção de choque total. O valor da seção de choque depende da energia do nêutron incidente e da estrutura nuclear do

núcleo alvo. Para muitos núcleos, a seção de choque de absorção é inversamente proporcional à velocidade do nêutron (v), para baixas energias. Em certos valores de energia, aparecem picos de absorção, causados por ressonâncias que ocorrem, quando a energia do nêutron incidente é igual a um nível particular de energia do núcleo alvo.

Observa-se, experimentalmente, para feixes estreitos e bem colimados, que a intensidade, de nêutrons incidentes com energia E, $I_{0,}$ ao penetrar num meio com espessura t , decai exponencialmente (KNOLL,1999) para I(t), intensidade de nêutrons transmitidos pelo material, conforme mostra a figura II.2 , segundo a relação :

$$\frac{I(t)}{I_0} = e^{-\Sigma_{total}\, t} \qquad \text{(II.3)}$$

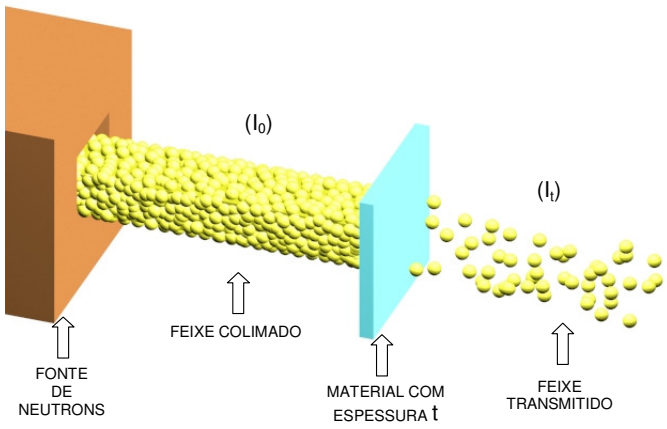


Figura II.2 – Desenho esquemático representando um feixe de nêutrons que ultrapassa um material com espessura t (BARBOSA, 2008).

A relação de atenuação de nêutrons em termos do conceito de fluxo de nêutrons pode ser encontrada em vários livros sobre Física Nuclear, dentre os quais as referências (KAPLAN, 1978; LAMARSH,1978).

Pode-se medir a probabilidade de atenuação dos raios x e dos nêutrons térmicos, quando essas radiações interagem com a matéria, pelos coeficientes de atenuação em massa correspondentes, expressos em cm^2/g. Os nêutrons podem ser atenuados por

materiais leves, penetrar materiais pesados, além de distinguir isótopos de um mesmo elemento, enquanto a atenuação dos raios X aumenta continuamente com o número atômico do material, podendo ser visualizada na figura II.3.

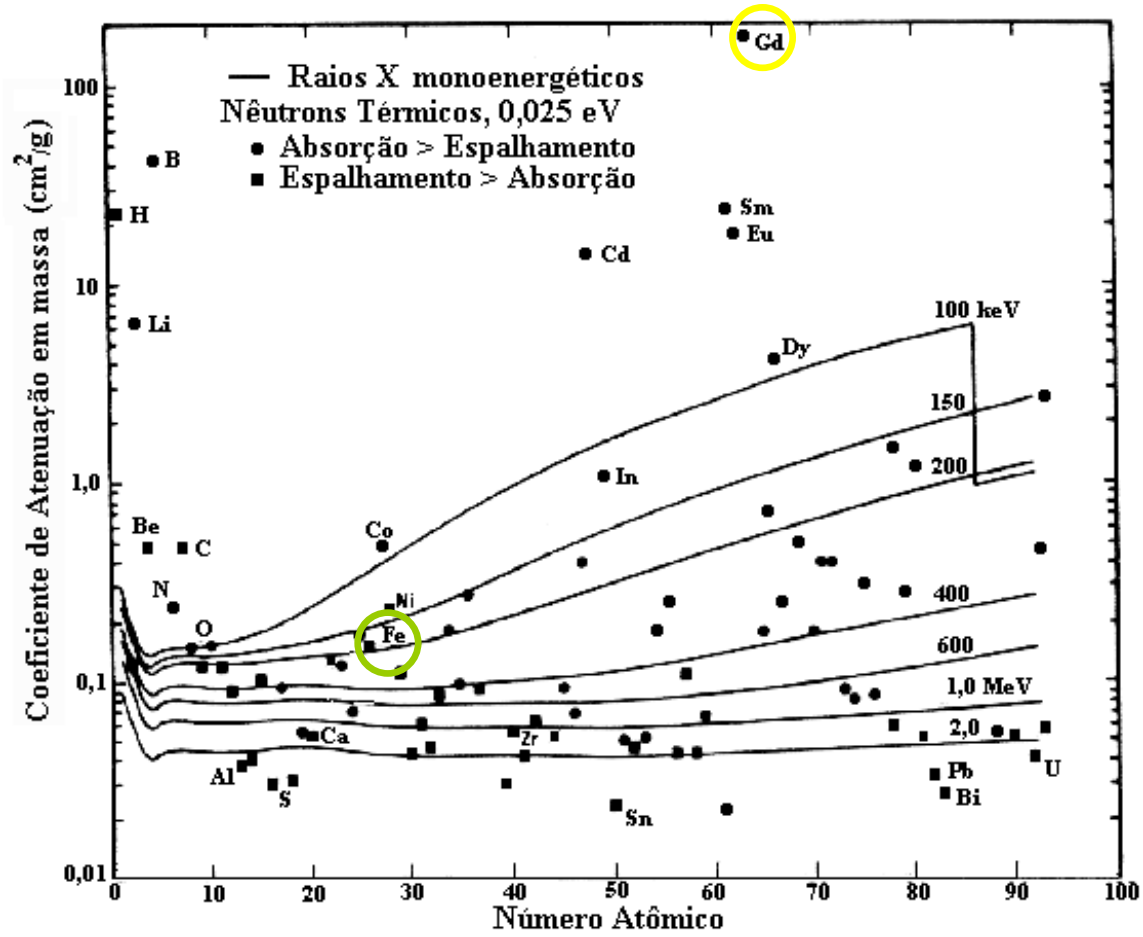


Figura II.3 – Coeficientes mássicos de atenuação de alguns elementos para raios-X monoenergéticos e seções de choque (absorção e espalhamento) para nêutrons (DOMANUS, 1992).

II-3 - Fontes de Nêutrons

As principais fontes de nêutrons decorrem de reações nucleares, ocorridas em reatores nucleares, aceleradores de partículas, fontes isotópicas e fontes fotoneutrônicas, que produzem nêutrons, através de reações do tipo $X^{A}(\gamma, n)X^{A-1}$, como, por exemplo, as reações $Be^{9}(\gamma, n)Be^{8}$ e $H^{2}(\gamma, n)H^{1}$. As vantagens associadas à utilização das fontes

fotoneutrônicas são: independência ao uso de substâncias radioativas naturais e o fato delas produzirem feixes monoenergéticos.

As fontes indicadas para execução de trabalhos neutrongráficos são: reatores nucleares, que podem ter um fluxo de nêutrons da ordem de 10^5 a 10^8 $n.cm^{-2}.s^{-1}$ permitindo se obter uma excelente resolução radiográfica, em curto tempo de exposição; aceleradores de partículas, que fornecem intensidade de fluxo entre 10^3 a 10^6 $n.cm^{-2}.s^{-1}$, média resolução gráfica e um tempo de exposição considerado médio; e as fontes radioisotópicas, cujo fluxo está compreendido entre 10^1 a 10^4 $n.cm^{-2}.s^{-1}$, e uma resolução baixa a média para um longo tempo de exposição. Neste trabalho abordou-se apenas os reatores nucleares, por ser a ferramenta disponível e com um fluxo desejável para a execução deste trabalho.

Os reatores nucleares podem gerar excelentes e altos fluxos de nêutrons para Neutrongrafias proporcionando exposições mais curtas, porém, disponibilizando também um fluxo de raios γ, o que justifica a importância da fonte fornecer uma alta razão n/ γ.

Não existe um reator específico para Neutrongrafia, sendo utilizados também para outros fins, porém, seu custo por hora de operação, é de cerca de 20 a 25 vezes menor que o de um acelerador (DOMANUS, 1992).

Em um reator nuclear de pesquisa, típico, o material físsil, geralmente urânio 235, é disposto no núcleo do reator, sendo envoltos por um meio moderador e, ambos, por uma blindagem radiológica de concreto. Da fissão de cada núcleo de urânio resultam, além dos fragmentos de fissão, a emissão de partículas carregadas, raios γ e de 2 a 3 nêutrons. Esses nêutrons nascem com energia aproximada de 2 MeV, e são denominados nêutrons prontos.

II.4 – Neutrongrafia

É uma técnica de END, capaz de visualizar o interior de uma determinada amostra, utilizando como base o princípio da atenuação de um feixe de nêutrons, que passa através do material que o constitui, dependendo portanto de seus elementos constituintes.

A história da Neutrongrafia se iniciou em 1935, com os alemães Kallman e Khun , que, utilizando nêutrons provenientes de um acelerador, obtiveram as primeiras imagens neutrongráficas (KALLMAN, 1948).

A Neutrongrafia difere da radiografia X, por não possuir uma resposta dependente do número atômico(z) do material que compõe a amostra. Desse modo, a probabilidade de ocorrer a atenuação do feixe neutrônico, não é a mesma para os raios X, ou seja, a Neutrongrafia e a Radiografia-X, visualizam de forma diferente um mesmo material.

Diferentemente dos raios X, os nêutrons são atenuados por materiais leves, como hidrogênio, boro e lítio, e podem penetrar os materiais pesados, como chumbo. Os nêutrons são capazes de diferenciar isótopos e elementos com números atômicos próximos.

Os três principais componentes envolvidos em uma Neutrongrafia são: a) um feixe de nêutrons apropriado; b) o objeto a ser neutrongrafado; c) um dispositivo para detectar, prontamente ou lentamente, a radiação secundária gerada através da interação do fluxo neutrônico modulado pelo objeto com o conversor de nêutrons, registrada num filme radiográfico, conforme mostra a figura II.4.

Neste trabalho, utilizou-se o feixe neutrônico provindo do canal de irradiação J-9 do reator nuclear Argonauta/IEN/CNEN, com um fluxo de nêutrons de energia em torno de 30 meV e da ordem de $4{,}46 \times 10^5$ $n.cm^{-2}.s^{-1}$, no plano da imagem. Como objeto de teste a ser neutrongrafado escolheu-se o Indicador de Resolução Visual (IRV) de cádmio , também denominado penetrâmetro. O sistema detector foi composto de uma chapa com filme radiográfico e uma tela conversora , acoplados intimamente dentro de um chassi radiográfico de alumínio.

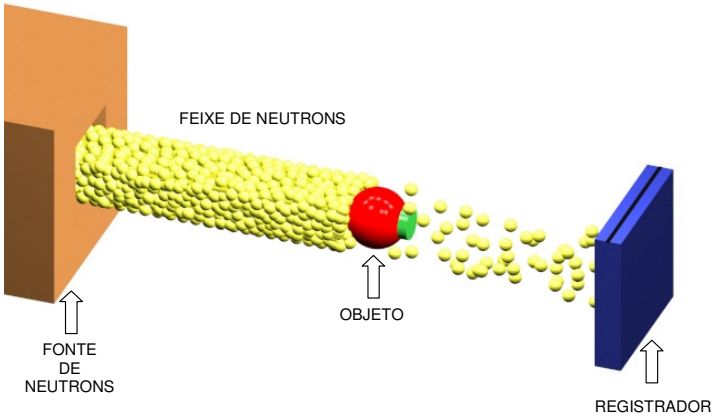


Figura II.4 – Principio básico da técnica neutrongráfica, utilizando filme radiográfico como registrador de imagem (BARBOSA, 2008).

A qualidade de uma Neutrongrafia pode determinar o grau de confiabilidade de uma inspeção. Vários fatores podem influenciar essa qualidade, em função do Sistema Neutrongráfico, utilizado, a saber:

* **Moderação dos nêutrons**

As fontes de nêutrons produzem nêutrons rápidos, cuja energia variam de acordo com as fontes. Em um reator nuclear a energia é em torno de 2 MeV e em um acelerador de partículas em torno de 14 MeV. Esses nêutrons devem, portanto ser termalizados, para fins de inspeção neutrongráfica com nêutrons térmicos. Os nêutrons ditos térmicos, são aqueles que atingem o equilíbrio térmico com os átomos e moléculas do meio, com velocidades que seguem uma distribuição Maxwelliana (LAMARSH, 1978). A Termalização ocorre, por meio de colisões com núcleos de um material moderador de baixo número atômico, Z. Emprega-se como material moderador, materiais com grande seção de choque de espalhamento (probabilidade de espalhar os nêutrons) e baixa seção de choque de absorção (probabilidade de absorver os nêutrons). Pode-se expressar o processo de perda de energia, através do decréscimo médio do logaritmo da energia do nêutron por colisão, de acordo com as equações (CRISPIM, 1975):

$$\xi = 1 + \alpha / 1 + \alpha \ln \alpha \qquad \text{(II.4)}$$

sendo:
$$\alpha = (A-1)^2 / (A+1)^2 \qquad \text{(II.5)}$$

A o número de massa do material moderador.

A razão de moderação, R_m, expressa a probabilidade do moderador espalhar os nêutrons e pouco absorver, dada por:

$$R_m = \xi \Sigma_s / \Sigma_a \qquad \text{(II.6)}$$

sendo: Σ_s a seção de choque de espalhamento e Σ_a a seção de choque de absorção.

Para uma moderação eficiente, R_m deverá ser o maior possível.

* **Colimação do feixe de neutrônico**

Os nêutrons emitidos pela fonte difundem-se aleatoriamente, segundo uma geometria 4π radianos, até o moderador, onde podem sofrer espalhamento e seguir diversas direções. Para fins de ensaios neutrongráficos, torna-se necessária a extração de feixes alinhados em canais de irradiação, onde se instalam colimadores que irão conduzir os nêutrons térmicos até o plano de irradiação das amostras. Os colimadores são construídos com materiais que apresentam uma relação Σ_a / Σ_s alta. A colimação visa melhorar a qualidade das imagens neutrongráficas de objetos espessos (FERREIRA, 2003).

O colimador define a forma do feixe e se caracteriza por sua divergência angular e razão de colimação. O dispositivo mais comum de colimação consiste da extração de um feixe divergente no interior do volume moderador, possibilitando ampliar a área da imagem radiográfica. A razão de colimação é definida pela razão $L/D = \alpha$, onde D é o diâmetro de abertura na entrada do colimador e L, a distância entre aquela abertura e o plano de detecção da imagem. A razão de colimação determina o fluxo de nêutrons que interage com o objeto, ϕ_{ob}. Se a abertura na saída for circular, ϕ_{ob} pode ser expresso, em primeira aproximação, por (DOMANUS, 1992):

$$\phi_{ob} = \phi_f \frac{\alpha^2}{16} e^{-\Sigma_g L} \qquad \text{(II.7)}$$

e, sendo a abertura quadrada, por:

$$\phi_{ob} = \phi_f \frac{\alpha^2}{4\pi} e^{-\Sigma_g L} \qquad \text{(II.8)}$$

onde:

ϕ_f é o fluxo de nêutrons na entrada do colimador;

Σ_g é a seção de choque macroscópica do gás contido no interior do colimador.

* **Filtros para raios γ**

Inerentes ao feixe neutrônico encontram-se os raios γ, que podem ser oriundos das reações primárias de produção de nêutrons ou das reações secundárias ocorridas nos materiais estruturais do arranjo. Eles deterioram a qualidade da imagem radiográfica (KATO e IKEDA, 2002), visto que alguns sistemas de imageamento são sensíveis aos raios-γ. Para atenuá-los, empregam-se filtros acoplados aos colimadores. Esses filtros têm a função de absorver os raios γ e, ao mesmo tempo, de atenuar, minimamente, a intensidade de nêutrons. Os materiais mais usados são o chumbo e o bismuto, que possuem alto coeficiente de absorção de massa para raios γ e baixa seção de choque de absorção e espalhamento de nêutrons térmicos.

Os filtros, embora empregados, em primeira instância, para atenuar os raios-γ, também provocam o deslocamento do espectro de energia dos nêutrons. Essa mudança altera a transmissão do feixe através dos materiais e, em geral, melhora a qualidade de imagem neutrongráfica (MENEZES, 2000). O valor desejável da razão n/γ varia com a técnica de imageamento selecionada, mas, normalmente, são recomendados valores da ordem de 10^5 *n.* cm^{-2}*.* mR^{-1} (BERGER,1986).

*** Blindagem para nêutrons e radiação gama**

Com o intuito de aumentar a segurança do operador, o arranjo experimental, em termos de proteção radiológica, utilizam-se blindagens. Para tal, utilizam-se materiais moderadores e materiais absorvedores de nêutrons, com alto coeficiente de atenuação para raios γ.

A importância de se usar uma blindagem, não só para proteger o operador do arranjo experimental, mas, evitar fantasmas ou sombras oriundas dos nêutrons e raios γ emitidos pelos objetos inspecionados, pelo arranjo neutrongráfico e, também, pela própria blindagem (KATO e IKEDA, 2002).

II.5 – Sensor Radiográfico

Obtém-se uma Neutrongrafia típica, ao se usar uma folha conversora de material apropriado, em contato íntimo com um filme radiográfico, armazenado num dispositivo à prova de luz (chassi). A folha do material conversor é necessária, porque os nêutrons, por serem radiações particuladas não ionizantes, praticamente não produzem um efeito direto sobre o filme radiográfico.

Um feixe de nêutrons que incide sobre uma amostra em inspeção será atenuado, de acordo com as propriedades de transmissão do material que a constitui. O feixe emergente atravessa a emulsão do filme praticamente sem sofrer atenuação e, pelo processo de captura, ser fortemente atenuado pelo material conversor. Ao absorverem nêutrons térmicos, os núcleos do material conversor emitem radiações que são espalhadas isotropicamente e formam uma imagem latente no filme. Esse tipo de ocorrência pode ser visualizada na figura II.5.

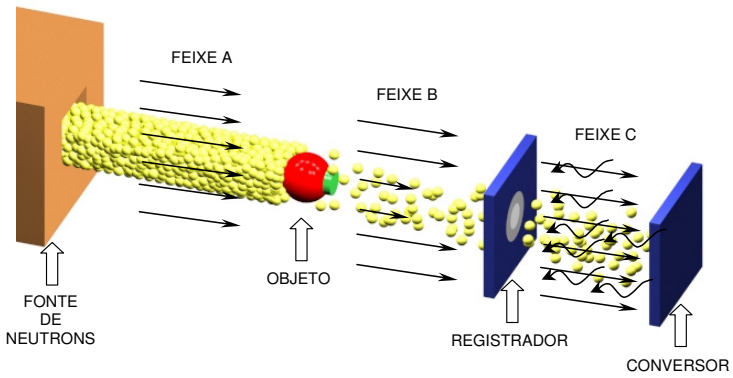


Figura II.5 – Principio básico da técnica neutrongráfica utilizando filme radiográfico como registrador de imagem (BARBOSA, 2008).

II.5.1 - Conversor de Nêutrons

Esse material é empregado com a finalidade de absorver os nêutrons incidentes com alta eficiência e, posteriormente, emitir uma radiação secundária capaz de sensibilizar um material registrador. Os materiais conversores podem ser de dois tipos: os de pronta emissão e os radioativos. No método direto, são utilizados os conversores de pronta emissão, isto é, que emitem uma radiação secundária imediatamente, tais como o lítio, o boro, o cádmio e o gadolínio, sendo esse último o que tem produzido melhores resultados em Neutrongrafias com nêutrons térmicos, devido a sua alta seção de choque. Algumas características do gadolínio podem ser observadas na tabela II.2. No método indireto, faz-se uso da radioatividade induzida em certos materiais, tais como o disprósio, o ródio, o índio e o ouro (ANDRADE, 2002).

Tabela II.2 – Características dos isótopos de gadolínio para a conversão de nêutrons térmicos em radiação secundária (MENEZES, 2000).

Ítens	Gd^{155}	Gd^{157}
Abundância isotrópica (%)	14,7	15,7
Reação	$Gd^{155}(n,\gamma)\ Gd^{156}$	$Gd^{157}(n,\gamma)\ Gd^{158}$
σ_a(E=25meV)	61.000 b	240.000 b
Partícula ionizante	e.c.i (*)	e.c.i

(*) e.c.i – elétron de conversão interna

II.5.2 – Neutrongrafia com Filmes Radiográficos

O filme radiográfico é um elemento fotossensível, que sofre alteração física, quando exposto aos efeitos de radiação eletromagnética, luz, calor, umidade, produtos químicos e manuseio inadequado. Tem por objetivo transformar a variação da intensidade da radiação registrada em imagem visível, após devido processamento químico. (MORAES, 2011). Muito usado nos sistemas de registro de imagens, a estrutura de um filme radiográfico de emulsão simples é composta de camadas, a saber (DOMANUS, 1992):

1 – película de gelatina para proteção contra marcas provocadas por ações mecânicas;

2 – camada de emulsão consistindo de pequeníssimos (0,1 a 3 μm) cristais de sal de prata;

3 – camada de substância agregante para melhorar a adesão da emulsão à base do filme;

4 – base do filme ou suporte, feita de triacetato de celulose;

5 – camada protetora para prevenir ondulações.

Quando o filme é exposto a radiação, os grãos de sal de prata absorvem energia e sofrem uma mudança física complexa. A energia absorvida pelos grãos produz neles íons de prata, chamados de centros de revelação. O conjunto desses grãos, que contém íons de prata, forma a imagem latente. Quando o filme é revelado, os íons de prata presentes nos grãos atingidos pela revelação são reduzidos à prata metálica, que dá origem ao escurecimento de partes do filme. Após à revelação, a imagem é fixada, por remoção química dos grãos de sal que não contem íons de prata. Como os grãos de prata precipitados são opacos à luz visível, uma imagem em tons de cinza é obtida.

Os principais parâmetros que determinam as características de um filme são:

- **Granulação**

Chama-se granulação à impressão criada pelo agrupamento das pequenas partículas de sais de prata, visíveis pelo olho humano ou com ajuda de equipamentos óticos. Como a constituição dos filmes depende da distribuição dessas partículas (grãos), o efeito de granulação pode ser entendido como um parâmetro característico de cada filme. Como a sensibilidade de um filme depende do tamanho dos grãos da emulsão, eles podem ser classificados, como rápidos, intermediários e lentos. Os filmes rápidos possuem grãos de maiores dimensões e, conseqüentemente, apresentam uma menor granulação (número de grãos numa área); quando se deseja observar com maior detalhe o objeto a ser radiografado, um filme lento deve ser escolhido, obviamente, porque possui maior granulação entretanto, um tempo maior de exposição ao feixe de radiação deverá ser necessário, para que todos os grãos sejam sensibilizados.

- **Densidade Óptica**

A densidade óptica é definida como uma medida do grau de enegrecimento da imagem formada no filme radiográfico, evidenciada pela presença de áreas claras e escuras (Figura II.6). Ela é expressa, matematicamente, como o quociente

entre o logaritmo da intensidade do feixe de luz incidente e a intensidade do feixe de luz transmitido, numa área particular do filme processado.

$$D = \log(\frac{I_o}{I}) \qquad \text{(II.9)}$$

onde:

D é a densidade óptica;

I_0 é a intensidade do feixe de luz incidente;

I é a intensidade do feixe de luz transmitido.

Conclui-se, pela equação (II.9), que, quanto maior a densidade, mais enegrecido ficará o filme. A quantidade (I/I_0), refere-se a fração do feixe de luz incidente que foi transmitida, conhecida como, Transmitância do filme radiográfico (DOMANUS, 1992).

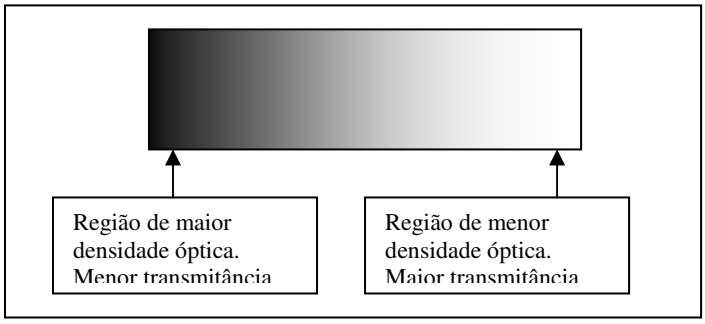


Figura II.6 – Densidade óptica e grau de enegrecimento de um filme Radiográfico.

- **Contraste radiográfico**

As variações de densidade de uma região para outra (área clara e área escura) ao longo do filme, são as responsáveis pela formação da imagem. A diferença na densidade entre essas regiões é denominada contraste radiográfico. Qualquer sombra ou detalhe na imagem é visível, em razão do contraste entre elas e o plano de fundo das estruturas que a cerca. Dentro dos limites apropriados, quanto maior o contraste ou diferença de densidade na radiografia, mais detalhes da imagem sobressairão. Outra maneira de se

definir o contraste é pela capacidade do filme detectar intensidades e energias diferentes de radiação (ANDREUCCI, 2003).

- **Exposição Radiográfica (E)**

Este parâmetro é definido como a medida da quantidade de radiação que atinge um filme e é dada pelo produto entre a intensidade do feixe de radiação, I, pelo tempo em que o filme fica exposto, t. Assim, para uma determinada intensidade de feixe, quanto maior o tempo de exposição, maior será a quantidade de radiação que atinge o filme, e, portanto, maior a densidade ótica desse filme (CRISPIM, 1992).

$$E = I \,.\, t \tag{II.10}$$

- **Velocidade de um filme radiográfico**

Se dois filmes de granulações diferentes forem submetidos a uma mesma exposição, eles apresentarão diferentes densidades óticas. Isto significa que os tempos para atingir um determinado valor de densidade diferem entre si, sendo um mais veloz do que o outro. Então, a velocidade é uma característica própria de cada filme. Ela determina a quantidade de radiação necessária para produzir uma certa quantidade de prata na revelação. A velocidade depende, principalmente, do tamanho dos cristais de prata presentes na emulsão. Quanto maior o tamanho dos cristais, mais rápido será o filme e menos tempo de exposição será necessário para que ele registre uma dada densidade na imagem. Esses filmes são indicados, por exemplo, para inspeção de peças bastante espessas, pois reduz o tempo de exposição (ANDREUCCI, 2003).

- **Curva Característica de um filme radiográfico**

A curva característica do filme radiográfico representa a resposta de um filme em densidade ótica ou em nível de cinza, em função de sua exposição a um feixe de radiação. Ela é também conhecida como curva sensitométrica ou curva H x D, iniciais de *Hurter* e *Driffield* (os primeiros a usá-las em 1890) (DOMANUS, 1992). A curva característica mostra como a densidade óptica resultante do filme varia com o logaritmo da exposição, e são construídas, submetendo-se o mesmo tipo de filme a um fluxo de nêutrons térmicos conhecido e tempos de exposição crescentes. Como se observa na pela Figura II.7, no gráfico semilogarítmico de D em função de E, inicialmente, a inclinação da curva característica aumenta com o crescimento da densidade

(convergência); na região mais central, a relação entre os dois parâmetros é linear, e, para valores de densidades óticas acima de 2.0, a inclinação da curva tende a decrescer (ressalto) (DOMANUS, 1992; SANTOS, 1977).

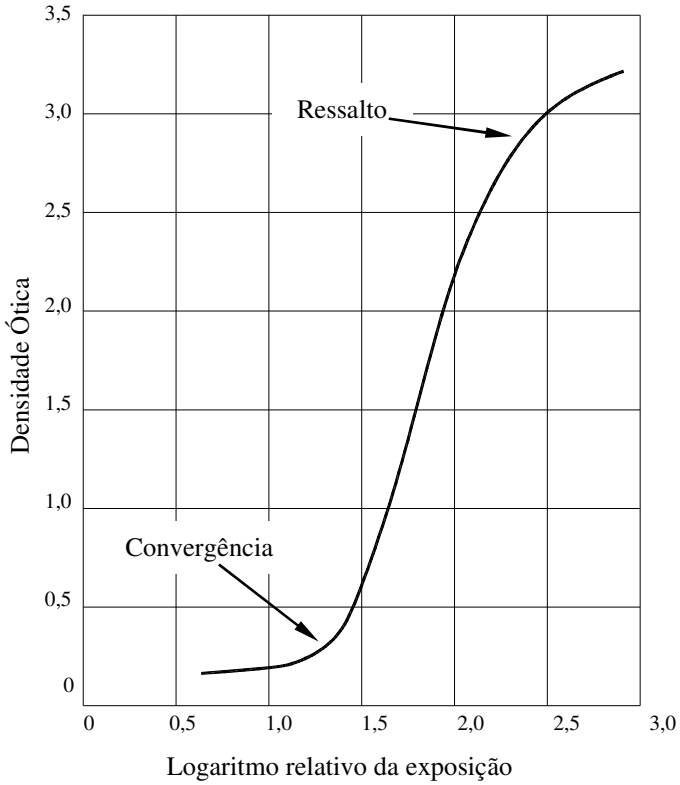


Figura II.7 – Curva característica de um típico filme radiográfico (DOMANUS, 1992).

Sendo o contraste radiográfico entre duas áreas de uma Neutrongrafia dado pela diferença entre as densidades óticas nessas regiões, pode-se relacionar o comportamento da curva característica e o contraste radiográfico.

Distinguem-se dois tipos de contraste: o contraste do objeto e o contraste do filme, que conjuntamente, contribuem de forma igualitária para o contraste neutrongráfico. O contraste do objeto é a razão da absorção dos nêutrons em duas regiões selecionadas do objeto. Ele depende da natureza do objeto, da energia do nêutron e do tipo de tela conversora usada, mas independe de outras variáveis de exposição, tais como, o tempo e as características do processamento do filme usado.

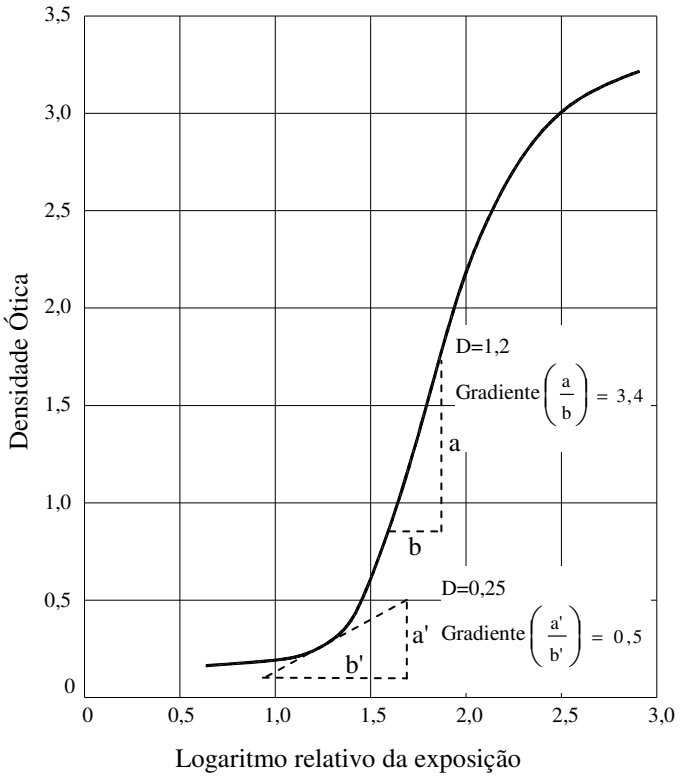
O contraste do filme refere-se a inclinação da curva característica do filme. Ele depende do tipo de filme, do processamento a que ele é submetido e da densidade ótica.

Uma vez que o formato da curva característica independe da maioria das variáveis neutrongráficas, o contraste do filme pode ser considerado quase independente do contraste do objeto, embora, como se mencionou anteriormente, ambos contribuam de uma forma igualitária para o contraste neutrongráfico, permitindo que uma área seja diferenciada de outra quando a Neutrongrafia é visualizada num negatoscópio (aparelho que usa a transmisão de um feixe de luz para o exame de negativos e chapas radiográficas) (CRISPIM. 1992).

Numa Neutrongrafia, duas imagens de regiões de absorção neutrongráfica ligeiramente diferentes podem ser distinguidas devido somente ao contraste neutrongráfico entre elas.

Mudanças na inclinação da curva característica e a visibilidade dos detalhes na Neutrongrafia estão intimamente relacionadas. Considere-se, por exemplo, que um objeto a ser inspecionado apresente duas espessuras ligeiramente diferentes, que transmitirão exposições pouco diferenciadas ao filme. Essas exposições terão, portanto, uma certa diferença no logaritmo relativo da exposição entre eles. A diferença das densidades correspondentes a essas duas exposições dependerá da região correspondente na curva característica, isto é, quanto mais íngreme a curva, maior será a diferença de densidade. Isto significa que a um certo intervalo do logaritmo relativo à exposição no meio da curva da Figura II.8 corresponderá uma maior diferença de densidade do que o mesmo intervalo em qualquer uma das extremidades das curvas.

Quando aplicada à curva característica de um filme radiográfico, a inclinação da linha reta é chamada gradiente do filme para aquela densidade particular (DOMANUS, 1992).



igura II.8 – Curva característica de um sistema tela-filme radiográfico. O gradiente foi avaliado em dois pontos da curva (DOMANUS, 1992).

Em densidades para as quais o gradiente é maior que um, o filme atua como um amplificador de contraste e, naquelas em que o gradiente é menor que um, os contrastes do objeto são menos aparentes na reprodução radiográfica (DOMANUS, 1992).

O contraste do filme pode ser expresso pela grandeza, denominada Gama (γ), definida como o coeficiente angular da parte linear da curva característica.

II.5.3 – Processamento dos Filmes Radiográficos

O processo de revelação do filme radiográfico é um dos fatores de maior importância para a obtenção de Neutrongrafias de boa qualidade e reprodutibilidade. Tanto a velocidade relativa (definida como a razão entre a velocidade de um filme X e um filme Y, obtidas das suas curvas características, desde que em iguais condições de exposição e revelação) como o contraste do filme, crescem com o aumento do tempo de revelação, o que propicia o deslocamento da curva da característica para a esquerda e aumento de sua curvatura.

O processo básico de revelação da imagem é o químico. Ele transforma a imagem latente (invisível), formada durante a exposição do filme à radiação, numa imagem em tons de cinza, relacionados às quantidades depositadas de prata metálica, de forma que represente, da maneira mais fiel possível, as estruturas do objeto inspecionado. O processo é composto de quatro etapas principais (CRISPIM, 1992; ANDREUCCI, 2003):

a) Revelação – é a fase na qual se dá a formação da imagem propriamente dita;

b) Fixação – nesta fase, os cristais que não foram fotoestimulados são dissolvidos e eliminados da camada de emulsão;

c) Lavagem – os subprodutos de fixação e outras substâncias solúveis indesejáveis são retirados da camada de emulsão, por meio de lavagem em água corrente;

d) Secagem – finalizando o processo de revelação, o filme é submetido a secagem para a retirada da água remanescente.

Tem-se outros fatores que contribuem para a qualidade da imagem neutrongráfica, que são: as temperaturas do revelador e do fixador. Segundo a recomendação do fabricante, Kodak, para filmes usados em radiografias industriais, na temperatura de 20 graus centígrados, são necessários 5 minutos para a revelação e 8 minutos para a fixação da imagem (KODAK, 1980).

II-6 - Amostras Dentárias

O dente é um órgão de massa dura com tecidos calcificados, de coloração esbranquiçada, situados na cavidade bucal e acomodados nos ossos do maxilar e da mandíbula, com formas variadas, se dispõem, um ao lado do outro, formando as arcadas dentárias.

Os dentes, mais duros que os próprios ossos, são formados por tecidos duros e mineralizados, aliás os mais duros do organismo, e os únicos capazes de apresentar vestígios de espécies animais extintas. É através do estudo dos dentes e dos ossos que os paleontólogos podem estabelecer quais os animais que viveram em épocas passadas e, ainda, reconstituir as relações entre os animais vivos e os fósseis, para determinar as respectivas linhas filogenéticas.

Para os zoólogos e filósofos naturalistas, os dentes são “orgãos de combate, de ataque e defesa”, que ajudam na conservação da espécie. Segundo Darwin, a raça mais forte se conserva e se perpetua, graças a essas armas. O dente é composto de dentina, polpa (popularmente chamada nervo), que pode ser entendida como o coração do dente, e por tecidos acessórios de revestimento que são: o esmalte e o cemento.

O dente está dividido em três partes: a coroa, o colo e a raiz. A coroa é a parte visível do dente; o colo corresponde à região de transição entre a coroa e a raiz, (aquela porção do dente onde se encontra o contorno gengival), e raiz responsável pela implantação do dente no osso, em uma cavidade denominada alvéolo dental.

A raiz e o colo não têm a proteção do esmalte, motivo pelo qual, quando essas regiões ficam expostas, sem cobertura óssea ou gengival, respectivamente, são sensíveis aos estímulos externos, como o frio e calor, que geram a dor. O alvéolo dental abriga a raiz do dente, que se liga ao osso, através de um acolchoado de fibras, e que tem o nome de ligamentos periodontais. Esses ligamentos funcionam como verdadeiros amortecedores das forças que atuam sobre os dentes no ato da mastigação. Na figura II.9, pode-se observar a composição dentária.

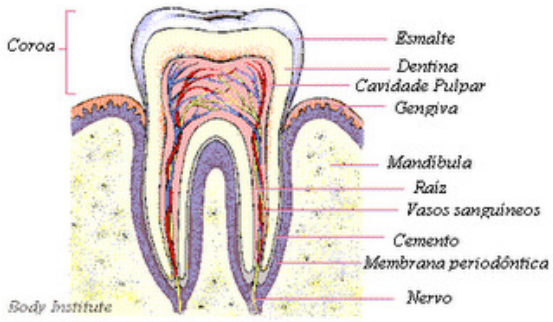


Figura II.9 – Composição dentária (WEBCIENCIA.com).

II-6.1 – Composição Dentária

Os dentes são compostos basicamente por: carbonatos, cálcio, fosfato e ferro. Dispostos da seguinte maneira:

Esmalte – 96% do mineral hidroxiapatita e
4% de água + matériais orgânicos.

Dentina – 70% de hidroxiapatita com fosfato de cálcio;
20% de materiais orgânicos e
10% de água.

Cemento – 40% de hidroxiapatita;
33% de colágeno e
27% de água.

Polpa – 100 % de material orgânico (vasos sanguíneos e nervos)

II.6.2 - Tipos de Dentes Humanos

Em sua primeira dentição, o ser humano tem 20 peças que recebem o nome de dentes de leite. À medida que os maxilares crescem, estes dentes são substituídos por outros 32 do tipo permanente. As coroas dos dentes permanentes são de três tipos: os incisivos, os caninos ou presas e os molares. Os incisivos tem a forma de cinzel para facilitar o corte do alimento. Atrás dele, há três peças dentais usadas para rasgar. A primeira tem uma única cúspide pontiaguda. Em seguida, há dois dentes chamados pré-molares, cada um com duas cúspides. Atrás ficam os molares, que tem uma superfície de mastigação relativamente plana, o que permite triturar e moer os alimentos. Na figura II.10, são mostrados os diferentes tipos dentários.

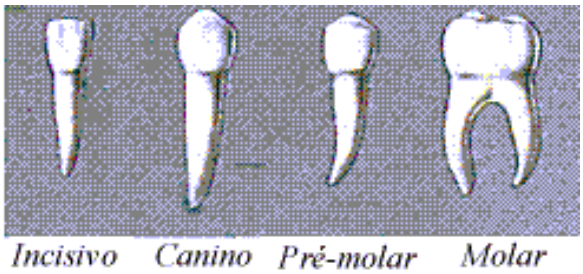


Figura II.10 – Tipos dentários humanos (WEBCIENCIA.com).

II-7 - Restaurações Dentárias

Uma restauração dental, também chamada de enchimento dental, refere-se ao uso de um material restaurador aplicado para restaurar a função, integridade e a morfologia da estrutura faltante do dente. A perda estrutural normalmente resulta de cárie ou trauma externo ou também de um dente perdido intencionalmente durante uma preparação para melhorar a estética ou a integridade física do material destinado a reparação. Restauração dental também se refere à substituição de estrutura ausente dos dentes, que é apoiada por implantes dentários (PEREIRA, 2004).

Nos dias de hoje, a quantidade de materiais utilizados em restaurações dentárias é muito variado. As resinas sintéticas surgiram como materiais de restauração, principalmente, devido as suas características estéticas. Elas necessitam apresentar translucidez e estabilidade de cor, para que sua aparência se assemelhe com a de uma estrutura dental original, para isso, devem possuir propriedades excepcionais, no que diz respeito a sua estabilidade química e dimensional, tendo que ser resistente, dura, mas, não friável (ORTIZ et al, 1979).

Não existe um tipo de restauração que seja a melhor para todas as pessoas. A indicação para cada caso dependerá de diversos fatores, que deverão ser analisados pelo profissional odontólogo que irá executar o serviço, tais como: extensão da área a ser restaurada, se o paciente possui ou não determinada alergia a materiais ou componentes, em que zona da boca é necessária a restauração e, o que muitos tomam como prioridade, o custo. Os diferentes materiais habitualmente usados são:

- Restaurações a ouro são feitas propositadamente num laboratório protésico e cimentadas na zona. Essas restaurações são bem toleradas pelos tecidos gengivais e podem durar cerca de 20 anos. Por essas razões, é considerada, por muitos profissionais entendidos na matéria, como o melhor material restaurador. Contudo, é a escolha mais cara e requer várias sessões clínicas;

- Restaurações a amálgama são resistentes e relativamente baratas. Contudo, devido à sua cor escura, são mais evidenciadas do que as de porcelana ou aquelas a base de compósitos, não sendo indicadas para nas áreas visíveis, como nos dentes anteriores.

- Resinas de compósito são escolhidas de acordo com a cor do dente e usadas onde é necessário se ter uma aparência natural. Os componentes são misturados e colocados diretamente na cavidade onde endurecem. Os compósitos podem não ser

ideais para restaurações muito extensas e podem fraturar ou mesmo partir, ao longo do tempo.

- Restaurações de porcelana são chamadas de incrustações ou facetas. São feitas sob medida por um laboratório de prótese e, em seguida, cimentada no dente. Podem combinar com a cor do dente e resistir à manchas. A restauração de porcelana geralmente cobre a maior parte do dente e tem um custo bem similar ao de restaurações em ouro.

II. 7.1 - Técnicas de Restauração

A priori, as técnicas restauradoras que envolvem o uso de compósitos em dentes posteriores podem ser divididas em três categorias:

- Técnica direta;

Consiste de procedimentos intrabucais. A restauração é realizada diretamente no dente, que requer o preparo com o adesivo, exigindo, geralmente, uma única sessão clínica. dependendo do profissional. Em comparação com as outras técnicas, tem menor custo.

- Técnica semidireta;

Inclui procedimentos intra e extrabucais. A restauração conta com o auxílio de um molde, geralmente de silicone, aplicado sobre o dente a ser tratado, que, em seguida, é retirado e uma polimerização adcional, em todas as faces é feita. Geralmente, envolvem apenas uma única sessão clínica, porém, o tempo dispendido é bem maior,

- Técnica indireta.

Após o preparo do dente, confecciona-se um molde em gesso, onde é realizada uma polimerização adicional, por meio de luz, calor ou mesmo pressão. Requer mais de uma sessão clínica (geralmente duas) e o auxílio de um laboratório protético-dentário. É a técnica mais custosa (NELSON et al, 1980).

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi adotada como metologia para esse trabalho, a técnica de END com nêutrons térmicos, com o objetivo de se visualizar, reconhecer e ou identificar alguma microinfiltração ou microfissura que possa ter ocorrido nas amostras após o preparo restaurativo com as resinas compostas analisadas, como citada no capítulo I.

Para o desenvolvimento, não se fez necessário o uso de técnicas com respostas rápidas como a Neutrongrafia em tempo Real, devido a suas imagens possuírem baixa resolução e baixo contraste, limitando-se às Neutrongrafias através do método direto com filme e apenas uma reconstrução de imagem por meio de Tomografia com seis Neutrongrafias de uma das amostras onde foram encontradas microfissuras. Ressalta-se que a técnica de Neutrongrafia em tempo real é de grande utilidade para a visualização de materiais diferenciados, mesmo estando ocultos (FERREIRA, 2008), porém, não sendo o escopo deste trabalho.

III.1 – Generalidades

Os adesivos dentários tem sido um instrumento clínico útil na Odontologia como elemento vedador das cavitárias, elemento retentor dos materiais restauradores e coadjuvante nas cimentações das restaurações com metal, cerâmica ou resina. A infiltração marginal é uma das principais deficiências apresentadas pelas restaurações dentárias em resina. A presença e o tamanho das fendas existentes entre a resina e as paredes cavitárias estão relacionadas a uma combinação de vários fatores, tais como: má- adaptação marginal do material às paredes cavitárias; contração de polimerização; margens de esmaltes finas; dificuldade na condensação e técnicas de inserção. A aplicação de um adesivo como alternativa de se minimizar uma microinfiltação tem sido defendida por vários autores, porém, tem-se observado que a microinfiltração não é totalmente eliminada, mas, só minimizada, em função do material restaurador empregado.

As metodologias convencionais empregadas em trabalhos com objetivos semelhantes consistem apenas de análise estatística “in vivo” e ensaios destrutivos “in vitro”. A metodologia proposta consiste em submergir algumas amostras de dentes

restaurados, segundo os procedimentos convencionais adotados pelos dentistas, em solução aquosa com agente contrastante, durante um intervalo de tempo determinado. Neste caso, optou-se por iniciar o tempo de imersão com 01 hora, e aumentar esse tempo até alcançar 24 horas de imersão. Assim, pode-se observar o grau de penetração do agente de contraste nas cavidades dentárias e posterior exposição aos feixes de raios X dentário e de nêutrons térmicos, para se obter imagens radiográficas e neutrongráficas, respectivamente, e avaliar as diversas restaurações dentárias.

Para se visualizar em detalhe as microinfiltrações, servindo, inclusive, como ferramenta para se investigar as microestruturas anatômicas, cujos tamanhos de vazios esperados, decorrentes do uso inadequado do adesivo dentário, são da ordem de 110 micra, optou-se pelo emprego de um filme de granulação dessa ordem nas Neutrongrafias (GOMES, 2003).

III.2 – Obtenção das Amostras Dentárias

Para a realização deste trabalho, fez-se necessário reunir certa quantidade de dentes humanos, que foram usados como amostras. Graças a doação voluntária de dentes extraídos de pessoas conhecidas, amigos, parentes e amigos de amigos, esta pesquisa foi realizada.

Ao término do período de coleta de amostras, foram obtidas dezesseis peças de diferentes tipos dentários, (molares, pré-molares e caninos), quando o ideal seria tê-las de um mesmo tipo, preferencialmente molares, devido ao seu formato. De qualquer forma, isso não comprometeu o trabalho, visto que todos tiveram, de maneira proposital, cavidades com dimensões semelhantes, onde foram depositados os materiais restauradores.

III.2.1 – Preparação das amostras

As amostras dentárias, foram imersas e permaneceram em soro fisiológico, como meio conservador (PEIXE et al, 2006; GHERSEL, 1999), sendo retiradas, primeiramente, para o processo de confecção das cavidades, por meio de uma broca giratória odontológica diamantada de número 1014. Esse procedimento executado por um único odontólogo, de vasta experiência, Dra Ana Paula F. Rodrigues.

Preparadas as cavidades, procedeu-se à limpeza delas isoladamente em água corrente, sendo, então, levadas ao reservatório contendo o soro fisiológico.

III.3 – Materiais restauradores

Em cada amostra, a cavidade foi feita pelo processo convencional utilizado nas restaurações em consultórios dentários. As cavidades foram produzidas com tamanhos semelhantes, de modo a se evitar que a quantidade de resina dentária diferencia-se em cada amostra e pudesse influenciar na análise das imagens obtidas. Além disso, quanto maior quantidade de resina, maior será a pressão nas paredes, afetando sua aderência e, conseqüentemente, a qualidade dos ensaios.

Antes de se iniciar o processo restaurativo, limpou-se o espaço criado, na cavidade de cada amostra, com ácido fosfórico e posteriormente, com água, para a retirada completa da "lama dentária", provinda do processo de atrito entre a broca e as paredes, como citado por Vulcain e outros (VULCAIN et al, 2002), evitando que ela interfira na aderência da resina à superfície dentária. Em seguida, as amostras foram colocadas novamente num recipiente contendo soro fisiológico (PEIXE et al, 2006).

Oito resinas de uso mais freqüente pelos dentistas, no estado do Rio de Janeiro, foram selecionadas: restaurador universal Z100 (3M-ESPE), compósito OPALLIS (FGM), restaurador de micropartículas HELIO FILL – AP (VIGO DENT), resina composta CHARISMA (HERAEUS KULZER), resina composta FILL MAGIC (VIGODENT), resina HERCULITE XRV (KERR), resina TPH SPEDTRUM (DENTSPLY) e resina DURAFIL VS (HERAEUS KULZER).

III.3.1 - Descrição das resinas

Restaurador Universal Z100

Mundialmente, é a resina mais utilizada, como grupo de controle de pesquisas, e a mais estudada do mercado, quanto as suas propriedades mecânicas e ao comportamento clínico. Fabricada pela 3M – ESPE.

Trata-se de uma resina micro-híbrida, indicada para restaurações em dentes anteriores e posteriores (classes I, II, III, IV e V), no fechamento de diastemas e esplintagem de dentes com mobilidade. As principais características e benefícios do produto são: é uma resina da marca 3M que apresenta maior resistência ao desgaste; possui material resistente à dureza, compressão e fratura; e imita as estruturas dentais.

Compósito OPALIS

Sua composição é do tipo micro-híbrida, cuja distribuição das nanopartículas de dióxido de silício permite um preenchimento adequado da resina, que resulta numa elevada resistência mecânica e, portanto, num menor desgaste. Além disso, facilita o processo de polimento, gerando uma restauração de superfície lisa e de alto brilho, o que a qualifica para emprego em dentes anteriores. Fabricada pela FGM.

Resina composta HELIO FILL – AP

É constituída de micropartículas polimerizável com luz halógena, por flúor, para restaurações em dentes posteriores e anteriores. Composta de Nupol e Dióxido de Silício. Propiciando maiores facilidades de: manuseio, acabamento e polimento. Além disso seu emprego é vantajoso por possuir maior resistência a abrasão. Fabricada pela Vigo Dent.

Resina composta CHARISMA

É uma resina composta universal fotopolimerizável, constituida de microglass (micropartículas vitrificadas), sendo radiopaca. Devido ao tamanho das partículas de carga, adquire alto brilho no polímero e é destinada ao tratamento restaurativo, desde que combinado com um sistema de adesivo adequado. Fabricada pela Heraeus Kulzer.

Resina composta FILL MAGIC

É um composto do tipo microhíbrido, constituído de partículas finas, sendo radiopaco e fotopolimerizável, indicado para aplicação em cavidades dentais ou em modelos de trabalho, no caso de reconstruções diretas de classes I, II, III, IV e V, correções estéticas e estabilização de dentes anteriores. Fabricada pela Vigodent.

Resina HERCULITE XRV

Possui alta resistência ao desgaste, brilho e suavidade, com garantia de longa duração e comprovação de eficácia clínica, durante 15 anos. Fabricada pela KERR.

Resina TPH SPEDTRUM

É indicada para uso em dentes anteriores e posteriores. Grande integridade marginal e maior durabilidade das restaurações. Com o uso de um novo fotoiniciador e alta quantidade de cargas inorgânicas fazem com que apresente um brilho natural após acabamento, alta resistência ao desgaste e um índice de baixo monômero não polimerizado. Fabricada pela Dentsply.

Resina DURAFIL VS

No mercado desde 1979, continua sendo considerada a melhor opção para restaurações de dentes anteriores, recebendo 98% de aprovação. Possui ótima consistência e ajuste aos contornos dentários incomparáveis, estética natural, com durabilidade e estabilidade. Fabricada pela Heraeus Kulzer.

III.3.2 - Materiais usados na restauração das amostras

As restaurações, foram realizadas por um único e experiente odontólogo, que as executou de forma esmerada, tal qual efetuaria em qualquer paciente. Dezesseis dentes foram restaurados sendo cada tipo de resina, citada no item III.3.1, aplicada em duas amostras dentárias. Em seguida, os dentes foram armazenados em soro fisiológico (PEIXE et al, 2006). Executou-se o procedimento dessa maneira para se evitar os vícios de procedimento, ou, a aplicação de técnicas diferentes durante as restaurações. Os materiais envolvidos na prática da restauração foram: dentes humanos; resinas compostas citadas no item III.3.1; e adesivos dentários, neste trabalho, o adesivo Single $Bond_2$ da empresa 3M.

III.4 – Ensaio Neutrongráfico

Obtém-se uma radiografia direta típica, ao se usar, como registrador de imagem, uma folha conversora de material apropriado, em contato íntimo com uma chapa de filme radiográfico, em um dispositivo à prova de luz (chassi). A folha do material conversor é necessária, porque os nêutrons, por serem radiações particuladas não ionizantes, praticamente não produzem um efeito direto sobre os grãos de prata que constituem o filme radiográfico.

Um feixe de nêutrons que incide sobre uma amostra em inspeção será atenuado, de acordo com as propriedades de transmissão do material que a constitui. O feixe emergente atravessa a emulsão do filme praticamente sem sofrer atenuação e, pelo processo de captura, é fortemente atenuado pelo material conversor. Ao absorverem nêutrons térmicos, os núcleos do material conversor emitem radiações que são espalhadas isotropicamente e formam uma imagem latente no filme.

Para se obter as neutrongrafias, utilizou-se, como fonte de nêutrons o reator Argonauta. As amostras dentárias restauradas foram irradiadas no feixe de nêutrons do canal de irradiação J-9, deste reator. Como registrador, para a radiografia industrial utilizou-se filme M (granulação fina) fabricado pela Kodak e, como conversor, uma folha metálica de gadolínio de 50 μm de espessura (BARBOSA, 2008).

III.4.1 – Características da fonte de nêutrons

O reator Argonauta, quando operado a uma potência nominal de 340 watts, fornece um feixe de radiação, no plano da imagem, com as características apresentadas na Tabela III.1 (CRISPIM et al,1996).

Tabela III.1 – Características do feixe de nêutrons do reator Argonauta do IEN.

DENSIDADE DE FLUXO DE NÊUTRONS TÉRMICOS $(n \cdot cm^2 \cdot s^{-1})$	RAZÃO L/D	RAZÃO n/γ $(n \cdot cm^2 \cdot mrem^{-1})$	ENERGIA MÉDIA (meV)
$4{,}46\times10^5$	70	3×10^6	30

Na Figura III.1, é apresentado o espectro de energia dos nêutrons emergentes do canal de irradiação J-9, do reator Argonauta (VOI, 1990), onde se observa que a velocidade mais provável dos nêutrons é de 2500m/s, o que corresponde a energia cinética de 30 meV.

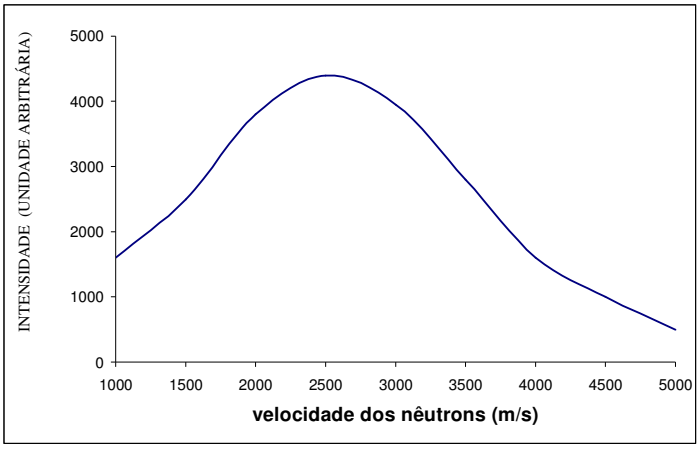


Figura III.1 – Espectro de nêutrons emergentes do canal de irradiação J-9 do reator Argonauta

O arranjo neutrongráfico experimental encontra-se instalado no canal de irradiação J-9, situado na da coluna térmica externa, à meia altura dos elementos combustíveis. Na Figura III.2, se observa, uma vista frontal da coluna térmica externa.

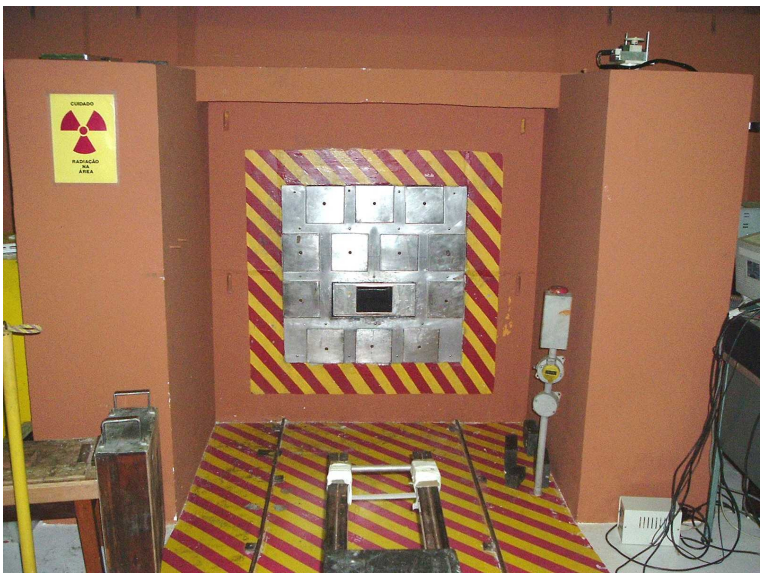


Figura III.2 – Coluna Térmica Externa do reator Argonauta.

No interior do canal J-9, encontram-se instalados os componentes necessários à extração do feixe de nêutrons térmicos mais uniforme e alinhado, conforme disposição esquemática mostrada na Figura III.3:

1. Moderador - um bloco de grafita, nuclearmente pura, com 25 cm de espessura, que foi determinada por cálculo da moderação dos nêutrons provindos do núcleo, na direção do canal J-9, de forma a se maximizar a intensidade de nêutrons térmicos no plano de detecção da imagem (RENKE,1993).

2. Colimador – um colimador divergente, em forma de tronco de pirâmide, tendo 60 cm de comprimento e divergência angular de 1,8º, com área seccional quadrada, na entrada, de 16 cm^2 e, na saída, de 49 cm^2, estando acoplado ao bloco moderador de grafita. A borda do colimador divergente foi revestida internamente com folhas de cádmio (2mm de espessura), de forma a se evitar a contribuição de radiação espúria (espalhamento) sobre o filme radiográfico, o que poderia reduzir a qualidade da imagem neutrongráfica. . Outro colimador paralelo moldado com parafina borada sob uma

estrutura de alumínio, foi encaixado na saída do canal J-9, semelhante a uma gaveta, visando melhorar o alinhamento do feixe neutrônico no plano de imageamento.

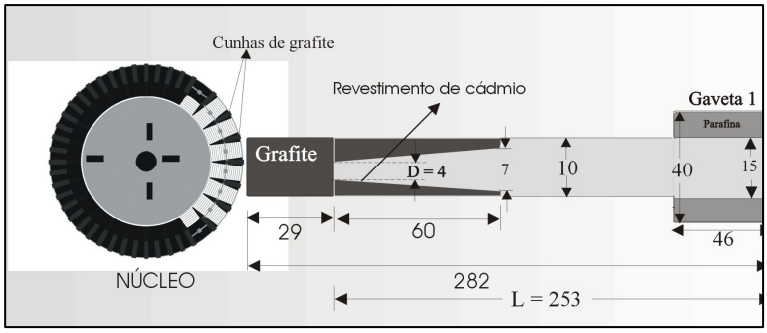


Figura III.3 – Disposição dos componentes no interior do canal J-9 (medidas em *cm*) (SILVANI, 2002)

3. Blindagem – a blindagem radiológica da instalação é subdividida, em três módulos, a saber: a blindagem intrínseca do reator, construída com blocos de concreto comum; uma blindagem adicional de parafina e uma parede de concreto de alta densidade, dispostas conforme mostra a Figura III.4. Com intuito de se aumentar a segurança radiológica do pesquisador, encontra-se disponível um blindagem móvel que se encaixa na saída do canal de irradiação. Foi construído em estrutura de madeira preenchida com parafina borada, tendo sido projetado, de forma a permitir o fácil manuseio das amostras e a minimizar a contribuição de nêutrons e de raios- γ espalhados pelas blindagens.

Figura III.4 – Disposição das blindagens do reator Argonauta/IEN (FERREIRA, 2008).

O arranjo experimental neutrongráfico instalado no canal de irradiação J-9 do reator Argonauta foi originalmente projetado para se realizar Neutrongrafias com filmes radiográficos e, posteriormente, foi adaptado para se fazer ensaios neutrongráficos de amostras com sistemas de imageamento eletrônico em tempo real.

Toda imagem neutrongráfica deve ser qualificada, de modo que as informações visuais sejam realmente relativas à atenuação do feixe de nêutrons que atravessaram a amostra. Para tal, existem normas nas quais métodos se baseiam para a determinação da qualidade da imagem da amostra, obtida, após exposição ao feixe de nêutrons. A Norma ASTM 1441-95, propõe método para se avaliar a qualidade da imagem mediante

dispositivos de exames visuais, tais como: Indicador de Resolução (IR), Indicadores de Qualidade de Imagem (IQI), Indicadores de Pureza dos Feixe(IPF) e Indicadores de Sensibilidade (IS). Através destes indicadores pode-se efetuar a análise das imagens.

O Indicador de Resolução Visual (IRV)utilizado, foi construído de acordo com critérios estabelecidos pela norma ASTM E 1025-84, para a qualificação da imagem radiográfica. O IRV utilizado foi confeccionado com chapa de cádmio (0,5 mm de espessura), com furos que variam em diâmetros de 0,25 a 1,00 mm, e são espaçados por distâncias iguais a esses diâmetros, conforme se mostra na figura III.5.

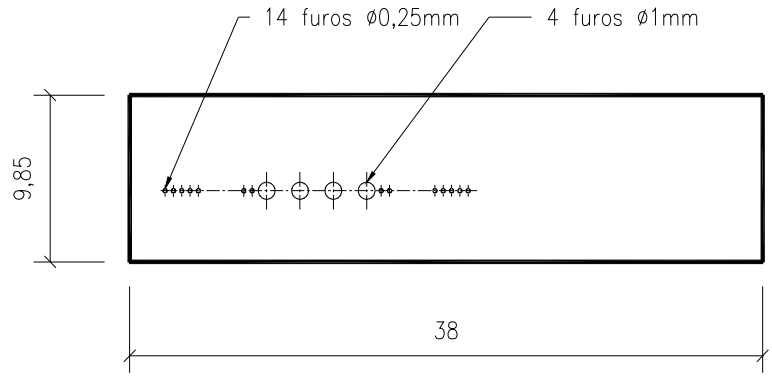


Figura III.5 – Desenho esquemático do Indicador de Resolução Visual (IRV), segundo a Norma ASTM E 1025-84.

Foi feito um teste para determinação do tempo de exposição ao feixe neutrônico. Em consonância com a curva característica para o sistema filme-conversor (CRISPIM, 1993), comprovou-se, através das imagens neutrongráficas, 60 minutos como tempo ideal. Para esse teste, foram utilizadas 04 (quatro) amostras de dentes dispostos um ao lado do outro, como poderá ser observado na figura III.6, mais adiante.

Após as amostras serem neutrongrafadas, (duas com cada tipo de resina), elas foram também inspecionadas com raios-x, para fins de comparação. Como os nêutrons e os raios-x interagem de modo diferente com os materiais, ou seja, possuem diferente poder de penetração, poder-se-ia examinar as regiões de interesse nas amostras dentárias por camadas em diferentes níveis de penetração.

Figura III.6 – Amostras dentinárias fixadas no chassi radiográfico para irradiação no feixe neutrônico.

Dando continuidade às imagens neutrongráficas, amostras foram preparadas de forma a simular defeitos de restauração, como, por exemplo, problemas de aderência as paredes dentárias. Deste modo, trabalhando com amostras com defeitos simulados, pode-se pesquisar os defeitos, identificá-los, quantificá-los e qualificá-los, sendo um meio eficiente de se buscar e detectar defeitos através da técnica neutrongráfia.

Com as amostras neutrongrafadas, procedeu-se à revelação e fixação das imagens. Para tal, utilizou-se o processo manual de revelação. Em uma câmara escura, prendeu-se cada chapa radiográfica num cabide apropriado que foi mergulhado num recipiente contendo o líquido revelador, pelo tempo estipulado pelo fabricante de acordo com a sua temperatura. Em seguida, foi mergulhado num líquido fixador, também, no tempo recomendado pelo fabricante. O processo de revelação é interrompido, ao se lavar a chapa radiográfica com um composto conhecido como Interruptor, que pode ser água filtrada corrente. Lavou-se as chapas radiográficas em água corrente e deixou-as secar.

A etapa seguinte refere-se ao processamento digital das imagens. Primeiramente as imagens foram digitalizadas num escâner (ScanMaker i900, fabricado pela Microtek), depois utilizou-se o programa computacional Image-Pro Plus, destacando-se os procedimentos de:

1- Captura e gravação as imagens em diversos formatos.

2- Uso de escalas de níveis de cinza em formatos com 8, 12, 16 ou 32 bits.

3- Uso de escalas de cores em formatos com 24, 36, ou 48 bits.

4- Tratamento digital das imagens, usando realce de cores e filtros de contraste, morfologia, aumento de áreas, dentre outros.

5- Seleção da área de maior interesse.

A utilização do processamento digital, visou a ampliação da imagem neutrongráfica, a fim de se visualizar melhor os defeitos mais comuns em restaurações, tais como: falta de aderência, existência de trincas ou poros significativos, sem perder a nitidez ou distorcer a imagem.

Além das imagens neutrongráficas das amostras dentárias, realizou-se uma reconstrução tomográfica, que será descrita no item III.6.1.

III.5 - Revelação

Quando um filme é exposto à radiação, ocorre a absorção de energia pelos grãos do sal de prata, que, conseqüentemente, sofrem uma mudança física complexa. Essa energia absorvida pelos grãos produz a quebra da ligação iônica do sal de prata, dando origem aos cátions de prata (Ag^+), chamados de centros de revelação. O conjunto desses grãos, que contém os cátions, forma a imagem latente. Quando o filme é revelado, os cátions Ag^+ presentes nos grãos atingidos pela radiação são reduzidos a prata metálica (Ag^0), que dá origem ao escurecimento de partes do filme. Após a revelação, a imagem é fixada, por remoção química dos grãos de sal que não contém íons de prata. Como os grãos de prata precipitada são opacos a luz visível, uma imagem em tons de cinza é obtida.

O processo básico para a obtenção de uma imagem radiográfica, é o químico. Ele transforma a imagem latente (invisível), formada durante a exposição do filme à radiação, em imagem visível de prata metálica, de forma a representar, da maneira mais

fiel possível, as estruturas do objeto inspecionado. O processo é composto de quatro etapas principais :

Revelação – é a fase onde a imagem latente torna-se visível por ação do agente químico chamado revelador. A solução reveladora fornece elétrons que migram para os grãos que foram sensibilizados e converte os outros íons de prata, que não foram expostos, em íons metálicos de cor escura, na qual se dá a formação da imagem propriamente dita.

Fixação –o agente fixador reage com os cristais que não foram fotoestimulados, dissolvendo-os e eliminado-os da camada de emulsão.

Interrupção/Lavagem –interrompe-se o processo de revelação com uma solução química interruptora, que pode ser a água filtrada, por ser economicamente mais viável. Para se eliminar os subprodutos da fixação e outras substâncias solúveis indesejáveis presentes na camada de emulsão, lava-se a chapa radiográfica também em água corrente filtrada.

Secagem – finalizando o processo de revelação, a chapa radiográfica é submetida a secagem para a retirada da água remanescente, em estufas específicas ou ao natural em local livre de poeira.

Outro fator importante a se considerar, para se obter uma imagem neutrongráfica de qualidade, é a manutenção da temperatura da água no tanque que armazena os recipientes contendo os líquidos revelador e fixador respectivamente, segundo a tabela fornecida pelo fabricante de filmes radiográficos Kodak, a temperatura de 20° C é a mais apropriada aos filmes argênteos usados em inspeções industriais(Industrex). Altos valores de temperatura podem deformar o filme, enquanto que baixos valores podem reduzir as eficiências de revelação e fixação (KODAK, 1980).

III.5.1 – Materiais usados para revelação das imagens

Abaixo a seqüência de materiais e equipamentos que foram utilizados na etapa de revelação das imagens. Nesse trabalho, o processo foi todo manual, apesar dele, atualmente poder ser realizado automaticamente:

- tanques plásticos de revelação, fixação e interrupção.
- solução reveladora Industrex Single Part, fabricado pela empresa Kodak.
- solução fixadora Industrex L O, também da marca Kodak.
- solução interruptora: água corrente filtrada.
- Cabides para secagem natural das radiografias.

III.6 - Sistema tomográfico

Num sistema tomográfico de terceira geração, a fonte de radiação e detector permanecem fixos, a amostra, ou corpo de prova, gira em torno de um eixo, centralizado na mesa tomográfica, em variações angulares uniformes de 30º, entre 0º e 180º , de maneira automática, controlada por um motor de passo, ou manualmente, com posições de referência marcadas e fixas na mesa tomográfica.

A mesa consiste de um disco de alumínio, confeccionado numa frezadora para que fossem feitas marcações angulares com a maior precisão que o frezador pode conseguir, acoplado a um motor de passo, fixado à estrutura, também em alumínio, devido as suas baixas seções de choque (captura e espalhamento). O motor é conectado a um microcomputador e um programa computacional, foi desenvolvido para efetuar as variações angulares e modificar o sentido de rotação, este arranjo confere o movimento desejado à mesa.

A amostra dentária foi fixada no centro da mesa tomográfica, presa por uma porção de massa de modelagem à sua base. Foram obtidas seis neutrongrafias com incrementos angulares de 30º.

O arranjo citado fica posicionado à frente do chassi radiográfico, alimentado com uma folha de filme radiográfico e de uma tela conversora de gadolínio. A cada 30º, gira-se a mesa num sentido pré-estabelecido, neste caso, horário, obtendo-se uma das

projeções neutrongráficas, após o tempo de exposição pré-estabelecido. Na figura III.7, observa-se a fotografia da mesa tomográfica com controle automático, instalada na saída do canal de irradiação, J-9, do reator Argonauta/IEN/CNEN.

III.6.1 – Reconstrução da imagem tomográfica

A reconstrução da imagem tomográfica foi realizada por meio do algoritmo ARIEM, mediante entrada de dados relativos a linha de varredura (abscissa), que poderá ser observada na figura IV.21. e corresponde aos níveis de cinza. Foram utilizadas seis projeções neutrongráficas com orientações angulares de 30º (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°), relativas ao centro do disco da mesa tomográfica.

O algoritmo ARIEM, baseado no conceito de Entropia Máxima, parte dos dados obtidos nas projeções neutrongráficas, já sitadas, através do comando ARIEM/SUB ENTRADA TOMOGRAFIA, e gerando um arquivo de armazenamento (ENTRADA_TOMOGRAFIA), que contém todas as informações das projeções. Parâmetros semelhantes aos usados por CRISPIM, 1993; SILVA, 1999 e HACIDUME, 1999.

III.6.2 – Materiais/equipamentos usados para reconstrução da imagem tomográfica

- mesa tomográfica, vista na figura III.7.
- chassi em alumínio para radiografias 21,0 cm x 12,0 cm x 1,2 cm.
- filme radiográfico Industrex M Kodak.
- tela metálica conversora de gadolínio com 50 μm de espessura.
- computador HP, com sistema operacional Microsoft Windows XP, 2 Gb de RAM.
- programa computacional Algoritmo de Reconstrução de Imagem baseado em Entropia Máxima (ARIEM)

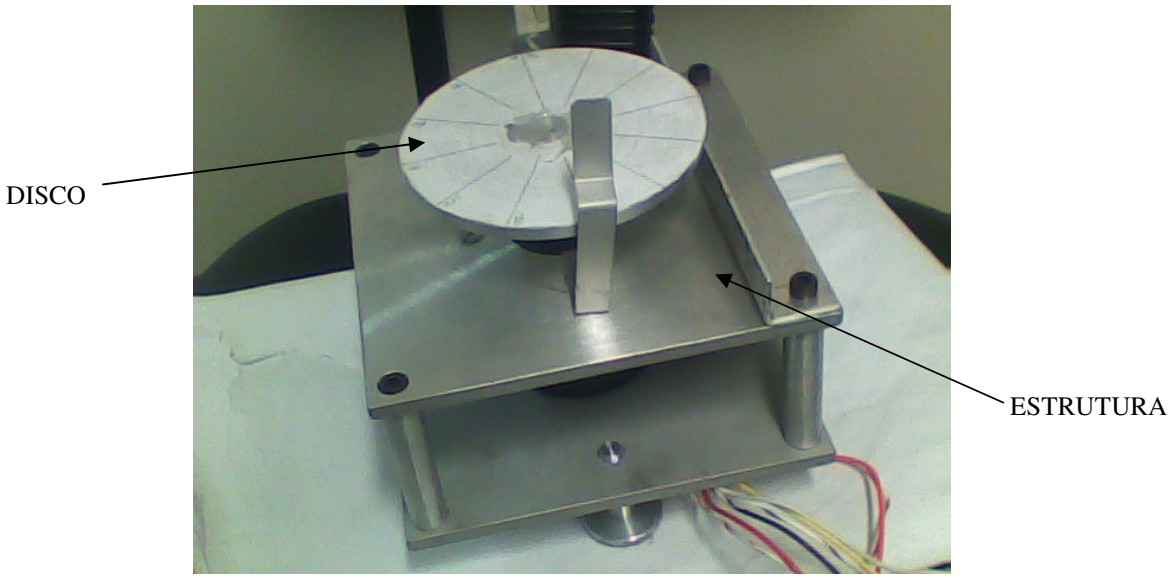


Figura III.7 – Mesa Tomográfica com controle automático de rotação, em torno do eixo central.

III.7 – Tratamento das imagens neutrongráficas

Uma vez obtidas as imagens neutrongráficas, realiza-se uma avaliação visual, para se verificar a necessidade de processar digitalmente cada imagem, visto que nem todas necessitam de tratamento. O passo seguinte é digitalizar as imagens com o uso de um scanner, marca Microtek, modelo Artix Scan F1. Como as imagens neutrongráficas dos dentes já são esperadas serem de baixo contraste, em função do espalhamento dos nêutrons na composição dentária, fazem-se necessários ajustes nos níveis de contraste e brilho. Utilizam-se métodos computacionais que melhorem nesse caso, a qualidade dos ensaios radiográficos, sendo considerados três níveis de processamento digitais (FERREIRA, 2008):

- Nível baixo, que consiste da aquisição e do pré-processamento das imagens. Visa melhorar a aparência ou destacar aspectos das informações que contém. Os mais usados são ajuste de contraste, redução de ruído e tratamento pontual, realçando ou modificando a imagem (GONZALEZ, 2002).

- Nível médio ou Intermediário, que consiste da extração e caracterização das partes que compõe as imagens. É utilizado para analisar uma imagem ou determinada

região de interesse. A mais usada é a segmentação, com o objetivo de categorizar, classificar, coincidir ou medir elementos dentro da imagem;

- Nível alto, voltada ao reconhecimento e a interpretação de dados contidos nas imagens. Usados para combinar, agrupar e reorganizar partes de uma imagem.

III.7.1 – Filtros digitais para o processamento da imagem neutrongráfica.

Filtração espacial, é uma metodologia computacional ou técnica unidimensional que permite a redução de ruídos na imagem. Dentre os filtros mais utilizados citam-se:

- Filtro Passa-baixa, que permite a passagem de sinais de baixas freqüências, atenuando sinais acima de uma freqüência de corte,. sendo capaz de extrair interferências de alta freqüência, permitindo se evidenciar as bordas dos elementos presentes na imagem.

- Passa-alta, que permite a passagem de sinais de altas freqüências, atenuando os abaixo de uma freqüência de corte. Dessa maneira realça o contraste.

- Mediana, que elimina ruídos aleatórios. Nas imagens neutrongráficas, se devem, muitas vezes á interação dos raios gama com o material da amostra, espalhados e, visualizados por pontos brancos na imagem.

Na execução deste trabalho, utilizou-se apenas como processamento digital o morfológico, objetivando o realce de detalhes.

III.7.2 – Materiais e equipamentos usados para tratamento das imagens

Os equipamentos usados foram:

- scanner marca Microtek, modelo Artix scan F1.
- computador HP, com sistema operacional Microsoft Windows XP, 2 Gb de RAM.
- programa computacional IMAGE-PRO-PLUS.

III.8 – Neutrongrafia versus Radiografia convencional com raios X– Intercomparação

Considerando-se que, na Odontologia, a técnica utilizada para inspeção não-destrutiva das amostras dentárias é a radiografia convencional com raios-x, realizou-se-as, para intercompara-las com as neutrongrafias. Utilizou-se um equipamento da marca Ergodonto, com disparador eletrônico, sem retardo, a uma corrente de 8 mA e tamanho do cone de 18 cm, usado em consultório dentário. Mesmo sabendo que a penetração dos raios X, dependendo de alguns fatores, como: energia e do material incidente, pode ser inferior a dos feixe de nêutrons, pode-se comparar as imagens, objetivando, como a meta da pesquisa, visualizar as infiltrações ou microinfiltrações em cada amostra, motivo da intercomparação entre as imagens radiográficas com raios X e nêutrons térmicos.

III.8.1 – Amostras com defeitos

Com o objetivo de se determinar a eficiência da técnica proposta, em estudos do emprego das resinas restauradoras compostas, algumas amostras foram preparadas, por uma odontóloga: Dra. Ana Paula F. Rodrigues, de forma a forçar micro defeitos ou microinfiltrações propositais, obtidos pela ausência de adesivo ou limpeza inadequada.

Uma vez preparadas as amostras provavelmente contendo defeitos foram geradas suas imagens radiográficas e neutrongráficas, seguindo os procedimentos descritos anteriormente.

Na etapa seguinte, passou-se a visualiza-los nas imagens, identifica-los e tentar quantificá-lo, mediante o auxílio de um programa computacional como o IMAGE-PRO-PLUS, versão 4.5.0.29 for Windows 98/NT/2000.

A intercomparação das imagens obtidas definirá qual delas permite a melhor visualização de determinados defeitos.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS

Imagens neutrongráficas e radiográficas obtidas durante a execução deste trabalho foram obtidas segundo a metodologia descrita no capítulo anterior. As imagens, tanto neutrongráficas quanto radiográficas, foram melhoradas, através de processamento digital, variando-se o brilho, contraste e emprego filtros, para a redução de ruídos.

IV.1 – Imagens Neutrongráficas

IV.1.1 – Determinação do tempo de exposição

Por se tratar de uma quantidade limitada de amostras biológicas, com diferentes espessuras e compostas de materiais diversos, não se dispunha como montar uma curva característica do filme Industrex M da Kodak com o agente contrastante à base de gadolínio, para se obter o tempo de exposição adequado, de modo a se obter imagens neutrongráficas de qualidade. Assim sendo, através de resultados decorrentes de outras pesquisas (MORAES, 2011; BARBOSA, 2008; LIMA, 2005), resolveu-se realizar NR de amostras expostas durante 60 e 90 minutos, respectivamente, ao feixe neutrônico provindo do canal de irradiação, J-9, do reator Argonauta.

Na figura IV.1, pode-se observar com detalhes de mérito para os dentistas, o interior das amostras, tais como: a) restaurações e b) canais dentários. O tempo de exposição ao feixe de nêutrons foi de 60 minutos como usou BARBOSA, 2008, e o tempo de imersão das amostras em agente contrastante (nitrato de Gd), 24 horas.

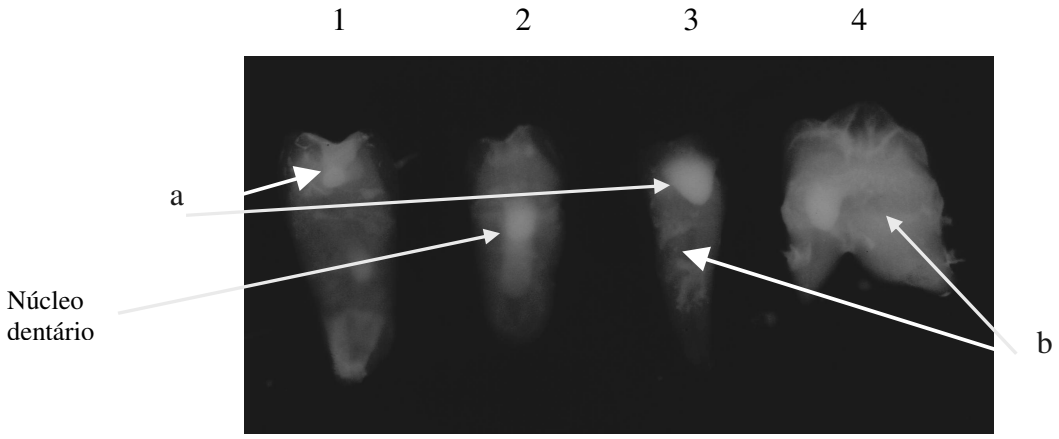


Figura IV.1- NR de amostras restauradas com as resinas Z-100 (1), Opallis (2), Helio Fill-AP (3) e Charisma (4),imersas em agente contrastante (nitrato de Gd) visando-se estimar o tempo de exposição adequado.

Na figura IV.2, pode-se observar também: a) restaurações e b) canais dentários. Neste ensaio neutrongráfico, o tempo de exposição ao feixe de nêutrons foi de 90 minutos.

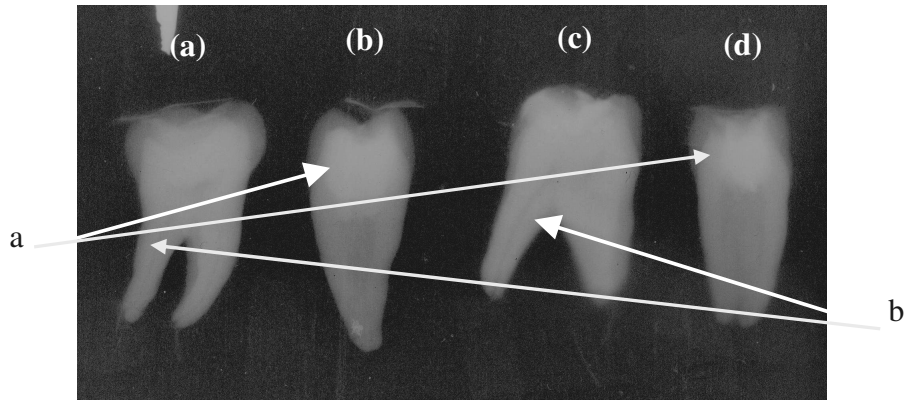


Figura IV.2 - NR de dentes restaurados com as resinas Fill Magic (a), Herculite (b), TPH (c) e Durafilll (d), sem o uso do contrastante(nitrato de Gd), visando-se estimar o tempo de exposição adequado.

Nas figuras IV.1 e IV.3, o uso do agente contrastante, permitiu observar, com mais nitidez, detalhes, como: a) restauração e b) canais dentários. O tempo de exposição ao feixe de nêutrons foi de 60 minutos.

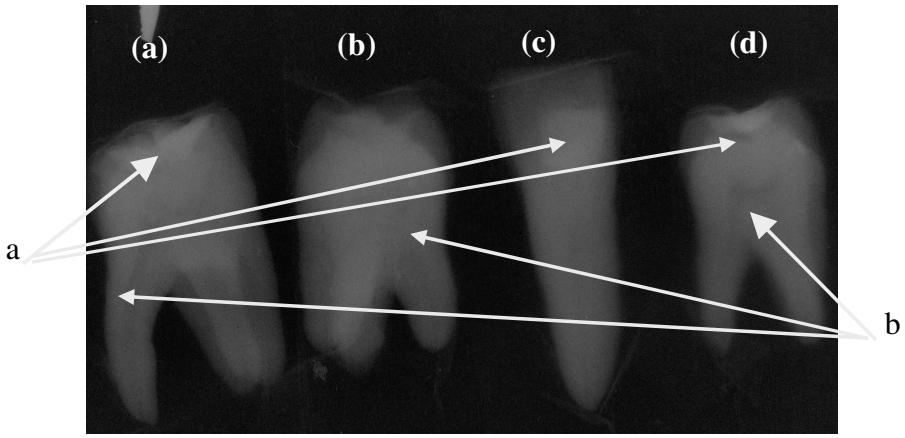


Figura IV.3- NR de dentes restaurados com as resinas Fill Magic (a), Herculite (b), TPH (c) e Durafilll (d), imersos por 24 horas em agente contrastante (Gd), para determinação do tempo de exposição adequado.

Comparando-se, as imagens neutrongráficas figuras IV.1, IV.2 e IV.3, como foi mencionado no capítulo anterior, que o tempo de exposição ao feixe de nêutrons adequado seria de 60 minutos, devido a apresentar maior nitidez.

IV.1.2 – Determinação do tempo de imersão no agente contrastante.

Analogamente às justificativas anteriores dadas para se estimar o tempo de exposição, procedeu-se à imersão das amostras dentárias no agente de contraste pelos seguintes intervalos de tempo, 01 hora, 06 horas, 12 horas e 24 horas, sendo que 24 horas foi o tempo que se mostrou mais adequado.

Nas figuras IV-4 e IV-5, as amostras não possuem restauração e foram utilizadas para verificar a atuação do agente contrastante com relação à visualização de defeitos. A seta na imagem IV.4 indica a presença nítida do canal dentário.

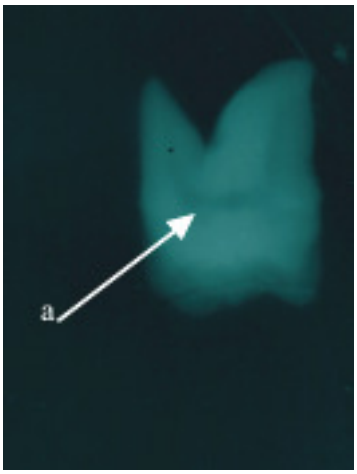


Figura IV.4 - NR de dente não restaurado , obtida, após 24h de imersão no nitrato de gadolínio e um tempo de exposição ao feixe neutrônico de 60 minutos.

(a)

Figura IV.5 - Neutrongrafia de dente sem restauração, tempo de exposição de 60 min, sem imersão no Gadolínio. Amostra a.

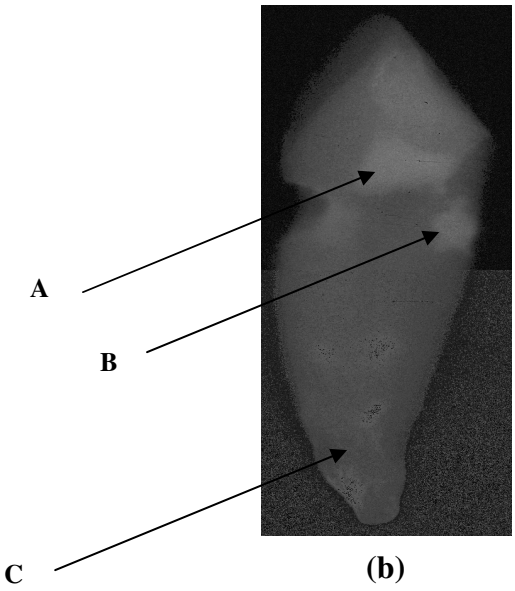


Figura IV.6 - Neutrongrafia de dente restaurado com a resina Opallis, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio. Amostra b.

Na comparação das imagens neutrongráficas, obtidas com e sem imersão em agente contrastante, figuras IV.5 e IV.6, torna-se evidente que o uso do agente de contraste permitiu se observar com maior nitidez, os diferentes materiais que compõem as amostras(A), bem como os canais (C) e defeitos dentários (B).

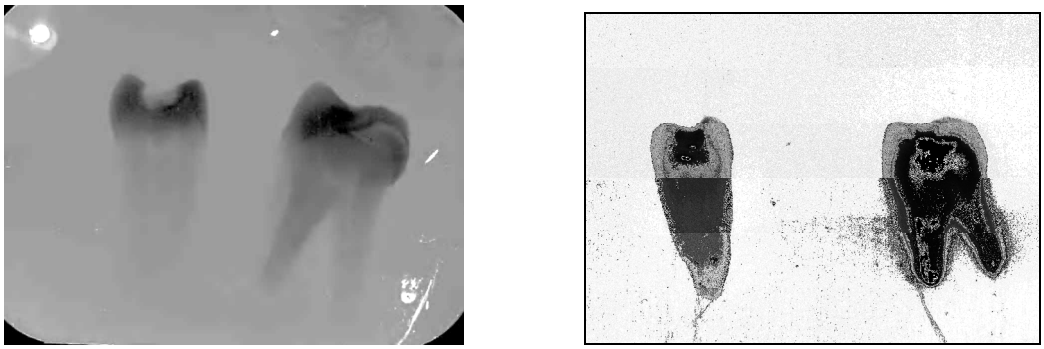
Foi observado, devido a composição das amostras,(carbonatos, cálcio, fosfato e ferro (capítulo II-6.1)), e sua alta porosidade, que após o tempo de 24 horas em imersão no agente contrastante, foi suficiente para a sua completa absorção.

IV.2 – Comparação entre as imagens Neutrongráficas e as Radiográficas convencionais.

As imagens mostradas na figura IV.8, referem-se aos dentes restaurados com a resina Durafill imersas por 24 horas no agente de contraste, obtidas por radiografia X e neutrongrafia. As imagens radiográficas, foram obtidas em consultório dentário, utilizando um equipamento de raios X da marca Ergodonto, disparador eletrônico programado para o intervalo de tempo de 3 segundos, corrente de 8 mA e distância entre o cone e a amostra de 5 cm. O mesmo procedimento foi utilizado para as outras resinas.

Na figura IV.7 tem-se a fotografia das amostras dentárias restauradas com a resina Durafill, na seqüência as imagens radiográficas e neutrongráficas.

Figura IV.7 - Fotografia das amostras restauradas com resina Durafill

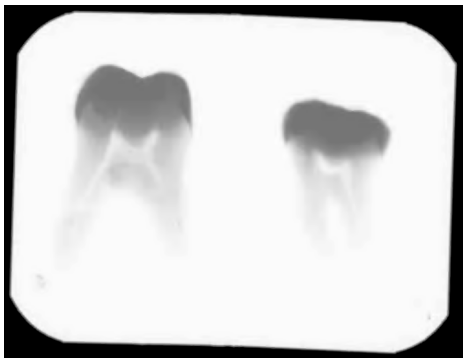


(a) (b)

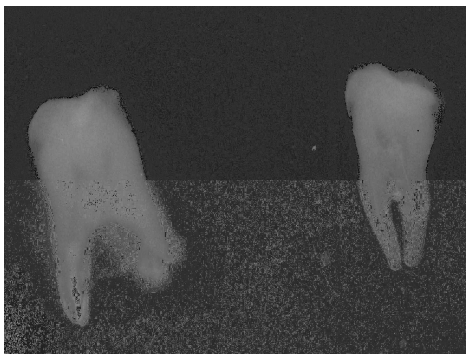
Figura IV.8 - (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Durafill, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio.

Na figura IV.9 tem-se a fotografia das amostras dentárias restauradas com a resina Helio fill, na seqüência as imagens radiográficas e neutrongráficas.

Figura IV.9 - Fotografia das amostras restauradas com resina Helio fill



(a)



(b)

Figura IV.10 - (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Helio Fill, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio.

Na figura IV.11 tem-se a fotografia das amostras dentárias restauradas com a resina Opallis, na seqüência as imagens radiográficas e neutrongráficas.

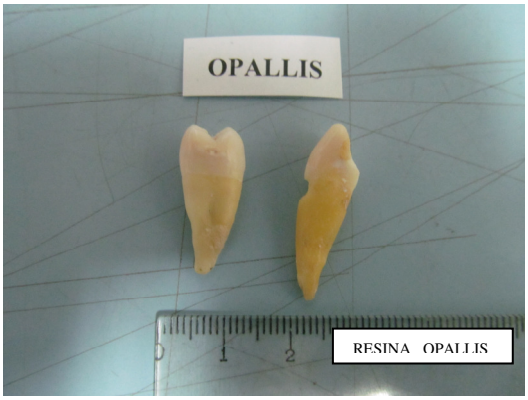
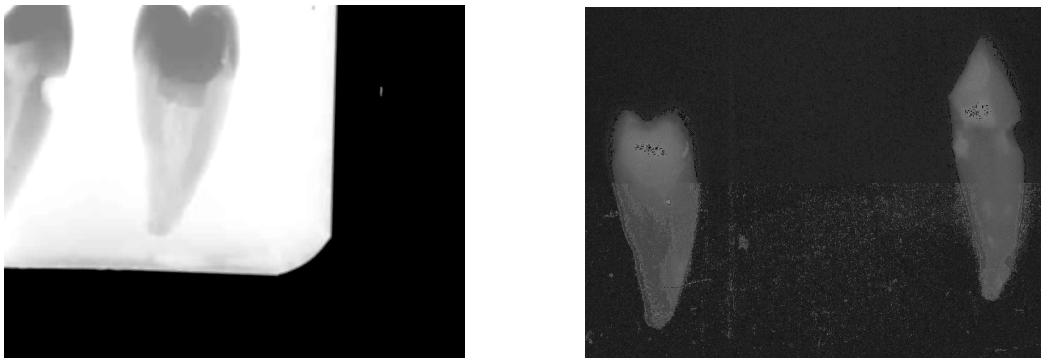


Figura IV.11 - Fotografia das amostras restauradas com resina Opallis

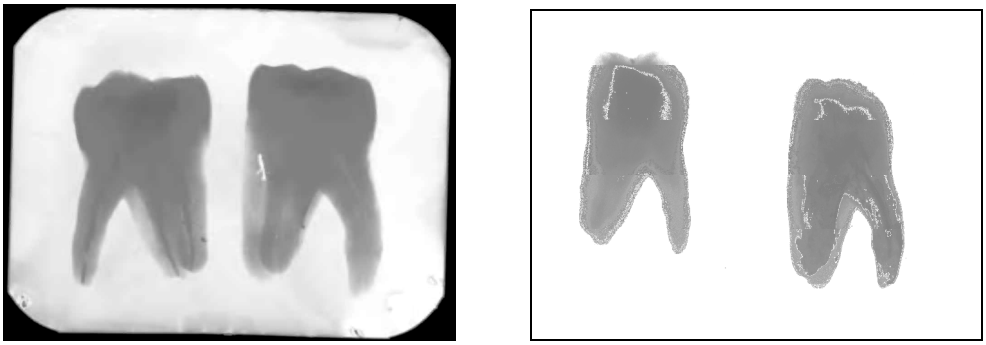


(a) (b)

Figura IV.12 - (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Opallis, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio.

Na figura IV.13 tem-se a fotografia das amostras dentárias restauradas com a resina Fill Magic, na seqüência as imagens radiográficas e neutrongráficas.

Figura IV.13 - Fotografia das amostras restauradas com resina Fill Magic

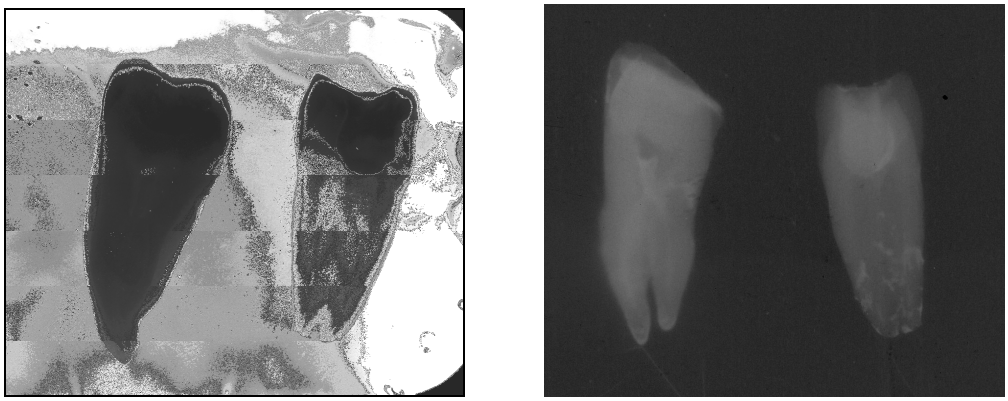


(a) (b)

Figura IV.14 - (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Fill Magic, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio.

Na figura IV.15 tem-se a fotografia das amostras dentárias restauradas com a resina Charisma, na seqüência as imagens radiográficas e neutrongráficas.

Figura IV.15 - Fotografia das amostras restauradas com resina Charisma

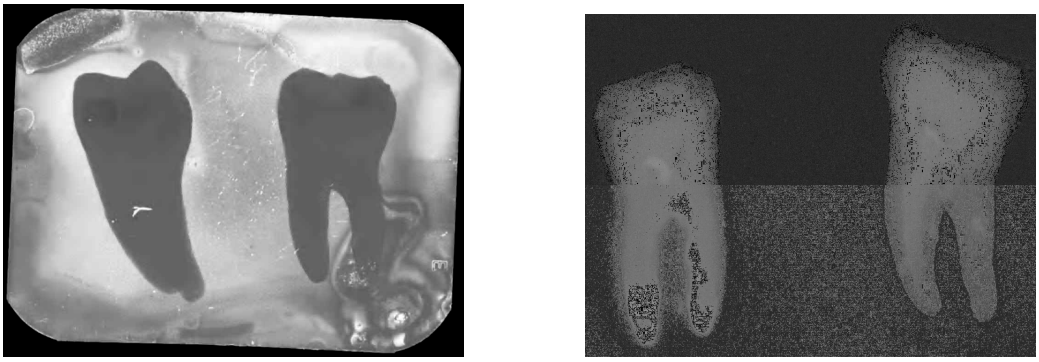


(a) (b)

Figura IV.16 - (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Charisma, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio.

Na figura IV.17 tem-se a fotografia das amostras dentárias restauradas com a resina Z -100, na seqüência as imagens radiográficas e neutrongráficas.

Figura IV.17 - Fotografia das amostras restauradas com resina Z-100

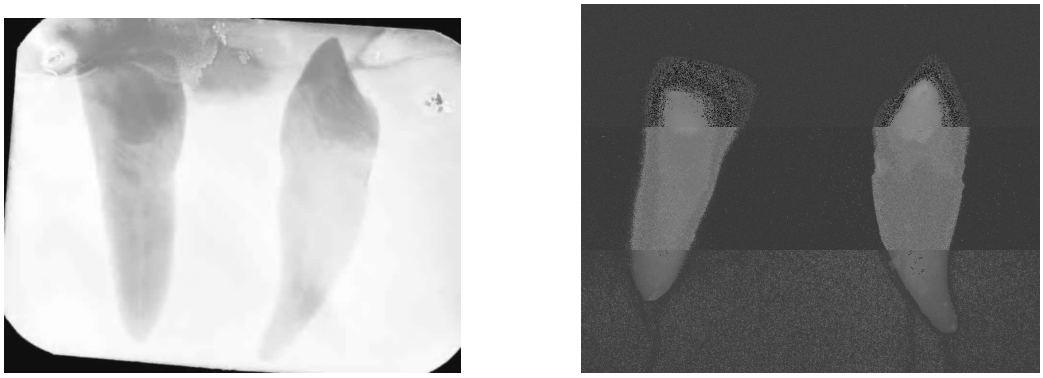


(a) (b)

Figura IV.18 - (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Z-100, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio.

Na figura IV.19 tem-se a fotografia das amostras dentárias restauradas com a resina TPH, na seqüência as imagens radiográficas e neutrongráficas.

Figura IV.19 - Fotografia das amostras restauradas com resina TPH

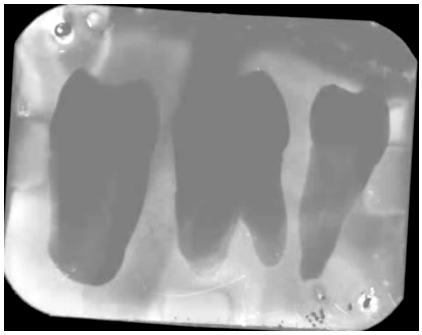


(a) (b)

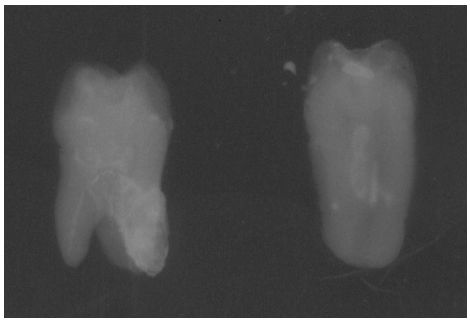
Figura IV.20 - (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina TPH, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio.

Na figura IV.21 tem-se a fotografia das amostras dentárias restauradas com a resina Herculite, na seqüência as imagens radiográficas e neutrongráficas.

Figura IV.21 - Fotografia das amostras restauradas com resina Herculite



(a)



(b)

Figura IV.22 - (a) Radiografia com raios X e (b) Neutrongrafia de dentes restaurados com a resina Herculite, tempo de exposição de 60 min, após 24h de imersão no Gadolínio.

Pode-se observar, que as imagens obtidas por meio de raios X, permitiu também se visualizar os diferentes materiais encontrados na composição da amostra, porém, sem a mesma nitidez que as imagens neutrongráficas, que, além dessa diferenciação proporcionou a visualização de outros detalhes, tais como, as restaurações e os canais dentários.

IV.3 – Imagens neutrongráficas de amostras contendo defeitos simulados.

As imagens neutrongráficas a seguir são de amostras dentárias restauradas com duas resinas selecionadas, Herculite e Z-100, por serem, segundo os profissionais, dentre as testada, as mais comuns. O preparo das amostras foi feito, de forma a se simular defeitos. A restauração com a resina Herculite (A), foi feita com agente de união (adesivo) e sem de ataque ácido (ácido fosfórico). A restauração com a resina composta Z-100 (B) foi feita com ataque ácido e sem o agente de união (Single Bond). Com o objetivo de evidenciar a importância do uso do contrastante, fez-se uma comparação nas amostras com defeitos simulados, através de imagens neutrongráficas com e sem o seu uso.

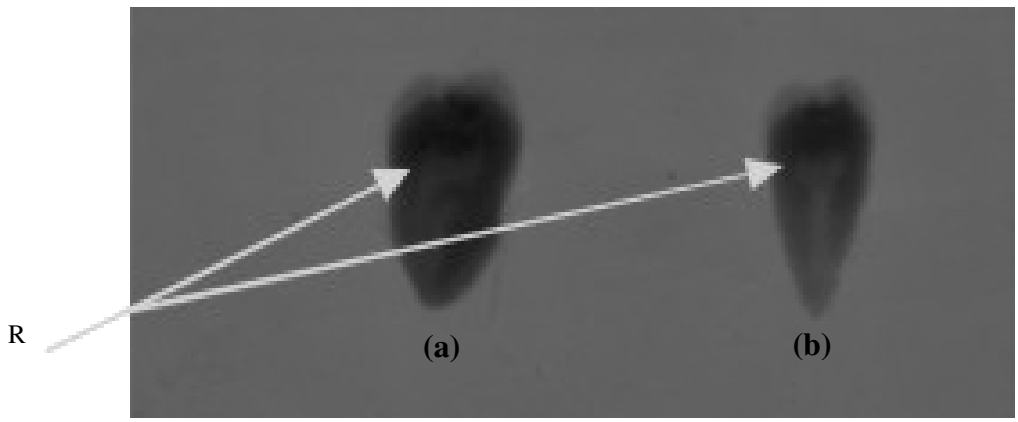


Figura IV.23 – NR de amostras restauradas com as resinas (a) Herculite e (b) Z-100 sem o uso de contrastante e com defeito simulado.

Nas imagens vistas na figura IV.23, não se observou os defeitos simulados, mas, apenas os diferentes materiais restaurativos (R) e o núcleo dentário. Sem a utilização do agente contrastante, as imagens podem levar a conclusão errônea de que, mesmo sem utilizar os agentes de adesão (adesivos) ou limpeza por de ataques ácidos, a aderência entre a parede dentária e a resina restauradora, é adequada.

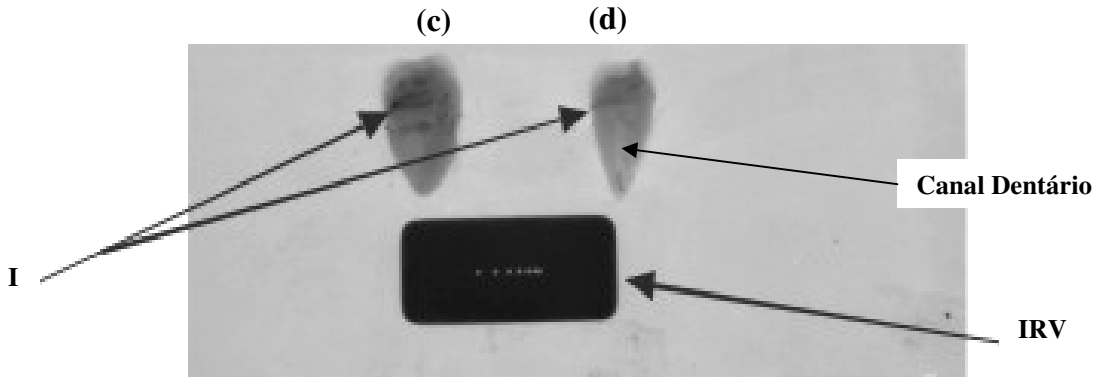


Figura IV.24 – NR de amostras com defeito simulado, imersas em gadolínio por 24 horas e restauradas com as resinas (c) Herculite e (d) Z-100.

Por outro lado, nas imagens vistas na figura IV.24, o uso do agente contrastante, evidenciou as microinfiltrações (I) em ambas amostras, como era de se esperar, devido aos procedimentos errôneos adotados, como defeitos simulados.

Observa-se que a ausência de limpeza por ataque ácido causou uma maior microinfiltração do que a ausência do agente de união.

Nesta mesma figura, a imagem do Indicador de Resolução Visual (IRV), além de assegurar a qualidade da NR, informa que defeitos da ordem de 250μm (menor diâmetro dos furos) podem ser visualizados.

Para fins de comparação de desempenho entre as técnicas radiográficas, obteve-se radiografias-x.

Pelas imagens mostradas nas figuras IV.25 e IV.26, conclui-se que a visualização dos defeitos simulados e microinfiltrações não é observado pela radiografia

X, a técnica utilizada pelos profissionais de todo o mundo. Em compensação os dentinários resultaram bem nítidos, sendo este o foco principal dos odontólogos. Entretanto, uma restauração malfeita pode resultar em microinfiltrações, que poderão causar até a perda do dente ou procedimentos mais especializados, que exigem a limpeza profunda dos canais dentinários e são mais caros para o paciente.

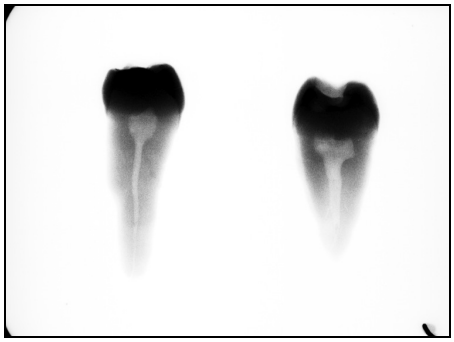


Figura IV.25 – R-X de amostras restauradas com a resina Z-100, cujo defeito é a ausência do agente de união, simulando um esquecimento do odontólogo.

Figura IV.26 – R-X de amostra restaurada com a resina Herculite, cujo defeito se deve à limpeza inadequada, simulando a ausência de aplicação do ataque ácido pelo odontólogo.

IV.3-1 – Resolução e sensibilidade do sistema

A tabela IV.1, mostra a resolução e a sensibilidade do sistema neutrongráfico, montado no reator Argonauta do IEN/CNEN (FERREIRA, 2003).

Tabela IV.1 – Valores de Resolução e sensibilidade para o arranjo neutrongráfico (IEN).

Arranjo Neutrongráfico	Resolução (μm)	Sensibilidade Média (cm)
Reator Argonauta	56,95 ± 1,45	0,045 ± 0,002

IV.4 – Quantificação dos microdefeitos.

Como pode ser observado na seção anterior, as amostras restauradas com procedimentos errôneos simulados apresentaram microdefeitos, que precisavam ser quantificados. Os microdefeitos, foram quantificados, utilizando o programa Image Pro-Plus, o mesmo programa usado no processamento digital. A quantificação foi realizada em dois passos.

No primeiro passo, determinou-se as larguras desses microdefeitos.

Realizaram-se cinco medidas ao longo de toda sua extensão. Pela tabela IV.7, o valor máximo da largura do microdefeito foi de 198μm, na amostra restaurada com a resina Z-100, onde o odontólogo "esqueceu", propositalmente, de aplicar a camada de adesivo.

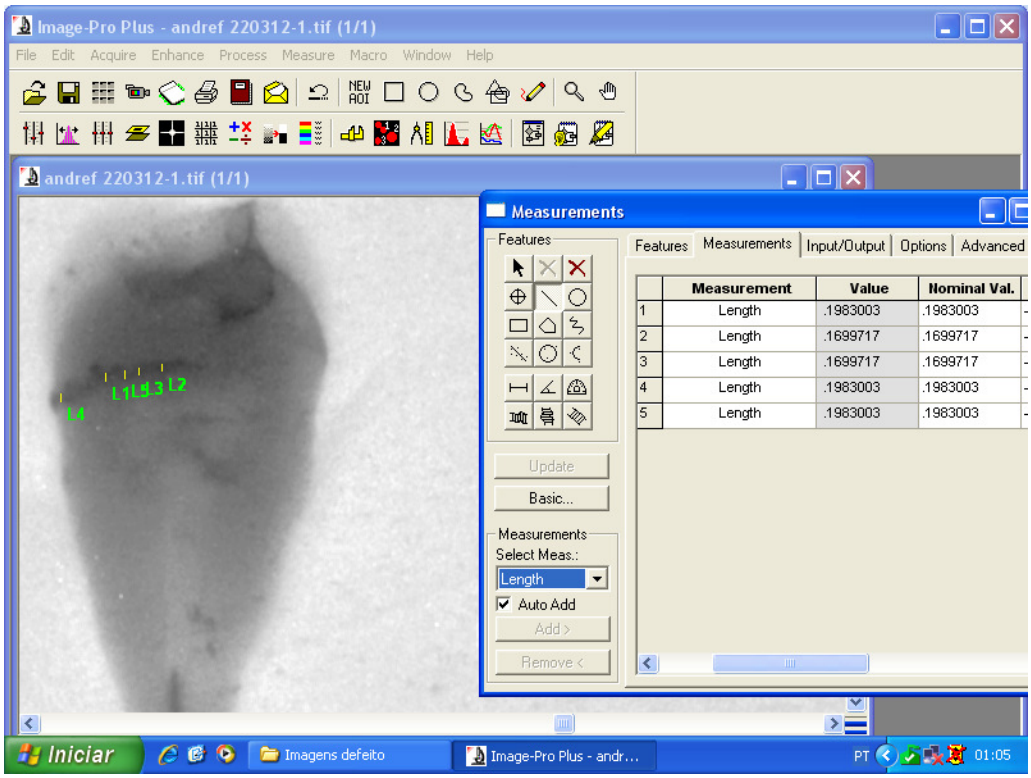


Figura IV.27 – Microdefeito encontrado na amostra restaurada com a resina Z100, sem o agente de união.

Realizaram-se cinco medidas ao longo de toda sua extensão. Pela tabela IV.8, o valor máximo da largura do microdefeito foi de 600µm, na amostra restaurada com a resina Herculite, onde o odontólogo esqueceu, propositalmente, da limpeza com ataque ácido.

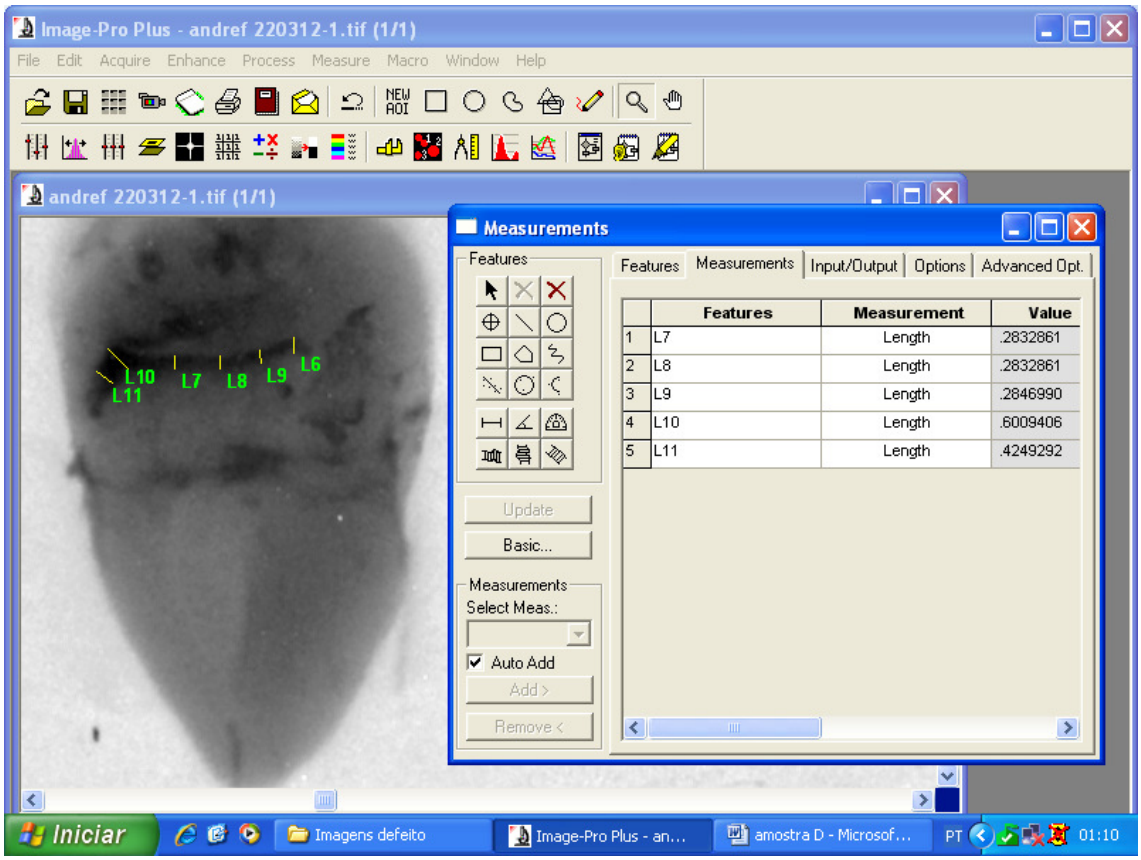


Figura IV.28 – Microdefeito encontrado na amostra restaurada com a resina Herculite, sem ataque ácido.

No segundo passo determinou-se o comprimento das microfissuras.

A medida do comprimento iniciou em uma extremidade perdurando ao longo de toda a sua extensão contínua, ou seja, até ser interrompida. Caso houvesse uma nova falha após a interrupção, esta seria descartada, desta maneira foi tomado apenas o maior comprimento.

Pela tabela IV.9, o valor máximo do comprimento do microdefeito foi de 3,088 mm, na amostra restaurada com a resina Z-100, onde o odontólogo esqueceu, propositalmente, de aplicar o agente de união (adesivo).

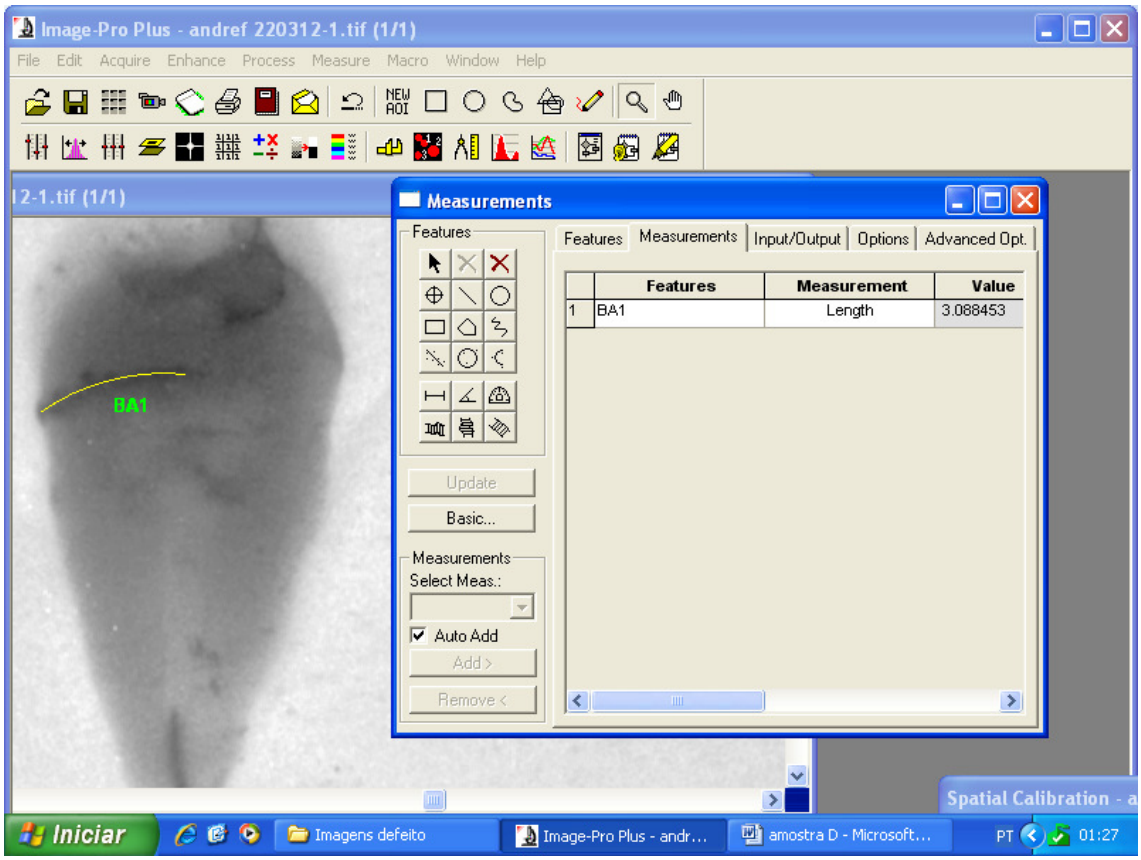


Figura IV.29 – Microdefeito encontrado na amostra restaurada com a resina Z100, sem agente de união.

Realizaram-se duas medidas ao longo de toda sua extensão. Pela tabela contígua, o valor máximo do comprimento do microdefeito foi de 4,520 mm, na amostra restaurada com a resina Herculite, onde o odontólogo esqueceu, propositalmente, da limpeza com o ataque ácido.

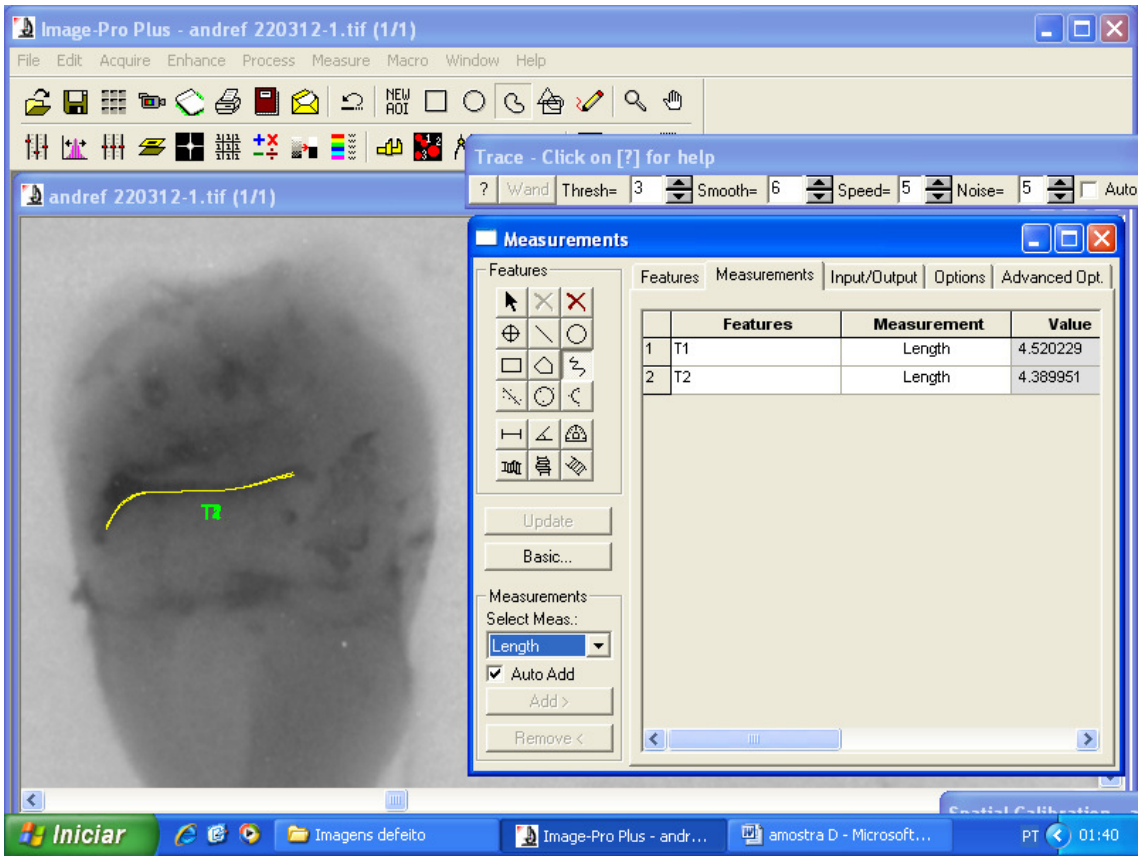


Figura IV.30 – Microdefeito encontrado na amostra restaurada com as resina Herculite, sem ataque ácido.

Comparação entre os valores encontrados, para as duas resinas, Herculite e Z100.

Tabela IV.2 – Comparação entre as microfissuras encontradas.

	Herculite (sem ataque ácido)	Z-100 (sem agente de união)
largura mínima	283 µm	169 µm
largura máxima	600 µm	198 µm
Comprimento	4,520 mm	3,088 mm

Através da tabela IV.2, pode-se perceber que a situação com maior probabilidade de ocorrência de defeitos, ocorre da falta de limpeza adequada das amostras, o ataque ácido.

IV.5 – Imagem Tomográfica.

Na figura IV.31, é apresentada a imagem tomográfica, obtida a partir de seis projeções neutrongráficas do mesmo corpo de prova, da amostra restaurada com a resina Herculite, com defeito simulado, pois, foi a amostra que apresentou maior defeito, obtidas a cada rotação de 30º em torno do centro de rotação da mesa.

Através de uma análise visual, na reconstrução tomográfica, observa-se uma fidelidade ao contorno geométrico do corpo de prova original. Através da variação de cores pode-se notar os diferentes materiais.

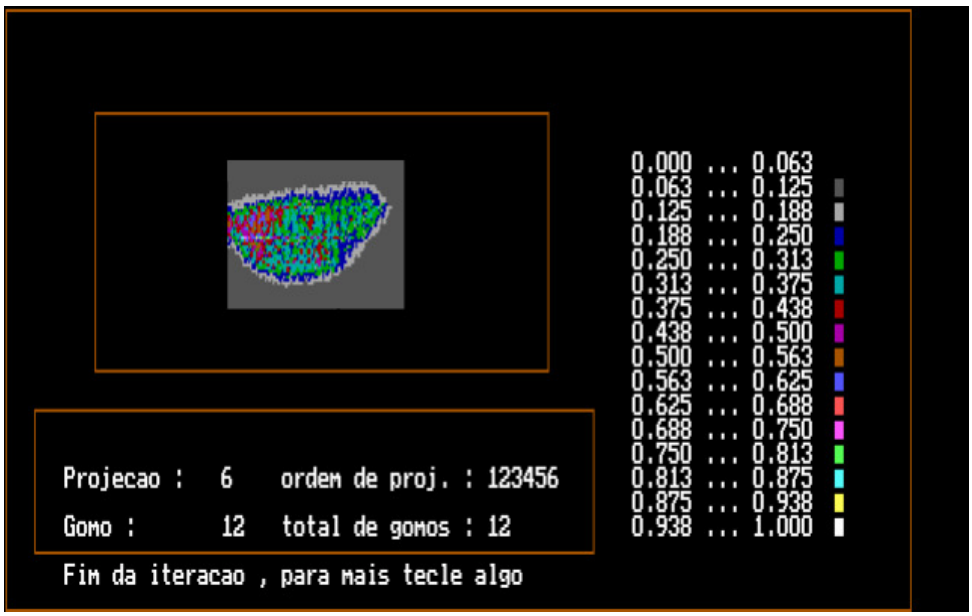


Figura IV.31 – Reconstrução Tomográfica de dente restaurado com a resina Herculite, com defeito simulado devido a ausência de ataque ácido.

Na imagem reconstruída, através do diagrama de cores, pode-se identificar a região do esmalte dentário, representada pela cor branca, o núcleo dentário representado pela cor verde e a da restauração pela cor vermelha.

Na figura IV.32, tem-se a fotografia da amostra citada, montada na mesa tomográfica, pronta para se realizar as seis neutrongrafias necessárias para a reconstrução tomográfica.

Figura IV.32 – Amostra montada no sistema tomográfico

Na figura IV.33 foi selecionada, de maneira aleatória, dentre as seis imagens usadas para a reconstrução tomográfica, como a variação angular de 30º não nos permite identificar, no caso desta amostra, grandes diferenças entre as imagens, apenas uma foi incluída ao trabalho.

Figura IV.33 – Projeção neutrongráfica da amostra em foco, a 30º.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

V.1 – Conclusões

A técnica neutrongráfica apresenta um grande futuro, tanto pela capacidade de visualização de micro defeitos, quanto pela simplicidade do processo.

O reator Argonauta, do IEN/CNEN, fornece um fluxo de nêutrons suficiente para que se possa realizar neutrongrafias e está disponível para que pesquisadores o utilizem como ferramenta em seus estudos, bem como empresas e indústrias, bastando para tal, um contato com o setor.

Os resultados, mostraram que a técnica neutrongráfica é uma ferramenta viável para auxiliar nas pesquisas "in vitro", tanto, para detecção de microinfiltrações, quanto de microdefeitos, no uso em amostras dentárias, devido sua composição rica em hidrogênio, e alta porosidade para absorção do agente contrastante.

Foi possível detectar falhas, nas amostras onde houve propositalmente, ausência de agente de união (adesivo), ou a falta ou inadequada limpeza com ataque ácido.

Desta maneira, atestou-se que a realização do procedimento completo de restauração, e com esmero, pelo profissional odontólogo é primordial para a redução de microdefeitos entre as paredes dentárias e as resinas compostas que forem utilizadas.

Também que, a ausência de ataque ácido, isto é, uma limpeza satisfatória da cavidade dentária, onde será restaurada, é mais propensa a defeitos do que a ausência do agente de união (adesivo).

Verificou-se também, que, dentre as oito diferentes resinas compostas analisadas, a qualidade é semelhante, no que diz respeito a adesão as paredes dentárias. Não sendo visualizados defeitos por falta de adesão entre as resinas e as paredes dentinárias.

Na comparação entre a técnica neutrongráfica e a radiografia com raios X, a primeira técnica leva vantagens, na detecção de micro defeitos, nos permitindo observar,

falhas da ordem de 250μm, dentro da resolução do sistema. Principalmente em inspeções de materiais hidrogenados (FERREIRA, 2008).

Que a reconstrução de imagens pela técnica tomográfica, nos permite visualizar os diferentes materiais que compõe as amostras, porém, a visualização de micro defeitos, necessita de mais estudos.

V.2 – Sugestões para trabalhos futuros

Com a conclusão deste trabalho, mostrou-se interessante o contato com empresas produtoras de resinas compostas, para odontologia, com o intuito de auxiliar-las no controle de qualidade das novas resinas, antes de serem lançadas no mercado.

Um trabalho complementar, com o uso de ensaios destrutivos, poderia ser feito, fatiando-se as amostras na altura de seus defeitos e posteriormente analisando-as com auxílio de um microscópio eletrônico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, A., I., DAVISON, C., L., "Comparison of the Marginal Integrity of "in vivo" Cass II Composite Restaurations." J. Dent., 21(3): 158-62,1993.

AL-HAMADAMI, K. K., CRABB, H. S. M., "Marginal Adaptation of Composite Resin" J. Oral Rehab; 2 (1): 21-33, 1975.

AL-RAFEI, S., MOORE, D. L. "Marginal Penetration of Composite Resin restorations as Indicated by a Tracer Dye" J. Prosth Dent, 34(4):
435-9, 1975.

ANDRADE, M. L. G., "Caracterização de Sistemas Filme-Conversor para Radiografia com Nêutrons", Tese de Mestrado, IPEN/USP, São Paulo, 2002.

ANDREUCCI, R., "A Radiologia Industrial", Abende, 6ª ed, 2003.

ARENDS, J., VEEN, H. V. D., GROENINGE, G. V. e SCHUTHOF, J.,"Quantified Marginal Leakage of Composites "in vitro".", J. Oral Rehabil,
12(3)229-34, 1985.

ARORA, V., KUNDABALA, M., PAROLIA, A., THOMAS, M.S., PAI, V., "Comparison of the Shear Bond strength of RMGIC to a resin composite using different adhesive system: an in vitro study", JCD, 13(2) :80-3, DOI: 10.4103/0972-0707.66716, Pub Med, 2010.

ASMUSSEN, E., " The Effect of Temperature Change on Adaption of Resin Fillings I." , Acta Odont. Scand., 32(3):161-71, 1974.

ASMUSSEN, E., "Composite Restorative Resins. Composition Versus Wall- to-Wall Polymerization Contration." Acta Odont. Scand.,33(6):337-
44, 1975.

ASMUSSEN, E. e JORGENSEN, K. D. A., "Microscópic Investigation on the Adaptation of Some Plastic Filling Materials to Dental Cavity Walls.",
Acta Odont. Scand., 30(1):3-21, 1972.

ASTM E545-91, "Standard Method for Determining Image Quality in Direct Thermal Neutron Radiography Examination", pp. 511-516, USA, 1991.

ASTM E1441-95, "Non-Destrutive Testing Radiation Methods. Guide for Imaging and Practice for Examination", ISSO/TC 135/SC5. N 118, USA, 1996.

ASTM E1025-84, "Standard Practice for Hole-Type Image Quality Indicator Used for Radiography", USA, 1981.

AVILA JR, G., MONDELLI, J., MARQUES, A. L. V. e CORADAZZI, J. L., Estudo Comparativo da Microinfiltração Marginal com Ciclagem Térmica, em "Restaurações feitas com Diferentes Materiais Plásticos.", Ars Cur. Odont., 7(4):175-84, 1980.

BARBOSA, A.L.N., "Desenvolvimento de Tela Cintiladora Nacional Conversora de Neutrons", Dissertação de Mestrado, PEN/COPPE/UFRJ, RJ, 2008.

BARBOSA, A. L. N. e CRISPIM, V. R. ; "In Vitro Evaluation of Decíduos Microleakage in Restored Teeth with Sinthetic Resins by Neutrongraphy", INAC, vol 43, pp 24-28, 2011.

BARNES, I. E., "The Adaptation of Composite Resins to Tooth Structure. Part I. Study I: Intruduction and Adaptation of Composite Resins to the Unetched Enamel Cavity Wall.", Brit. Dent. J., 142(4):122-9, 1977.

BAUER, J. B. e HENSON, J. L., "Microleakage: A Measure of the Performance of Direct Filling materials", Operat. Dent., 9(1): 2-9, 1984.

BERGER, H, "Resolution Study of Photographic Thermal Nêutrons Image Detectors", Journal of Applied Physics,V.34, n.4, pp. 914-918, New York, 1963.

BERGER, H., “Advances in Neutron Radiography”, American Nuclear Society, V. 53, n. 177, La Grange Park, 1986.

BUONOCORE, M. G., SHEYKHOLESLAM, Z. e GLENA, R., “Evaluation of an Enamel Adhesive to Prevent Marginal Leakage an “in vitro” Study”, J. Dent. Child, 40(2):119-24, 1973.

BUSSADORI, S.K., MUENCH, A., “Microinfiltração em Dentes Decíduos em Função de Materiais Restauradores e Condicionamento Ácido.”, Rer Odontol Univ São Paulo. 13: 369-73, 1999.

CASALI, F., CHIRCO, P., ZANARINI, M., “Advanced Imaging Tecniques: a New Deal for Nêutron Physics.”, La Revista Del Nuovo Cimento, vlo.18, n.10, 1995.

CASTRO, A. K. B., PEREIRA, P.N., PIMENTA, L. A., THOMPSON, J. Y., “Effect of Thermal and Mechanical Load Cycling on Microtensile Bond Strength of a Total-Etch Adhesive System.” Oper Dent. 2004;29:150-6.

CAVALCANTI, A. L., “Avaliação *in vitro* na Interface da Parede Gengival das Caixas Proximais em Cavidades Classe II de Molares Decíduos, restaurados com Resina Composta Auto Fotopolimerizável.” , com Resina Composta Auto Fotopolimerizável.” , Dissertação de Mestrado, Faculdade de Odontologia da USP, 1997.

CAVALCANTI, A. L., CHELOTTI, A., “Avaliação *in vitro* da microinfiltração em cavidades classe II de molares decíduos, restaurados com resina composta auto e fotopolimerizável.” Rev Odontol Univ São Paulo, v. 13, n. 2, p. 167-171, abr./jun. 1999.

CHOHAYEB, A. A., RUPP, W. N., “Comparison of Microleakage of Experimental and Selected Commercially Avaliable Bonding Sistems.” Dent. Mat., 5(4):241-3, 1989.

CRIM G. A. e MATTINGLY, S. L. “Microleakage and the class V composite surface" J. Dent. Child, 47(5): 331-6, 1980.

CRISPIM, V.R., “Distribuição de Fluxo de Nêutrons em um Meio Finito por Fonte Rápida”, Dissertação de Mestrado, PEN/COPPE/UFRJ, RJ,1975.

CRISPIM, V.R., “Desenvolvimento de Ensaios Não-Destrutivos com Neutrongrafias”, Tese de Doutorado, PEN/COPPE/UFRJ, RJ,1993.

CRISPIM, V. R. e SILVA, J. J. G., “Inspeções Não-Destrutivas com Neutrongrafia Térmica.”, Revista de Física Aplicada e Instrumentação, V. 11, n.1, 1996.

DOMANUS, J. C., “Pratical Neutron Radiographhy”, Commission of the European Communities, Kluwer Academic Publishers, 1ª ed, 1992.

ERIKSEN, H. M. e BUONOCORE, M. G., “Marginal Leakage with Different Composite Restorative Materials “in vitro”. Effect of Cavity Design”, J. Oral Rehab., 3(4):315-22, 1976.

FERREIRA, F. J. O., “Detecção de Explosivos Plásticos e Narcóticos, Aplicando Neutrongrafia em Tempo Real Aliada a Tomografia Computadorizada por Transmissão.” Tese de Doutorado, PEN/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

FIGUEIREDO, R. J. A., SERAFIM, A. R. F., SALES, G. C. F., SANTOS R.L., “Aplicabilidade Clínica das Resinas Compostas em Dentes Posteriores: Caso Clínico”, UFPB – PRG, X ENCONTRO DE INICIAÇÃO À DOCÊNCIA, 2008.

GALAN JR, J., MONDELLI, J. e CORADAZZI, J. L., “Marginal Leakage of Two Composite Restorative Systems.”, J. Dent. Res., 55(1):74-6, 1976.

GAMOW, G., “Biografia da Física”, Zahar Editores, 1963.

GARCIA-GODOY, F. e MALONE, W. F. P., ”Microleakage of Posterior Composites Using Glass Ionomer Cements Base.”, Quintess. Intern., 10(1): 13-7, 1988.

GARONE FILHO, W., “Um Novo Material Restaurador: “Resinas compostas”.Parte II: Vedamento Marginal, Propriedades Relacionadas com a Integridade da Superfície Externa e Resistência mecânica.”, Rev. Ass. Paul. Cir. Dent., 24(5):179-86, 1970.

GHERSEL, E. L. A., “Influência do Modo de Armazenamento e do Tipo de Adesivo na Microinfiltração de Dentes Decíduos Restaurados com Resina Composta.”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Odontologia da USP: 1999.

GOMES, M., “Análise *in vitro* da microinfiltração marginal de cavidades Classe II, em Dentes Decíduos, utilizando Dois Sistemas Adesivos.”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Odontologia da USP; 2003.

GONZALEZ, R. C. e WOODS, R. E., “ Digital Image Processing”, Prentice-Hall, Inc. Second Edition, 2002.

GOZANI, T., “Proceedings of the International Conference on Nêutron In Research and Industry”, SPIE The International Society of Optical Engineering George Vourvopoulos(Ed), pp. 174, Grecia, 1996.

GOZANI, T., “The Role of Nêutron Based Inspection Techiniques in the Post 9/11/01 era”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B213, pp.460-463, 2004.

GUZMAN, M. L., SWARTZ, M. L. e PHILLIPS, R. W., “Marginal Leakage of Dental Restorations Subjected to Thermal Stress.”, J. Prosth. Dent., 21(2):166-75, 1969.

HANSEN, E. K., ASMUSSEN, E. “Coperative Study of Dentin Adhesives” Scand J. Dent. Res., 93(3): 280-7, 1985.

HANSEN, E. K., ASMUSEN, E. “Edifficacy Of Dentin Bonding Agents in Relation To Application Technique. Acta odont. Scand, 47(2): 117-20, 1989.

HEMBREE JR., J. H., “Marginal Leakage of Microfilled Composite Resin restorations.”, J. Prosth. Dent., 50(5):632-5, 1983.

HEMBREE JR., J. H. e TAYLOR, T. J., “Marginal leakage of Visible Light-Cured Resin Restaurations.”, J. Prosth. Dent., 52(6):790-3, 1984.

HOLAN, G., FUCKS, A. B., GRAJOWER, R. e CHOSACK, A., “”In vitro” Assessment of the Effect of Scotchbond on the Marginal Leakage of Class II Composite Restorations in Primary Molares.”, J. Dent. Child.,53(3):188-92,1986.

HORMATI, A. A. e CHAN, K. C., “Marginal Leakage of Compacted Gold Composite Resin and High Cooper Amalgam Restaurations.”, J. Prosth. Dent., 44(4):418-22, 1980.

JOHN, J., “Californium Based Nêutron Radiography for Corrosion Deteccion in: Haircraft”, American Society for Testing and Materials – ASTM-STP-586, pp.168-180, Philadelphia, 1975.

JONES, J. C. G., GRIEVE, A. R.,HARRINGTON, E., “A Machine for Thermal Cycling in the Investigation of Marginal Leakage.”, Brit. Dent. J., 146(7):207-11, 1979.

KANKA, J. “Posterior Resin: Microleakage Below The Cemento enamel Junction”, Quintess., int., 18(5): 347-9, 1987.

KAPLAN, I., “Física Nuclear”, Editora Guanabara Dois S.A., 2ª ed, 1978.

KATO, K. ; IKEDA, Y., “Influences of scattered Neutrons and Gama Ray on Neutron Radiography Using Imaging Plate For Neutron Detector” , Abstract of Seventh World Conference on Neutron Radiography, pp 110, Roma, 2002.

KEMP-SCHOLTE, C. M. e DAVIDSON, C. L., "Marginal Sealing of Curing Contraction Gaps in Class V Composite Resin Restorations,", J. Dent. Res., 67(5):841-5, 1988.

KEMPLER, D., STARK, M. M., LEUNG, R. L. e GREENSPAN, J. S., "Emanel-Composite Interface Relative to Cavosurface Configuration Abrasion and Bonding Agents.", Oper. Dent., 1(4):137-45, 1976.

KNOLL, G. F., "Radiation Detection and Measurement", John Wiley & Sons, Inc., 3ª ed, 1999.

KODAK CIA, E., "Radiography in Modern Industry", Kodak, 4ª ed, 1980.

LAMARSH, J. R., "Introduction to Nuclear Engineering", Addison-Wesley Publishing, Company Inc, 1975.

LAMARSH, J. R., "Introduction Nuclear Reactor Theory", Addison-Wesley Publishing, Company Inc, 1978.

LAMBRECHTS, P., BRAEM, M. e VANHERLE, G., "Evaluation of Clinical Performance for Posterior Composite Resins and Dentin Adhesives.", Operat. Dent., 12(2): 53-78, 1987.

LIMA, C.T.S., "Tela Conversora Nacional de Gadolínio para Neutrongrafia", Dissertação de Mestrado, PEN/COPPE/UFRJ, RJ, 2005.

LINDSAY, J. T. , "The MTF Method for Neutron Radioscopy Imaging System Characterization. In Proceedings of Sixth World Conference on Neutron Radiography", Osaka, Japan, May, 17-21 1999.

LUI, J. L., MASUTANI, S., SETCOS, J. C., LUTZ, F., SWARTZ, M. L. e PHILLIPS R. W., "Marginal Quality and Microleakage of Class II Composite Resin Restaurations.", J. Amer. Dent. Ass., 114(1):49-54, 1987.

MARTIN, D. W., “An “in vitro” Investigation of Marginal Leakage Using Two Composite Resin Restorative System.”, J. Calif. Dent. Ass., 8(3):41-6, 1980.

MEDEIROS, M. V., CAVALCANTI, A. L. , BARBOSA, E. C. S., MIAKY, S. I. “Avaliação “in vitro” da Microinfiltração em Cavidades Classe II de Molares Decíduos utilizando diferentes tipos de sistemas adesivos” Rev. Odontol, UNESP, 35(3), 119-123, 2006.

MEEKER, H. G., HIRSCH. S. M. e KAIM, J. M., “Repairing Voids at Cavosurface-Composite Resin Margins,”, J. Prosth. Dent., 50(5):636-8, 1983.

MENEZES, M. O., “Radiografia com Nêutrons em Tempo-Real”, Tese de Doutorado, IPEN-CNEN/SP, USP, São Paulo, 2000.

MIRANDA JR, G. W., “Avaliação “in vitro” da Infiltração nas Caixas Proximais de Pré-Molares Humanos Restaurados com Diferentes Adesivos Universais e Resinas Compostas.”, Tese de Doutorado,USP/Faculdade de Odontologia, 1994.

MORAES, A.C.A., “Ensaios Neutrongráficos de Amostras Confeccionadas com Ligas de Concreto Especial Contendo Granulados de PET Reciclados”, Dissertação de Mestrado, PEN/COPPE/UFRJ, RJ, 2011.

NAMEN, F. M., “Onde e porque usar os adesivos dentinários”, XIII congresso internacional de Odontologia do Rio de Janeiro, 2006.

NELSON, G. V., OSBORNE, J. W., GALE, E. N., NORMAN, R. D. e PHILLIPS, R. W., “A Three Years Clinical Evaluation of Composite Resin and a High Cooper Amalgam in Posterior Primary Teeth.”, J. Dent. Child., 47(6): 414-18, 1980.

ORTIZ, R. F., PHILLIPS, R. W., SWARTZ, M., OSBORNE, J. W., “Effect of Composite Resins Bond Agent on Microleakage and Bond Strength.”, J. Prosth. Dent., 41(1):51-7, 1979.

OTTO, C. F “The History of first Neutron Radiography in Berlin 1935-1944”, In: Proceedings of the Fourth Word Conference, Gordon and Breach Science Publications, John P. Barton, pp. 3-9, 1993.

PEIXE, S., FIROOZMAND, L. M. e ARAUJO, R. M., ”Avaliação da Utilização dos Adesivos Dentinários na Microinfiltração Marginal de Resinas Compostas.” Rev. Odonto Ciência – Fac. Odonto/PUCRS, v.21, n. 51, 2006.

PEREIRA, L. C., GARCIA, J. C., “Análise de falhas em restaurações dentárias” , COPPE-UFRJ/PEM, 2004.

RAADAL, M., “Microleakage Around Preventive Composite Fillings in Loaded Teeth” Scand. J. Dent. Res., 87(5): 390-4, 1979.

RENKE, C. A. C. , Estudo da Moderação de Nêutrons na Direção do Canal J-9 do Reator Argonauta, Nota Técnica, IEN/CNEN, Rio de Janeiro, 1993.

RETIEF, D. H., “The Intra Oral Factor Affecting Adhesion.”, J. Dent. Ass. S. Afr., 25(11):392-9, 1970.

RETIEF, D. H., RUTLAND, J. R. e JAMISON, H. C., “Microleakage of Convencional and Microfilled Composite Restorative Resins.”, J. Biomed. Mater. Res., 16(6):901-10, 1982.

RIBEIRO, L. L., SÁ, F. C., FRANCO, E. B., NAVARRO, M. F. L., “Avaliação da interação entre resina composta e diferentes adesivos dentinários,”, Biblioteca.Net, Universia TV; 2005.

SANSIVIERO, A., MAMEDE NETO, A. L., MATUMOTO, M. S. S., BLAS, R., “Microinfiltração em restaurações a amálgama de prata forradas, com vernizes simples e modificados - "estudo in vitro".” CONSCIENTIAE SAÚDE / Centro Universitário Nove de Julho Departamento de Saúde, São Paulo - SP, v. 2, p. 43-49, 2003.

SANTOS, J. E. S. C., “Neutrongrafia com Nêutrons Térmicos”, Dissertação de Mestrado, PEN/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1977.

SHA, T., BIRON, G., “Inhibition of Marginal Leakage with a Dentin Bonding Agent.” J Dent Res.; 63: 1255-7; 1984.

SILVA, A. X., “Uso de um feixe de Nêutrons Térmicos para detecção de Narcóticos e explosivos por Tomografia, para aplicação na Segurança Pública Nacional”, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1999.

SILVA, A. X., CRISPIM, V. R., “ Moderator-Collimator shielding Desing for Neutron Radiography Sistem using Cf”, Applied Radiation and isotopes, v. 54, pp. 217-225, 2000.

SILVANI, M. I. “ Tomografia Computadorizada com Nêutrons Térmicos e Detetor Sensível a Posição”. Tese de Doutorado, PEN – COPPE – UFRJ. 2001.

SINHA, A., BHAWE, B. D., PANCHAL, C. G., SHYAM, A., SRINIVASAN, M. e JOSHI, V. M., “Exploratory Studies on Nêutron Radiography with a Small Nêutron Source Using a Nuclear Scintillation Imaging Tecnique.”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Elsevier Science B. V., A 377, pp32-36, 1996.

SORENSEN, J.A.; DIXIT, N. V.; WHITE, S. N.; AVERA, S. P., “In Vitro Microleakage of Dentin Adhesives”, Int. J. Prosth., 4(3): 213-8, 1991.

STANINEC, M., MOCHIZNKI, A., TANIZARI, R. e FUKUDA, K., Resins.”, Interfacial Space Marginal Leakage and Emanel Cracks Around Composite Oper. Dent., 11(1):14-24, 1986.

TANI, Y. e BUONOCORE, M. G., “Marginal Leakage and Penetration of Basic Funchsin in Anterior Restorative Materials.”, J. Amer. Dent. Ass., 78(3):542-8, 1969.

TONN, E. M., RYGE, G. e CHAMBERS, D. W., “A Two Years Clinical Study of a Carvable Composite Resin Used as Class II Restorations in Primary Molars.”, J. Dent. Child., 47(6): 405-18, 1980.

VIEIRA, L. C. C., “Avaliação da Infiltração Marginal nas Margens de Esmalte e Cemento em Cavidades de Classe II MOD Restauradas com Cinco Sistemas Adesivos.”, Dissertação de Mestrado, USP/Faculdade de Odontologia, 1988.

VIEIRA, R. S., “Avaliação “in vitro” da Infiltração Marginal de Restaurações Classe II, com Resina Composta fotoativada, em Molares Decíduos.”, Tese de Doutorado, USP/Faculdade de Odontologia, 1991.

VOI, D. L., “Estudo da Estabilidade e Dinâmica Moleculares da Baquelite através de Medidas de Seção de Choque para Nêutrons.” Tese de Doutorado, COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro, 1990.

VUCAIN, J. M., CARCREFF, H. P., BONNAURE-MALLET, M. e BAYON, G., “Dentinoid Tissue Penetration by a bonding agent after GK 101 e Treatment Valuation by Neutron Radiography”, 1984.

WAKAO, H., SUZUKI, S., KANEKO, H., HIGASHI, T. e NISHINA, T., “Application of Neutron Radiography for Teeth and Dental Materials”, Neutron radiography, vol III, 723-730, 1989.

WEBCIENCIA “http://www.webciencia.com/11_06dente.gif”