



**Universidade Federal da Bahia**  
**Faculdade de Odontologia**  
Mestrado em Odontologia

**Marta Eliane Almeida Muhana**

**Análise da distribuição de tensões em pré-molares humanos com  
Lesões Cervicais não Cariosas desenvolvidas *in vivo***

MIEN CONSTRUO

**Salvador – Bahia**  
**2005**

**Marta Eliane Almeida Muhana**

**Análise da distribuição de tensões em pré-molares humanos com  
Lesões Cervicais não Cariosas desenvolvidas *in vivo***

Dissertação apresentada à Faculdade  
de Odontologia da Universidade  
Federal da Bahia para obtenção do  
título de Mestre em Odontologia.

**Orientadora: Profa. Dra. Paula Mathias  
Co-orientador: Prof. Dr. Carlos José Soares**

**Salvador – Bahia  
2005**

---

M952      Muhana, Marta Eliane Almeida

Análise da distribuição de tensões em pré-molares humanos com Lesões Cervicais não Cariotas desenvolvidas *in vivo* / Marta Eliane Almeida Muhana. – Salvador, 2005. 107f.

Orientadora: Professora Dra. Paula Mathias

Co-Orientador: Professor Dr. Carlos José Soares

Dissertação (mestrado em Clínica Odontológica) – Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Odontologia, 2005

1. Lesões Cervicais não Cariotas. 2. Abfração. 3. Erosão. 4. Método Elemento Finito. I. Mathias, Paula (Orientadora). II. Soares, Carlos José (Co-Orientador). III. Universidade Federal da Bahia – Faculdade de Odontologia. IV. Título

CDU: 616.314-002

---

**Marta Eliane Almeida Muhana**

**Análise da distribuição de tensões em pré-molares humanos com  
Lesões Cervicais não Cariosas desenvolvidas *in vivo***

Salvador, 16 de dezembro de 2005.

**Banca Examinadora**

---

Profa. Dra. Paula Mathias (UFBA)

---

Prof. Dr. Carlos José Soares (FOUFU)

---

Prof. Dr. Paulo Vicente (UEFS)

*Dedico às mulheres, seres transparentes, representadas por:*

*Neylde, minha mãe, pelas bênçãos diárias, pelas lições de disponibilidade para começar ou recomeçar e de crença em si mesma.*

*Luza, minha irmã, simplesmente por existir.*

*Marcela, minha querida filha, pela doçura e determinação.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, a minha eterna gratidão pelo Seu cuidado e direcionamento.

A Gustavo, meu filho querido, por me mostrar que a vida é cheia de belas surpresas e que as diferenças nos fazem crescer.

A Luiz Fernando, meu marido, muito obrigada pelo seu amor, incentivo e pela compreensão da minha ausência durante a realização deste curso.

A Adiel, meu pai, agradeço pelas boas lembranças da minha infância.

A Marcos e Paulo, meus queridos irmãos, é muito bom ter a certeza de que vocês me amam.

Aos meus amigos, representados por Greice, pessoa generosa, agradeço pela cumplicidade, você faz parte desta conquista.

À Paula, pessoa grandiosa, admirável, justa e competente, o meu agradecimento pela amizade e pela oportunidade de realizar um sonho.

A Carlos, pesquisador brilhante, ser humano especial. Agradeço por acreditar em mim, me acolher. Sem você não seria possível chegar até aqui.

A Paulo Vinícius, peça fundamental neste trabalho, muito obrigada pela sua colaboração.

A Alexandre, alma boa. Agradeço pela paciência, receptividade e pela cooperação, para que eu superasse as dificuldades, nos conhecimentos relativos à Mecânica.

A Simon, ser humano íntegro, obrigada pela leveza em nossas aulas

A Max, meu companheiro em tantos trabalhos e na formatação deste, agradeço pela predisposição em me ajudar.

A Ana Maria, pessoa carinhosa, seu apoio foi essencial.

A Ana Raquel, Edimália, Luciano, Fátima, Flávia, Márcia, Max e Rivail, meus colegas do mestrado, pessoas inesquecíveis. Formamos um grupo coeso, com um objetivo comum: o nosso crescimento. Aprendi muito com vocês.

As novas conquistas de amizade, representadas por Ceres, agradeço pelo apoio e valorização.

Aos meus pacientes, representados por Cleo, mulher interessante e entusiasta, muito obrigada pelo carinho e pela confiança.

À Faculdade de Odontologia da UFBA em nome da Diretora, Profa. Dr<sup>a</sup>. Maria Isabel Pereira Vianna, e à Coordenação do Mestrado em Odontologia da UFBA, em nome do Prof. Dr. Edmar Santana, pela oportunidade de fazer parte deste curso.

Aos professores dos créditos do mestrado, representados por Cristina Cangussú, Maria Isabel, Roberto Paulo e Eliane, obrigada pelos ensinamentos e pela valiosa contribuição no meu amadurecimento profissional durante este curso.

Agradeço ao Departamento de Dentística de Uberlândia representado por Abigail por me receber de forma tão hospitaleira e viabilizar a execução da parte experimental deste trabalho.

À Capes pela concessão da bolsa de estudo.

*“Desde a idade de seis anos eu tinha mania de desenhar a forma dos objetos. Por volta dos cinquenta havia publicado uma infinidade de desenho, mas tudo que produzir antes dos sessenta não deve ser levado em conta. Aos setenta e três compreendi mais ou menos a estrutura da verdadeira natureza, as plantas, as árvores, os pássaros, os peixes e os insetos. Em consequência, aos oitenta terei feito ainda mais progresso. Aos noventa penetrarei no mistério das coisas, aos cem, terei decididamente chegado a um grau de maravilhamento – e quando eu tiver cento e dez anos, para mim, seja um ponto ou uma linha, tudo será vivo.”*

*Katsuhika Hokusai (sécs. 18 – 19)*

## RESUMO

O presente trabalho avaliou a distribuição de tensões em dentes com Lesões Cervicais não Cariosas (LCNC) desenvolvidas *in vivo*, por meio do Método de Elementos Finitos (MEF), empregando o programa Ansys 7.1. Este estudo, foi realizado por meio da construção de 10 modelos bidimensionais (2D) representativos de pré-molares humanos, com LCNC pré-existent desenvolvidas *in vivo*, submetidos à carga de 45N na vertente interna da face vestibular, num ângulo de 45° em relação ao longo eixo do dente. A amostra foi constituída de 4 dentes superiores e 6 inferiores que se apresentaram com duas configurações geométricas distintas: lesões em forma de cunha (n=4) e lesões arredondadas (n=6); três tipos de base: voltada para oclusal (n= 3), para cervical (n= 5) e padrão misto ou indefinido (n= 2) e com duas formas de término cervical: ângulo vivo (n= 3) e arredondado (n= 7). As tensões foram analisadas pelo critério de von Mises ( $\sigma_e$ ) a partir de pontos de leitura padronizados e simbolizados por letras, traçados em três linhas – Linha Externa (LE), Linha Média (LM) e Linha Interna (LI) – nas áreas da lesões. A escala de 25 cores, do programa Ansys, que expressa, de forma qualitativa, os diferentes valores da  $\sigma_e$ , foi exportada para o programa Adobe photoshop para elaboração de tabela de dados, resultante da analogia entre a concentração de pigmentos RGB: Vermelho (Red – R), Verde (Green – G) e azul (Blue) e a escala mencionada acima. Os valores constantes dessa tabela viabilizaram a equivalência, de modo objetivo e preciso, das cores dos pontos determinados nas LE, LM e LI com a escala de cor, representativa da  $\sigma_e$ . Esse procedimento permitiu a elaboração de uma planilha com o objetivo de inserir os gráficos para facilitar a interpretação dos dados. Os resultados demonstraram que a distribuição de tensão variou principalmente na dependência da forma da lesão, isto é, quanto mais aguda a lesão, maior a concentração de tensão. Também se constatou que a maior intensidade de concentração de tensão ocorreu no vértice de todas as lesões. Baseado nestes resultados concluiu-se que a forma geométrica da LCNC influencia a distribuição de tensões e determina a magnitude e a severidade da concentração de tensão na área da lesão.

**Palavras chaves:** Lesões Cervicais não Cariosas; Abfração; Erosão. Método Elementos Finitos.



## ABSTRACT

This study evaluated stress distributions in teeth with non-carious cervical lesions (NCCL's) developed *in vivo*, using the Ansys 7.1 finite element analysis (FEA) software. The study was carried out by creating 10 two-dimensional (2D) models representing pre-molars with NCCL's developed *in vivo*, submitted to a 45N load on the internal incline of the buccal surface at an angle of 45° to the long axes of the teeth. The sample consisted of 4 maxillary and 6 mandibular teeth with two distinct geometric configurations: wedge shaped lesions (n= 4) and rounded lesions (n= 6); three types of base: occlusal facing (n= 3), cervical facing (n= 5) and those facing in a mixed or undefined direction (n= 2) and with two types of cervical ending: sharp (n= 3) and rounded (n= 7). The stresses were analysed using von Mises ( $\sigma_e$ ) criteria measured from standardized reading points identified by letters along three lines - the external line (EL), middle line (ML) and internal line (IL) – in the region of the lesions. The Ansys 25-colour scale, which expresses qualitatively the different  $\sigma_e$  values, was exported to Adobe photoshop to elaborate a table resulting from the analogy between the concentration of RGB pigments: (Red - R), (Green - G) and (Blue - B) and the abovementioned scale. The constant values of this table permitted an accurate and objective equivalence between the colours of the specified points along the EL's, ML's and IL's and the colour scale representative of  $\sigma_e$ . This procedure allowed for the production of a spreadsheet showing graphs facilitating the interpretation of the data. The results showed that the stress varied principally according to the shape of the lesion, i.e. the sharper the angle of the lesion, the greater the stress concentration. It was also observed that the greatest intensity of stress occurred along the incline of all the lesions. Based on these results it was concluded that the geometric form of the NCCL influences the distribution of stress and determines the magnitude and severity of the concentration of the stress in the area of the lesion.

**Keywords:** Non-carious Cervical Lesions; Abfraction; Erosion; Finite Element Method

## LISTA DE ABREVIATURAS

$\epsilon$  – Deformação

$\sigma$  (sigma) – Tensão normal

$\tau$  (tau) – tensão cisalhante

$\sigma_e$  – Tensão de von Mises

2D. –.Bidimensional

3D - Tridimensional

CAD-CAM – Computer Aided Design/Computed Aided Manufactured,  
Sistema computadorizado de confecção de cerâmica

E –.Módulo de elasticidade

Fig. – Figura

LCNC – Lesões Cervicais não-Cariosas

LE – Linha externa

LI – Linha interna

LM – Linha média

MEF – Método de elementos finitos

mm – Unidade de comprimento (milímetro)

mm<sup>2</sup> – Unidade de área (milímetro quadrado)

MN – Tensão mínima

MPa – Unidade de pressão – força / área (Mega Paschoal)

MX – Tensão máxima

N – Unidade de pressão - carga aplicada (Newton)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Adaptação do esquema de mecanismos patodinâmicos das lesões de superfície dentária, proposto por Grippo et al. 2004.....	35
Figura 2 – Lesão angulada. ....	46
Figura 3 – lesão arredondada. ....	46
Figura 4 – Imagem radiográfica (a1) do dente 1 (b1), com faceta de desgaste (b2) e forma da lesão (b3). ....	48
Figura 5 – Imagem radiográfica (a1) do dente 2 (b1), faceta de desgaste (b2) e base da lesão (b3).....	49
Figura 6 – Imagem radiográfica (a1) do dente 3 e fotografias da unidade (b1), da faceta de desgaste (b2) e da lesão (b3).....	50
Figura 7 – Imagem radiográfica (a1) do dente 4 e fotografias da unidade (b1), da faceta de desgaste (b2) e da lesão (b3).....	51
Figura 8 – Imagem radiográfica (a1) do dente 5 e fotografias da unidade (b1), da faceta de desgaste (b2) e da lesão (b3).....	52
Figura 9 – Imagem radiográfica (a1) do dente 6 e fotografias da unidade (b1), da faceta de desgaste (b2) e da lesão (b3).....	53
Figura 10 – Imagem radiográfica (a1) do dente 7 e fotografias da unidade (b1), da faceta de desgaste (b2) e da lesão (b3).....	54
Figura 11 – Imagem radiográfica (a1) do dente 8 e fotografias da unidade (b1), da faceta de desgaste (b2) e da lesão (b3).....	55
Figura 12 – Imagem radiográfica (a1) do dente 9 e fotografias da unidade (b1), da faceta de desgaste (b2) e da lesão (b3).....	56
Figura 13 – Imagem radiográfica (a1) do dente 10 e fotografias da unidade (b1), da faceta de desgaste (b2) e da lesão (b3).....	57
Figura 14 – Seqüência no Mechanical/Autocad.....	59
Figura 15 – Etapa de construção do modelo. ....	60

Figura 16 – Adaptação do esquema do estado triaxial de tensões, proposto por Oliveira, 2002. ....	63
Figura 17 – Esquema de energia de deformação. ....	64
Figura 18 – Determinação das Linhas Externa, Média e Interna .....	66
Figura 19 – Determinação dos pontos .....	66
Figura 20 – Analogia de cores representativas da $\sigma_e$ do Ansys, entre a concentração de pigmentos RGB do Adobe Photoshop. ....	67
Figura 21 – Planilha da equivalência das cores dos pontos no Microsoft Excel. ....	68
Figura 22 – Análise da distribuição de tensão pelo Figura 1 Critério de von Mises nos dentes submetidos ao carregamento na vertente interna da cúspide vestibular. ....	70
Figura 23 – Análise da distribuição de tensão pelo critério de von Mises na área das lesões, dos dentes submetidos ao carregamento na vertente interna da cúspide vestibular. ....	71
Figura 24 – Análise da distribuição de tensão na direção X na área das lesões, dos dentes submetidos ao carregamento na vertente interna da cúspide vestibular. ....	72
Figura 25 – Análise da distribuição de tensão na direção Y na área das lesões, dos dentes submetidos ao carregamento na vertente interna da cúspide vestibular. ....	73
Figura 26 – Gráfico da distribuição de tensão na área da lesão. Imagem do modelo e da área da lesão do dente 1 .....	75
Figura 27 – Gráfico da distribuição de tensão na área da lesão. Imagem do modelo e da área da lesão do dente 2 .....	76
Figura 28 – Gráfico da distribuição de tensão na área da lesão. Imagem do modelo e da área da lesão do dente 3 .....	77
Figura 29 – Gráfico da distribuição de tensão na área da lesão. Imagem do modelo e da área da lesão do dente 4 .....	78
Figura 30 – Gráfico da distribuição de tensão na área da lesão. Imagem do modelo e da área da lesão do dente 5 .....	79

Figura 31 – Gráfico da distribuição de tensão na área da lesão. Imagem do modelo e da área da lesão do dente 6 .....	80
Figura 32 – Gráfico da distribuição de tensão na área da lesão. Imagem do modelo e da área da lesão do dente 7 .....	81
Figura 33 – Gráfico da distribuição de tensão na área da lesão. Imagem do modelo e da área da lesão do dente 8 .....	82
Figura 34 – Gráfico da distribuição de tensão na área da lesão. Imagem do modelo e da área da lesão do dente 9 .....	83
Figura 35 – Gráfico da distribuição de tensão na área da lesão. Imagem do modelo e da área da lesão do dente 10 .....	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Esquematização da etiologia e da morfologia das LCNC's ocasionadas por abrasão, erosão e abfração. ....	32
Tabela 2 – Classificação das lesões segundo: a situação dos dentes no arco, à forma da lesão, á localização da base da lesão e à forma do término cervical. ....	47
Tabela 3 – Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson das estruturas dentárias empregadas na análise de tensões – MEF. ....	61
Tabela 4 – Número de elementos e nós usados em cada modelo .....	62
Tabela 5 – Valores de tensão ocorridas no vértice da lesão, forma da lesão e ponto de tensão máxima. ....	85

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Distribuição de tensão na parte mais profunda da lesão..... 74

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	21
2.1 Lesões Cervicais não Cariosas (LCNC).....	22
<b>2.1.1 Abrasão</b> .....	22
<b>2.1.2 Erosão</b> .....	25
<b>2.1.3 Abfração</b> .....	28
<b>2.1.4 Aspectos clínicos das LCNC</b> .....	31
<b>2.1.5 Origem das LCNC</b> .....	33
2.2 Método de Elementos Finitos (MEF).....	36
<b>3 PROPOSIÇÃO</b> .....	41
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	43
4.1 Delineamento Experimental 4.1.....	44
<b>4.1.1 Tipo do estudo</b> .....	44
<b>4.1.2 Fatores em estudo</b> .....	44
<b>4.1.3 Unidades experimentais</b> .....	44
<b>4.1.4 Variável de resposta qualitativa</b> .....	44
4.2 Seleção, critério de inclusão e preparo das amostras.....	45
4.3 Caracterização individual dos dentes.....	47
4.4 Análise por método de elementos finitos.....	58
4.5 Análise dos dados.....	65
<b>4.5.1 Definição da área da lesão a ser analisada</b> .....	65
4.6 Aspectos éticos.....	68



<b>5 RESULTADO</b> .....	69
5.1 Análise de von Mises .....	74
5.2 Análise na direção X e Y .....	85
<b>6 DISCUSSÃO</b> .....	86
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	96
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	98
<b>ANEXO</b> .....	104