

VALÉRIA SOPRANO

**ESTUDO DE PARÂMETROS PARA ENSAIOS DE MICRODUREZA EM
AMÁLGAMA DE PRATA, RESINA COMPOSTA,
DENTINA E ESMALTE BOVINOS**

São Paulo
2007

Valéria Soprano

**Estudo de parâmetros para ensaios de microdureza em amálgama
de prata, resina composta, dentina e esmalte bovinos**

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo, para obter o título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Odontologia.

Área de concentração: Dentística

Orientador: Profa. Dra. Míriam Lacalle Turbino

São Paulo

2007

FOLHA DE APROVAÇÃO

Soprano V. Estudo de parâmetros para ensaios de microdureza em amálgama de prata, resina composta, dentina e esmalte bovinos [Dissertação de Mestrado] .São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2007.

São Paulo, / / 2007

Banca Examinadora

1) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

2) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

3) Prof(a). Dr(a). _____

Titulação: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Antonio e Glória por terem me ensinado o real valor de todas as pessoas, do mundo ao meu redor, o amor pela vida e a vontade de querer sempre mais e mais. Sem a presença deles tenho certeza que a minha vida não seria tão colorida como é, e como sempre será porque estão no meu coração.

Ao meu irmão Sérgio que tanto me ajudou e aconselhou na minha carreira e também pela força e carinho em todos os momentos.

Ao Demetrios sempre presente me dando força para nunca desistir nessa fase final da tese, além de todo carinho, amor, paciência, companheirismo e dedicação.

As minhas meninas Kika e Naty que demonstram da forma delas todo o amor incondicional, proporcionando momentos felizes na minha vida, assim como os meus pais, irmão e namorado.

Dedico aos meus amigos queridos que sempre presentes na minha vida e na minha carreira, o meu muito obrigada!

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Não posso dizer que é apenas uma orientadora, mas sim, uma amiga sempre presente, seja nas horas descontraídas ou nas broncas (“cadê os verbos das frases?”). Esse agradecimento, a minha orientadora Miriam Lacalle Turbino vem do fundo do meu coração, afinal ela me acompanhou desde 1992 enquanto eu cursava o segundo ano da graduação lá em Ribeirão Preto (ela não vai gostar que eu fale isso...) e estagiava na Dentística já estudando microdureza. Apesar de ter me afastado por alguns anos da faculdade, quando retornei aqui em São Paulo, ela me acolheu de braços abertos. Hoje, gostaria de retribuir toda a confiança em mim e dedicar essa tese a quem mais merece, Miriam Lacalle Turbino.

Minha eterna admiração e gratidão!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me fazer forte, confiante e saudável para poder estar aqui agradecendo a todas essas pessoas que me auxiliaram de alguma forma para que a tese fosse realizada.

À toda a minha família presente fisicamente aqui ou no meu coração. Em especial as minhas primas Ivani, Luiza e Clara que sempre me ajudaram e participaram na minha carreira.

À Professora Margareth Oda que sempre se preocupou em saber como estava, a vida, os amores, as decepções, além de todo o ensinamento durante o estágio na Dentística Operatória e agora durante a Pós-graduação.

Ao Professor Michel Nicolau Youssef pelo bom humor e pela confiança em ter me acolhido na disciplina de Dentística Operatória, como estagiária, passo decisivo para estar aqui.

Ao Professor Carlos Francci pelas dicas e sugestões dadas em minha qualificação.

Ao Professor Yoshio Kawano pelo esclarecimento de algumas dúvidas durante o desenvolvimento da tese.

Aos cirurgiões dentistas Dr. Ernesto e Dr. Antonio dos Santos Lopes (*in memoriam*) que ajudaram na minha decisão em cursar Odontologia e na minha formação que teve início como auxiliar odontológica até chegar a profissão de cirurgiã dentista.

Ao Laboratório de Dentística, especialmente à Soninha que proporcionou um ambiente muito agradável para o desenvolvimento da parte laboratorial, de uma maneira descontraída, com muito profissionalismo, amizade e carinho. Disposta a estender o seu horário quando aparecia um aluno aflito com os prazos.

Ao Pessoal da administração, David, Ana e Leandro pela ajuda e compreensão.

Aos técnicos da Dentística sempre presentes desde quando era estagiária, Luis, Kleber e Arnaldo. Ao Aldo pela paciência e às vezes impaciência quando vínhamos no último dia imprimir nossos painéis.

À Biblioteca de Odontologia pelas pesquisas e em especial ao meu amigo Fernando pelas idas (muitas por sinal) a Biblioteca da Poli, sempre com muita disposição, amizade e carinho.

À Bibliotecária Glauci Elaine pela compreensão e dedicação na correção da minha dissertação. E lógico pelo carinho e paciência no momento em que estamos à beira de um ataque de nervos.

À Fapesp pelo apoio financeiro.

Agradeço especialmente à minha amiga Camilla por estar ao meu lado, pela amizade, carinho em todos os momentos de felicidade, angústia, dúvida, alegria. Por ter convivido com ela um pouquinho mais além da faculdade.

Aos meus amigos do curso de Pós-Graduação pelo carinho, conhecimento e lógico, pelos churrascos.

Aos meus amigos Cíntia, Patrícia , Margarete, Patrícia, Hamilton, Lílian, Marcio, George, Aurora, Regina, Cida, Denise e Márcia Monteiro Rita que de alguma forma com carinho colaboraram para que eu chegasse à dissertação de Mestrado.

As secretárias da Pós-Graduação, Cátia, Nair e Alessandra, por estarem sempre prontas a solucionar os nossos problemas.

Agradeço finalmente a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram na execução deste trabalho.

“Pesquisa para constatar, constatando, intervenho, intervindo educo e me educo. Pesquisa para saber o que ainda não conheço e comunicar e anunciar a novidade”.

“...Afiml, minha presença no mundo não é a de quem a ele se adapta mas, a de quem a ele se insere. É a posição de quem luta para não ser apenas objeto, mas sujeito também da História”.

Paulo Freire

“O bem sanará o mal, porque este não existe: é o bem, mal interpretado. O mal está muito mais na nossa impaciência e no nosso desequilíbrio...”

“Deus nos concede, a cada dia, uma página de vida nova no livro do tempo. Aquilo que colocarmos nela, corre por nossa conta.”

Chico Xavier

Soprano V. Estudo de parâmetros para ensaios de microdureza em amálgama de prata, resina composta, dentina e esmalte bovinos [Dissertação de Mestrado] São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2007.

RESUMO

A dureza é uma propriedade bastante utilizada para comparar tanto os materiais restauradores como os tecidos biológicos. É definida pela resistência do material à deformação plástica e mensurada pela relação da força aplicada e a área de endentação. Para esse estudo foram utilizados dois materiais: amálgama e resina composta e dois tecidos dentais: dentina e esmalte bovinos. No total foram confeccionados 20 espécimes, divididos em 4 grupos: A (Amálgama), R (Resina Composta), D (Dentina) e E (Esmalte) de acordo com cada superfície. Para os grupos A e R foram confeccionadas cavidades que foram restauradas com os respectivos materiais, no grupo E teve a superfície apenas planificada e o grupo D teve desgaste até a exposição de dentina. Para os testes foram utilizados os endentadores Vickers e Knoop; as cargas de 25, 50 e 100gf em cinco tempos de endentação 5, 15, 30, 45, e 60s. Os valores dos testes foram submetidos à análise estatística pelo teste Kruskal-Wallis e Student-Newman-Keuls ($p < 0,05$). Os resultados permitiram concluir que para o amálgama deve se utilizar no mínimo uma carga de 50gf em um tempo mínimo de 30s tanto para a Vickers como para a Knoop. Na resina composta uma carga de 50gf e tempo de 45s para a Knoop e na dureza Vickers não apresentou diferenças. Na dentina a carga ideal é de pelo menos 50gf em qualquer dos tempos na dureza Vickers e Knoop. E o esmalte uma carga de 100gf para qualquer tempo na dureza Knoop.

Palavras-Chave: Microdureza – Vickers - Knoop - Amálgama - Resina composta - Dentina bovina – Esmalte bovino

Soprano V. Study of the parameters for microhardness test on dentin and enamel bovines, composite resin and amalgam [Dissertação de Mestrado]. São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2007.

ABSTRACT

The hardness is a mechanical property utilized to compare restorative materials such as biological tissue and can be defined as the resistance of material for a permanent impression and a number related to the applied force and the surface area. As each material has its own mechanical characteristic, for this study utilized two materials: amalgam and composite resin and two dental tissues: bovine dentin and enamel. In total were 20 specimens, divided among 4 groups: A, R, D, E equivalent for each superficial. The groups A and R received cavities preparation that were restored into with the respective materials, the group D had the superficial wore until exposure of the dentin and the group E was so planning. For the microhardness testing were utilized Vickers and Knoop indenter; loads of 25, 50 and 100gf in 5 time of application 5, 15, 30, 45 e 60 seconds. The values were submitted for statistical analysis by Kruskal-Wallis and Student-Newman-Keus tests ($p < 0.05$). Due to the results, it is concluded that the amalgam presented a minimum load adequated of 50gf and a time of application of 30 seconds as the Vickers as Knoop. In the composite resin the minimum load was 50gf and time was 45s for Knoop, the Vickers didn't have statistical diference. In dentin the minimum load was 50gf for all studies times for two tests. And the enamel presented the minimum load adequated was 100gf for all the times in the Knoop microhardness, the Vickers test didn't have statistical diference.

Keywords: Microhardness – Knoop – Vickers – Amalgam – Composite Resin – Bovine Dentin – Bovine Enamel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Escala Mohs	25
Figura 2.2 - Endentador Vickers e cálculo da dureza Vickers	26
Figura 2.3 - Endentador Knoop e o cálculo da dureza Knoop	27
Figura 2.4 - Bordas em forma de barril (pile up)	42
Figura 2.5 - Bordas retraídas (sink in)	42
Figura 2.6 - Formação de fraturas e as zonas elásticas	47
Figura 4.1 - Dente incluído em resina	62
Figura 4.2 - Desgaste dos espécimes em politriz	62
Figura 4.3 - Preparo da cavidade dos espécimes	62
Figura 4.4 - Amálgama GS-80	63
Figura 4.5 - Amalgamador Ultramat 2- SDI	63
Figura 4.6 - Resina filtek Z250	64
Figura 4.7 - Fotopolimerizador Degulux Softstart	64
Figura 4.8 - Grupo D - Dentina	64
Figura 4.9 - Grupo E – Esmalte	64
Figura 4.10 - Microdurômetro	65

Figura 4.11 - Endentadores Vickers e Knoop.....	65
Figura 4.12 - Visão aproximada do teste de microdureza	65
Figura 4.13 - Esquema dos principais componentes de um microdurômetro.....	66
Figura 4.14 - Parâmetros estudados nos testes de microdureza	67
Figura 4.15 - Marca do endentador Vickers	67
Figura 4.16 - Marca do endentador Knoop.....	67
Figura 4.17 - Esquema da distância permitida para endentações Knoop e Vickers (ASTM E-384/99).....	68

LISTA DE TABELAS

- Tabela 5.1 – Valores médios de microdureza Vickers e Knoop na superfície de amálgama de prata.....70
- Tabela 5.2 – Valores médios de microdureza Vickers e Knoop na superfície de resina composta.....75
- Tabela 5.3 – Valores médios de microdureza Vickers e Knoop na superfície de dentina bovina.....79
- Tabela 5.4 – Valores médios de microdureza Vickers e Knoop na superfície de esmalte bovino.....83

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Características dos grupos.....	61
Quadro 5.1 -Resumo dos resultados da análise estatística do amálgama. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas Knoop.....	71
Quadro 5.2 -Resumo dos resultados da análise estatística do amálgama entre cargas. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop.....	72
Quadro 5.3 - Resumo dos resultados da análise estatística da resina composta entre tempos. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop.....	76
Quadro 5.4 - Resumo dos resultados da análise estatística da resina composta entre cargas. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop.....	76
Quadro 5.5 - Resumo dos resultados da análise estatística da dentina entre tempos. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop.....	80
Quadro 5.6 - Resumo dos resultados da análise estatística da dentina entre cargas. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop.....	80
Quadro 5.7 - Resumo dos resultados da análise estatística do esmalte entre tempos. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop.....	84
Quadro 5.8 - Resumo dos resultados da análise estatística do esmalte entre cargas. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop.....	84

Quadro 6.1- Levantamento bibliográfico de parâmetros de carga e tempo de endentação em trabalhos que utilizaram testes de microdureza em dentina e esmalte.....	89
Quadro 6.2- Levantamento bibliográfico de parâmetros de carga e tempo de endentação em trabalhos que utilizaram testes de microdureza em amálgama e resina.....	90
Quadro 6.3 - Resumo dos resultados dos grupos A, R, DE.....	108

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 – Análise dos valores de microdureza Vickers relacionando as cargas com os tempos de endentação no amálgama.....	72
Gráfico 5.2 – Análise dos valores de microdureza Knoop relacionando as cargas com os tempos de endentação no amálgama.....	73
Gráfico 5.3 – Análise das médias Vickers e Knoop.....	73
Gráfico 5.4 – Análise dos valores de microdureza Vickers relacionando as cargas com os tempos de endentação na resina composta.....	76
Gráfico 5.5 - Médias dos postos entre os tempos de endentação na resina composta.....	77
Gráfico 5.6 – Análise dos valores de microdureza Knoop relacionando as cargas com os tempos de endentação na resina composta.....	78
Gráfico 5.7 - Análise das médias Vickers e Knoop.....	78
Gráfico 5.8 – Análise dos valores de microdureza Vickers relacionando as cargas com os tempos de endentação na dentina bovina.....	81
Gráfico 5.9 – Análise dos valores de microdureza Knoop relacionando as cargas com os tempos de endentação na dentina bovina.....	81
Gráfico 5.10 - Análise das médias Vickers e Knoop.....	82
Gráfico 5.11 – Análise dos valores de microdureza Vickers relacionando as cargas com os tempos de endentação no esmalte bovino.....	85
Gráfico 5.12 – Análise dos valores de microdureza Knoop relacionando as cargas com os tempos de endentação no esmalte bovino.....	85

Gráfico 5.13 - Análise das médias Vickers e Knoop.....	86
Gráfico 6.1 – Porcentagem das cargas.....	91
Gráfico 6.2 – Porcentagem dos tempos de endentação.....	91

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ADA	American Dental Association
ASTM	American Standard Testing for Materials
FAPESP	Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo
gf	grama-força
ISO	International Standard Organization
kgf	kilogramaforça
K	Knoop
LED	light emitting diode
mm	milímetros
mW/cm ²	miliwatts por centímetro quadrado
N	Newton
nc	não consta
n/s	não significativa
NBR	Norma Brasileira
s	segundos
UDMA	dimetacrilato uretano
µm	micrometros
µm/s	micrometros por segundo
USP	Universidade de São Paulo
V	volume
V	Vickers

SUMÁRIO

	p.
1 INTRODUÇÃO.....	20
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	24
3 PROPOSIÇÃO.....	58
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
5 RESULTADOS.....	69
6 DISCUSSÃO.....	87
7 CONCLUSÃO.....	109
REFERÊNCIAS.....	110
APÊNDICES.....	121

1 INTRODUÇÃO

O estudo das propriedades mecânicas implica no exame das relações entre um corpo, constituído de determinado material, e as forças que atuam sobre o mesmo, assim como as conseqüências dessas relações. Qualquer material é constituído de átomos e estes apresentam forças internas que se opõem à ação de uma força externa, denominada tensão. Quando a força externa consegue alterar a distância entre os átomos ocorre a deformação permanente (LOPEZ, 1993).

A dureza é então uma propriedade mecânica definida como a mensuração da resistência à deformação permanente e é medida por meio da relação da força aplicada pela área de endentação. Essa resistência do material gera uma tensão (CRAIG; POWERS, 2004).

Cada material apresenta uma característica de comportamento mecânico mediante a aplicação de uma carga e por isso é importante conhecer e avaliar o comportamento do material ensaiado expresso pela curva de tensão-deformação. Esse gráfico permite classificar os materiais em: dúctil (elástico), viscoelástico e frível, porque, à medida que aumentamos a tensão, a resposta à deformação é expressa pela curva. Quando a curva alcança uma tensão máxima e a partir daí se estabiliza em uma horizontal, o material é considerado dúctil porque apresenta uma deformação permanente em uma tensão máxima. Quando a curva atinge uma tensão máxima e inicia um declínio, significa que o material apresentou deformação permanente e elástica, o que caracteriza um comportamento viscoelástico. Nos materiais classificados viscoelásticos e dúcteis, após a tensão, existe a recuperação elástica, fenômeno que pode interferir nos valores de dureza após a remoção da

carga, alterando a imagem da deformação deixada pelo endentador. E um material com comportamento mecânico frágil (frágil), a curva termina no momento da tensão máxima, tendo uma pequena área de deformação permanente. Nesses materiais, como as tensões não são dispersas pelo material, surgem fraturas ao redor das marcas deixadas pelos endentadores (POWERS; SAKAGUCHI, 2006).

A análise da curva de tensão-deformação define outras propriedades mecânicas relevantes na classificação dos materiais, como o limite de proporcionalidade, a resiliência, a resistência à fratura, o creep e o módulo de elasticidade (PHILLIPS, 1994).

O comportamento mecânico de cada material pode interferir na seleção de carga e tempo de endentação nos testes de microdureza. (LOPEZ, 1993; COUTO et al., 2000; POWERS; SAKAGUCHI, 2006). A seleção de parâmetros incorretos para cada material pode alterar as propriedades mecânicas durante o teste e levar a resultados que não são verdadeiros (CRAIG; POWERS, 2004). O tempo de endentação pode influenciar nos valores de dureza, particularmente dos polímeros como a resina composta, por serem viscoelásticos, ou seja, apresentam desempenho de um material viscoso, pois se deforma permanente e progressivamente em função do tempo de aplicação da carga (COUTO et al., 2000).

Inicialmente, os testes de dureza eram direcionados para estruturas de grande porte, no qual utilizavam cargas de 1 a 120kgf e por tempos indeterminados de endentação (BOYER, 1987). Visto que esses parâmetros influenciavam os valores de dureza, principalmente em estruturas menores, foi criada norma internacional para padronização desses testes com cargas menores e um tempo mínimo de endentação.

O teste de microdureza, que é adaptado para microestruturas, segue os padrões da Associação Internacional de Normas ASTM E384-99 publicada em 2000 que instituiu para os testes de microdureza a utilização de cargas de 1gf a 1000gf, o uso dos penetradores Knoop e Vickers, a necessidade de microscópio acoplado ao equipamento, as fórmulas estabelecidas ou tabelas de conversão, o tempo mínimo de endentação de 10 a 15 segundos, as distâncias entre cada endentação, a velocidade entre 15 e 70 μ m/s e o comprimento mínimo de 20 μ m. das diagonais das marcas de microdureza.

Com o uso desses padrões para os testes de microdureza, existe uma variabilidade extensa nos parâmetros de carga e tempo de endentação, fazendo com que a literatura utilize várias cargas e tempos em um mesmo material nem sempre levando em conta o seu comportamento mecânico.

Outros fatores que podem interferir nos valores de microdureza de acordo com a superfície ensaiada são as formas dos endentadores (LOPEZ, 1993) e as metodologias empregadas nos testes que podem ser as que medem as diagonais das marcas (convencionais) ou as que medem a profundidade de penetração do endentador (GIANNAKOUPoulos; SURESH, 1999; ZAMFIROVA; DIMITROVA, 2000).

Dentre os materiais utilizados na Odontologia, os polímeros, representados pelas resinas compostas, são os materiais que apresentam maior dependência dos parâmetros de carga e tempo de endentação. Isso ocorre por causa da estrutura molecular complexa e por ter um comportamento mecânico viscoelástico (COUTO et al., 2000).

Com base nessas informações, a escolha adequada dos parâmetros dos testes de microdureza viabiliza maior precisão e reprodutibilidade dos valores de microdureza em qualquer material ensaiado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico e definições

Souza (1982) afirmou que a dureza é uma propriedade mecânica largamente utilizada na especificação de materiais, nas pesquisas mecânicas e metalúrgicas e na comparação de diversos materiais. A avaliação de dureza depende da experiência de cada profissional em estudar o assunto. Para um metalurgista, dureza significa a resistência à deformação plástica permanente; um engenheiro mecânico define a dureza como a resistência à penetração de um material duro no outro; para um projetista, a dureza é considerada uma base de medida para o conhecimento da resistência e do tratamento térmico ou mecânico de um metal e para um mineralogista, a dureza tem um significado diferente, ou seja, o de medir a resistência ao risco que um material pode fazer em outro. Logo, o ensaio de dureza pode ser dividido em três tipos principais, que dependem da maneira com que o ensaio é conduzido: por penetração, por choque e por risco. O terceiro tipo é raramente utilizado mas apresenta uma das escalas de dureza mais antigas, a escala de Mohs (1822) que relaciona vários materiais quanto à possibilidade de um riscar o outro. Essa escala consiste de uma tabela de 10 minerais padrões arranjados na ordem crescente da possibilidade de ser riscado pelo mineral seguinte como mostra a Figura 2.1.

Escala Mohs	
Diamante	10
Corundum	9
Topázio	8
Quartzo	7
Ortoclase (Feldspato)	6
Apatita	5
Fluorita	4
Calcita	3
Gesso	2
Talco	1

Figura 2.1 - Escala Mohs (site [http:// www.cimm.com.br](http://www.cimm.com.br))

Como esta escala não era conveniente para os metais outros autores definiram a dureza por risco como a carga em gramas-força sob a qual um diamante de ângulo de 90° produziria um risco de 0,01mm de largura num material qualquer.

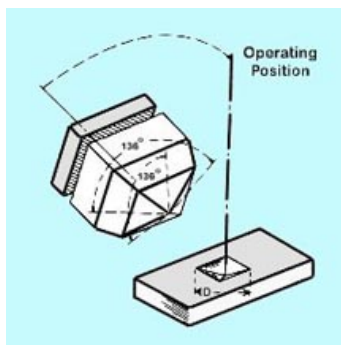
O teste de dureza Brinell (1901) consiste em comprimir lentamente uma esfera de aço, sobre uma superfície plana, polida de um metal por meio de uma carga durante um tempo. Essa compressão provocará uma impressão permanente no metal com o formato de uma calota esférica, de diâmetro definido, o qual é medido com auxílio de um microscópio óptico. Quando-se aplica uma carga na superfície ensaiada ocorre uma deformação plástica. Após a remoção da carga ocorre o fenômeno da recuperação elástica. Em alguns casos, o diâmetro da impressão pode não ser o mesmo de quando a esfera estava em contato com o metal. Portanto a recuperação elástica pode ser uma fonte de erros na determinação da dureza. Quando uma impressão é distorcida, deve-se diminuir a carga para tentar obter uma impressão, a mais circular possível.

A dureza Meyer utiliza o mesmo penetrador Brinell, porém sua maneira de calcular é diferente. A dureza Meyer se baseia na área da calota projetada enquanto o teste Brinell calcula a dureza relacionando o diâmetro do endentador com o

diâmetro da marca na superfície, como se a marca fosse plana. Meyer definiu a mensuração de dureza pela área total deixada pelo endentador.

O teste de dureza Rockwell é lido direta e automaticamente na máquina de ensaio, sendo portanto, um ensaio mais rápido e livre de erros pessoais. São utilizados endentadores esféricos ou cônicos. Neste ensaio se aplica uma carga menor para fixar firmemente o corpo de prova. Em seguida é aplicada e retirada a carga maior e a profundidade da impressão é dada diretamente no mostrador da máquina, em forma de um número de dureza, após voltar a carga ao valor menor.

A dureza Vickers, introduzida por Smith e Sandland (1925) apresenta um endentador em forma de pirâmide de diamante de base quadrada, com um ângulo de 136° entre as faces opostas. Quando o teste utiliza cargas de 1 a 120kgf o número de dureza é o mesmo qualquer que seja a carga em materiais homogêneos, entretanto, para cargas muito pequenas, a dureza Vickers pode variar de uma carga para outra, devendo então sempre ser mencionada a carga utilizada. O cálculo e a forma do endentador da dureza Vickers estão na Figura 2.2.



$$HV = \frac{2F \operatorname{sen} (136^\circ/2)}{d^2} \cong 1,854 \frac{F}{d^2}$$

Figura 2.2 - Endentador Vickers e cálculo da dureza Vickers ([http:// www.cimm.com.br](http://www.cimm.com.br))

Como no caso da dureza Brinell, a dureza Vickers também pode apresentar deformações nas impressões (aderência ou afundamento) de acordo com o tipo de metal avaliado. O penetrador Vickers tem sido muito utilizado nos testes de microdureza com cargas menores que 1kgf.

Outro teste muito utilizado é o Knoop (1939). Esse ensaio apresenta um endentador em forma de pirâmide alongada. Para o cálculo dessa dureza utiliza-se o valor da diagonal maior, segundo a Figura 2.3.



Figura 2.3 - Endentador Knoop e o cálculo da dureza Knoop ([http:// www.cimm.com.br](http://www.cimm.com.br))

Devido ao fato de a diagonal maior do teste Knoop ser três vezes maior que a diagonal menor, Souza (1982) define que, para uma mesma carga, a medição se torna mais precisa e ocorre uma menor influência da recuperação elástica (principalmente para cargas maiores que 300gf). A diagonal menor da impressão Knoop ou as diagonais da impressão Vickers apresentam uma maior recuperação elástica. A profundidade da impressão Knoop é menor que a metade da profundidade causada pela impressão Vickers com a mesma carga. A área de uma impressão Knoop é cerca de apenas 15% da área de uma impressão Vickers com a mesma carga. Como os testes de microdureza utilizam cargas muito baixas (menores que 300gf) as impressões são muito pequenas (principalmente no caso da microdureza Knoop). Esse tamanho reduzido pode prejudicar a mensuração exata da diagonal maior da impressão devido à dificuldade de se localizar as pontas da diagonal. Esses fatores provocam erros no ensaio, resultando em valores de dureza maiores que o verdadeiro. Em virtude disso, verifica-se que a dureza Knoop aumenta quando a carga diminui abaixo de 200gf até cerca de 20gf, para depois

decrecer com cargas ainda menores. No caso da impressão Vickers, a dureza diminui com a aplicação de cargas muito baixas.

Hodge (1936) decidiu avaliar alguns desses equipamentos em esmalte e dentina humanos recém extraídos. Os objetivos eram determinar a dureza dos tecidos e observar as endentações que cada equipamento promovia nessas superfícies. Os instrumentos utilizados foram: Brinell, Rockwell, Monotron, Shore, Pêndulo de Herbert e Microcharacter. Nos testes estudados os instrumentos destruíram as superfícies avaliadas. Em alguns casos as deformações das marcas foram extensas e houve uma variabilidade de valores de um instrumento para outro.

Para a realização dos testes de dureza e microdureza existem normas internacionais e nacionais que definem alguns padrões para a realização dos testes.

As normas relacionadas com esse estudo estão enumeradas a seguir:

1. ISO 6507/01(1982): define padrões para testes de dureza Vickers em superfícies metálicas utilizando forças de 49,03N a 980,7N.
2. ISO 6507/02(1982): define padrões para testes de dureza Vickers em superfícies metálicas utilizando forças de 1,961N a 980,7N.
3. ISO 6507/03(1982): define padrões para testes de microdureza Vickers com forças menores de 1,961N na qual os valores de dureza seriam menores que 0,2.

Para essas três normas o tempo de aplicação inicial (tempo que o endentador toca a superfície) tem que estar entre 2 e 8 segundos e o tempo de aplicação da carga (tempo de endentação real com a carga) deve ser de 10 a 15 segundos. Existem alguns metais que necessitam de um tempo maior de aplicação da força. A distância entre as endentações deve ser de três a seis vezes a diagonal da anterior, dependendo do tipo de metal a ser avaliado. Há a evidência de que alguns metais

podem ser sensíveis a uma determinada força, o que ocasionaria pequenas mudanças nos valores de dureza na área que apresentou o estresse, ou seja, a área de estresse gerada ao redor das endentações poderia alterar os valores de microdureza.

4. ASTM E-92 (vol. 03.01): define padrões para superfícies metálicas para o teste de dureza Vickers, com cargas de 1 kgf até 120kgf.
5. NBRNM 188 (05-1999): define padrões para superfícies metálicas para o teste de dureza Vickers
6. ASTM E-384-99 (2000): define padrões para os testes de microdureza Vickers e Knoop em qualquer material. Determina que as cargas variam de 1gf até 1000gf. O tempo mínimo de endentação deve ser de 10 a 15 segundos e em alguns casos pode se aumentar. A velocidade do endentador deve estar entre 15 e 70 μ m/s. Na distância entre as endentações deve-se deixar uma margem de segurança para não ocorrer sobreposições das marcas.

À medida que os testes de dureza eram aprimorados para o uso em Odontologia, algumas alterações foram necessárias para que o teste fosse indicado para microestruturas. Ryge, Foley e Fairhurst (1961) percebendo essa diferenciação do teste de dureza que utilizava cargas de 1 a 120kgf, recomendavam os testes de microdureza com cargas bem menores para classificação e comparação das propriedades de materiais odontológicos.

Boyer (1987) definiu os testes de microdureza baseado na norma internacional de microdureza (ASTM E384/89 vol. 03.01) que padroniza para esses testes, cargas menores de 1000gf. Os testes utilizam, na sua maioria, cargas de 100 a 500gf. O tamanho da endentação está relacionado com a carga aplicada. Os

endentes utilizados para os testes de microdureza são o Knoop e Vickers. Como as endentações são muito pequenas, há um microscópio para visualização assim como, fórmulas pré-estabelecidas ou tabelas de conversão de acordo com as normas estabelecidas pela Sociedade Americana de Testes e Materiais. A escolha entre Knoop (1939) e Vickers (1925) é normalmente arbitrária, embora o endentador Vickers penetre mais profundamente dentro do espécime quando comparado ao Knoop. Entretanto, o endentador Vickers por apresentar diagonais menores, é mais sensível para detectar erros comparados à Knoop.

Os equipamentos que medem a microdureza (microdurômetros), descrito por Boyer (1987) possuem um centro de cargas, um endentador que transmite a carga a uma superfície por um determinado tempo e um microscópio com duas objetivas para a visualização das impressões. Os espécimes devem estar perpendiculares ao endentador. Para isso existem fixadores típicos que seguram os espécimes para os testes (morsas universais). O valor de microdureza pode ser calculado por meio de tabelas que apresentam os valores das diagonais com uma carga fixa.

Boyer (1987) avaliando os resultados de dureza Vickers notou que os valores obtidos eram independentes da carga utilizada, porque normalmente se utilizavam cargas maiores que 1000gf. Mas com o advento dos testes de microdureza com cargas de menores de 500gf com o endentador Knoop e menores de 100gf com o endentador Vickers, na maioria dos casos os valores de microdureza Knoop diminuía com o aumento da carga e os valores da microdureza Vickers aumentava. Este comportamento seguia até a dureza se tornar independente da carga e se aproximar de um valor constante. O aparente aumento da dureza com a diminuição da carga pode ser causado por erros na determinação do tamanho da endentação, no formato do endentador, na preparação da superfície, vibrações durante o teste e

pelo fenômeno da recuperação elástica da endentação. Apesar de este fator ocorrer com o teste Knoop, estudos experimentais indicaram que o teste Vickers apresenta uma recuperação elástica pequena demais para explicar a dependência da carga. Geralmente qualquer comparação da microdureza Knoop com cargas menores que 500gf e Vickers com menos que 100gf está inválido, ao menos que a dependência da carga seja considerada. Esta é a razão para se relatar a carga em cada teste.

Estrela (2005) afirma que o teste de dureza Vickers (carga aplicada de 1 até 120kgf), não depende da carga aplicada no penetrador, pois todas as impressões são semelhantes entre si, não importando o tamanho do penetrador, uma vez que o diamante é indeformável. Ou seja, em materiais homogêneos, o número da dureza obtida é o mesmo para qualquer carga utilizada. A carga a ser aplicada no penetrador deve ser selecionada de tal modo que se obtenha uma deformação com forma regular e tamanho que possa ser visualizado no mostrador do equipamento para a medida de suas dimensões. Porém, quando são aplicadas pequenas cargas (Microdureza) de 1gf até 1000gf, o mesmo não ocorre, porque há variação na forma e nas dimensões de uma impressão para outra; por este motivo nos valores de microdureza há necessidade de mencionar a carga usada no teste. A diferença entre a impressão Knoop e a Vickers está também na área que cada uma proporciona na superfície. A impressão Knoop obtém-se uma área de apenas 15% da área de impressão Vickers com cargas iguais, ou seja, a Vickers penetra mais. Essa diferença da área entre esses endentadores em uma mesma carga ocorre devido à assimetria geométrica do endentador Knoop.

Nos testes de microdureza há a influência das cargas nos valores obtidos. McCabe e Walls (1998) utilizaram o método de dureza convencional no qual se medem as diagonais das endentações após a remoção da carga para demonstrar a

interferência de outras propriedades mecânicas dependentes das cargas durante o experimento. Segundo os autores após a penetração do endentador a força aplicada se espalhada na superfície, essa superfície responde à força aplicada com uma tensão e uma deformação do local da força. A extensão dessa tensão está relacionada com o limite elástico ou limite de proporcionalidade do material testado, que é a capacidade do material voltar sem ocorrer a deformação permanente. Qualquer outra deformação do material de provável natureza elástica, não será computada como parte da mensuração de dureza por causa da recuperação elástica. A observação do tamanho da endentação pelo microscópio é realizada durante ou após a ocorrência da recuperação elástica. Quando isso acontece, é importante observar o tamanho da endentação após esse fenômeno do material, para que o tamanho fique estabilizado. Métodos que envolvem a mensuração direta pela profundidade da endentação podem produzir resultados que dificultam a análise. Essa dificuldade pode ser resolvida se a região elástica e plástica da deformação puder ser separada, ou seja, após a tensão originada pela aplicação de uma força, a região pode ou não se recuperar após a remoção de carga. McCabe e Walls (1998) classificam os materiais conforme o seu comportamento mecânico mediante a aplicação de uma carga. Quando um material apresenta recuperação elástica total à remoção de carga, é considerado elástico (dúctil), apresenta um comportamento mecânico elástico. Se a recuperação é lenta, apresentando recuperação elástica parcial e deformação permanente apresenta comportamento mecânico viscoelástico. A magnitude da deformação permanente está em função da carga e do tempo de aplicação. Um dos fenômenos que pode ser explicado por modelos viscoelásticos é o creep, que aumenta gradualmente a tensão sob a influência de uma carga constante. Esse fenômeno creep implica em uma pequena

deformação produzida pelo aumento do estresse sob um longo período de tempo. As formas piramidais dos endentadores utilizados Vickers e Knoop provocaram um estresse muito alto, aumentando ainda mais a influência das cargas e das propriedades mecânicas durante o ensaio de microdureza.

Outro fator relevante nos testes de microdureza na seleção das cargas é o conhecimento do comportamento mecânico de cada material mediante a aplicação de uma carga que leva a uma tensão do material e deformação. Assim como McCabe e Walls (1998) avaliaram a influência da propriedade mecânica creep de um material viscoelástico nos valores de microdureza, Pintaúde (2002) confirmou que o valor de dureza depende fundamentalmente de três variáveis: o material ensaiado, a geometria do penetrador e a força aplicada e que a análise dos resultados de dureza depende do tipo de comportamento mecânico admitido para os materiais.

Powers, Sakaguchi (2006) também avaliaram o comportamento mecânico de cada material utilizando a expressão da curva tensão–deformação, assim como outras propriedades mecânicas presentes durante o teste que permitem classificar os materiais. Resiliência que é a resistência do material a deformação permanente, Resistência à Fratura é a habilidade do material ser plasticamente deformado sem fraturar. Um material é considerado com comportamento mecânico frágil quando apresenta um valor baixo de resistência à fratura, ou seja, quando submetido a uma tensão máxima ele fratura durante a deformação plástica. Quando o comportamento é dúctil apresenta um maior valor de resistência à fratura, deixando apenas uma deformação plástica na área de endentação. E um material apresenta um comportamento viscoelástico quando a análise da curva tensão-deformação apresenta uma deformação elástica além da plástica.

Outra propriedade mecânica presente relacionada à curva tensão-deformação e presente no teste de microdureza é o módulo de elasticidade ou constante de proporcionalidade, definido por Phillips (1994) como a relação entre uma tensão igual ou menor, em valor, ao limite de proporcionalidade dividido pelo valor da deformação correspondente. Se o ensaio for realizado com tensões de compressão ou de tração é chamado de módulo de Young. Representando o módulo de elasticidade uma relação entre tensão e deformação, segue-se que quanto menor a deformação para uma dada tensão, maior será o valor do módulo de elasticidade.

Craig e Powers (2004) afirmaram que dureza é uma das propriedades mais para comparar os materiais restauradores. Pode ser definida pela medida da resistência à deformação plástica e é mensurada como uma força por unidade de área de endentação. A formulação de uma definição é difícil devido às morfologias complexas de superfície e as tensões no material de teste, envolvendo, assim, uma variedade de propriedades em qualquer teste simples de dureza. As dimensões das endentações variam inversamente com a resistência à penetração do material testado. Assim, são necessárias cargas mais leves para os materiais mais macios.

Anusavice (2005) afirma que o teste Vickers é empregado pela ADA na especificação das ligas de ouro para restaurações fundidas e é adequado para se determinar a dureza de materiais friáveis, portanto esse teste tem sido empregado para a mensuração da dureza da estrutura dental. O endentador Knoop, em virtude da forma assimétrica, apresenta a recuperação elástica da impressão projetada primariamente ao longo da diagonal menor. As tensões produzidas no ensaio são distribuídas de tal modo que somente a dimensão do eixo menor da penetração fique sujeita às alterações por relaxamento fazendo portanto que o valor de dureza virtualmente praticamente independa da ductilidade do material testado. A dureza do

esmalte dental pode ser comparada à dureza do ouro, porcelana, resina ou outros materiais restauradores. Além disso, a carga pode variar em grande escala, desde 1gf a mais de 1kgf, de modo que se possam mensurar valores de dureza para materiais excessivamente duros ou macios por meio desse teste.

Craig (1993) indica os testes de dureza como um indicativo da facilidade de acabamento da estrutura e da sua resistência ao uso, no que se refere aos riscos. O acabamento e o polimento são importantes por motivos estéticos, mas também os riscos podem comprometer a resistência à fadiga e levar à falha prematura.

Os testes de microdureza são utilizados em inúmeras pesquisas que comparam materiais e tecidos duros dentais assim como tratamentos dados a esses materiais ou tecidos ou suas superfícies são citadas a seguir pesquisas realizadas com avaliação da microdureza com aplicações dos testes de microdureza tanto em materiais (amálgama e resina composta), quanto em tecidos dentais (dentina e esmalte).

2.2 Aplicações dos Testes de Microdureza

2.2.1 Amálgama e resina composta

O amálgama, apesar de não ser um material restaurador estético, ainda é utilizado na clínica e principalmente em serviços sociais devido ao seu baixo custo, durabilidade e facilidade de manipulação.

Com o passar dos anos esses materiais foram se aprimorando para que as suas propriedades melhorassem. No início dos anos sessenta, ocorreu a modificação mais significativa na composição do material com a inclusão de maior percentagem de cobre, introduzindo-se no mercado as ligas com alto teor de cobre

Johansson e Mjör (1988) em seus estudos com amálgama avaliaram clinicamente a degradação marginal e a corrosão de restaurações realizadas com amálgama convencional e com alto teor de cobre em função do tempo que permanecia na cavidade oral por meio de moldes das restaurações que posteriormente eram levados ao microscópio eletrônico de varredura. Esse tipo de amálgama com alto teor de cobre vem sendo muito utilizado devido a redução ou eliminação da fase gama 2. E concluíram neste estudo que o amálgama com alto teor de cobre não apresentou maior corrosão ou degradação marginal comparado ao amálgama convencional.

Patsurakos e Möberg (1988) avaliaram o comportamento de três tipos de amálgama: um convencional e dois com alto teor de cobre em relação à corrosão e a microdureza em diferentes meios (solução aquosa de cloreto de sódio, fosfato de sódio e água destilada como controle). Para o teste de microdureza se utilizaram o endentador Vickers com carga de 50gf por 15 segundos. Os maiores valores de microdureza foram obtidos nos amálgamas com alto teor de cobre quando comparado ao amálgama convencional. E a corrosão foi provocada pelos meios externos e não só pelas propriedades mecânicas de cada tipo de amálgama.

Donassollo et al. (2003) avaliaram a microdureza de um amálgama de alto teor de cobre (GS-80) e um convencional (Duralloy) em função do tratamento superficial desses materiais restauradores. O teste de microdureza Knoop foi utilizado com carga de 200gf em uma distância de 100 μ m entre as mesmas.

Concluíram que tanto as ligas, como o tipo de tratamento superficial influenciou no resultado obtido. A liga com alto teor de cobre apresentou maior valor de dureza que a liga convencional.

Craig (1993) definiu a resina composta em três fases: uma matriz polimérica, partículas dispersas e um silano. O silano produz uma boa adesão da matriz as partículas. Essas podem apresentar vários tamanhos de 0,04 μ m até 3 μ m. As partículas são constituídas de quartzo, sílica, lítio, bário, silicato, estrôncio, zinco e outros. Os silanos são compostos orgânicos de silicone e a matriz orgânica dimetacrilatos identificados como Bis-GMA e dimetacrilato uretano (UDMA). Além disso, as resinas possuem ativadores que iniciam a polimerização seja química ou fotoativada.

McCabe e Walls (1998) definem os polímeros como moléculas de alto peso molecular ligadas como uma cadeia. A cadeia polimérica não consiste de átomos aleatórios, e sim repetidos grupos de átomos que desviam pequenas moléculas ou monômeros. O processo pelo qual o monômero é convertido para polímero é denominado polimerização. Monômeros são geralmente líquidos ou gases e durante o processo da polimerização são convertidos à cristalinidade ou sólido amorfo.

Crawford (1982) realizou testes de microdureza em polímeros variando as mensurações de dureza pela profundidade do endentador Vickers e do tamanho da endentação após a aplicação e remoção da carga. Para o teste Vickers utilizaram cargas de 5 a 200gf. Para o teste Wallace, que mede a profundidade da endentação uma pré-carga de 1gf (utilizada apenas para que o endentador toque a superfície e diminua a tensão) e cargas de 100 até 600gf. O tempo de aplicação variou de 1 a 360 segundos para os dois testes. Após este estudo observou que os valores de microdureza eram dependentes da carga e tempo de aplicação. A área endentada

apresentava uma recuperação após um determinado tempo em que a carga foi removida, e isso dependia do tamanho da endentação, embora na grande maioria ocorriam mais na profundidade do que nas diagonais da marca. O autor observou que os valores de dureza aumentavam à medida que o tempo de aplicação da carga diminuía. Devido ao fato de os polímeros serem dependentes do tempo de aplicação recomendam-se um mínimo de 30 segundos para qualquer endentação, pois com um tempo menor que esse poderiam ocorrer valores de dureza inconsistentes. Isso ocorre em materiais viscoelásticos porque relaxam após uma determinada carga em um tempo superior ao que o material precisa para uma deformação permanente. Nesse estudo com os polímeros obteve-se valores de dureza estáveis e precisos quando o tempo de aplicação foi de 120 segundos. Concluiu-se que há uma maior recuperação na profundidade (50-70%) do que nas diagonais da marca (5%).

Crawford e Stephens (1985) após os estudos anteriores observaram que a forma dos endentadores esférica ou cônica poderia influenciar os valores de dureza em polímeros. Nos endentadores esféricos o aumento das cargas leva a um aumento dos valores de dureza, e a relação entre o valor de dureza com o ângulo dos cônicos é muito complexa em polímeros. Os polímeros apresentam uma propriedade do material importante quando submetida a uma pressão de carga por um determinado tempo gerando uma recuperação ou alteração da superfície ensaiada dependente do tempo após a remoção da carga. O autor nesse estudo afirma que o teste Rockwell seria o mais indicado para testes de microdureza em polímeros devido ao fato de este teste monitorar a aplicação e remoção das cargas na mensuração da profundidade de penetração. Porém, seu uso com polímeros pode ser inadequado (ou contraindicado) pelo fato de utilizar cargas muito altas e a mensuração da profundidade de endentação ser calculada após a remoção da

carga. Isso pode causar alterações no teste devido à recuperação da profundidade ser maior e o valor de dureza aparente pode ser considerado maior do que a dureza verdadeira. Os testes de microdureza são os mais aceitos para polímeros por causa das baixas cargas (menores que 1kgf).

Lopez (1993) frente à dúvida da padronização dos testes de microdureza em polímeros, devido ao seu comportamento especial realizou um levantamento bibliográfico para verificação dos estudos presentes até aquele momento. Inicialmente esses testes eram desenvolvidos em metal devido à sua simplicidade, baixo custo, pequeno número de amostras, precisão e de natureza não destrutiva. Os polímeros apresentam um comportamento intermediário aos metais, e apesar do crescimento e interesse nesses materiais e testes, ainda não existem normas de padronização para esses materiais. Os testes de microdureza mais aceitos para polímeros (plásticos) são os testes Vickers quando se mede a largura da área projetada e o teste Wallace quando a mensuração é relativa à profundidade de endentação. A endentação estática é largamente utilizada para determinar a microdureza em polímeros porque forma uma impressão permanente na superfície do material. A endentação durante o teste de microdureza deforma um pequeno volume do espécime ($V \sim 100\mu\text{m}^3$), mas se ocorrer uma grande concentração na região plástica imediatamente ao redor do contato pode se estender a matriz elástica. Lopez, afirma que um determinado material sob a força de um endentador apresenta uma zona esférica de deformação plástica (cerca de 4-5 vezes a distância da penetração do endentador abaixo da superfície do espécime) e ao redor dessa uma zona extensa de deformação elástica. Juntas estas zonas geram estresses que suportam a força exercida pelo endentador. Quanto maior a penetração do endentador, maior será o tamanho e mais severa será a deformação plástica dentro

da zona interna. Do ponto de vista microscópico, quando uma massa de polímeros é estressada, a deformação resultante pode ser considerada como: uma deformação que logo é recuperada quando a força é removida, isso ocorre quando as moléculas ocupam o volume livre da matriz durante a aplicação de uma força (deformação elástica) e uma deformação que ocorre quando as moléculas escorregam (slippage) devido à falta de volume livre na matriz e iniciam o fenômeno da ligação cruzada (cross-linking) entre as cadeias poliméricas (deformação plástica). Esta deformação leva a uma tensão irreversível que tende a aumentar com altas cargas e longos tempos de endentação. Esse autor confirma que os polímeros (plásticos) apresentam um comportamento visco-elástico devido ao efeito creep que ocorre nesses materiais, um aumento no tamanho da endentação é observado quando utilizado um tempo de aplicação de força maior como consequência um valor de microdureza menor. Outro parâmetro que pode alterar o valor de microdureza é a força (carga) aplicada assim como a forma do endentador utilizado. Para endentadores cônicos e piramidais os valores de microdureza diminuem com o aumento da carga, enquanto para os esféricos é o oposto. As mensurações devem ser realizadas a uma distância de 2-5 vezes a diagonal da endentação ou a distância de um raio de 3mm da marca para que não ocorra sobreposição das marcas ou influência da zona de deformação plástica que ocorre ao redor do endentador na obtenção dos valores de dureza.

Suwanprateeb (1998) comparou dois métodos de mensuração de dureza Vickers: em polímeros um pelo tamanho da diagonal e o outro pela profundidade de endentação, variando-se a carga aplicada e o tempo de endentação da mesma. Apesar de esses testes apresentarem uma diferença muito grande nos valores de dureza (cerca de 60%), ambos os métodos tiveram uma dependência nos tempos de

endentação, o mesmo não ocorreu com as cargas. No método de profundidade, a carga interferiu nos resultados, mas na mensuração das diagonais mostrou um comportamento independente da carga utilizada. Isto é atribuído a uma endentação imperfeita que causa o afundamento (sinking-in) dos materiais ao redor do plano da superfície do endentador, superestimando a mensuração da diagonal e subestimando o valor de dureza Vickers.

Este estudo avaliou a dureza dos polímeros, porque utilizou cargas altas de 1, 2, 3 e 5kgf e tempos de endentação de 1, 5, 10, 20, 60, 180, 360 e 600 segundos.

Giannakopoulos e Suresh (1999) avaliaram o método de endentação instrumentada no qual a profundidade de penetração é registrada em função da carga utilizada. Esse método permite calcular algumas propriedades do material como módulo de elasticidade, resistência à fratura, módulo de Young e creep. Como o teste mede a deformação permanente da superfície, alguns parâmetros podem influenciar nesses ensaios instrumentados tais como tamanho, forma e carga do endentador. E essas modificações podem alterar as faces ao redor da marca projetada pelo endentador na superfície. Essas faces podem aparecer com bordas salientes (pile-up) ou retraídas (sink-in). A primeira pode ocorrer quando há uma baixa tensão de dureza, ou seja, a compressão não foi suficiente para promover o deslocamento plástico no material, fazendo com que as bordas do material tendam a acompanhar as faces do endentador resultando em uma impressão em “forma de barril” (Figura 2.4).

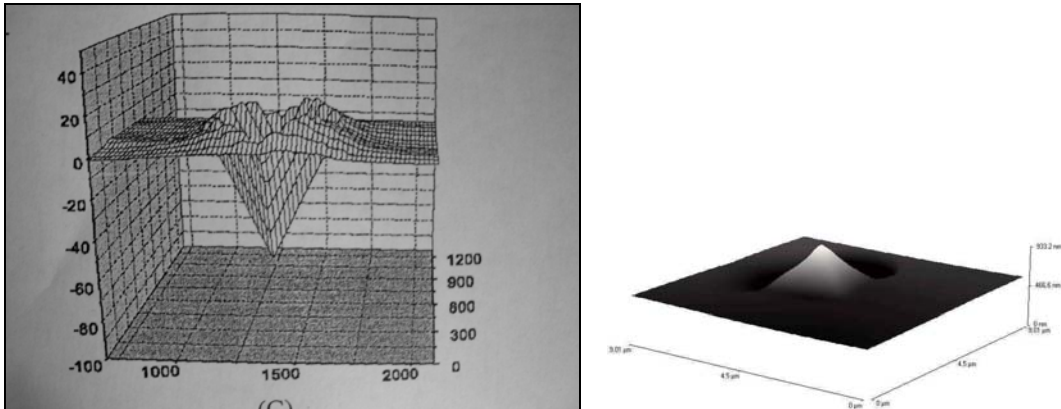


Figura 2.4 - Bordas em forma de barril (pile up) (Pintaúde (2002) e Vander Voort et al. (1989))

Da mesma maneira, se o material apresentar uma tensão de dureza alta, a região de deformação plástica é empurrada para dentro pela força do endentador originando uma impressão retraída abaixo do nível inicial da superfície (Figura 2.5).

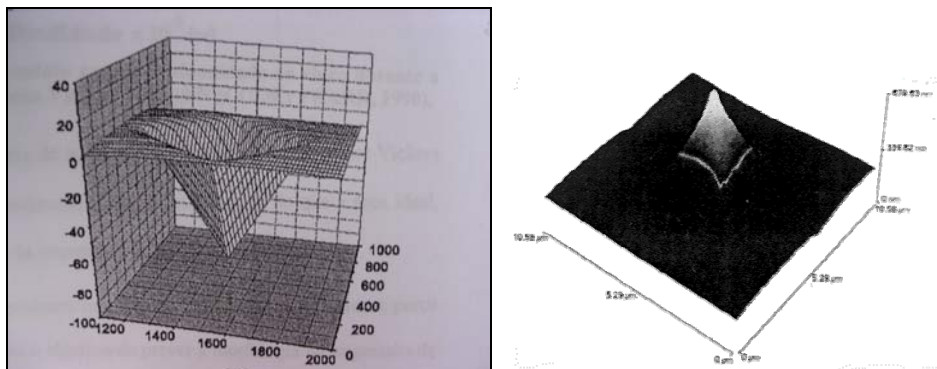


Figura 2.5 - Bordas retraídas (sink in) (Pintaúde (2002) e Vander Voort et al. (1989))

Essas alterações são essenciais à interpretação das propriedades plásticas dos materiais pelo recurso da endentação instrumentada. Como consequência da retração e da formação de bordas salientes, podem surgir extensas diferenças entre a área do contato verdadeiro e a área do contato que é observada após a endentação. Esta dificuldade pode ser superada se relacionarmos a área de contato verdadeiro e a profundidade de penetração do endentador no material ensaiado,

desde que se conheça as diferentes geometrias dos endentadores. Por meio de equações matemáticas dos resultados obtidos pelo estudo de elementos finitos e pelo método da endentação instrumentada, os autores obtiveram uma curva relacionando a pressão (carga/área do endentador) e a profundidade de penetração. Por essa curva identificaram os valores máximos da pressão, da profundidade e as áreas de deformação plástica e elástica cuja somatória resultou na área máxima e conseqüentemente o valor real de dureza.

Couto et al. (2000) avaliaram o creep em cinco resinas compostas fotopolimerizáveis. Definiram creep como uma propriedade mecânica pelo qual o material, quando sujeito a uma pressão de carga, sofre uma alteração, em comprimento. A velocidade dessa alteração depende da intensidade da carga, da temperatura, do tempo de duração do teste, da composição química do material e de sua estrutura interna. Quando os materiais viscoelásticos, como as resinas compostas, são submetidos a uma baixa tensão por longo período de tempo, ocorre uma deformação permanente denominada creep estático. Quando uma força externa, denominada carga, age sobre um corpo sólido, uma força interna, deste corpo chamada de tensão reagirá em igual magnitude e em direção contrária àquela força externa. Sempre que uma tensão estiver presente existirá, como conseqüência, uma deformação que pode ser elástica ou plástica (permanente). Uma pressão inferior ao limite de proporcionalidade produz uma deformação elástica. Isto quer dizer que, uma vez retirada a carga, as dimensões do corpo devem coincidir com as dimensões originais. Porém, muitos materiais, tais como as resinas compostas, após a remoção da carga, mantêm uma deformação residual denominada permanente. Muitos autores afirmam que as resinas compostas apresentam comportamento elástico, mas isso não ocorre porque esse material

também apresenta um comportamento viscoso. Quando se aplica uma determinada carga, a resina composta se deforma permanente e progressivamente em função do tempo de aplicação da carga e não apenas em função do aumento da carga. Neste estudo foi utilizado um equipamento de ensaio de resistência à compressão com a aplicação de uma carga de 36MPa nos períodos de 15 minutos, 1 hora e 24 horas, com temperatura controlada em $37 \pm 1^\circ\text{C}$. Os resultados obtidos apresentaram valores quantitativos da diferença entre o comprimento original da amostra e o seu comprimento após o ensaio, em cada período estabelecido.

Zamfirova, Dimitrova (2000) associaram o teste padrão de microdureza Vickers com uma curva de penetração do endentador sobre a superfície no momento da aplicação da carga em materiais poliméricos com o mesmo endentador. Os polímeros apresentam diferenças estruturais, e conseqüentemente diferenças nas propriedades físico-químicas. Dentre as diferenças está o grau de cristalinidade e o peso molecular de cada polímero. Os parâmetros de microdureza estão fortemente dependentes da estrutura supermolecular e das propriedades mecânicas dos polímeros. Para o experimento utilizaram um equipamento padrão de microdureza Vickers, um endentador de 136° com cargas de 1 a 160gf e tempos de aplicação de 50, 100, 150 e 200 segundos e após as endentações, sendo que as diagonais das impressões foram mensuradas. Para o método de avaliação da curva foi verificada a profundidade de penetração do endentador de acordo com as cargas e tempos utilizados anteriormente. A profundidade máxima (deformação total) dos parâmetros de tempo e carga utilizados forneceu a microdureza total. O método sugerido para medir a microdureza total estendeu as possibilidades do equipamento utilizado, principalmente nas pesquisas com materiais poliméricos. O método tradicional parece não ser indicado para alguns polímeros estudados. A comparação

dos testes padrão e o de microdureza total separam a resistência contra a deformação reversível e irreversível.

Poskus, Plácido e Cardoso (2004) avaliaram a influência das técnicas de inserção de compósitos condensáveis, microparticulado e híbrido fotoativados, em um preparo de classe II em pré-molares. Para essa avaliação utilizaram os testes de microdureza Knoop e Vickers com carga de 100gf e um tempo de endentação de 15 segundos. Concluíram que apesar de os testes Vickers apresentarem valores de dureza maiores que o Knoop, não houve diferença estatística entre eles. Houve variação do valor de dureza em função da técnica empregada na restauração.

Uhl et al. (2004) avaliaram a influência da armazenagem e da carga aplicada no teste de microdureza Knoop na polimerização imediata e após 5 dias de compósitos fotoativados por uma luz halógena e um LED. Os espécimes foram submetidos aos testes utilizando cargas de 200 e 400gf na superfície e na profundidade de 2mm logo após a polimerização e em seguida armazenados à seco por 37°C em ambiente escuro por 5 dias para posteriormente serem refeitos os testes de microdureza. Concluíram que os valores de dureza em 2mm, armazenados e polimerizados com o LED apresentaram valores maiores estatisticamente do que os fotoativados pela luz halógena. As cargas de 200 e 400gf influenciaram os valores de dureza ($p < 0,0001$). Os valores obtidos com as cargas de 400gf aumentaram significativamente nos espécimes armazenados tanto fotoativados pela luz halógena como com o LED. Os autores afirmam que devido ao fato de as cargas apresentarem diferenças estatísticas significantes nos valores de dureza, é importante a seleção da carga aplicada em cada teste para que não ocorram falsos resultados.

Yoldas, Akova e Uysal (2004) avaliaram a influência de diferentes parâmetros de cargas e tempos de aplicação das mesmas, nos valores de microdureza Knoop em três diferentes compósitos. Existem diferentes métodos para se testar a microdureza em resinas compostas e também apresentam uma grande variedade nas cargas e tempos de aplicações, dificultando a comparação entre os resultados. Neste estudo utilizaram cargas de 50, 100 e 500gf com tempos de aplicação de 15 e 20 segundos. O teste Knoop foi escolhido por penetrar menos do que o Vickers, devido a geometria assimétrica, tornando-o mais sensível a defeitos, textura ou a orientação cristalográfica dos materiais poliméricos. As impressões obtidas devem apresentar diagonais maiores de 20 μ m para garantia da precisão, repetibilidade e reprodutibilidade nos testes de microdureza. Os resultados mostraram que as cargas de 100gf e 500gf influenciaram nos valores obtidos. Entre os tempos de 15 e 20 segundos não houve diferença significativa.

Lach, Gyurova e Grellmann (2007) correlacionaram as fraturas que se formaram ao redor das impressões de dureza com alguns parâmetros mecânicos para a determinação da resistência à fratura de materiais poliméricos friáveis. Esta correlação até o momento possui um conhecimento muito limitado e seu uso teve início com a metodologia de Laugier que obteve correlação entre os valores da resistência à fratura por esse método e os resultados obtidos convencionalmente nos polímeros polimetilmetacrilato e o poliestireno. O experimento utilizou o teste de dureza Vickers para calcular o módulo de elasticidade, dureza e analisar e medir as fraturas ao redor das impressões. As forças utilizadas foram 9,8N (1kgf) até 490,5N (50kgf). Durante as mensurações foi mantida uma distância mínima entre a endentação adjacente foi de cinco vezes a diagonal da impressão para se evitar um campo estressado (overlapping) e alterar os valores reais. A Figura 2.6 obtida pelo

microscópio ótico mostra as fraturas ao redor da impressão e as áreas de deformação plástica.

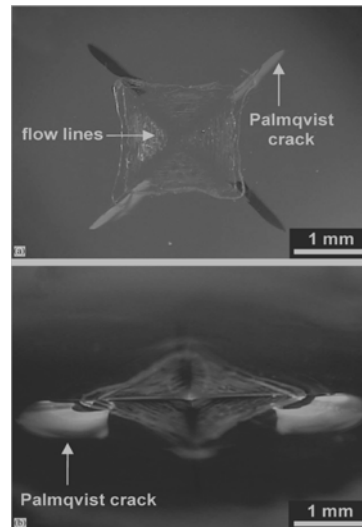


Figura 2.6 - Formação de fraturas ao redor da impressão de dureza e zonas elásticas logo abaixo das fraturas Lach, Gyurova e Grellmann (2007)

Os testes de microdureza são muito utilizados para medir profundidade de polimerização variando-se o tempo de exposição, as resinas compostas, os fotoativadores, as diferentes espessuras de material e o grau de polimerização:

Watts, Amer e Combe (1984) correlacionaram o teste de dureza Knoop com a profundidade de polimerização de um compósito. Para esse teste foram utilizados 200gf de carga. Avaliaram com este trabalho o desempenho de diferentes fontes de luz, tipos e cores de compósito. Todos esses parâmetros foram avaliados correlacionando os valores de dureza e a profundidade de polimerização.

Dewald e Ferracane (1987) avaliaram quatro modos de avaliação da profundidade de polimerização de vários compósitos fotoativados. Um deles foi o teste de microdureza nas diferentes espessuras com carga de 500gf. Concluíram que o teste de dureza se correlaciona bem com o grau de conversão.

Baharav et al. (1988) avaliaram a efetividade da polimerização aumentando-se o tempo de exposição. Por meio do teste de dureza constataram maior eficiência na profundidade de polimerização.

Atmadja e Bryant (1990) avaliaram a profundidade de polimerização de quatro diferentes compósitos em cinco espessuras. Para essa avaliação foi utilizado o teste Knoop com carga de 200gf.

Vinha, Coelho e Campos (1990) avaliaram a eficácia de cinco equipamentos fotoativadores de luz halógena, quanto à eficácia na profundidade de polimerização, variando a voltagem e a cor do mesmo compósito. Para esse trabalho foi utilizado o teste Vickers empregando-se 50gf por 1 minuto.

Turbino et al. (1992) avaliaram os valores de dureza Vickers com carga de 50gf por 30 segundos utilizando um tipo de fotoativador de luz halógena com diferentes tempos de exposição e armazenamento após a polimerização.

Manga, Charlton e Wakefield (1995) utilizaram o teste Knoop com carga de 100gf por 20 segundos para obter a porcentagem de polimerização, relacionando a dureza da superfície com as diferentes profundidades de um compósito e um fotoativador de luz halógena.

Correr Sobrinho et al. (2000) estudaram a influência da distância da ponta do fotoativador nos valores de dureza em dois compósitos. Os testes de microdureza Knoop apresentaram uma carga de 50 gf por 30 segundos.

Kurachi et al. (2001) compararam um LED com uma halógena, variando os tempos de exposição e as espessuras de um compósito. Uma carga de 50gf foi aplicada por 30 segundos para a obtenção dos valores de microdureza Vickers.

Yap e Seneviratne (2001) avaliaram a influência de diferentes densidades de energia (intensidade x tempo de exposição) na efetividade da fotopolimerização de

um compósito na superfície direta e em 2mm de profundidade. Para os testes de dureza Knoop utilizaram 500gf por 15 segundos.

Leonard et al. (2001) determinaram o mínimo de radiação para uma polimerização adequada de um composto híbrido e microparticulado. O teste de microdureza Knoop foi realizado para determinar a porcentagem de polimerização, utilizando carga de 100gf por 10 segundos.

Leonard et al. (2002) avaliaram por meio do teste de microdureza três tipos de LEDs e uma halógena. O teste foi o Knoop com carga de 100gf por 10 segundos. A microdureza foi relacionada com a porcentagem de polimerização.

Consani et al. (2002) avaliaram dois tipos de inserção do material restaurador, dois métodos de fotoativação e dois compósitos. O teste utilizado foi o Knoop com uma carga de 50gf por 30 segundos.

Price et al. (2003) utilizaram os testes de microdureza Knoop com 100gf de carga para comparar a efetividade de uma fonte de arco de plasma, duas LEDs e três halógenas de alta intensidade, variando as distâncias das pontas em cinco tipos de resina.

Caldas et al. (2003) compararam dois tipos de fontes halógena e um arco de plasma variando a distância de fotoativação. Para isso utilizaram um teste de microdureza Knoop com carga de 50gf por 15 segundos.

Bouschlicher, Rueggeberg e Wilson (2004) por meio dos testes de microdureza Knoop e um espectrofotômetro Fourier correlacionaram profundidade de polimerização com o grau conversão dos compósitos. Para os testes de microdureza utilizaram carga de 500gf.

Soh, Yap e Siow (2004) utilizaram vários testes laboratoriais para avaliar a eficácia da polimerização em diferentes profundidades com três tipos de

fotoativadores: 2 LEDs e uma halógena. Para o teste de microdureza Knoop utilizaram carga de 500gf por 15 segundos.

Turbino (2004) avaliou a profundidade de polimerização de duas resinas compostas variando as fontes de luz: halógena e laser de Argônio e as espessuras. Para esse estudo foi utilizado um teste de microdureza Vickers com 50gf em um tempo de aplicação de 45 segundos.

Pereira et al. (2004) avaliaram a dureza superficial e em 2mm de três resinas compostas variando as fontes de luz halógena e laser de Argônio e o tempo de armazenamento de 7 e 30 dias. Para os testes utilizaram 50gf por 15 segundos.

Knobloch et al. (2004) correlacionaram os valores de dureza com o grau de conversão de quatro compósitos e um compômero processado em laboratório. O teste de dureza Knoop utilizou carga de 50gf com 20 segundos de endentação e o grau de conversão por espectrofotômetro Fourier.

Rode, Lloret e Turbino (2005) avaliaram a profundidade de polimerização de dois tipos de resina e duas fontes de luz: uma luz halógena convencional e um laser de argônio. Para a realização desse teste de microdureza Vickers foi utilizada carga de 50gf com um tempo de aplicação de 45 segundos.

Damé et al. (2005) avaliaram a microdureza superficial de cinco tipos de resinas com tamanhos de partículas diferentes em função de vários tratamentos dados à superfície.

Tanaka et al. (2006) avaliaram influência da energia de fotoativação de duas fontes de luz uma halógena de alta intensidade e uma halógena convencional na microdureza Vickers de uma resina composta. O teste de microdureza Vickers foi utilizado com uma carga de 50gf po 45 segundos.

Marotti, Vieira e Pereira (2006) relacionaram a dureza superficial e o manchamento por café e vinho tinto em nove resinas compostas. Para o teste de microdureza Vickers foi utilizada uma carga de 50gf por 45 segundos.

2.2.2 Dentina e esmalte

Ao estudar tecidos dentais Craig e Peyton (1958) observaram diferenças de valores em algumas regiões da dentina. Quanto mais a dentina se aproximava da polpa, menor o valor de microdureza devido à sua porosidade.

Pashley, Okabe e Parham (1985) percebendo essa variação de valor de microdureza de acordo com a proximidade da polpa resolveram correlacionar a microdureza da dentina e a densidade dos túbulos dentinários em dentes permanentes humanos. Foram avaliados túbulos dentinários em regiões próximas à junção amelo-dentinária e próximo à câmara pulpar. Os resultados mostraram uma diferença estatística significativa inversa na correlação da microdureza dentinária e a densidade dos túbulos. Quanto maior a densidade tubular mais próxima da câmara pulpar, menor a microdureza da dentina.

Outro fator que influencia na obtenção dos valores de microdureza é a variação da carga:

Hegdahl e Hagebö (1972) correlacionaram as cargas utilizadas em esmalte e dentina nos teste de dureza. Por meio de uma correlação entre as aplicações das cargas e a dimensão linear das endentações, concluíram por deduções matemáticas, que em vários locais dos mesmos substratos, que quanto maior a

carga aplicada, maior será o valor de dureza no esmalte e menor a dureza na dentina.

Arends, Schuthof e Jongebloed (1979) avaliaram a microdureza Knoop em lesões brancas artificiais tanto em dentes humanos como em dentes bovinos. Para esse teste utilizaram o endentador perpendicular à superfície da lesão e cargas de 25, 50, 100, 200 e 500gf com um tempo de aplicação de 10 segundos para cada carga. As lesões cariosas foram obtidas por meios ácidos de pH 5.0; 4.5 e 4.0, variando-se o tempo de armazenamento de 2 a 4 dias. Os autores correlacionaram matematicamente a diagonal maior das endentações (μm) com a raiz quadrada da carga utilizada nesse ensaio de microdureza tanto para o esmalte humano como para o bovino. E observaram que os resultados obtidos eram proporcionais. Para os autores a consideração é interessante nos estudos de des e remineralização porque as mensurações das endentações refletem o grau de descalcificação da lesão, apesar da presença da camada superficial.

Arends, Schuthof e Jongebloed (1980) correlacionaram a profundidade da lesão de cárie artificial com a diagonal das endentações dos testes de microdureza na superfície da lesão. Para o estudo foram utilizados dentes bovinos, microdureza Knoop com cargas de 50, 100, 200 e 500gf em um tempo de aplicação de 10 segundos. Para a mensuração da profundidade da lesão os espécimes foram seccionados e colocados em um corante específico por 24 horas. A distância que o corante penetrou na secção foi denominada como a profundidade da lesão e então medida com o auxílio de um microscópio. Os resultados mostraram que a profundidade da lesão e a diagonal do endentador apresentam relação empírica linear tanto para dentes humanos como para bovinos. Resultados similares foram obtidos em um outro estudo dos mesmos autores no qual utilizaram um endentador

Vickers ao invés de um endentador Knoop. A relação da profundidade com a diagonal em função das cargas mostrou forte dependência da carga aplicada.

Collys et al. (1992) correlacionaram as cargas aplicadas nos testes de microdureza Knoop na superfície do esmalte condicionado. Neste estudo utilizaram dentes bovinos e dentes humanos, cargas de 25, 50, 100, 145, e 200gf no tempo de 15 segundos. Eles constataram que a diagonal era proporcional à aplicação das cargas. Os valores de dureza em 25 e 50gf não foram diferentes estatisticamente, mas com 145 e 200gf houve diferença significativa.

Fuentes et al. (2003) avaliaram a microdureza da dentina humana por meio de testes de microdureza Knoop com cargas de 50 e 100gf e Vickers com 300 e 500gf em um tempo de aplicação de 15 segundos. Os valores foram obtidos tanto na superfície como em 2mm de profundidade. Concluíram que as diferentes cargas nos testes utilizados não apresentaram diferença estatisticamente significativa. Em relação à profundidade, a Knoop apresentou diferença estatística porque teve os valores maiores na superfície em relação à profundidade de 2mm. No teste Vickers não houve diferença. Segundo os autores, essas diferenças não são relevantes.

Nos tecidos dentais durante os testes de microdureza outras propriedades mecânicas estão presentes. Xu et al. (1998) avaliaram algumas propriedades mecânicas em dentes humanos tanto na superfície oclusal como na superfície axial (bucal-lingual). Para o teste Vickers foram utilizados forças de 2, 3, 5, 10, 20 e 50N. Alguns dentes foram selecionados aleatoriamente para observação em microscópio eletrônico de varredura para revelar detalhes das fraturas. As fraturas ao redor da marca foram utilizadas para mensurar a resistência à fratura e o módulo de elasticidade. Nenhum comentário foi feito sobre a influência das forças na impressão, apenas as fraturas e microfraturas ao redor da marca do endentador. Na

região da junção amelo-dentinária, houve fraturas sobre o esmalte, mas não houve sobre a dentina.

Attin et al. (2004) também utilizaram a propriedade de resistência à fratura de esmalte bovino para testes de microdureza. Com esses valores somados às medidas das fraturas ao redor das marcas os autores calcularam a resistência à fratura com o objetivo de avaliar a influência de diferentes procedimentos clareadores. O cálculo da resistência à fratura por meio de testes de microdureza foi desenvolvido por Lawn e Marshall (1979), no qual utilizavam uma equação com os valores de microdureza Vickers, a média das fraturas maiores que se formaram ao redor da endentação e o valor do módulo de elasticidade do material. Para o teste de dureza foi utilizado o teste Knoop com uma carga de 0,25N (aproximadamente 25gf) por 15 segundos, e para avaliar a resistência a fratura foi utilizado o teste de dureza Vickers, utilizando uma carga de 9,8N (aproximadamente 1000gf). Concluíram que após o clareamento houve uma diminuição dos valores de dureza Knoop, enquanto que a resistência à fratura só diminuiu de acordo com o sistema de clareamento aplicado.

O teste de microdureza Knoop também foi utilizado por Attin et al em 2005 em esmalte e dentina bovinos para avaliar a influência de alguns sistemas de clareamentos na subsuperfície destes substratos. Os valores de microdureza foram calculados a distância de 25, 50, 75 e 100 μ m abaixo da superfície do esmalte e em dentina, com intervalos de 50 μ m até a profundidade de 2000 μ m abaixo da superfície de esmalte. Para esses testes utilizaram uma carga de 0,981N (aproximadamente 100gf) por 30 segundos. Neste estudo os autores afirmam que os dentes bovinos são utilizados para avaliar os sistemas clareadores e apresentam propriedades químicas e físicas como densidade, profundidade do esmalte, capacidade de calor e

dureza superficial muito semelhante ao esmalte humano. Concluíram que houve uma diminuição da dureza subsuperficial do esmalte em todos os sistemas clareadores, mas, apenas um clareador diminuiu a dureza da subsuperfície da dentina.

Os estudos em tecidos dentais apresentam na sua maioria a utilização de dentina e esmalte bovinos. Herkströter et al. (1989) destacaram a importância da pesquisa da mensuração das endentações de microdureza em tecidos dentais, principalmente no fenômeno da des e remineralização. Segundo os autores, o esmalte por ser um material friável não tem influência do tempo de armazenamento nos testes de microdureza, entretanto, a dentina por ser dúctil e resiliente apresenta certa recuperação após aplicação de uma força. Baseado nisso, o autor examinou a dependência de vários tempos de armazenamento na dentina humana e bovina comparada com o esmalte humano. Concluíram que a dentina bovina apresentou comportamento similar ao da dentina humana, não houve diferença entre os tempos. O mesmo não ocorre com a dentina desmineralizada. Os autores atribuem essa diferença à provável diferença entre os conteúdos minerais de cada substrato. A dentina humana desmineralizada é mais resiliente e devido ao menor conteúdo de mineral, promove um relaxamento da endentação após um dia.

Meurman et al. (1990) utilizaram esmalte bovino para comparar testes de dureza Vickers com um outro método denominado microprobe no qual utilizava 7V, o que equivalia a 100gf da endentação convencional. Para estes testes desmineralizavam os dentes com bebidas ácidas. Comparados esses métodos, o teste de dureza convencional era mais fácil, consumia menor tempo e não requeria aparatos especiais, já o microprobe apresentava medições por meio de radiações iônicas.

Os testes de microdureza em esmalte e dentina permitem avaliar a eficácia de um tratamento preventivo, seja pela aplicação de medicamentos à base de fluoretos ou pela aplicação de lasers terapêuticos, além da alteração que alguns procedimentos como o clareamento ou a ingestão de soluções ácidas pode acarretar na superfície dental.

Buyukyilmaz, Ogaard e Rolla (1997) estudaram o efeito do tetrafluortitânio em esmalte humano na presença do ácido clorídrico. Para o estudo foi utilizado o teste de microdureza.

Kielbassa et al. (1997) utilizaram a dentina bovina para realização de testes de dureza Knoop utilizando uma carga de 50gf por 30 segundos no qual foram medidos numa magnificação de 50x. O objetivo deste trabalho foi o de avaliar a microdureza da dentina bovina, utilizando ou não a aplicação do flúor na presença de irradiação emitida para tratamentos de tumores malignos na região de pescoço.

Aires et al. (2002) avaliou o efeito da lactose presente no adoçante nas desmineralizações de raízes dentinárias bovinas. A parte da desmineralização foi realizada in situ. O teste de microdureza foi o Knoop com carga de 5gf por 5 segundos. Os valores de microdureza foram convertidos em perda de conteúdo mineral por meio de uma fórmula preconizada por (conteúdo mineral = $4,3 (\sqrt{\text{valor de microdureza knoop}}) + 11,3$) Featherstone et al 1983.

Lopes et al. (2002) avaliaram o efeito de agentes clareadores na superfície do esmalte humano por meio de testes de microdureza Vickers com 100gf de carga e 30 segundos de tempo de aplicação e a superfície morfológica utilizando um microscópio eletrônico de varredura.

Argenta, Tabchoury e Cury (2003) avaliaram o efeito do flúor no esmalte humano desmineralizado por ciclos de pH por meio dos testes de microdureza

Knoop com carga de 25gf e tempo de endentação de 5 segundos, tanto na superfície como em profundidade realizada após a secção dos espécimes. Os valores de microdureza Knoop obtidos antes e depois da desmineralização foram adicionados a uma fórmula para verificação do conteúdo mineral (% volume mineral) dos espécimes.

Attin et al. (2003) estudaram a suscetibilidade da superfície do esmalte em desmineralizar na presença do peróxido de carbamida fluoretado. O teste de microdureza Knoop foi utilizado com carga de 100gf no tempo de 30 segundos.

Westerman et al. (2003) realizaram um estudo in vitro na superfície do esmalte humano comparando os tratamentos de irradiação com laser de argônio e o flúor fosfato acidulado. Para os testes de microdureza Knoop foi utilizado 1gf de carga em 12 segundos.

Lewinstein et al. (2004) avaliaram o efeito de dois métodos de clareamento, o caseiro e o realizado em consultório, na superfície do esmalte e dentina humanos. Para a avaliação da microdureza superficial foi utilizado um teste Knoop com 100gf por 20 segundos.

Morrow et al. (2005) avaliaram o efeito de solução Carisolv na dentina humana por meio de teste de microdureza utilizando um instrumento de dureza Wallace e a topografia por microscópio de força atômica. Para os testes de microdureza utilizaram um endentador Vickers, uma pré-carga de 1gf (0,01N) por 5 segundos e uma carga de 300gf (3N) por 10 segundos. Os valores de microdureza foram obtidos pela profundidade de endentação.

3 PROPOSIÇÃO

Avaliar *in vitro* a influência dos parâmetros de carga (25, 50 e 100gf) e tempo de endentação (5, 15, 30, 45 e 60 segundos) em testes de microdureza Vickers e Knoop de diferentes superfícies: amálgama, resina composta, dentina e esmalte bovinos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

- Água destilada deionizada produzida pelo Departamento de Dentística da FOU SP, Brasil.
- Brunidores número 33 para amálgama – marca Duflex - Brasil
- Cera utilidade – Marca Probem - Brasil
- Condensadores para amálgama (tipo Ward) número 1,2 e 3 – marca Duflex-Brasil
- Discos de sílica para polimento em Politriz, nas granulações de 120, 240, 320, 400 e 600 – marca Eufield, Connecticut, EUA
- Discos de sílica para polimento na granulação 4000 – marca Buehler, EUA
- Discos de feltro, Texmet 1500, 8”PSA - marca Buehler , Lake Bluff, EUA
- Escova de Robinson – marca Fava - Brasil
- Espátula antiaderente de inserção de resina compostas - Thompson, número 12 - Dental MFG - CO - EUA
- Hollenback número 3S – marca Duflex- Brasil
- Lâmina de bisturi 15 – Free Bac - Brasil
- Lâmina de vidro para microscopia de 25mm X 75mm com 1mm de espessura - Glasstécnica Importação e Comércio de Vidros Ltda – Brasil
- Liga metálica com alto teor de cobre, pré-capsulado GS80 com partículas esféricas - SDI, Austrália, Lote 040925101

Composição:

- 40% prata;
 - 31,3% de estanho
 - 28,7% de cobre
- Pasta de diamante para polimento, 3u, Lote 430783, Buehler, EUA
 - Películas de poliéster 10mm X 10mm – marca Probem - Brasil

- Pedra pomes extrafina– marca Prohem – Brasil
- Ponta diamantada número 1090 - Marca KG Sorensen
- Porta amálgama de plástico – Jon – Brasil
- Resina cristal 1.0 # 11 – Lote 3530#11, marca Redelease, São Paulo, Brasil
- Resina composta microhíbrida Filtek Z250, cor A3 - 3M/ESPE -St Paul – MN – USA - Lote 5RB

Composição:

- partículas de carga: zircônia/sílica
- tamanho médio das partículas: 0,6 μ m (de 0,01 μ m a 3,5 μ m)
- quantidade de carga: 60% em volume
- matriz: BIS-GMA, TEGDMA, UDMA e BIS-EMA
- Taça de borracha – marca Fava - Brasil
- Vaselina sólida – marca Farmax - Brasil

4.2 Equipamentos

- Alta Rotação - marca Kavo – Santa Catarina – Brasil
- Amalgamador Ultramat 2, SDI, Austrália
- Aparelho fotopolimerizador Degulux – Soft-start – Degussa – Hüls AG-
Geschäftsberuch Dental – Hanau - Alemanha
- Baixa Rotação - marca Kavo – Santa Catarina – Brasil
- Cortadeira Extec Corp –Phoenix /Enfield -EUA
- Estufa – Fanem – Orion – São Paulo - Brasil
- Microdurômetro HVM-2000 – Shimadzu, Kyoto, Japão
- Morsa universal ajustável – Shimadzu, Kyoto, Japão
- Paquímetro Digital - marca Mytutoyo Sul Americana Ltda - Japan
- Paralelômetro – Shimadzu, Kyoto, Japão
- Politriz Ecomet 3, Buehler, USA Obtido no Projeto Fapesp nº 2003/ 12182-4
- Programa CAMStm - WIN (Computer Assisted Measurement System for
Windows for Microhardness testers) – Newage Testing Instruments, Inc –
Southampton, PA

- Radiômetro – Litex – EUA
- Recipientes plásticos desmontáveis para inclusão dos dentes (simple cup)

4.3 Métodos

Para este estudo foram utilizados 20 incisivos bovinos distribuídos em 4 grupos com 5 dentes cada (Grupo A, Grupo R, Grupo D e Grupo E) apresentados no Quadro 4.1. Os parâmetros utilizados nesses testes foram: cargas de 25, 50 e 100gf e tempo de endentação de 5, 15, 30, 45 e 60 segundos, e duas superfícies de materiais restauradores (amálgama e resina) e duas superfícies de tecidos dentais (dentina e esmalte bovinos).

Materiais		Tecidos Dentais	
Amálgama	Resina composta	Dentina	Esmalte
A (n=5)	R (n=5)	D (n=5)	E (n=5)

Quadro 4.1 – Características dos grupos

Os dentes foram extraídos e mantidos sob refrigeração por duas semanas em água destilada deionizada. Após esse tempo, os dentes foram selecionados de forma que não apresentassem trincas ou fraturas ou qualquer desgaste na face vestibular. Em seguida foram limpos com água e pedra-pomes com auxílio de uma taça de borracha e uma escova de Robinson em baixa rotação. Após a limpeza, os dentes foram submetidos a um corte transversal separando a coroa da raiz na região cervical. As coroas foram posicionadas e incluídas em resina cristal com o auxílio de recipientes plásticos desmontáveis (Figura 4.1).

Os 20 espécimes foram removidos dos recipientes e divididos em 15 espécimes que tiveram as faces vestibulares planificadas em Politriz (Figura 4.2). O

desgaste foi realizado com discos de sílica nas granulações de 120, 240, 320, 400, 600 e 4000 e em seguida polidos com discos de feltro associados a uma pasta de diamante, sempre refrigerado em água corrente. Esses 15 espécimes foram divididos nos grupos A, R e E.

Os 5 espécimes restantes foram desgastados com a exposição de dentina por meio de discos de sílica nas granulações de 120, 240, 320, 400, 600 e 4000 e em seguida polidos com discos de feltro associados a uma pasta de diamante, sempre refrigerado em água corrente. Os espécimes foram armazenados em água destilada e levados à estufa com 37°C por uma semana.



Figura 4.1 - Dente incluído em resina



Figura 4.2 - Desgaste dos espécimes em politriz

Nos dentes destinados aos grupos A e R foram confeccionadas cavidades com tamanho de 4mm de largura, 4mm de comprimento e 2mm de profundidade. Essas cavidades foram realizadas em alta rotação sob o uso contínuo de refrigeração ar-água com uma ponta diamantada 1090 KG Sorensen (Figura 4.3). As cavidades foram padronizadas com o auxílio de um paquímetro digital para mensurar as dimensões das cavidades.



Figura 4.3 – Preparo da cavidade dos espécimes

Em seguida esses dentes receberam as restaurações:

Grupo A – Amálgama:

Os dentes planejados do grupo A foram restaurados com amálgama de alto teor de cobre, pré-capsulado GS-80 (Figura 4.4), processado em um amalgamador (Figura 4.5) pelo tempo especificado pelo fabricante (8 segundos). Esse amálgama foi condensado com condensadores Ward do número 1 ao 3, foram removidos os excessos com auxílio de um holenback 3S e brunidos com brunidor 29. Após 24 horas essas restaurações foram planificadas em politriz com lixas de granulações 1200 e 4000 e para finalizar foram utilizados discos de feltro associados a uma pasta de polimento de três micra específica para esse uso na velocidade de 60rpm. Todo o processo foi realizado com irrigação em água corrente abundante para evitar o aquecimento na restauração. Os espécimes foram armazenados em estufa a 37°C por uma semana em água destilada deionizada.



Figura 4.4 - Amálgama GS-80



Figura 4.5 Amalgamador Ultramat 2-SDI

Grupo R – Resina Composta:

Os dentes já planejados do grupo R foram restaurados com uma resina composta microhíbrida Filtek Z250 (Figura 4.6) que era inserida na cavidade em dois incrementos de 1mm com uma espátula antiaderente e polimerizado por 40 segundos com um fotoativador Degulux SoftStart (500mW/cm²)(Figura 4.7). Sobre o segundo e último incremento foi colocada uma tira de poliéster cortada sobre a resina e para planificar utilizou-se uma lamínula de vidro que foi levemente pressionada sobre a restauração. Todos os excessos ao redor da cavidade foram removidos com uma lâmina de bisturi. Os espécimes foram armazenados em água destilada deionizada e em estufa por uma semana.



Figura 4.6 – Resina filtek Z250



Figura 4.7 - Fotopolimerizador Degulux Softstart

Grupos D – Dentina bovina:

Os dentes do grupo D (Figura 4.8) tiveram desgaste até a exposição de dentina com discos de sílica em granulações decrescentes. Após essa exposição foram polidos com discos de feltro e pasta de polimento. Os espécimes foram armazenados em água destilada deionizada e em estufa por uma semana.

Grupos E – Esmalte Bovino:

Os dentes do grupo E (Figura 4.9) tiveram apenas removida a convexidade do esmalte por meio de planificação em politriz em discos de sílica de granulações decrescentes e para o polimento discos de feltro e pasta de polimento. Os espécimes foram armazenados em água destilada deionizada e em estufa por uma semana.



Figura 4.8 – Grupo D - Dentina



Figura 4.9 – Grupo E - Esmalte

Após uma semana, os espécimes foram submetidos aos testes de microdureza Vickers e Knoop em um microdurômetro (Figura 4.10) com os respectivos endentadores, que eram alternados no equipamento (Figura 4.11).



Figura 4.10 - Microdurômetro



Figura 4.11 – Endentadores Vickers e Knoop

Os espécimes foram fixados em uma morsa universal e em seguida com o auxílio de um paralelômetro posicionados em um plano paralelo à mesa do microdurômetro (Figura 4.12).



Figura 4.12 – Visão aproximada do teste de microdureza

Durante a realização dos testes, o equipamento estava calibrado, todas as medidas foram obtidas por um único operador e o equipamento estava adaptado para não ter vibrações durante a leitura. As diferentes cargas e tempos foram programados no equipamento, sendo utilizada para a leitura das mensurações as lentes de magnificação de 10x e 50x apresentadas em forma de esquema na Figura 4.13.

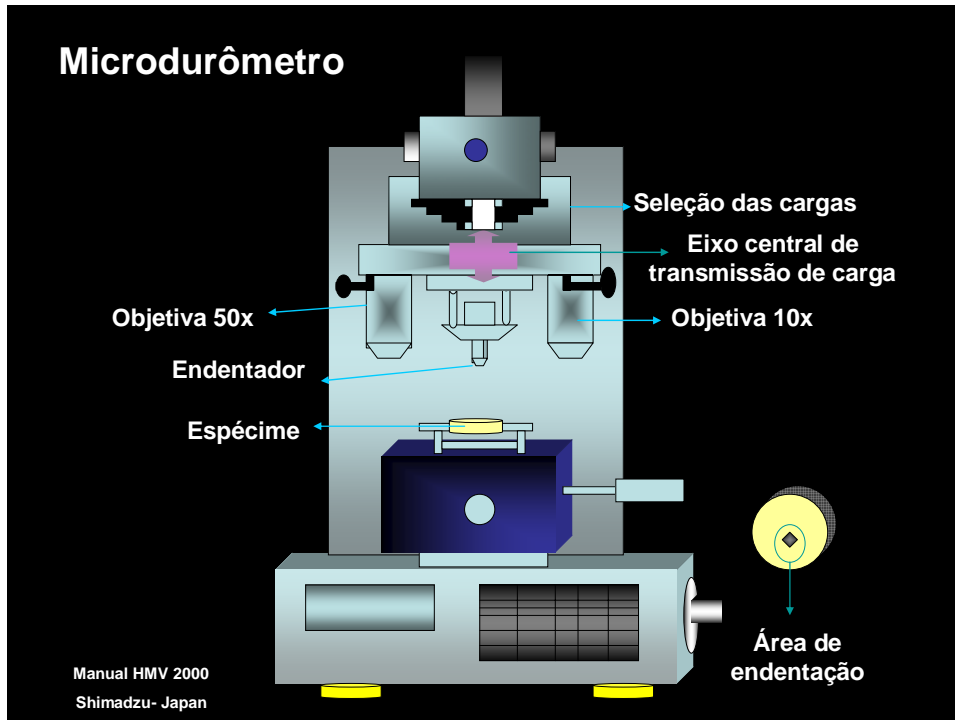


Figura 4.13 - Esquema dos principais componentes de um microdurômetro HMV 2000

Foram realizadas cinco endentações com cada parâmetro estudado (Figura 4.14) em cada superfície e cujas distâncias foram definidas de acordo com o teste utilizado.

Apenas alguns espécimes do grupo R, D e A foram mensurados com a lente de 10x, devido a impossibilidade da leitura com a lente de 50x. Tendo sido feitos os devidos ajustes na leitura do microdurômetro.

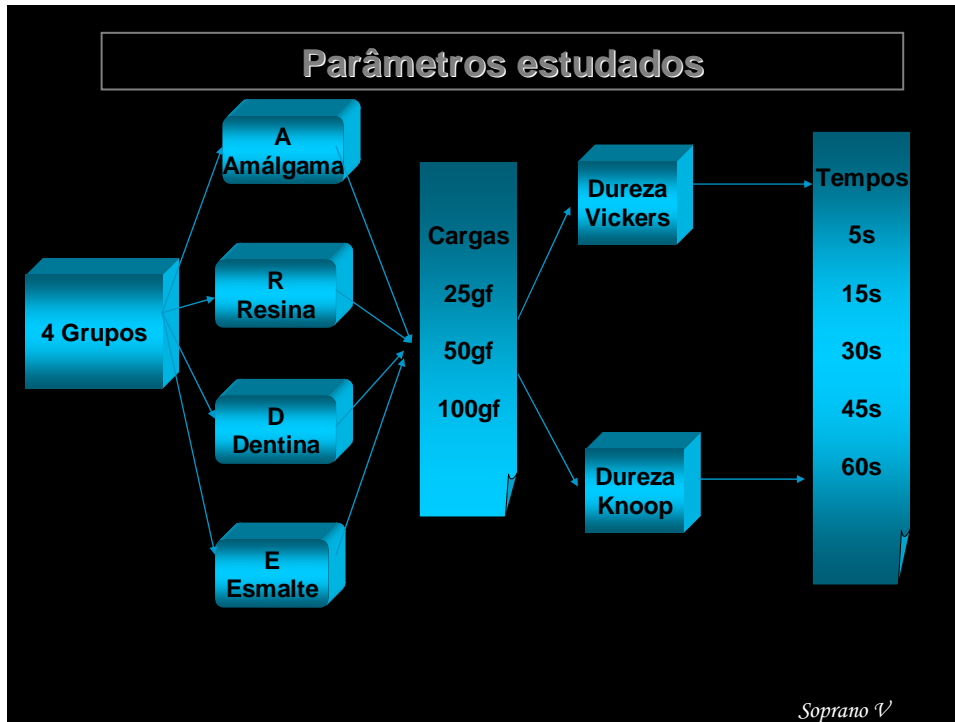


Figura 4.14 – Parâmetros estudados nos testes de microdureza

Nos testes Vickers (Figura 4.15) as distâncias entre as marcas na horizontal eram de quatro vezes o tamanho da diagonal e na vertical duas vezes o tamanho da diagonal. Nos testes Knoop (Figura 4.16) na horizontal a distância foi de quatro vezes a diagonal menor e na vertical uma vez e meia o tamanho da diagonal maior da marca Knoop. A ilustração da Figura 4.17 exemplifica essas distâncias permitidas conforme a norma internacional ASTM E 384 – 99 que sugerem padrões para os testes de microdureza.

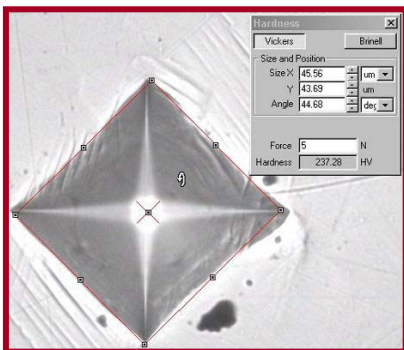


Figura 4.15 - Marca do indentador Vickers

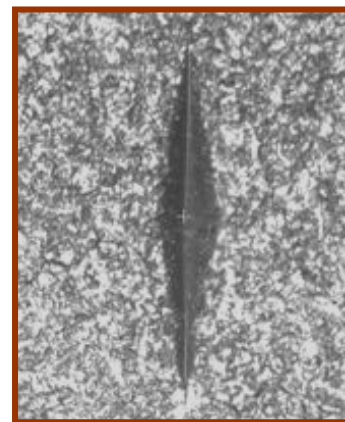


Figura 4.16 – Marca do indentador Knoop

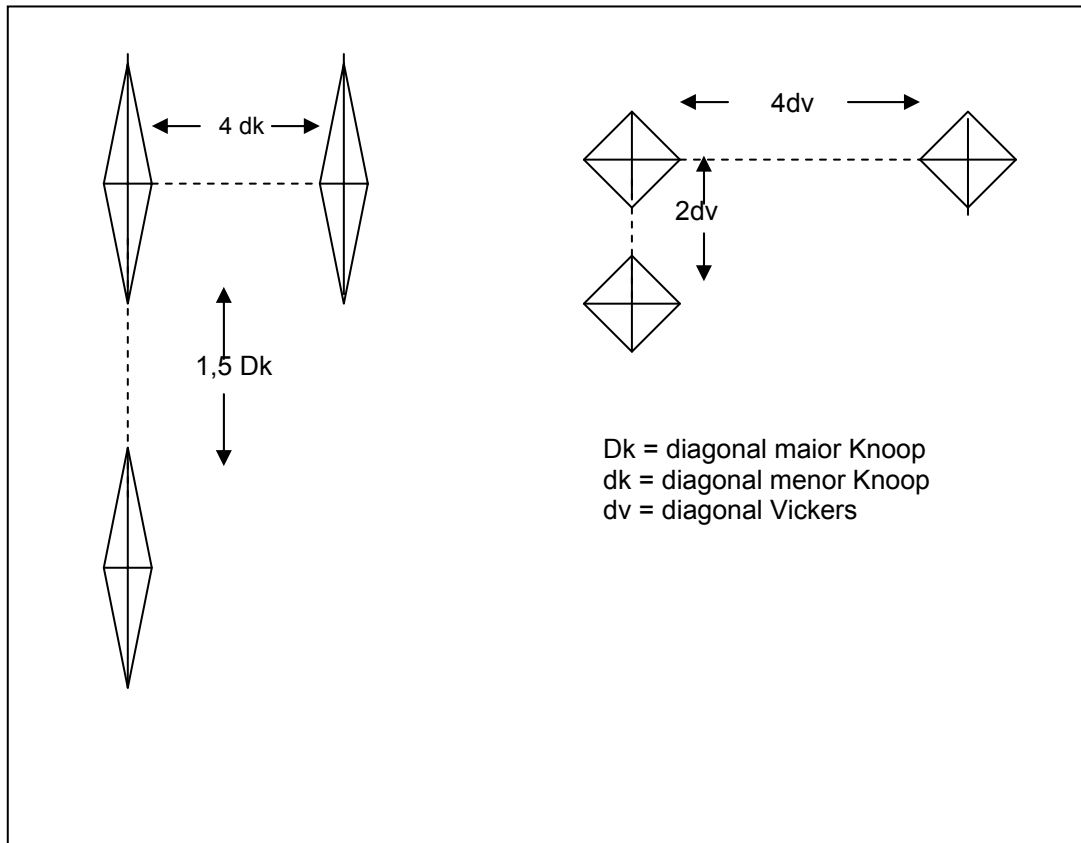


Figura 4.17 – Esquema da distância permitida para endentações Knoop e Vickers (ASTM E-384/99)

Quando se alteravam as cargas ou o tipo de endentador, várias endentações eram realizadas até que as imagens ficassem regulares. Só assim os valores obtidos eram computados.

5 RESULTADOS

Os resultados originais consistiram de 3000 valores de microdureza, sendo 750 valores referentes a cada superfície avaliada: amálgama, resina composta, dentina e esmalte bovinos. Os fatores avaliados em cada grupo foram: dois tipos de testes (Vickers e Knoop), 3 cargas (25, 50 e 100gf); 5 tempos de endentações (5, 15, 30, 45 e 60 segundos), 5 repetições e 5 medidas para cada superfície ($2 \times 3 \times 5 \times 5 \times 5 = 750$). (Apêndices).

A análise estatística desses dados foi realizada com auxílio do programa de Estatística Bioestat 4.0 versão 2005 (AYRES et al., 2005) tendo sido separados conforme o grupo avaliado.

Para a análise dos dados foi realizada a média entre as 5 medidas (resultando em 150 dados) para cada superfície e os dados foram avaliados separadamente quanto ao tipo de teste de microdureza Vickers e Knoop. Como as amostras não eram homogêneas, foram utilizados testes não paramétricos (Kruskal-Wallis e Student-Newman-Keuls) para a comparação entre as diferenças das médias. A seguir são apresentados os resultados de cada material ou tecido dental avaliado.

5.1 Amálgama de prata

A tabela 5.1 apresenta os valores de microdureza referentes ao amálgama após terem sido calculadas as médias entre as 5 medidas de cada corpo de prova.

Tabela 5.1 – Valores de microdureza Vickers e Knoop na superfície de Amálgama

Vickers - Amálgama					Knoop - Amálgama				
25gf					25gf				
5s	15s	30s	45s	60s	5s	15s	30s	45s	60s
198	142.8	154.6	171.6	110.6	190.2	189	150.4	153.4	190.8
191.8	122.6	100.4	106.6	120.2	166.8	245.8	213.6	201.2	200.2
217	154.4	162.2	131.6	144.2	182.6	218.4	208	180.6	198.4
178	134.6	139.2	112.8	102.5	198	203.8	196	191.2	203.8
210.6	155.2	125	128.6	112	199.2	206	190.8	167.6	186.4
199,08	141,92	136,28	130,24	117,9	187,36	212,60	191,76	178,80	195,92
50gf					50gf				
5s	15s	30s	45s	60s	5s	15s	30s	45s	60s
216.6	223.8	241.6	194.6	174.4	263.2	265.8	218.8	209.4	209.8
206	259.4	202.6	214.2	177	233.2	253.8	241.2	224.8	195.4
180	253	224.2	175.4	194.8	269.8	263.6	237.4	230.8	226.6
188.8	198.4	174.8	171	179.8	261	237.8	201	203	201
202.2	193.6	150.2	168.6	218.2	262.6	239.6	223.4	240	205
198,72	225,64	198,68	184,76	188,8	257,96	252,12	224,36	221,60	207,56
100gf					100gf				
5s	15s	30s	45s	60s	5s	15s	30s	45s	60s
184.6	140.2	164.2	132.2	130.2	202.8	194.4	207.8	224	179.4
198.6	214.4	187.4	196.4	175.2	205.6	256	196.4	206.2	185.8
191.8	199	187.2	180.8	188.6	266.8	221	211.8	196.6	196.2
151	181.4	183.6	177.8	185.6	196.4	191	198.6	208.4	187.4
183.4	188.6	186	168	149.8	216.2	201.2	184	180.2	212
181,88	184,72	181,68	171,04	165,88	217,56	212,72	199,72	203,08	192,16

Os resultados dos testes estatísticos (Quadro 5.1) mostraram haver diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% entre os tempos no teste de microdureza Vickers. A carga de 25gf com o tempo de endentação de 5 segundos

apresentou valores de microdureza maiores comparados aos demais tempos (Gráfico 5.1), esses, não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si. Com as cargas de 50 e 100gf não houve diferença entre os tempos de endentação.

Para o teste de microdureza Knoop a diferença estatística entre os tempos ocorreu quando se utilizou 5 e 15 segundos com a carga de 50gf, os valores de microdureza nesses tempos foram maiores que nos demais tempos (Quadro 5.1) e (Gráfico 5.2).

Amálgama – Entre tempos				
		25gf	50gf	100gf
Dureza	Vickers	5s a 15s b 30s b 45s b 60s b p=0,0073	ns p=0,1860	ns p=0,7315
	Knoop	ns p=0,1241	5s A 15s A 30s B 45s B 60s B p=0,0035	ns p=0,3491

Quadro 5.1 -Resumo dos resultados da análise estatística. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop

Avaliando a microdureza Vickers, na comparação entre as cargas, o tempo de 15 segundos, apresentou com a carga de 25gf, valores estatisticamente diferentes de 50gf porém não foi diferente de 100gf e esta, não foi diferente de 50gf. A partir de 30 segundos a carga de 25gf passou a ser diferente das cargas de 50 e de 100gf, que não apresentaram diferença entre si (Quadro 5.2) e (Gráfico 5.1).

A microdureza Knoop apresentou diferença estatística entre as cargas de 25 e 50gf até 45 segundos. Em 60 segundos nenhuma das cargas apresentou diferença estatística (Gráfico 5.2).

Amálgama – Entre cargas						
		5s	15s	30s	45s	60s
Dureza	Vickers	ns p=0,3089	25gf a 50gf b 100gf ab p=0,0098	25gf a 50gf b 100gf b p=0,0178	25gf a 50gf b 100gf b p=0,0344	25gf a 50gf b 100gf b p=0,0093
	Knoop	25gf A 50gf B 100gf AB p=0,0077	25gf A 50gf B 100gf A p=0,0498	25gf A 50gf B 100gf A p=0,0358	25gf A 50gf B 100gf AB p=0,0122	ns p=0,1249

Quadro 5.2 - Resumo dos resultados da análise estatística do amálgama entre cargas. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop

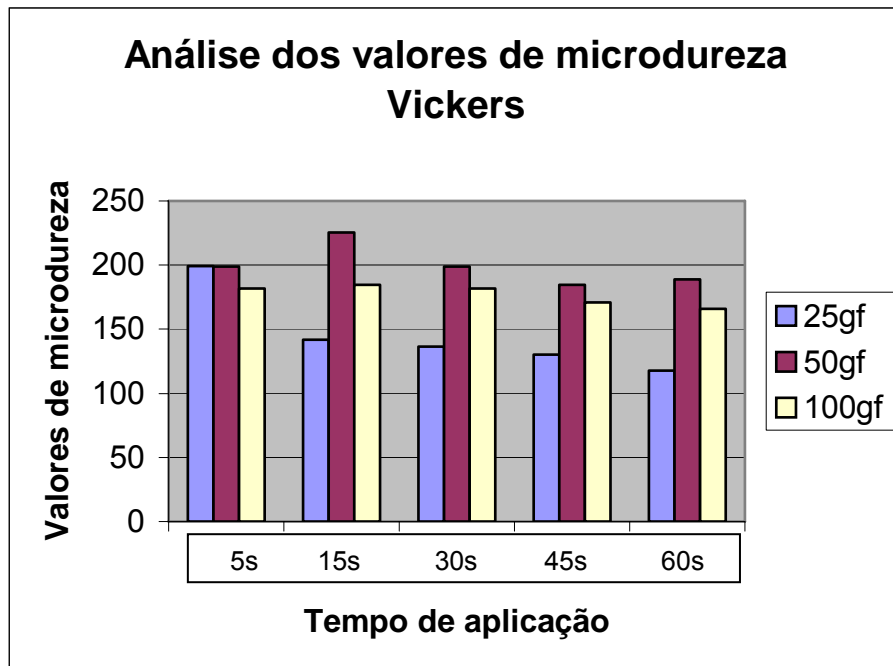


Gráfico 5.1 – Análise dos valores de microdureza Vickers relacionando as cargas com cada tempo de endentação no amálgama

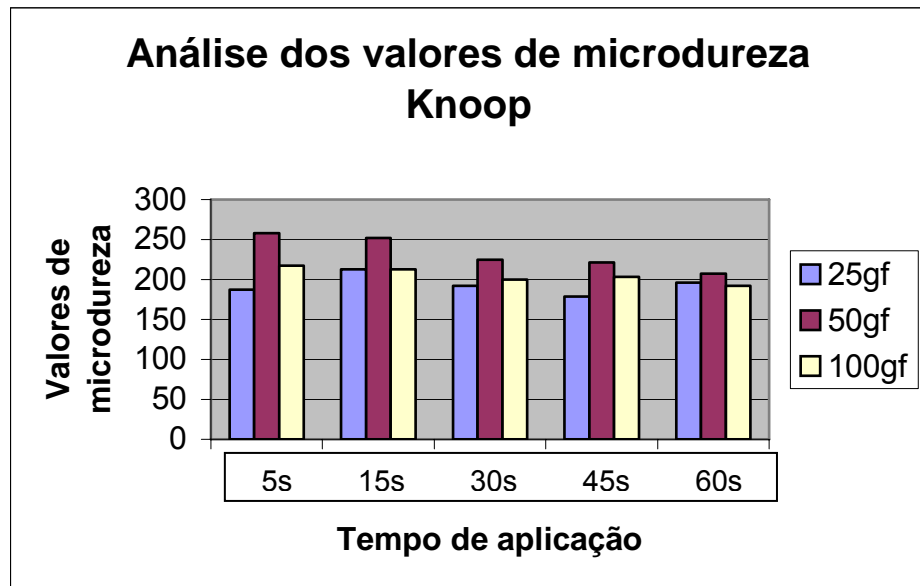


Gráfico 5.2 - Análise dos valores de microdureza Knoop relacionando as cargas com tempo de endentação no amálgama

O gráfico 5.3 ilustra o comportamento dos valores de microdureza Vickers e Knoop relacionados aos parâmetros estudados.

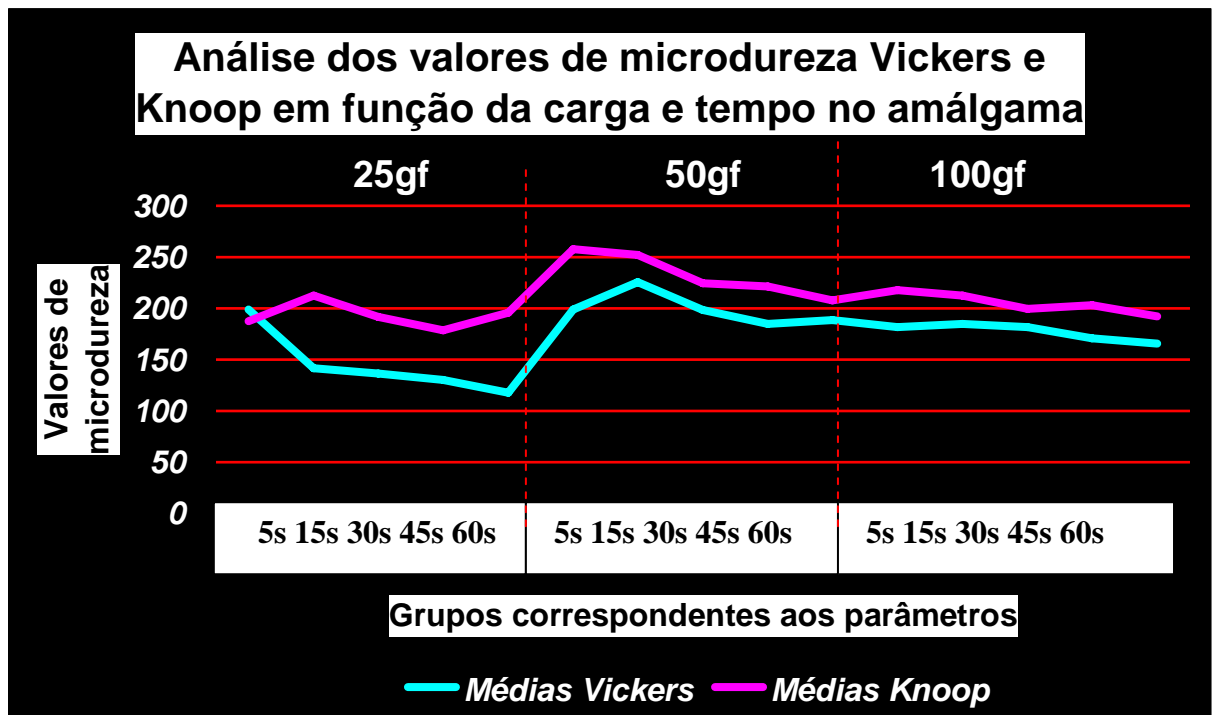


Gráfico 5.3 - Análise das médias Vickers e Knoop

Nota-se uma ligeira elevação dos valores de microdureza na carga de 50gf em comparação à de 25gf. Em 100gf uma menor oscilação dos valores tanto para a Vickers como para Knoop.

5.2 Resina composta

A tabela 5.2 apresenta os valores de microdureza referentes à resina composta após terem sido calculadas as médias entre as 5 medidas de cada corpo de prova.

Tabela 5.2 – Valores médios de microdureza Vickers e Knoop na superfície de resina composta

Vickers - Resina Composta					Knoop - Resina Composta				
25gf					25gf				
5s	15s	30s	45s	60s	5s	15s	30s	45s	60s
96,6	90	94,5	82	89	77,4	87,2	87,1	87	77
97,5	95,8	91,9	83,4	89,5	72,6	83,2	73	72,7	73,9
96,1	98,2	95,7	90,7	95,1	77,3	92,9	88,5	85,3	88,4
86,6	87,4	92,3	84,1	97	77,5	93,8	78,8	77,7	75,9
87,2	84	83,3	77	86	70,2	83,6	78	75,9	77,2
92.80	91.08	91.54	83.44	91.32	75.00	88.14	81.08	79.72	78.48
50gf					50gf				
5s	15s	30s	45s	60s	5s	15s	30s	45s	60s
89,2	84,4	87,8	89,6	87,14	78,42	73,16	68,54	71,5	71,68
95,08	100,04	96,1	96,24	93,72	78,46	79,28	78,18	71,86	73,54
87,76	86,16	79,24	81,2	79,2	75,98	70,58	64,02	64,2	64,96
87,24	86,6	84,14	87,16	82,9	79,54	80,34	80,92	80,4	76,68
86,9	85,3	83,62	82,4	80,46	87,76	85,26	84,26	86,78	81,54
89.23	88.50	86.18	87.32	84.68	80.03	77.72	75.18	74.94	73.68
100gf					100gf				
5s	15s	30s	45s	60s	5s	15s	30s	45s	60s
88,36	89,96	85,28	82,52	82,7	81	80,44	76,2	77,16	70,88
93,92	88,24	85,16	86,5	88,7	79,02	75,22	72,94	70,52	72,38
84,1	82,98	82,84	77,28	88,94	78,14	75,44	74,64	70,4	75,22
91,12	90,8	86,36	89,06	85,78	72,68	72,2	73,74	70,6	70,48
87,1	79,92	82,4	87,34	85,44	76,76	74,8	77,02	72,96	66,64
88.92	86.38	84.40	84.54	86.31	77.52	75.62	74.90	72.32	71.12

Os resultados dos testes estatísticos referentes aos valores de microdureza Vickers obtidos na resina composta entre tempos (Quadro 5.3) e entre cargas

(Quadro 5.4) mostraram que não houve diferença estatisticamente significativa para os dois fatores (Gráfico 5.4).

Resina – Entre tempos				
		25gf	50gf	100gf
Dureza	Vickers	ns p=0,1294	ns p=0,4790	ns p=0,2997
	Knoop	5s A 15s B 30s AB 45s A 60s A p=0,0444	ns p=0,7437	5s A 15s AB 30s AB 45s B 60s B p=0,0358

Quadro 5.3 - Resumo dos resultados da análise estatística da resina entre tempos. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop

Resina – Entre cargas						
		5s	15s	30s	45s	60s
Dureza	Vickers	ns p=0,5326	ns p=0,5326	ns p=0,1959	ns p=0,6977	ns p=0,0627
	Knoop	ns p=0,1142	25gf B 50gf A 100gf A p=0,0178	ns p=0,2299	ns p=0,1367	ns p=0,0539

Quadro 5.4 - Resumo dos resultados da análise estatística da resina entre cargas. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop

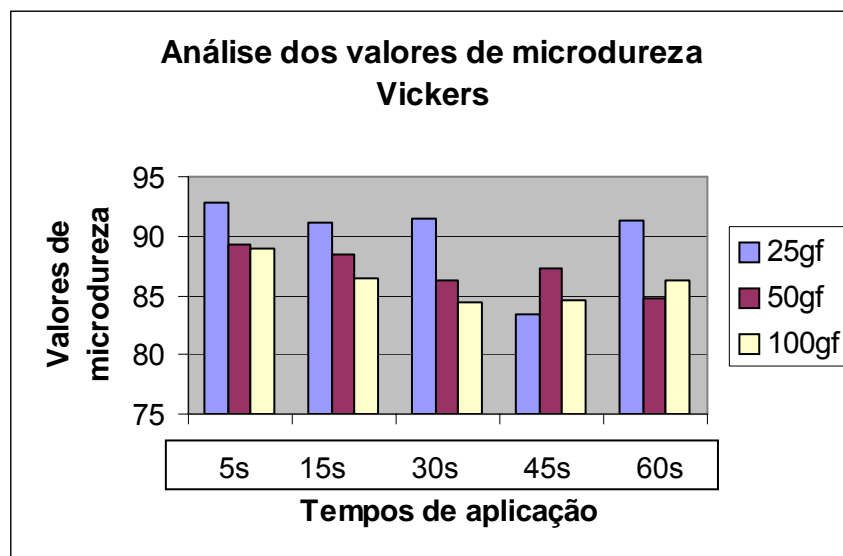


Gráfico 5.4 – Análise dos valores de microdureza Vickers relacionando as cargas com os tempos de endentação na resina composta.

Para a microdureza Knoop, na comparação entre os tempos, a aplicação de 25gf por até 30 segundos apresentou diferença estatisticamente significativa. Com a carga de 50gf, não foi detectada diferença estatisticamente significativa. E com 100gf até 30 segundos houve diferença estatisticamente significativa, a partir do tempo de 45 segundos não houve mais diferença (Quadro 5.3 e Gráfico 5.5).

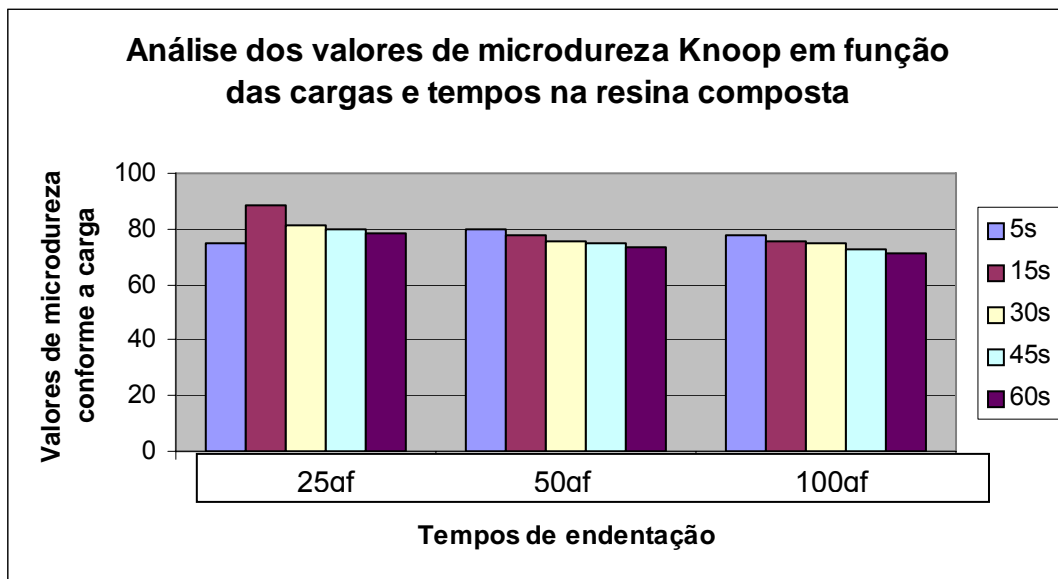


Gráfico 5.5 – Médias dos postos entre os tempos de endentação na resina composta

Entre as cargas na microdureza Knoop a única diferença detectada foi no tempo de 15 segundos onde 50gf e 100gf apresentaram valores menores que 25gf (Quadro 5.4 e Gráfico 5.6).

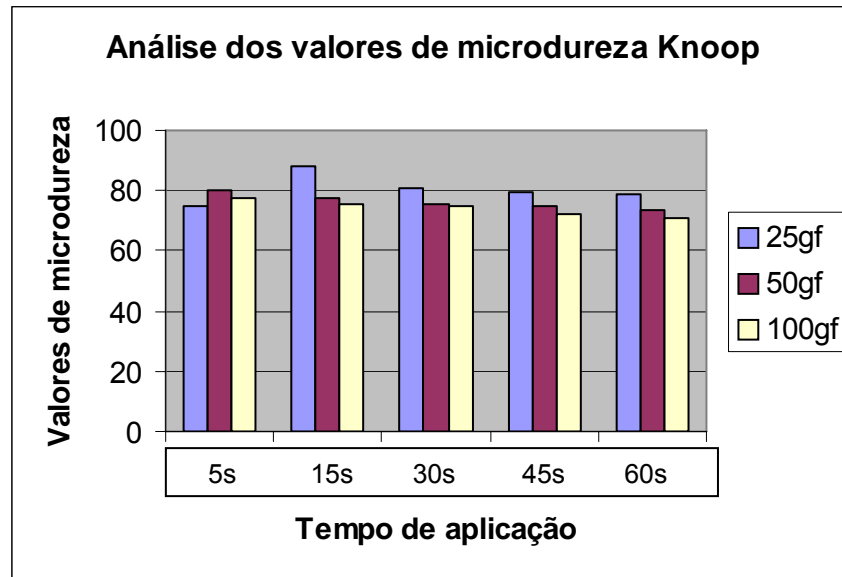


Gráfico 5.6 – Análise dos valores de microdureza Knoop relacionando as cargas com cada tempo de endentação na resina composta.

O gráfico 5.7 ilustra o comportamento dos valores de microdureza Vickers e Knoop relacionados aos parâmetros estudados. Nota-se que as linhas tiveram menor oscilação a partir da carga de 50gf nos dois testes.

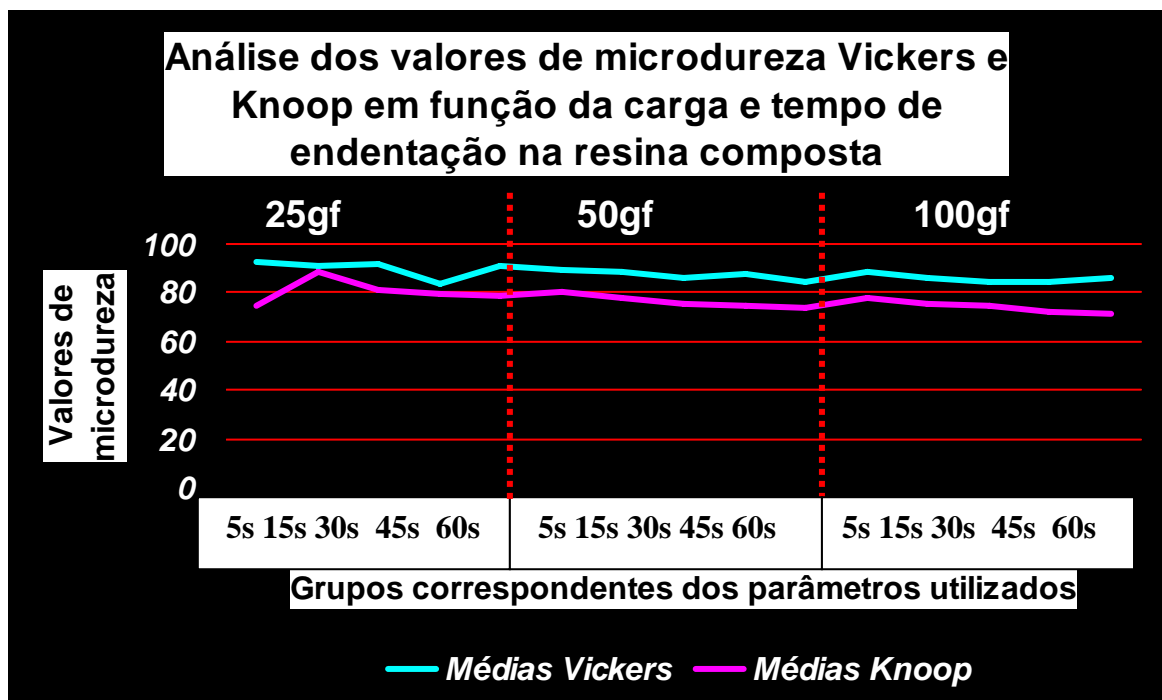


Gráfico 5.7 - Análise das médias Vickers e Knoop

5.3 Dentina

A tabela 5.3 apresenta os valores de microdureza referentes à dentina após terem sido calculadas as médias entre as 5 medidas de cada corpo de prova.

Tabela 5.3 – Valores médios de microdureza Vickers e Knoop na superfície de dentina bovina

Vickers – Dentina					Knoop - Dentina				
25gf					25gf				
5s	15s	30s	45s	60s	5s	15s	30s	45s	60s
53,6	57,6	65,6	66,9	62,2	77,3	60,2	55,2	56,2	51,9
58,6	74	66,6	58,7	61,8	66,9	50,5	47,7	46,8	51,8
67,7	61	60,2	54,5	57,9	63,7	73,5	68,1	62,4	59,3
77	65,5	66,9	65,5	67	69,9	65	63,9	65,8	73
65,8	66,3	62,2	61,4	67,3	64,6	61,5	60,3	60	63,3
64,54	64,88	64,3	61,4	63,24	50,07	52,01	49,67	47,79	48,86
50gf					50gf				
5s	15s	30s	45s	60s	5s	15s	30s	45s	60s
51,76	52,4	45,56	46,52	45,64	54,94	49,86	50,54	49,36	49,52
50,9	54,68	54,48	47,1	49,5	49,92	49,18	49,38	47,06	46,88
54,44	53,08	51,68	51,54	52,8	51,9	50,34	50,12	49,98	50,18
46,12	53,54	50,2	48,9	49,96	49,54	50,52	48,46	49,1	50,26
47,16	46,38	46,44	44,92	46,42	51,32	49,86	50,36	48,72	49,44
68,48	62,14	59,04	58,24	59,86	51,52	49,95	49,77	48,84	49,25
100gf					100gf				
5s	15s	30s	45s	60s	5s	15s	30s	45s	60s
47,4	46,6	47,96	45,84	46	47,82	49,38	45,16	46,14	45,1
53,04	54,06	45,82	47,28	47,94	51,9	52	50,66	48,54	50,8
50,9	50,84	46,94	49,96	47,46	56,2	52,28	54,38	48,68	49,16
49,66	48,72	50,92	50,62	49,44	56,2	55,66	53,3	53,02	52,08
45,72	47,04	44,42	44,48	43,9	45,96	46,82	42,7	41,62	44,52
49,34	49,45	47,21	47,63	46,94	51,61	51,22	49,24	47,6	48,33

A análise estatística dos valores de microdureza Vickers e Knoop constatou não haver diferença estatística entre os tempos nas cargas avaliadas (Quadro 5.5).

Dentina – Entre tempos				
		25gf	50gf	100gf
Dureza	Vickers	ns p=0,8937	ns p=0,3182	ns p=0,5806
	Knoop	ns p=0,2011	ns p=0,0871	ns p=0,5192

Quadro 5.5 - Resumo dos resultados da análise estatística da dentina entre tempos

Na comparação entre as cargas, a microdureza Vickers mostrou, em todos os tempos, que a carga de 25gf foi diferente das de 50 e 100gf que não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si. Na microdureza Knoop a carga de 25 gf, foi diferente das de 50 e 100gf, nos tempos de 5, 15 e 60 segundos, não apresentando diferença nos tempos de 30 e 45 segundos (Quadro 5.6) e (Gráfico 5.8 e 5.9).

Dentina – Entre cargas						
		5s	15s	30s	45s	60s
Dureza	Vickers	25gf a 50gf b 100gf b p=0,0124	25gf a 50gf b 100gf b p=0,0075	25gf a 50gf b 100gf b p=0,0075	25gf a 50gf b 100gf b p=0,0092	25gf a 50gf b 100gf b p=0,0068
	Knoop	25gf A 50gf B 100gf B p=0,0090	25gf A 50gf B 100gf B p=0,0297	ns p=0,1119	ns p=0,0750	25gf A 50gf B 100gf B p=0,0189

Quadro 5.6 - Resumo dos resultados da análise estatística da dentina entre cargas. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop

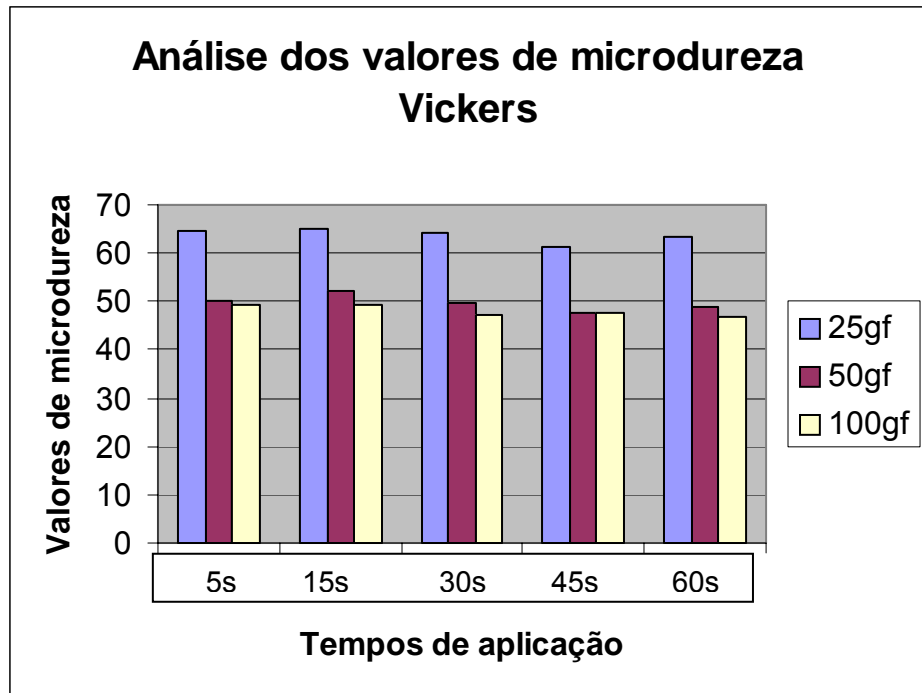


Gráfico 5.8 – Análise dos valores de microdureza Vickers relacionando as cargas com os tempos de endentação na dentina bovina

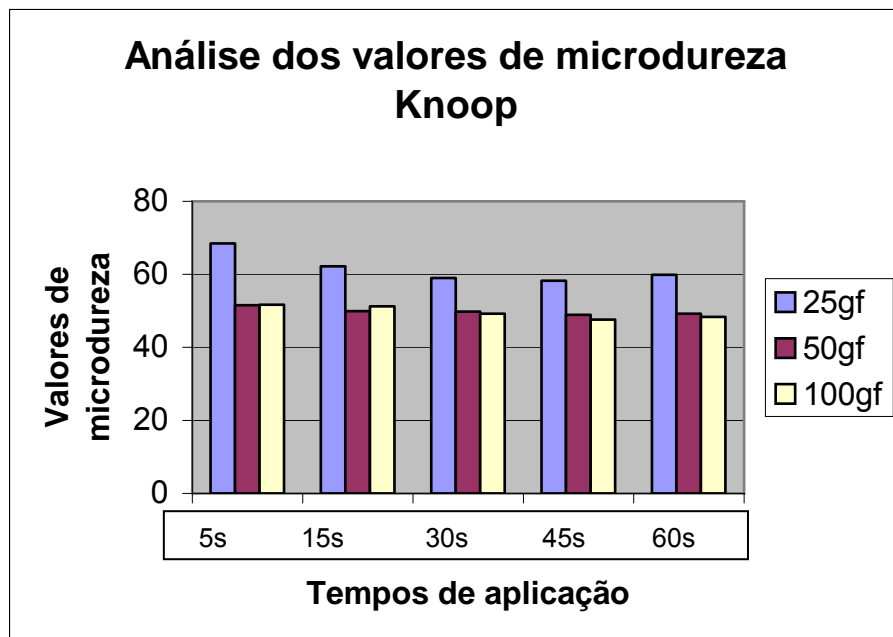


Gráfico 5.9 – Análise dos valores de microdureza Knoop relacionando as cargas com os tempos de endentação na dentina bovina

O gráfico 5.10 ilustra o comportamento dos valores de microdureza Vickers e Knoop, relacionados aos parâmetros estudados. Nota-se que as linhas a partir de 15 segundos em 50gf diminuíram e os valores de microdureza apresentaram menores variações.

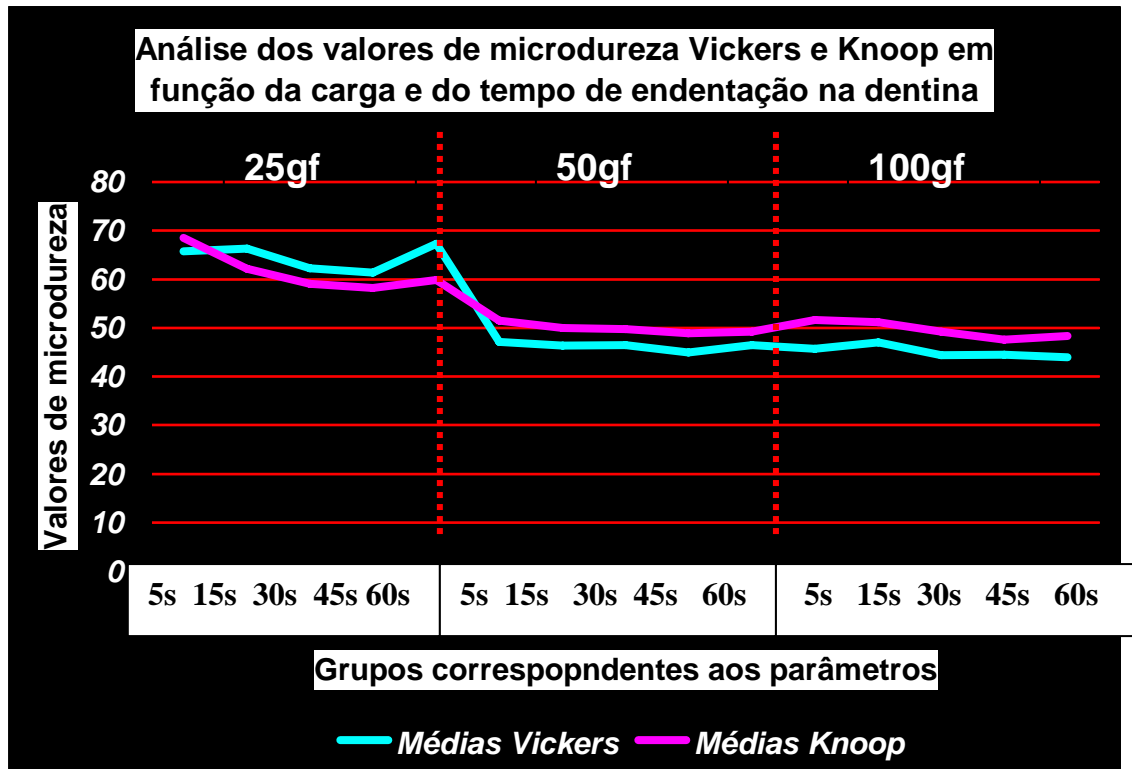


Gráfico 5.10 - Análise das médias Vickers e Knoop

5.4 Esmalte

A tabela 5.4 apresenta os valores de microdureza referentes ao esmalte após terem sido calculadas as médias entre as 5 medidas de cada corpo de prova.

Tabela 5.4 – Valores médios de microdureza Vickers e Knoop na superfície de esmalte bovino

Vickers - Esmalte					Knoop - Esmalte				
25gf					25gf				
5s	15s	30s	45s	60s	5s	15s	30s	45s	60s
267	267	303	302,2	296	249,4	294,6	289,2	315,2	353
300,6	372	373,6	380,6	356,2	292,2	304,6	318,6	287,2	326,8
252,4	284	313,2	310,2	291,6	267,4	329,2	314,2	353,4	360,8
261,4	319,8	337,6	311,6	332,4	292,4	409,6	397,4	362,2	364,8
257,2	259,8	268	265,6	272	290,6	353,8	309,8	325,4	302,8
267,72	300,52	319,08	314,04	309,64	278,4	338,36	325,84	328,68	341,64
50gf					50gf				
5s	15s	30s	45s	60s	5s	15s	30s	45s	60s
234,6	296,6	301,6	313,2	308,4	276,2	285	281,2	286,6	299,2
367,6	354,4	359,4	366,2	362,2	247,8	299	307,6	289,6	306,2
328,6	336	323,8	297,6	313	265,6	290,8	292	285,4	304,4
386,8	342	349	364,2	377,4	302,6	299,4	305	298	287,4
296	304,2	292,2	303	293	313,2	321,6	326,4	327,2	314,2
322,72	326,64	325,2	328,84	330,8	281,08	299,16	302,44	297,36	302,28
100gf					100gf				
5s	15s	30s	45s	60s	5s	15s	30s	45s	60s
288,4	283	264,2	283,8	256,2	302,6	303,6	308,4	295,8	292,6
332,8	343,2	356	353,2	327,4	223,6	216,6	206,2	279,8	261,8
323,4	319,6	319,8	313,4	309,4	274,6	284	258,6	261,4	278
370,4	350,4	365,4	367,4	356,4	274,8	246,4	275,6	269,4	261,4
309	289,2	297,4	317,4	291	256,4	258,6	239,8	293,8	292,4
324,8	317,08	320,56	327,04	308,08	266,4	261,84	257,72	280,04	277,24

Os resultados dos testes estatísticos referentes aos valores de microdureza Vickers obtidos no esmalte entre tempos (Quadro 5.7) e entre cargas (Quadro 5.8)

mostrou que não houve diferença estatisticamente significativa para os dois fatores (Gráfico 5.11).

Para a microdureza Knoop, na comparação entre os tempos, a carga de 25gf no tempo de 5 segundos foi diferente dos demais e para as cargas de 50 e 100gf, não houve diferença entre os tempos (Quadro 5.7 e Gráfico 5.12). Entre as cargas, não foi encontrada diferença com o tempo de 5 segundos. Nos demais tempos a carga de 25gf foi diferente de 100gf, sendo que a 50gf ficou num valor intermediário, não se diferenciando nem de 25gf e nem de 100gf (Quadro 5.8 e Gráfico 5.12).

Esmalte – Entre tempos				
		25g	50g	100g
Dureza	Vickers	ns p=0,0923	ns p=0,9896	ns p=0,9474
	Knoop	5s A 15s B 30s B 45s B 60s B p=0,0413	ns p=0,5111	ns p=0,6643

Quadro 5.7 - Resumo dos resultados da análise estatística do esmalte entre tempos. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop

Esmalte – Entre cargas						
		5s	15s	30s	45s	60s
Dureza	Vickers	ns p=0,0846	ns p=0,4819	ns p=0,9900	ns p=0,6505	ns p=0,4724
	Knoop	ns p=0,7167	25gf A 50gf AB 100gf B p=0,0183	25gf A 50gf AB 100gf B p=0,0305	25gf A 50gf AB 100gf B p=0,0464	25gf A 50gf AB 100gf B p=0,0063

Quadro 5.8 - Resumo dos resultados da análise estatística do esmalte entre cargas. As letras minúsculas correspondem a Vickers e as maiúsculas a Knoop

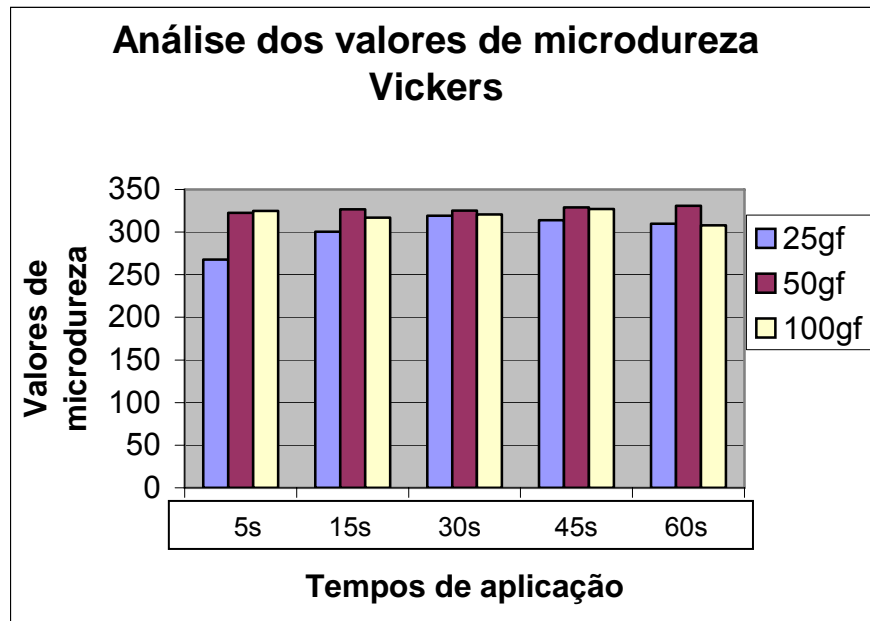


Gráfico 5.11 – Análise dos valores de microdureza Vickers relacionando as cargas com cada tempo de endentação no esmalte bovino

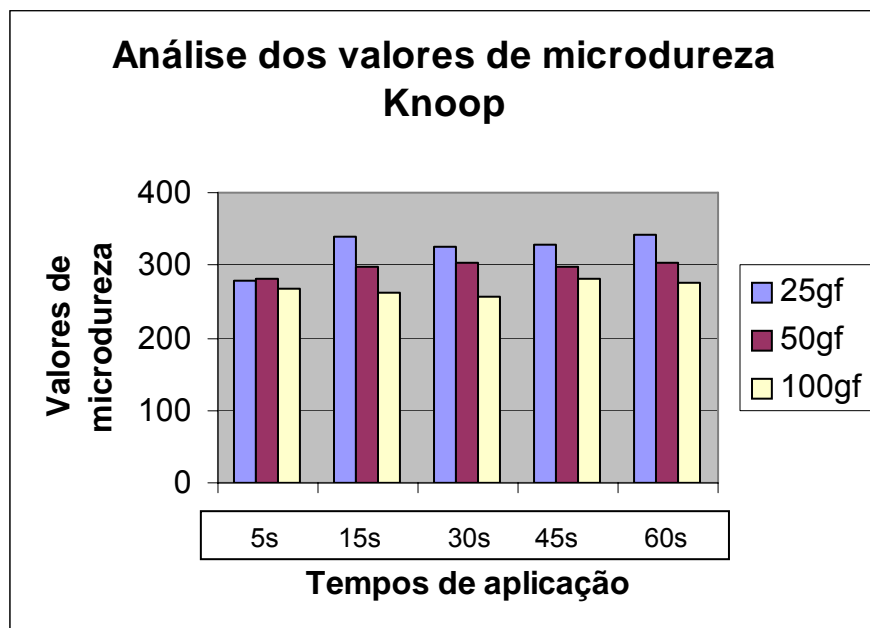


Gráfico 5.12 – Análise dos valores de microdureza Knoop relacionando as cargas com cada tempo de endentação no esmalte bovino

O gráfico 5.13 ilustra o comportamento dos valores de microdureza Vickers e Knoop, relacionados aos parâmetros estudados. Nota-se maior oscilação na linha correspondente à microdureza Knoop em comparação com a linha da dureza Vickers.

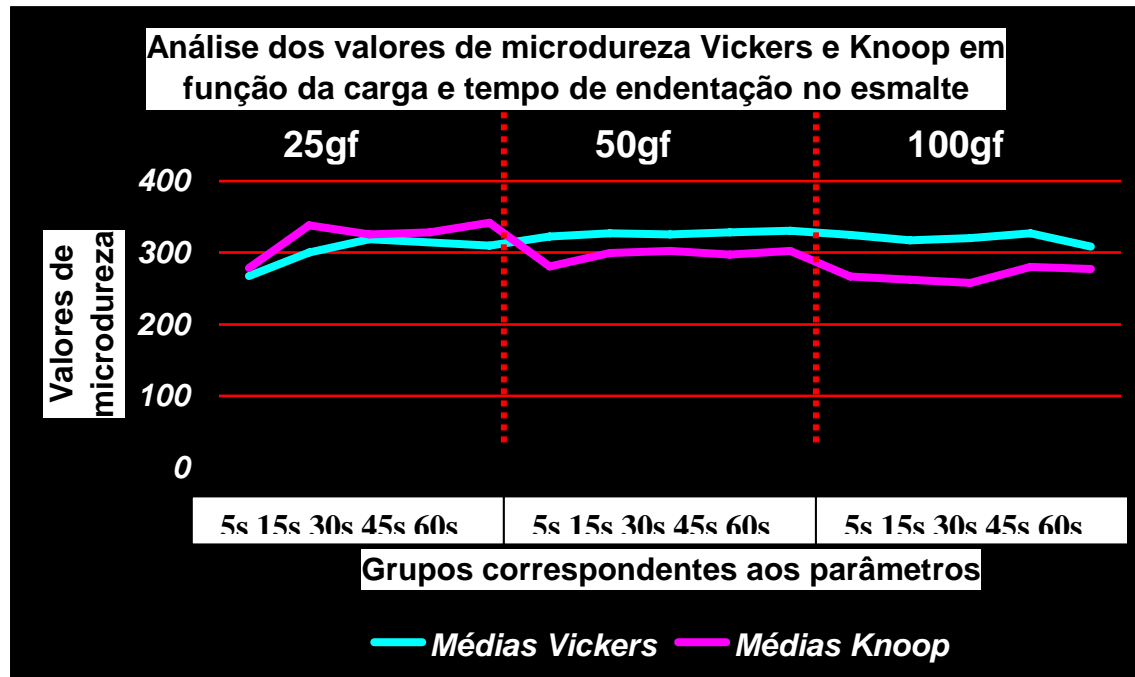


Gráfico 5.13 - Análise das médias Vickers e Knoop

6 DISCUSSÃO

Os testes mecânicos na Odontologia são excelentes ferramentas para avaliarmos as propriedades mecânicas dos materiais dentários assim como dos tecidos dentais.

O teste de dureza envolve várias propriedades físicas ao mesmo tempo e em cada superfície ensaiada os comportamentos são variados, porque apresentam reações diferentes (POWERS; SAKAGUCHI, 2006).

Souza (1982) e Estrela (2005) afirmam que os valores de dureza não se alteram com as cargas. Nos testes de microdureza isso não acontece, porque esses testes utilizam cargas muito pequenas, e essas cargas mínimas apresentam deformações elásticas além das plásticas que levam ao surgimento da recuperação elástica após a remoção da carga, alterando os valores de microdureza (BOYER, 1987; MCCABE; WALLS, 1998).

O método de dureza mais utilizado mede a diagonal após a remoção da carga e o valor de dureza é relatado pelo grau de deformação permanente produzido na superfície do material ensaiado pela força (carga) transmitida pelo endentador. As formas piramidais dos endentadores utilizados Vickers e Knoop provocam, ao entrar em contato com a superfície, uma tensão (estresse) muito alta (MCCABE; WALLS, 1998). A tensão pode ser definida como a reação das forças atômicas internas entre os átomos mediante a uma força externa e a deformação, a consequência dessa alteração nas distâncias entre os átomos (PHILLIPS, 1994).

Cada material apresenta uma curva de tensão–deformação, e por meio desta curva e de outras propriedades físicas é avaliado o seu comportamento mecânico e

são classificadas as superfícies. A resistência à fratura é uma propriedade física importante quando ocorre uma tensão-deformação, pois é a habilidade de o material ser plasticamente deformado sem fraturar ou é a quantidade de energia requerida para ocorrer à fratura. Os materiais (superfícies) podem ser classificados em frágeis quando no local da deformação plástica ocorre fratura, porque possuem um valor baixo de resistência à fratura. Relacionados com esse trabalho são: o esmalte (0,7 - 1,3) e o amálgama (1,3 - 1,6). Os materiais dúcteis são aqueles em que a deformação plástica não provoca fraturas e esses apresentam valores altos: resina composta (1,4 - 2,3) e a dentina (3,1) (POWERS; SAKAGUCHI, 2006).

Com o propósito de se avaliar os parâmetros mais utilizados nos testes de microdureza até hoje em diferentes superfícies, foi elaborado um levantamento da metodologia desses testes em Odontologia, enumerando os parâmetros de cargas e tempos de indentação mais utilizados, para os testes Vickers e Knoop, observados nos quadros 6.1 e 6.2 que deram origem aos gráficos 6.1 e 6.2 que ilustram a distribuição em porcentagem dos parâmetros utilizados pelos autores deste levantamento bibliográfico.

Pode-se notar que há uma grande variedade nos parâmetros utilizados, o que dificulta a comparação dos resultados de diferentes trabalhos entre si.

Ano	Autor	Teste	Cargas	Tempo	Tecido dental
1980	Arends	K	50, 100, 200 e 500gf	10s	Esmalte humano e bovino
1992	Collys	K	25,50,100,145 e 200	15s	Esmalte humano e bovino
1997	Kielbassa	K	50gf	30s	Dentina bovina
1998	Xu	V	2,3,5,10,20,50N	nc	Esmalte e dentina
2002	Aires	K	5gf	5s	Dentina humana
2003	Fuentes	K e V	50,100,300 e 500gf	15s	Dentina humana
2003	Attin	K	25gf	15s	Esmalte bovino
2004	Attin	V	1000gf	15s	Esmalte bovino
2005	Attin	K	100gf	30s	Esmalte e dentina bovina
2002	Lopes	V	100gf	30s	Esmalte humano
2003	Argenta	K	25gf	5s	Esmalte humano
2003	Westerman	K	1gf	12s	Esmalte humano
2004	Lewinstein	K	100gf	20s	Esmalte e dentina
2005	Morrow	V	300gf	10s	Dentina humana

Quadro 6.1 – Levantamento bibliográfico de parâmetros de carga e tempo de endentação em trabalhos que utilizaram testes de microdureza em dentina e esmalte

Ano	Autor	Teste	Cargas	Tempo de endentação	Material
1987	Dewald	K	500gf	nc	Resina
1988	Baharav	K	nc	nc	Resina
1990	Vinha	V	50gf	60s	Resina
1990	Atmadja	K	200gf	nc	Resina
1992	Turbino	V	50gf	30s	Resina
1992	Wassel	V	200 e 10.000gf	15 e 30s	Resina
1994	Uctasli	V	20gf	30s	Resina
1995	Manga	K	100gf	20s	Resina
2000	Sobrinho	K	50gf	30s	Resina
2001	Kurachi	V	50gf	30s	Resina
2001	Yap	K	500gf	15s	Resina
2001	Leonard	K	100gf	10s	Resina
2002	Consani	K	50gf	30s	Resina
2002	Silva	V	200gf	nc	Resina
2002	Leonard	K	100gf	10s	Resina
2003	Argenta	K	25gf	5s	Resina
2003	Price	K	100gf	nc	Resina
2003	Donassolo	K	200gf	nc	Amálgama
2003	Soh	K	500gf	15s	Resina
2003	Caldas	K	50gf	15s	Resina
2004	Bouschlicher	K	500gf	nc	Resina
2004	Poskus	K e V	100gf	15s	Resina
2004	Knobloch	K	50gf	20s	Resina
2004	Yap	K	500gf	15s	Resina
2004	Uhl	K	200 e 400gf	nc	Resina
2004	Turbino	V	50gf	45s	Resina
2005	Rode	V	50gf	45s	Resina
2005	Souza	V	50gf	45s	Resina
2005	Almeida	K	15gf	10s	Resina
2006	Marotti	V	50gf	45s	Resina
2006	Tanaka	V	50gf	45s	Resina

Quadro 6.2 – Levantamento bibliográfico de parâmetros de carga e tempo de endentação em trabalhos que utilizaram testes de microdureza em amálgama e resina composta.

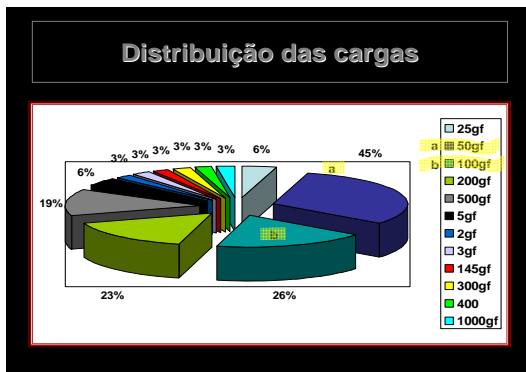


Gráfico 6.1 – Porcentagem das cargas

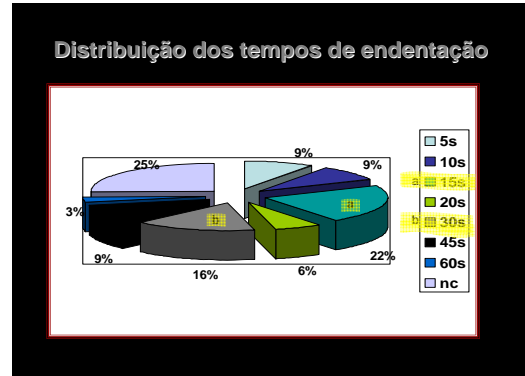


Gráfico 6.2 – Porcentagem dos tempos de endentação

A discussão será dividida conforme as superfícies avaliadas. Primeiramente serão discutidos os materiais odontológicos: amálgama e resina composta e posteriormente os tecidos dentais: dentina e esmalte bovinos.

6.1 Amálgama

Os testes de microdureza em ligas metálicas permitem classificar os vários tipos de ligas, avaliar a qualidade do tratamento superficial do amálgama e a susceptibilidade à corrosão (PATSIURAKOS; MÖBERG, 1988; SILVA et al., 1994; DONASSOLO et al., 2003).

O amálgama, apesar de não ser um material que possibilite a execução de uma restauração estética ainda é muito utilizado devido ao seu baixo custo, durabilidade e facilidade de manipulação (DONASSOLO e al., 2003).

No início dos anos sessenta, ocorreu a modificação mais significativa na composição do material com a inclusão de maior porcentagem de cobre, introduzindo-se no mercado as ligas com alto teor de cobre (PHILLIPS, 1994).

As ligas de alto teor de cobre reduzem ou eliminam a fase gama dois (γ_2), melhorando assim, as propriedades mecânicas do material e proporcionando

maiores valores de microdureza do que o convencional (PATSURAKOS et al, 1998), apesar de apresentar um alto índice de corrosão (JOHANSSON; MJÖR, 1988).

O amálgama utilizado neste estudo foi o GS-80 pré-capsulado com partículas esféricas e com alto teor de cobre. Na sua composição tem 40% prata, 31,3% de estanho e 28,7% de cobre.

O amálgama é classificado como um material friável e tem o teste Vickers como o mais adequado para medir a microdureza pela ADA (American Dental Association) na especificação de ligas metálicas. Um material é considerado friável quando o valor de resistência à fratura é baixo (1,3 – 1,6), ou seja, quando submetido a uma tensão não apenas se deforma, mas sim fratura (ANUSAVICE, 2005; POWERS; SAKAGUCHI, 2006). Mas alguns autores ainda utilizam o teste Knoop para ligas metálicas (DONASSOLO et al., 2003).

Existem normas de padronização internacionais e nacionais para superfícies metálicas utilizando o teste Vickers, a força (carga) aplicada em cada teste, o tempo mínimo de endentação, distâncias entre as endentações. São as normas: ISO 6507/01, ISO 6507/02, ISO 6507/03, ASTM-92 (vol. 03.01) e a norma brasileira da ABNT para superfícies metálicas representada pela NBRNM 188 (05-1999).

Os padrões para os testes de microdureza sugerem um intervalo de cargas muito extenso que vai de 1gf a 1000gf, dificultando uma padronização para os testes. Devido a isso, os autores utilizam várias cargas e vários tempos de endentação, sem estarem fora das normas.

Este estudo realizado mostrou que os valores de dureza do amálgama são influenciados pela carga e pelo tempo de endentação, tanto com o endentador Vickers como o Knoop.

O teste Vickers apresentou diferença estatística no tempo de 5 segundos quando se utilizou 25gf, sugerindo que esse tempo não é apropriado para essa carga com esse tipo de teste. A análise entre as cargas confirmou o tempo de 5 segundos insuficiente para o teste Vickers, já que não detectou diferença entre as cargas estudadas. A partir do tempo de 30 segundos as cargas de 50 e 100gf não apresentaram diferenças entre si.

Com 50gf na dureza Knoop, os tempos 5 e 15 segundos apresentaram valores maiores que os de 30, 45 e 60 segundos, ou seja, há a necessidade de um tempo mínimo de 30 segundos para estabilizar os valores de microdureza. A análise entre as cargas apresentou diferença entre 25 e 50gf até 45 segundos.

Para o amálgama, a carga mínima suficiente é de 50gf, tanto para a Knoop como para a Vickers, pois para todos os tempos a partir de 30 segundos, os valores de microdureza com 50 e 100gf foram maiores do que 25gf, mostrando que este aumento de carga ainda interferiu nas medidas.

6.2 Resina Composta

As resinas compostas são polímeros dimetacrilatos com partículas inorgânicas reforçando o material. A resina composta consiste de três fases: uma matriz polimérica, partículas dispersas e um silano. As partículas podem se apresentar em vários tamanhos de 0,04 μ m até 3 μ m. A composição dessas partículas é de quartzo, sílica, lítio, bário, silicato, estrôncio, zinco e outros. Quanto mais preenchido o conteúdo da resina com partículas finas, maior a resistência para que a dureza Knoop não se recupere após a remoção da carga (CRAIG, 1993), ou seja, quanto menor o volume livre entre as moléculas, menos espaço terá para gerar

novas ligações químicas, portanto menor será a deformação permanente (LOPEZ, 1993).

A resina microhíbrida utilizada neste experimento foi a filtek Z-250 da 3M - ESPE cuja composição de partículas consiste de zircônia e sílica com tamanho médio de $0,6\mu\text{m}$ (de $0,01\mu\text{m}$ a $3,5\mu\text{m}$), as cargas predominam 60% do volume total (TURBINO, 2004; DAMÉ et al., 2005; RODE; LLORET; TURBINO, 2005).

As propriedades mecânicas das resinas compostas são de grande preocupação para o desempenho em clínica. Os testes de microdureza são os ensaios mais comuns para avaliar essas propriedades (YOLDAS; AKOVA; UYSAL, 2004).

O teste de microdureza utilizado neste estudo é o convencional que mede a diagonal da marca deixada pelo endentador após a remoção da carga, ou seja, o valor da microdureza é mensurado pelo grau de deformação permanente produzido na superfície do material ensaiado pela força (carga) transmitida pelo endentador (MCCABE; WALLS, 1998). Alguns autores compararam as formas dos endentadores e constataram que os endentadores piramidais induziam maiores tensões sobre a superfície, alterando os valores de dureza (CRAWFORD; STEPHENS, 1985; LOPEZ, 1993; GIANNAKOPOULOS; SURESH, 1999).

Os endentadores utilizados neste estudo, Vickers e Knoop apresentam forma de pirâmide. Logo, ao tocar as superfícies, produzem uma tensão, que é dispersa pelo material. É essa dispersão da tensão que dependerá do comportamento mecânico do material e das propriedades mecânicas.

Os materiais são classificados em: elásticos, viscoelásticos e frágeis de acordo com o comportamento observado na curva tensão-deformação, e,

dependendo da superfície avaliada, algumas propriedades podem influenciar na obtenção dos valores de microdureza.

A resina composta, após a remoção da carga, mantém uma deformação permanente além da deformação elástica, por isso é classificada como um material viscoelástico, pois se deforma permanente e progressivamente em função do tempo de aplicação e da carga utilizada (LOPEZ, 1993; COUTO et al., 2000).

Outra propriedade mecânica presente no teste de microdureza em materiais viscoelásticos, como a resina composta é o creep, processo pelo qual um material sofre uma alteração em comprimento, quando sujeito a uma pressão (carga sobre uma área), em relação ao tempo de aplicação, à velocidade, à temperatura, e à composição química do material na resina composta. Esses materiais quando submetidos a baixas tensões por longos períodos de tempo, ocorre uma deformação permanente denominada creep estático (COUTO et al., 2000; CRAWFORD; STEPHENS, 1985; LOPEZ, 1993). Isto demonstra a relação do tempo e da carga utilizada sobre uma resina composta em um teste de microdureza.

À medida que se inicia a aplicação de uma carga em um polímero (resina composta) por um determinado tempo, além da tensão-deformação, creep, está presente o limite elástico ou de proporcionalidade (capacidade de o material retornar sob uma força sem ocorrer a deformação permanente que permite calcular o módulo de elasticidade do material testado. O módulo de elasticidade ou constante de proporcionalidade, é definido por Phillips (1994) como a relação entre uma tensão igual ou menor, em valor, ao limite de proporcionalidade dividido pelo valor da deformação correspondente. Para uma dada tensão, quanto menor a deformação, maior será o valor do módulo de elasticidade. O módulo de elasticidade mensurado após um tempo curto é relativamente alto quando comparado ao de um tempo

infinito, devido ao relaxamento que pode ocorrer num longo período de tempo (PHILLIPS, 1994, GIANNAKOPOULOS; SURESH, 1999).

O entendimento das principais propriedades presentes no momento que se inicia um teste de microdureza nos leva à necessidade de selecionar as cargas e os tempos de endentação adequados para que os valores de microdureza sejam estáveis e precisos em resinas compostas.

O estudo realizado com o endentador Vickers em resina composta não demonstrou influência das cargas e dos tempos de endentação estudados, mas Crawford em 1982 observou a necessidade de um tempo mínimo de aplicação de 30 segundos utilizando cargas de 5 a 200gf em polímeros para que os valores de microdureza não se alterassem com a remoção da carga. Em seu estudo o tempo ideal para se obter valores precisos sem recuperações foi de 120 segundos nos quatro polímeros estudados.

Outros estudos avaliaram diferentes tempos de endentação e cargas em testes de microdureza Vickers em polímeros (CRAWFORD, 1982; LOPEZ, 1993; SUWANPRATEEB, 1998; ZAMFIROVA ; DIMITROVA, 2000).

A análise do endentador Knoop mostrou haver influência tanto dos tempos de endentação como das cargas utilizadas. A comparação entre os tempos demonstrou que os valores passaram a não apresentar mais diferenças quando se utilizou uma carga de 50gf. A comparação entre as cargas detectou diferença apenas em 15 segundos na carga de 25gf, com isso pode-se propor que pelo menos deve-se utilizar um carga mínima de 50gf para testes de microdureza Knoop em resina composta em um tempo mínimo de 30 segundos. Isso fica evidente no gráfico 5.5 da média dos postos entre os tempos, sendo que para 100gf o tempo mínimo suficiente deve ser de 45 segundos.

Yoldas et al. em 2004 avaliaram a influência das cargas e dos tempos e endentação e constataram diferenças entre 100gf e 500gf nos tempos de 10 e 15 segundos. Segundo o autor o tempo pode não ter sido suficiente para a penetração do endentador já que o Knoop, devido à sua assimetria geométrica, penetra menos quando comparado ao Vickers (SOUZA, 1982; LOPEZ, 1993). Devido a essa característica, alguns autores utilizam o teste Knoop para resinas compostas ou materiais poliméricos, porque assim reduziria a recuperação elástica, podendo até ser nula (SOUZA, 1982; PHILLIPS, 1994; POBER, 1998). Outro motivo é a sua maior sensibilidade quando comparado a Vickers (YOLDAS; AKOVA; UYSAL, 2004). Nas comparações entre os valores de microdureza Knoop foram detectadas mais diferenças estatisticamente significante do que na Vickers, ou seja, a Knoop foi mais sensível às variações dos parâmetros de tempo e carga realizados em nosso estudo.

Mas nem todos os autores elegem a Knoop como o teste mais indicado para polímeros. Lopez em 1993, em sua revisão de microdureza em polímeros, estudou todos os testes realizados até aquele momento e levando em conta a grande variedade de cargas utilizadas, o formato do endentador, a precisão e a reprodutibilidade das medidas, o método mais aceitável entre os estudados é o Vickers. Segundo o autor, o teste Knoop não penetra o suficiente. Logo, em algumas mensurações pode ser sensível demais para superfícies irregulares. E como as resinas compostas apresentam na sua composição partículas de tamanhos e quantidades irregulares (PHILLIPS, 1994; POWERS; SAKAGUCHI, 2006) talvez o endentador Knoop não seja adequado (LOPEZ, 1993, UHL et al., 2004).

Uhl et al. (2004) em seu experimento, variando cargas de 200gf e 400gf com o endentador Knoop, constatou a necessidade de uma carga adequada para este

teste, para que penetrasse o suficiente (acima de 4 μ m) para a mensuração precisa do teste de microdureza Knoop. Os valores de dureza com 400gf foram maiores que os de 200gf nas resinas compostas utilizadas.

Poskus, Plácido e Cardoso (2004) comparou os testes Vickers ou Knoop utilizando uma carga de 100gf e um tempo de 15 segundos. Não detectou diferença estatisticamente significativa nos valores obtidos, apesar de os valores de microdureza Vickers terem sido maiores que os da Knoop.

O cálculo da microdureza é obtido por uma equação baseada na área projetada do endentador sobre a superfície. O método convencional mede as diagonais, não levando em consideração a superfície externa das marcas. Em alguns casos as marcas podem aparecer não simétricas, quando isso ocorre são denominadas macrodeformações.

A presença dessas macrodeformações nas faces externas das impressões ou morfologias de impressão fornece indícios de que a carga utilizada ou o tempo de endentação não eram suficientes para promover a deformação permanente e ocorre então, a retração. Pode também ocorrer o contrário, quando se utiliza uma carga ou um tempo além do necessário a formação de bordas salientes. A consequência é a imprecisão dos valores de microdureza já que as áreas de endentação são diferentes quando ocorre a macrodeformação. Quando essas macrodeformações ocorrem apenas nas faces externas, pode-se obter valores semelhantes de dureza porque o método convencional de microdureza mede apenas as diagonais das marcas superficiais. Porém o valor real de microdureza não pode ser o mesmo (SOUZA, 1982; GIANNAKOUPoulos; SURESH, 1998; PINTAÚDE, 2002), já que as áreas são diferentes.

A interpretação dessas morfologias de impressão nos permite concluir como os parâmetros de carga e tempo são importantes nos testes de microdureza dos materiais poliméricos como a resina composta. Se não utilizarmos parâmetros adequados, essas impressões podem alterar o valor real de microdureza.

A microdureza das resinas compostas vem sendo estudada relacionando-a com diferentes fatores, como: tipo de resina (CORRER SOBRINHO et al., 2000; LEONARD et al., 2001; LI et al., 1985; KANCA III, 1985; KIM; ONG; OKUNO, 2002; SAY et al., 2003; TURBINO, 1997); tempo de polimerização (LEONARD et al., 2001; PEREIRA; PORTO; MENDES, 2000; PILO; CARDASH, 1992; SANTOS et al., 2000; TURBINO et al. 1992); profundidade de polimerização (COOK, 1980 ; CUNHA et al., 2003; TURBINO, 1997; TURBINO, 2004; UMBEHAUN, 2001); eficácia dos aparelhos fotoativadores (BELAN, 2004; DEWALD; FERRACANE, 1987; HANSEN; ASMUSSEN, 1993; RODE, 2002; SANTOS et al., 2000; TURBINO, 2004) e tem permitido essas comparações.

6.3 Dentina

O interesse pelo estudo da dureza superficial nos tecidos dentais teve início em 1870 por Kopezky e em seguida outros autores também se interessaram no comportamento desses tecidos (HODGE, 1936) para que se conhecesse um pouco mais das propriedades de dureza desses tecidos dentais.

As mensurações de dureza eram realizadas em equipamentos que utilizavam cargas altas e endentadores próprios para metais. A necessidade de se utilizar

esses testes em microestruturas, fez com que vários autores estudassem a influência de alguns parâmetros em tecidos dentais. Dentre os principais estão a carga, o tempo de endentação e os endentadores utilizados na microdureza Vickers e Knoop (RYGE; FOLEY; FAIRHURST, 1961; HEGDAHL; HAGEBÖ, 1972).

Grande parte dos estudos em tecidos dentais é realizada em dente bovino (ARENDS; SCHUTHOF; JONGEBLOED, 1979; ARENDS; SCHUTHOF; JONGEBLOED, 1980; ATTIN et al., 2003; ATTIN et al., 2004; ATTIN et al., 2005; HERKSTRÖTER et al., 1989; RUSE et al., 1990). Embora a composição, densidade, profundidade do esmalte, capacidade de transmitir calor e dureza e as propriedades químicas e físicas do dente bovino sejam similares ao esmalte humano notou-se que a resistência flexural do esmalte bovino é maior comparado ao humano (ATTIN et al., 2005). Outra diferença notada é a progressão da cárie: em dentes bovinos, os experimentos de cárie *in vitro* evoluem três vezes mais rápidos que nos humanos (FEATHERSTONE et al., 1983, ATTIN et al., 2005). Mas essas diferenças não interferem nos testes de microdureza, já que os mesmos permitem uma ampla área para as endentações (ATTIN et al., 2004).

A dentina, apesar de estar muito próxima do esmalte, apresenta uma composição bem diferente, formada basicamente por um complexo hidratado, composto por quatro elementos: túbulos orientados e circundados por uma zona peritubular altamente mineralizada e embebida em uma matriz intertubar de colágeno tipo1 com cristais de apatita e fluido dentinário (FUENTES et al., 2003).

A microdureza da dentina diminui à medida que se aproxima da câmara pulpar. Isto se deve à maior densidade dos túbulos dentinários, à diminuição da dentina intertubular e ao aumento do diâmetro dos túbulos (CRAIG; PEYTON, 1958; FUENTES et al., 2003). Por isso, quando se estuda a superfície dentinária, é

importante sempre se avaliar a mesma região. O estudo em dentina bovina foi realizado na superfície da face vestibular, região central, porque é a área mais plana do dente bovino.

Existem muitos estudos que avaliam a microdureza Vickers e Knoop utilizando várias cargas e tempos de endentação (Quadro 6.2) sem nenhuma padronização.

Alguns autores preconizam os testes Knoop para a dentina devido a sua similaridade com a resina composta, pois devido à sua geometria, apresenta recuperação elástica quase nula (FUENTES et al., 2003).

O teste Vickers penetra duas vezes mais do que a Knoop, devido a sua simetria geométrica o que o torna menos sensível a condições adversas na superfície. Consegue detectar mais erros em profundidade ou em materiais heterogêneos como a dentina quando a mesma carga é aplicada (LYSAGHT; DEBELLIS, 1969).

Fuentes et al. (2003) estudaram a superfície e a profundidade da dentina humana utilizando testes de microdureza Vickers e Knoop com cargas diferentes para cada teste. Segundo o autor, apesar da dependência da carga nos valores de microdureza ocorrerem mais em materiais friáveis, a dentina também apresentou influência das cargas nos testes de microdureza, provavelmente por causa da recuperação elástica (LYSAGHT; DEBELLIS, 1969; POWERS; SAKAGUCHI, 2006, MCCABE; WALLS, 1998), já que apresenta resiliência similar à resina composta. Resiliência é a resistência do material a deformação permanente (PHILLIPS, 1994).

Outros autores constataram a presença da resiliência da dentina quando se comparou com o esmalte nas mesmas condições.

Hegdall et al. (1972) constataram a influência da carga nas medições (ou testes) de dureza dos tecidos dentais. A dentina apresentou diminuição dos valores de dureza à medida que se aumentavam as cargas. O comportamento do esmalte foi o inverso, pois, os valores de microdureza aumentaram.

Xu et al. (1998) realizaram um trabalho interessante porque comparou testes de microdureza no mesmo substrato e com os mesmos parâmetros em partes do esmalte, dentina e junção amelo-dentinária. E observou a diferença entre os comportamentos de cada um. A região da junção amelo-dentinária permitiu notar que a parte da marca pertencente ao esmalte, apresentava ao seu redor várias fraturas, enquanto que a outra metade da marca em dentina não apresentava nenhuma fratura ou rachadura. Para esse experimento ele utilizou um endentador Vickers com forças de 2, 3, 5, 10, 20 e 50N (sendo que 1N ~ 100gf). Essas diferenças se devem à influência das propriedades mecânicas presentes em cada material. A dentina apresenta propriedades mecânicas diferentes do esmalte, tal como a resiliência, que após a remoção da carga ocorre um relaxamento das endentações. no caso do esmalte que é friável, não há mudanças na endentação após a remoção das cargas.

Os resultados obtidos nesse estudo mostraram que a dentina bovina apresentou influência da carga em ambos os testes Vickers e Knoop. Os valores de microdureza com a carga de 25gf foram diferentes quando comparados as demais cargas. Logo, a carga ideal é de pelo menos 50gf, porque foi diferente de 25gf e foi igual a 100gf. Ou seja, em 50gf já se estabilizou a penetração para qualquer dos tempos.

O conhecimento das propriedades mecânicas da dentina auxiliou no aprimoramento dos tratamentos restauradores (XU et al., 1998; WATERS, 1980) principalmente nos tratamentos estéticos.

As mensurações de microdureza podem ser correlacionadas com outras propriedades mecânicas como resistência à fratura (PERINKA; SANO; HOSODA, 1992), módulo de elasticidade e limite de proporcionalidade (MAHONEY et al., 2000). Existe uma forte relação entre a microdureza da dentina e a respectiva força de adesão de um adesivo (PANIGHI; G'SELL, 1993).

As aplicações dos testes de microdureza em dentina têm se ampliado muito devido à busca da estética. Como exemplo, pode-se citar pesquisas que avaliam as alterações que o tratamento clareador pode provocar na dentina.

Os testes de microdureza têm sido utilizados para avaliar a superfície na qual, o agente clareador realizado em esmalte e dentina pode penetrar até a polpa por difusão do esmalte e dentina (COOPER; BOKMEYER; BOWLES, 1992; THITINANTHAPAN; SATAMANONT; VONGSAVAN, 1999). Esta comparação é realizada por meio de uma mensuração inicial (basal) e a mensuração após o procedimento clareador.

Attin e colaboradores em 2005 constataram que um determinado agente clareador produziu uma redução na dureza superficial significativa no esmalte e na dentina, e em outros grupos foi apenas em esmalte. Outros autores também estudaram o mesmo assunto (AKAL et al., 2001; LOPES et al., 2002; LEWINSTEIN et al., 2004; BASTING; RODRIGUES; SERRA, 2005) e verificaram resultados semelhantes, todos os clareadores diminuem a microdureza superficial da dentina e esmalte.

Alguns tratamentos menos invasivos são utilizados na remoção da cárie, e a sua efetividade em relação à remoção do tecido carioso é avaliada por meio de testes de microdureza.

O progresso da cárie pode ser interrompido ou eliminado por alguns procedimentos tal como a aplicação de soluções como o Carisolv (MORROW et al., 2005); aplicação de laserterapia de alta-intensidade (KELLER; HIBST, 1997). Para avaliar a eficácia na remoção do tecido cariado em dentina utilizaram testes de microdureza superficial.

Traumas oclusais e/ou mecânicos podem erosionar as superfícies dentinárias (ATTIN et al., 1997). Além disso algumas substâncias ácidas como a lactose contida em adoçantes (AIRES et al., 2002); o ácido clorídrico proveniente de paciente com refluxo esofágico (BUYUKYILMAZ; OGAARD; ROLLA, 1997), bebidas com ácidos cítricos ou fosfóricos (MAHONEY et al., 2000) e radioterapia para tratamento de lesões malignas (KIELBASSA et al., 1997) também podem provocar tais erosões.

Os tratamentos mais utilizados para amenizar os efeitos desses agentes sobre as superfícies de dentina e esmalte: como fluoretos (BUYUKYILMAZ; OGAARD; ROLLA, 1997; ATTIN et al., 2003) e laserterapia (WESTERMAN et al., 2003) são avaliados na sua eficácia por meio de testes de microdureza. Em alguns estudos os valores de microdureza knoop são convertidos no conteúdo mineral antes e após do experimento (AIRES et al., 2002; FEATHERSTONE et al., 1983 e ARGENTA; TABCHOURY; CURY, 2003) por meio de uma equação que utiliza os valores de microdureza basal e final do experimento em questão.

A relação da microdureza com a densidade tubular tem importância nos estudos de instrumentação endodôntica (PASHLEY; OKABE; PARHAM, 1985).

6.4. Esmalte

O esmalte é composto principalmente por elementos minerais como cálcio, fosfato e flúor. Mediante alguns agentes externos (substâncias ácidas, clareadoras, processo cariioso) essas substâncias podem ser alteradas significativamente (CREWS et al., 1997; PERDIGÃO et al., 2001).

O esmalte e a dentina apresentam comportamentos diferentes quando submetidos aos testes de microdureza.

O esmalte é uma superfície friável (HERKSTRÖTER et al., 1989) porque apresenta baixo limite de proporcionalidade e baixo módulo de elasticidade, ou seja, a tensão que o endentador transmite ao tocar a superfície não é absorvida, e sim, transformada em fraturas ao redor da marca deixada pelo endentador. A dentina não apresenta essas fraturas ao redor da marca porque é um material dúctil e resiliente pois, seu limite de proporcionalidade e módulo de elasticidade são altos. Após a aplicação da carga sobre a superfície, a tensão gerada é dispersa para a deformação plástica (POWERS; SAKAGUCHI, 2006).

Assim como no amálgama, resina e dentina, o esmalte também apresenta uma variação muito grande na determinação dos parâmetros de carga e tempos de endentação nos testes de microdureza, e essa diversidade é ilustrada no quadro 6.1.

Hegdall e Hagebö (1972) estudaram a influência das cargas nas dimensões das endentações em esmalte e dentina e concluíram por deduções matemáticas, que, quanto maior a carga aplicada, maior será o valor de dureza obtido no esmalte e menor o valor de dureza obtido na dentina.

Arends, Schuthof e Jongebloed (1979) utilizaram esmalte humano e bovino desmineralizados para avaliar a microdureza Knoop utilizando várias cargas 25, 50, 100, 200 e 500gf com um tempo de 10 segundos. E concluíram que os resultados obtidos eram proporcionais, ou seja, à medida em que as cargas aumentavam, as diagonais maiores do endentador Knoop também aumentavam tanto para o esmalte humano como para o bovino desmineralizados. Essa conclusão não está de acordo ao estudo de Hegdall e Hagebö (1972), porque eles constataram que o esmalte apresentava maior valor de dureza com o aumento de carga, enquanto que Arends a dureza diminuía (marcas maiores).

Arends, Schuthof e Jongebloed (1980) avaliaram a profundidade do teste de microdureza utilizando o endentador Knoop e concluíram que houve uma forte dependência da profundidade com a diagonal em função das cargas.

Collys et al. (1992) correlacionaram também cargas de 25, 50, 100, 145 e 200gf no tempo de 15 segundos com o endentador Knoop, mas obtiveram proporcionalidade das cargas com as diagonais apenas em 145 e 200gf.

Este estudo, realizado com a microdureza Vickers, não apresentou influência dos tempos e nem das cargas utilizadas. E apresentou ainda uma estabilidade dos valores em todas as variações quando comparado ao teste Knoop, que apresentou maior sensibilidade à medida que as cargas aumentavam (Gráfico 5.10).

Essa sensibilidade do teste Knoop pode ser explicada pela diferença estatisticamente significativa entre os tempos e as cargas utilizadas. O tempo de 5 segundos não foi suficiente para detectar a diferença entre as cargas. A partir de 15 segundos a carga de 25gf foi igual a 50gf, mas diferente de 100gf. Com isso pode se propor que a carga ideal para a superfície de esmalte é de no mínimo 100gf em um tempo mínimo de 15 segundos.

Com esses resultados fica difícil definir qual seria o teste ideal para o esmalte, se Vickers ou Knoop. Mas, Attin et al em 2004 utilizaram os dois testes para mensurar propriedades mecânicas diferentes, para isso variou as cargas de cada experimento. A microdureza foi avaliada pelo endentador Knoop utilizando uma força de 0,25N (aproximadamente 25gf) por 15 segundos e para a resistência à fratura utilizou o teste Vickers com força de 9,8N (aproximadamente 1000gf).

O cálculo da resistência à fratura pelo teste de microdureza Vickers foi desenvolvido por Lawn e Marshall (1979), no qual utilizaram uma equação com os valores máximos das fraturas laterais, os valores de microdureza Vickers e o valor do módulo de elasticidade do esmalte. Xu et al. (1998) utilizaram a mesma metodologia para o cálculo de resistência à fratura.

As aplicações dos testes de microdureza em esmalte são muito parecidas com as aplicações em dentina.

Estes testes são utilizados para avaliar a superfície antes e após tratamentos estéticos como o clareamento (AKAL et al., 2001; ATTIN et al., 1997; ATTIN et al., 2003; BASTING; RODRIGUES; SERRA, 2001; BASTING; RODRIGUES; SERRA, 2005; LOPES et al., 2002; PINTO et al. 2004).

Além de determinar a porcentagem de perda mineral quando submetido a agentes re e desmineralizantes, por meio de uma equação que utiliza os valores de microdureza Knoop desenvolvido por Featherstone et al. (1983) e utilizados por vários autores que querem avaliar a superfície antes e depois do contacto com a variável ou as variáveis des-re (ARGENTA; TABCHOURY; CURY, 2003; MORROW et al., 2005; ZERO, 1996).

Entre os tratamentos para remineralização da superfície de esmalte estão os fluoretos (LEWINSTEIN et al., 2004; BUYUKYILMAZ; OGAARD; ROLLA, 1997) e a associação do flúor com irradiação do laser de argônio (WESTERMAN et al., 2003).

Boyer afirmou que as variações nos valores de microdureza obtidas em um mesmo espécime estão relacionados com a carga utilizada, e que, a partir de uma determinada carga os valores passam a ser constantes. Com isso, a expectativa neste trabalho foi tentar encontrar valores de carga ou tempos adequados para que os valores obtidos de microdureza passassem a ser estáveis e confiáveis, para assim, avaliar dentre os fatores estudados, a possibilidade de padronizar esses parâmetros e utilizá-los nos testes a partir de então, possibilitando precisão, repetibilidade e correlação entre as metodologias diferentes. Com isso, esses três elementos básicos que acarretam problemas aos testes de microdureza seriam resolvidos (LOPEZ, 1993).

Muitas informações foram obtidas nesse estudo. Com o intuito de simplificar alguns dos parâmetros indicados em cada teste e superfície, foram reunidos no quadro 6.3 as cargas e os tempos de endentação mínimos ou mais adequados para cada teste, baseados na estabilidade dos valores de microdureza.

PARÂMETROS	Carga mínima		Tempo de endentação mínimo	
	VICKERS	KNOOP	VICKERS	KNOOP
Amálgama	50gf	50gf	30s	30s
Resina Composta	25gf	50gf	15s	30S
Dentina	50gf	50gf	15s	15s
Esmalte	25gf	100gf	15s	15s

Quadro 6.3 - Resumo dos resultados dos grupos A, R, D e E

7 CONCLUSÕES

Com base na metodologia empregada e nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- 7.1. Na superfície de amálgama conclui-se que tanto para Vickers como para a Knoop os valores de dureza apresentam maior precisão utilizando uma carga mínima de 50gf e um tempo de endentação de no mínimo 30 segundos.
- 7.2. Para os testes em resina composta microhíbrida a carga mínima é de 50 gf em um tempo mínimo de endentação de 30 segundos para o teste de dureza Knoop e para os testes de microdureza Vickers nenhum dos parâmetros estudados interferiram nos valores obtidos.
- 7.3. A dureza Vickers devido à sua maior estabilidade está mais indicada para a resina composta.
- 7.4. Na superfície da dentina bovina a carga ideal é de pelo menos 50gf em qualquer dos tempos 15, 30, 45 e 60 segundos.
- 7.5. Na superfície do esmalte bovino o teste de microdureza Vickers não apresentou influência nos valores de dureza entre os tempos 15, 30, 45 e 60 segundos e entre as cargas de 25, 50 e 100gf. Enquanto o teste de microdureza Knoop está indicado uma carga de 100gf para qualquer dos tempos 15, 30, 45 e 60 segundos.

REFERÊNCIAS¹

Aires CP, Tabchoury CPM, Del bel cury AA, Cury JA. Effect of a lactose-containing sweetener on root dentine demineralization in situ. *Caries Res* 2002;36:167-69.

Akal N, Over H, Olmez A, Bodur H. Effects of carbamide peroxide containing bleaching agents on the morphology and subsurface hardness of enamel. *J Clin Pediatr Dent* 2001;25:293-6.

American Society for Testing and Materials, ASTM E92-82 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials (Reaprovado 1997) Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Philadelphia PA, 1997 pp. 221-29.

American Society for Testing and Materials ASTM E 384-99, Standard test method for microindentation hardness of materials, in: 2000 Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Philadelphia PA, 2000 pp. 406-429.

Anusavice K J. *Materiais Dentários*. 10^a. edição. Ed. Guanabara Koogan, 2005.

Arends J, Schuthof J, Jongebloed WG. Microhardness on artificial white spot lesions. *Caries Res* 1979;13:290-97.

Arends J, Schuthof J, Jongebloed WG. Lesion depth and microhardness indentations on artificial white spot lesions. *Caries Res* 1980;14:190-5.

Argenta RMO, Tabchoury CPM, Cury J. A modified pH-cycling model to evaluate fluoride effect on enamel demineralization *Pesquis Odontol Bras* 2003;17:241-6.

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBRNM 188- (05/1999) *Materiais metálicos – Dureza Vickers – Parte 1: Medição da dureza Vickers – Parte 2: Calibração de máquinas de medir dureza Vickers – Parte 3 – Calibração de blocos padrão a serem usados na calibração de máquinas de medir dureza Vickers*. Atmadja G, Bryant RW. Some factors influencing the depth of cure of visible light-activated composite resins. *Aust Dent J* 1990;35:213-8.

¹ De acordo com Estilo Vancouver. Abreviatura de periódicos segundo base de dados MEDLINE.

Attin T, Koidl U, Buchalla W, Schaller HG. Correlation of microhardness and wear in differently eroded bovine dental enamel. *Archs Oral Biol* 1997; 42:243-50.

Attin T, Kocabiyik M, Buchalla W, Hannig C, Becker K. Susceptibility of enamel surfaces to demineralization after application of fluoridated carbamide peroxide gel. *Caries Res* 2003;37:93-9.

Attin T, Müller T, Patyk A, Lennon AM. Influence of different bleaching systems on fracture toughness and hardness of enamel. *Operative Dentistry* 2004;29:188-95.

Attin T, Vollmer D, Wiegand A, Attin R, Betke H. Subsurface microhardness of enamel and dentin after different external bleaching procedures. *Am J Dent* 2005;18:8-12.

Ayres M, Ayres Jr M, Ayres DL, Santos AS. *Bio Estat 4.0-Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas*. 2ª ed Sociedade Civil Mamirauá/ MCT/ Imprensa Oficial do Estados do Pará; 2005.

Baharav H, Abraham D, Cardash HS, Helfet M. Effect of exposure time on the depth of polymerization of a visible light-cured composite resin. *J Oral Rehabil* 1998;15:167-172.

Basting RT, Rodrigues ALJ, Serra MC. The effect of 10% carbamide peroxide bleaching material on microhardness of sound and demineralized enamel and dentin in situ. *Oper Dent* 2001;26:531-9.

Basting RT, Rodrigues AL Jr, Serra MC. The effect of 10% carbamide peroxide, carbopol and/or glycerin on enamel and dentin microhardness. *Oper Dent* 2005;30:608-16.

Belan LC. *Microdureza da resina composta ativada com luz halógena e laser de Argônio na técnica pulso-espera [Tese de Doutorado]*. São Paulo: Faculdade de Odontologia USP; 2004.

Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM. Correlation of bottom to top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent* 2004;29:698-704.

Boyer HE. *Hardness testing*. USA: ASM international; 1987.

- Brinell JA. Mémoire sur les épreuves à bille en acier. Communications presetés devant le congrès international des méthodes d'essai des matériaux de construction 1901;2:83-94.
- Buyukyilmaz T, Ogaard B, Rolla G. The resistance of titanium tetrafluoride-treated human enamel to strong hydrochloric acid. *Eur J Oral Sci* 1997;105:473-7.
- Caldas DBM, Almeida JB, Correr Sobrinho L, Sinhoreti MAC, Consani S. Influence of curing tip distance on resin composite Knoop Hardness number, using three different light curing units. *Oper Dent* 2003;28:315-20.
- Centro de Informação Metal Mecânica: banco de dados. Disponível em URL: http://www.cimm.com.br/portal/cimm/iframe/?pagina=/cimm/construtordepaginas/html/3_24_6896.htm [2007nov. 29].
- Collys K, Slop D, Cleymaet R, Coomans D, Michotte Y. Load dependency and reliability of microhardness measurements in acid-etched enamel surfaces. *Dent Mat* 1992;8:332-5.
- Consani S, Pereira SB, Sinhoreti MAC, Sobrinho LC. Efeito dos métodos de fotoativação e de inserção sobre a dureza de resinas compostas. *Pesqui Odontol Bras* 2002;16:355-60.
- Cook WD. Factors affecting the depth of cure of UV-polymerized composites. *J Dent Res* 1980;59:800-8.
- Cooper JS, Bokmeyer TJ, Bowles WH. Penetration of the pulp chamber by carbamide peroxide bleaching agents. *J Endod* 1992;18:315-7.
- Correr-sobrinho L, Lima AA, Consani S, Sinhoreti MAC, Knowles JC. Influence of curing tip distance on composite Knoop hardness values. *Braz Dent J* 2000;111:11-7.
- Couto MGP, Couto Júnior MP, Nagem Filho H, Fransciosconi PAS. Estudo do "creep" em cinco resinas compostas fotopolimerizáveis. *Rev FOB* 2000;8:37-42.
- Craig RG, Peyton FA. The microhardness of enamel and dentine. *J Dent Res* 1958;37:661-8.

Craig RG. Direct Esthetic In: Restorative Dental Materials. 9th ed , St Louis: Mosby; 1993.

Craig RG, Powers JM. Materiais Dentários Restauradores. 11^a ed. Trad. Cimara Fortes Ferreira. São Paulo: Santos; 2004.

Crawford R J. Polymer Testing 1982;3:37-54.

Crawford RJ, Stephens O. Polymer Testing 1985;5:113-36.

Crews KM, Duncan D, Lentz D, Gordy FM, Tolbert B. Miss Dent Assoc J 1997;53:20-1.

Cunha LG, Sinhoreti MAC, Consani S, Correr sobrinho L. Effect of different photoactivation methods on the polymerization depth of a light-activated composite. Oper Dent 2003;28:155-9.

Damé JLD, Santos MFGLS, Lund RG, Osinaga PWR, Demarco FF. Microdureza de resinas compostas: influência de resina e do polimento superficial. Rev Pós Grad 2005;12:15-20.

Dewald JP, Ferracane JL. A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. J Dent Res 1987;66:727-30.

Donassollo TA, Leivas LL, Osinaga PWR, Demarco FF. Microdureza do amálgama: influência da liga e do tratamento superficial. Rev Pós Grad 2003;10:204-10.

Estrela C. Metodologia científica: ciência, ensino, pesquisa. 2^aed. São Paulo: Artes Médicas; 2005.

Featherstone JBD, Ten Cate JM, Shariati M, Arends J. Comparison of artificial caries-like lesions by quantitative microradiography and microhardness profiles. Caries Res 1983;17:385-91.

Fuentes V, Toledano M, Osório R, Carvalho R. Microhardness of superficial and deep sound human dentin. J Biomed Mater Res 2003;66:850-3.

Giannakopoulos AE, Suresh S. Determination of elastoplastic properties by instrumented sharp indentation. *Scr Mater* 1999;40:1191-98.

Hansen EK, Asmussen E. Correlation between depth of cure and surface hardness of a light-activated resin. *Scand J Dent Res* 1993;101:62-4.

Hegdahl T, Hagebö T. The load dependence in micro indentation hardness testing of enamel and dentin. *Scand J Dent Res* 1972;80:449-52.

Herkströter FM, Witjes M, Ruben J, Arends J. Time dependency of microhardness indentations in human and bovine dentine compared with human enamel. *Caries Res* 1989;23:342-4.

Hodge HC. Hardness testes on teeth. *J Dent Res* 1936;15: 271-9.

International Organization for Standardization ISO 6507-1:1997- Metallic materials-Vickers hardness test-Part 1: Test method.

International Organization for Standardization ISO 6507-2:1997- Metallic materials-Vickers hardness test-Part 2: Test method.

International Organization for Standardization ISO 6507-3:1997- Metallic materials-Vickers hardness test-Part 3: Test method.

Johansson BI, Mjör IA. Marginal degradation and corrosion of a dispersed high-copper amalgam. *Scand J Dent Res* 1988;96:75.

Lawn BR, Marshall DB. Hardness, toughness and brittleness: An indentation analysis *J Am Cer Soc* 1979;62:347-50.

Kanca III J. Visible light-activated composite resins for posterior use: a comparison of surface hardness and uniformity of cure. *Update. Quintessence Int* 1985;16:687-90.

Keller U, Hibst R. Effects of Er:YAG laser in caries treatment. A clinical pilot study. *Laser Surg Med* 1997;20:32-8.

Kielbassa AM, Beetz I, Schendera A, Hekkwig E. Irradiation effects on microhardness of fluoridated and non-fluoridated bovine dentin. *Eur J Oral Sci* 1997;105:444-7.

Kim K, Ong JL, Okuno O. The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. *J Prosthet Dent* 2002;87:642-9.

Knobloch LA, Kerby RE, Clelland N, Lee J. Hardness and degree of conversion of posterior packable composites. *Oper Dent* 2004;29:642-9.

Knoop F, Peters CG, Emerson WB. A sensitive pyramidal-diamond tool for indentation measurements. *J Reserch Nat Bur Standards* 1939;23:39.

Kurachi C, Tuboy AM, Magalhães DV, Bagnato VS. Hardness evaluation of a dental composite polymerized with experimental LED-based devices. *Dent Mat* 2001;17:309-15.

Lach R, Gyurova LA, Grellmann W. Application of indentation fracture mechanics approach for determination of fracture toughness of brittle polymer systems. *Polymer Testing* 2007;26:51–9.

Leonard DL, Charlton DG, Roberts HR, Hilton TJ, Zionie A. Determination of the minimum irradiance required for adequate polymerization of a hybrid and a microfill composite. *Oper Dent* 2001;26:176-80.

Leonard DL, Charlton DG, Roberts HW, Cohen ME. Polymerization Efficiency of LED Curing Lights. *J Esthet and Rest Dent* 2002;14:286-95.

Lewinstein I, Fuhrer N, Churaru N, Cardash H. Effect of different peroxide bleaching regimens and subsequent fluoridation on the hardness of human enamel and dentin. *J Prosthet Dent* 2004;9:337-42.

Li Y, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK, Roberts TA. Effect of filler content and size on properties of composites. *J Dent Res* 1985;64:1396-1401.

Lopes GC, Bonissoni L, Baratieri LN, Vieira LC, Monteiro S Jr. Effect of bleaching agents on the hardness and morphology of enamel. *J Esthet Restor Dent* 2002;14:24-30.

Lopez J. Microhardness Testing of Plastics: Literature Review Polymer Testing 1993;12:437-58.

Lysaght VE, DeBellis A. Microhardness testing. In: Wilkes B, editor. Hardness testing handbook. New York: American Chain and Cable Co;1969.

Manga RK, Charlton DG, Wakefield CW. In vitro evaluation of a curing radiometer as a predictor of polymerization depth. Gen Dent 1995;43:241-3.

Mahoney E, Holt A, Swain M, Kilpatrick N. The hardness and modulus of elasticity of primary molar teeth: an ultra-microindentation study. J Dent 2000;28:589-94.

Marotti J, Vieira GF, Pereira CAB. Relação entre a dureza e o manchamento das resinas compostas. RPG Rev Pos Grad 2006;13:168-74.

McCabe JF, Walls AWG. Applied dental materials. 8^a ed. Oxford: Blackwell science; 1998.

Meurman JH, Torkko H, Hirvonen J, Koskinen J, Rytömaa I. Application of a new mechanical properties microprobe to study hardness of eroded bovine enamel in vitro. Scand J Dent Res 1990;95:568-70.

Morrow LA, Wilson NHF, Watts DC, Silikas N. The nature of the remaining dentin surface following application of Carisolv solution. Am J Dent 2005;4:296-300.

Panighi M, G'Sell C. Effect of the tooth microstructure on the shear bond strength of a dental composite. J Biomed Mat Res 1993;27:975-81.

Pashley D, Okabe A, Parham P. The relationship between dentin microhardness and tubule density. Endod Dent Traumatol 1985;1:176-9.

Paturakos A, Möberg LE. Corrosion behavior and microhardness of three amalgams. Scand J Dent Res 1988;96:376.

Perdigao J, Ericksson S, Rosa BT, Lopes M, Gomes G. Effect of calcium removal on dentin bond strengths. Quintessence Int 2001;32:142-6.

Pereira MA, Poloniato M, Lima JO, Muench A, Mondelli J, Cardoso PEC. Avaliação da dureza superficial de três resinas compostas em função da fonte polimeizadora e do tempo de armazenagem. *Rev Pos Grad* 2004;11:238-44.

Pereira SK, Porto CLA, Mendes AJD. Avaliação da dureza superficial de uma resina composta híbrida em função da cor, tempo de exposição, intensidade de luz e profundidade do material. *J Bras Clin Estet Odontol* 2000;4:63-7.

Perinka L, Sano H, Hosoda H. Dentin thickness, hardness, and Ca concentration vs bond strength of dentin adhesives. *Dent Mater* 1992;8:229-33.

Pilo R, Cardash HS. Pos-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light-activated resin composites. *Dent Mater* 1992;8:299-304.
Pintaúde G. Análise dos regimes moderado e severo de desgaste abrasivo utilizando ensaios instrumentados de dureza [Tese de Doutorado] São Paulo: Faculdade Politécnica da USP; 2002.

Pinto CF, Oliveira R, Cavalli V, Giannini M. Peroxide bleaching agent effects on enamel surface microhardness, roughness and morphology. *Pesq Odon Bras.* 2004;18:306-11.

Phillips RW. Propriedades físicas dos materiais dentários. Cor. Propriedades térmicas. Considerações biológicas. In: Skinner Materiais Dentários. Trad. Dioracy Fonterrada Vieira. 8^a ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1994.

Pober R, Reporting microhardness data in Scientific publications. *J Dent Res* 1998;77:1766.

Poskus LT, Plácido E, Cardoso PEC. Influence of placement techniques on Vickers and Knoop hardness of class II composite resin restorations *Dent Mater* 2004;20:726-32.

Powers JM, Sakaguchi RL. *Craig's Restorative Dental Materials*. 12^a ed. St Louis Missouri: Mosby Elsevier; 2006.

Price RBT, Ehrnford L, Andreou P, Felix CA. Comparison of quartz-tungsten-halogen, light emitting diode, and plasma arc curing lights. *J Adhes Dent* 2003;5:193-207.

Rode KM. Estudo da microdureza e profundidade de polimerização de resina composta com uso do laser de Argônio [Dissertação de Mestrado]. São Paulo:

Faculdade de Odontologia da USP; 2002.

Rode KM, LLoret PR, Turbino ML. Study of microhardness in depth of composite resin polymerized with argon laser and halogen light. *RPG Rev Pos Grad* 2005;12:287-92.

Ruse ND, Smith DC, Torneck CD, Titley KC. Preliminary surface analysis of etched, bleached and normal bovine enamel *J Dent Res* 1990;69:1610-3.

Ryge G, Foley DE, Fairhurst CW. Micro-indentation hardness. *J Dent Res* 1961;40:1116-26.

Santos LA, Turbino ML, Youssef MN, Matson E. Microdureza de resina composta: efeito de aparelhos e tempos de polimerização em diferentes profundidades. *Pesq Odontol Bras* 2000;14: 65-70.

Say EC, Civelek A, Nobecourt A, Ersoy M, Guleryuz C. Wear end microhardness of different resin composite materials. *Oper Dent* 2003;28:628-34.

Silva AB, Centola ALB, Turbino ML, Froner IC, Nascimento T. Microdureza de amálgama: efeito da brunidura pré e pós-escultura. *Rev Odontol Univ São Paulo* 1994;8:193-7.

Smith R, Sandland G. Some notes on the use of a diamond pyramid for hardness testing *J Iron Stell Inst* 1925;111:285.

Soh MS, Yap AUJ, Siow KS. Comparative depths of cure among various curing light types and methods. *Oper Dent* 2004;29: 9-15.

Souza SA. *Ensaio mecânicos de materiais metálicos. Fundamentos teóricos e práticos*, 5th ed. São Paulo: Edgard Blücher ;1982.

Suwanprateeb J. A Comparison of Different Methods in Determining Load-and Time-Dependence of Vickers Hardness in Polymers. *Polymer Testing* 1998;17: 495–506.

Tanaka KT, Turbino ML, Soprano V, Belan LC. Influência da energia de fotoativação na microdureza Vickers de uma resina composta. *Rev Inst Ciênc Saúde* 2006;24:15-9.

Thitinanthapan W, Satamanont P, Vongsavan N. In vitro penetration of the pulp chamber by three brands of carbamide peroxide. *J Esthet Dent* 1999;11:259-64.

Turbino ML, Vinha D, Centola ALB, Campos GM. Photopolymerized resins: surface hardness variation in relation to time of polymerization and setting. *Braz. Dent J* 1992;3:87-94.

Turbino ML. Contribuição ao estudo da microdureza Knoop de resinas compostas na região próxima à área de união à dentina [Tese de Doutorado]: São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 1997.

Turbino ML. Profundidade de Polimerização de Resina Composta Ativada com Laser de Argônio [Tese de Livre-Docência]: São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2004.

Umbehaun RF. Avaliação do grau de polimerização de materiais restauradores estéticos, na superfície voltada ou oposta à fonte de luz, por meio de testes de microdureza, com diferentes espessuras [Dissertação de Mestrado]: São Paulo: Faculdade de Odontologia da USP; 2001.

Uhl A, Michaelis C, Mills RW, Jandt KD. The influence of storage and indenter load on the Knoop hardness of dental composites polymerized with LED and halogen technologies. *Dent Mater* 2004;20:21-8.

Vander Voort, GF. Factors that Affect the Precision of Mechanical Tests. ASTM STP 1025, ed. R. Papirno and H. C. Weiss, USA, 1989.

Vinha D, Coelho MT, Campos GM. Eficácia de alguns aparelhos geradores de luz visível na polimerização de resinas compostas. *Rev Bras Odont* 1990;47:10-4

Xu HHK, Smith DT, Jahanmir S, Romberg JR, Kelly VP. Indentation damage and mechanical properties of human enamel and dentin. *J Dent Res* 1998;77:472-80.

Waters NE. Some mechanical physical properties of teeth. In: Vincent JFV, Currey JD, editors. *The mechanical properties of biological materials*, Cambridge: Cambridge University Press, 1980. p. 99–134.

Watts DC, Amer O, Combe EC. Characteristics of visible-light-activated composite systems. *Br Dent J* 1984;156:209.

Westerman GH, Ellis RW, Latta MA, Powell GL. An in vitro study of enamel surface microhardness following argon laser irradiation and acidulated phosphate fluoride treatment. *Pediat Dent* 2003;25:497-500.

Yap AUJ, Seneviratne O. Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. *Oper Dent* 2001;26:460-6.

Yoldas O, Akova T, Uysal H. Influence of different indentation load and dwell time on Knoop microhardness tests for composite materials. *Polymer Testing* 2004;23:343-6.

Zamfirova G, Dimitrova A. Some methodological contributions to the Vickers microhardness technique. *Polymer Testing* 2000;19:533-42.

Zero DT. Etiology of dental erosion-extrinsic factors. *Eur J Oral Sci* 1996;104:162-77.

APÊNDICE A – Valores de microdureza Vickers e Knoop de amálgama com carga de 25gf

Amálgama											
Carga de 25gf											
Vickers						Knoop					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5s	181	158	213	238	200	5s	179	177	156	201	238
	138	205	222	181	213		167	121	182	172	192
	241	211	192	216	225		181	179	189	172	192
	171	160	202	168	189		192	198	213	191	196
	285	160	168	238	202		214	193	210	186	193
15s	139	126	164	145	140	15s	205	261	145	183	151
	114	100	120	122	157		190	213	289	292	245
	140	168	157	153	154		259	211	235	190	197
	139	126	148	121	139		189	235	230	175	190
	170	130	190	135	151		233	187	178	231	201
30s	162	160	150	145	156	30s	196	136	130	110	180
	72,3	76,1	121	133	99,8		231	199	248	292	245
	157	138	121	214	181		228	211	177	217	207
	126	123	156	151	140		196	205	217	174	188
	115	126	120	136	128		197	256	215	140	146
45s	211	205	168	121	153	45s	145	182	168	130	142
	80,9	85,1	123	105	139		199	240	190	182	195
	153	133	115	130	127		132	140	177	279	175
	107	122	126	104	105		187	228	145	224	172
	109	148	122	143	121		129	139	187	189	194
60s	120	110	138	83	103	60s	209	224	171	173	177
	140	114	112	116	119		264	179	182	185	191
	162	168	130	120	141		187	256	162	159	228
	107	112	87	101	106		282	192	201	153	191
	112	115	134	101	98		185	191	151	215	190

APÊNDICE B – Valores de microdureza Vickers e Knoop de amálgama com carga de 50gf

Amálgama											
Carga de 50gf											
Vickers						Knoop					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5s	196	237	207	217	226	5s	319	252	234	281	230
	186	194	198	239	213		211	257	217	263	218
	160	169	194	181	196		253	259	301	284	252
	157	184	209	193	201		258	283	219	287	258
	242	223	173	182	191		267	272	259	264	251
15s	324	198	228	180	189	15s	311	232	271	245	270
	306	257	281	221	232		274	227	283	224	261
	189	289	239	242	306		242	236	281	258	301
	224	219	210	189	150		224	228	263	246	228
	201	247	165	173	182		233	234	243	225	263
30s	267	320	252	180	189	30s	216	199	189	210	280
	224	189	203	196	201		235	225	218	273	255
	194	254	249	219	205		203	209	210	280	285
	182	150	158	192	192		201	179	189	208	228
	153	154	127	165	152		219	194	245	233	226
45s	169	186	178	230	210	45s	211	215	198	195	228
	194	210	270	221	176		261	200	245	210	208
	178	165	181	173	180		216	198	248	261	231
	174	181	170	169	161		202	212	1889	198	214
	140	170	186	178	169		223	246	230	291	210
60s	215	173	198	130	156	60s	200	198	211	217	223
	166	167	181	184	187		191	167	198	208	213
	217	213	176	170	198		189	278	227	229	210
	182	169	184	190	174		198	184	215	209	199
	283	179	228	203	198		199	212	199	212	203

APÊNDICE C – Valores de microdureza Vickers e Knoop de amálgama com carga de 100gf

Amálgama											
Carga de 100gf											
Vickers						Knoop					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5s	285	150	173	153	162	5s	188	207	234	180	205
	202	185	197	209	200		184	237	188	202	217
	184	185	196	200	194		290	267	222	266	289
	138	142	145	160	170		186	207	189	199	201
	160	208	185	167	197		222	209	217	220	213
15s	172	180	112	104	133	15s	176	186	197	201	212
	237	213	222	165	235		261	267	253	251	248
	184	222	182	208	199		203	234	201	233	234
	177	166	191	173	200		187	198	201	177	192
	172	158	195	216	202		192	196	212	199	207
30s	124	176	219	168	134	30s	222	188	221	197	211
	206	169	187	183	192		202	197	183	201	199
	199	191	196	174	176		260	238	217	168	176
	153	185	216	190	174		201	197	185	212	198
	184	205	194	178	169		192	166	194	180	188
45s	116	182	143	112	108	45s	218	253	228	219	202
	184	283	192	178	145		222	202	207	201	199
	168	195	184	172	185		202	184	201	195	201
	196	197	164	153	179		204	217	228	194	199
	168	187	177	145	163		176	188	170	184	183
60s	120	136	109	112	174	60s	183	177	165	191	181
	179	174	158	180	185		154	202	197	181	195
	201	150	202	200	190		216	176	188	199	202
	216	190	172	169	181		186	180	171	199	201
	164	128	136	162	159		217	202	219	212	210

APÊNDICE D - Análise estatística

Amálgama

Dureza Vickers

Carga de 25 gramas Entre tempos

H = 14.0086

Graus de liberdade = 4

(p) Kruskal-Wallis = 0.0073

R 1 (posto médio) = 23.0000

R 2 (posto médio) = 13.6000

R 3 (posto médio) = 11.8000

R 4 (posto médio) = 10.0000

R 5 (posto médio) = 6.6000

Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor

Grupos (1 e 2) = 9.4000 0.0434

Grupos (1 e 3) = 11.2000 0.0161

Grupos (1 e 4) = 13.0000 0.0052

Grupos (1 e 5) = 16.4000 0.0004

Grupos (2 e 3) = 1.8000 0.6990

Grupos (2 e 4) = 3.6000 0.4393

Grupos (2 e 5) = 7.0000 0.1326

Grupos (3 e 4) = 1.8000 0.6990

Grupos (3 e 5) = 5.2000 0.2639

Grupos (4 e 5) = 3.4000 0.4651

Dureza Knoop

H = 7.2333

Graus de liberdade = 4

(p) Kruskal-Wallis = 0.1241

Carga de 50 gramas entre tempos

Dureza Vickers

H = 6.1809
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.1860

Dureza Knoop

H = 15.6633
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0035
 R 1 (posto médio) = 20.2000
 R 2 (posto médio) = 19.4000
 R 3 (posto médio) = 10.3000
 R 4 (posto médio) = 9.8000
 R 5 (posto médio) = 5.3000

Comparações Student-Newman-Keuls	Dif. Postos	p-valor
Grupos (36 e 37) =	0.8000	0.8635
Grupos (36 e 38) =	9.9000	0.0334
Grupos (36 e 39) =	10.4000	0.0255
Grupos (36 e 40) =	14.9000	0.0014
Grupos (37 e 38) =	9.1000	0.0506
Grupos (37 e 39) =	9.6000	0.0392
Grupos (37 e 40) =	14.1000	0.0025
Grupos (38 e 39) =	0.5000	0.9145
Grupos (38 e 40) =	5.0000	0.2827
Grupos (39 e 40) =	4.5000	0.3337

Carga de 100 gramas entre tempos**Dureza Vickers**

H = 3.5552
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.4695

Dureza Knoop

H = 4.4454
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.3491

Entre cargas – Vickers - Amálgama**5s**

H = 2.3492
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.3089

15s

H = 9.2600
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0098
 R 1 (posto médio) = 3.6000

R 2 (posto médio) = 12.2000
 R 3 (posto médio) = 8.2000
 Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor
 Grupos (2 e 7) = 8.6000 0.0024
 Grupos (2 e 12) = 4.6000 0.1039
 Grupos (7 e 12) = 4.0000 0.1573

30s

H = 8.0600
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0178
 R 1 (posto médio) = 3.4000
 R 2 (posto médio) = 10.8000
 R 3 (posto médio) = 9.8000
 Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor
 Grupos (3 e 8) = 7.4000 0.0089
 Grupos (3 e 13) = 6.4000 0.0237
 Grupos (8 e 13) = 1.0000 0.7237

45s

H = 6.7400
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0344
 R 1 (posto médio) = 3.8000
 R 2 (posto médio) = 10.6000
 R 3 (posto médio) = 9.6000
 Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor
 Grupos (4 e 9) = 6.8000 0.0162
 Grupos (4 e 14) = 5.8000 0.0403
 Grupos (9 e 14) = 1.0000 0.7237

60s

H = 9.3600
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0093
 R 1 (posto médio) = 3.2000
 R 2 (posto médio) = 11.6000
 R 3 (posto médio) = 9.2000
 Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor
 Grupos (5 e 10) = 8.4000 0.0030
 Grupos (5 e 15) = 6.0000 0.0339
 Grupos (10 e 15) = 2.4000 0.3961

Entre cargas- Knoop- Amálgama**5s**

H = 9.7400
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0077
 R 1 (posto médio) = 3.4000
 R 2 (posto médio) = 12.2000
 R 3 (posto médio) = 8.4000
 Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor
 Grupos (31 e 36) = 8.8000 0.0019
 Grupos (31 e 41) = 5.0000 0.0771
 Grupos (36 e 41) = 3.8000 0.1791

15s

H = 6.0000
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0498
 R 1 (posto médio) = 6.0000
 R 2 (posto médio) = 12.0000
 R 3 (posto médio) = 6.0000

Comparações Student-Newman-Keuls	Dif. Postos	p-valor
Grupos (32 e 37) =	6.0000 0.0339	
Grupos (32 e 42) =	0.0000 1.0000	
Grupos (37 e 42) =	6.0000 0.0339	

30s

H = 6.6600
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0358
 R 1 (posto médio) = 5.6000
 R 2 (posto médio) = 12.2000
 R 3 (posto médio) = 6.2000

Comparações Student-Newman-Keuls	Dif. Postos	p-valor
Grupos (33 e 38) =	6.6000 0.0196	
Grupos (33 e 43) =	0.6000 0.8320	
Grupos (38 e 43) =	6.0000 0.0339	

45s

H = 8.8200
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0122
 R 1 (posto médio) = 3.8000
 R 2 (posto médio) = 12.2000
 R 3 (posto médio) = 8.0000

Comparações Student-Newman-Keuls	Dif. Postos	p-valor
Grupos (34 e 39) =	8.4000 0.0030	
Grupos (34 e 44) =	4.2000 0.1376	
Grupos (39 e 44) =	4.2000 0.1376	

60s

H = 4.1600
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.1249

APÊNDICE E – Valores de microdureza Vickers e Knoop de resina composta com carga de 25gf

Resina composta											
Carga de 25gf											
Vickers						Knoop					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5s	97	134	89	78	85,1	5s	76,1	71,3	87,2	73	79,6
	92	85,8	98	97,9	114		72,2	73	72,6	65,7	79,6
	103	87,3	93,6	98,8	97,9		73	76	75,1	81,1	81,5
	81,6	83	83,7	92	92,8		79,1	70,5	75,5	83,5	79,1
	84,4	86,6	85,8	89	90,3		77,8	70,2	69,4	62,9	71,1
15s	83,0	88,0	86,6	97,9	94,5	15s	96,6	88,3	87,2	74,2	90,0
	95,3	97,9	96,2	97,0	92,8		90,0	103	69,8	76,4	76,4
	97,1	107	92	98,8	96,2		102	95,3	90,0	88,9	88,3
	83,7	89,6	83,0	92,8	88,1		90,5	95,9	90,5	91,1	101
	80,9	78,3	88,8	87,3	85,1		88,9	81,1	83,5	81,2	83,5
30s	96,2	92,0	98,8	96,8	88,8	30s	83,0	84,6	84,0	88,3	95,9
	90,4	97,4	84,4	95,3	92,8		62,3	77,3	71,3	75,5	78,7
	101	101	92	95,3	89,6		85,1	97,8	86,1	84,6	88,9
	94,5	98,8	91,9	92,8	83,7		79,1	91,7	69,8	79,6	74,2
	81,6	85,1	88,0	83,7	78,3		87,7	75,1	73,4	70,2	84,0
45s	88,1	90,4	94,4	68,0	69,1	45s	86,1	82,5	84,0	88,9	93,5
	74,6	95,5	82,9	83,7	80,9		82,0	79,1	61,6	61,3	79,6
	92,0	95,3	88,1	87,3	91,2		81,1	90,5	86,1	87,7	81,1
	83,7	91,2	85,1	89,6	71,2		77,3	78,1	71,3	77,8	84,0
	79,6	70,7	78,3	78,4	78,3		67,5	78,2	83,5	80,1	70,2
60s	101	83,7	88,1	86,5	85,8	60s	76,4	79,1	67,5	80,6	81,5
	90,4	92,0	93,6	85,8	85,8		74,2	71,7	76,0	79,1	68,6
	95,3	94,5	98,8	92,0	95,3		87,2	86,1	88,3	90,5	90,0
	110	91,2	88,1	110	85,8		76,9	74,7	73,4	78,2	76,4
	88,1	97,0	77,7	85,1	82,3		87,2	74,7	75,5	74,2	74,7

APÊNDICE F – Valores de microdureza Vickers e Knoop de resina composta com carga de 50gf

Resina composta											
Carga de 50gf											
Vickers						Knoop					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5s	94	88,9	89,4	84,6	89,1	5s	77,2	82,3	85,9	75,6	71,1
	95,9	91,7	99,7	94	94,1		77,2	80,5	78,3	79,1	77,2
	90	91,8	82,1	85,7	89,2		69,7	70,1	77,2	78,8	84,1
	89,4	86,2	87,2	85,6	87,8		82,3	80,5	75,6	79,1	80,2
	95,2	73,6	85,1	89,4	91,2		89,8	87,8	87,4	84,1	89,7
15s	81,6	84,6	84,1	87,2	84,7	15s	71,1	72,6	74,1	73,2	74,8
	106	102	94	99,2	99		77,2	84,1	78,8	77,2	79,1
	96,5	82,6	84,6	80,2	86,9		77,2	67,9	68,3	70,3	69,2
	85,7	87,8	85,7	86,7	87,1		85,9	84,3	75,6	78,7	77,2
	84,6	88,3	90,5	77	86,1		89,8	85,9	80,5	84,3	85,8
30s	85,1	86,2	86,7	94,6	86,5	30s	67,1	64,1	74,1	68,3	69,1
	99	89,4	99,8	95,2	97,1		77,3	80,5	78,1	79,4	75,6
	75,7	74	80,7	83,1	82,7		62,1	64,7	68,4	61,1	63,8
	82,1	87,2	82,1	83,6	85,7		77,2	78,8	78,4	85,9	84,3
	80,7	83,1	82,1	85,1	87,1		82,3	85,9	82,3	85,9	84,9
45s	88,9	82,1	86,2	92,3	98,4	45s	77,2	69,7	69,7	69,8	71,1
	93,4	99	96,5	94,2	98,1		71,1	72,3	72,9	72,9	70,1
	82,1	78,4	79,7	83,1	82,7		64,5	61	64,5	65,2	65,8
	87,2	88,3	88,9	83,1	88,3		81,3	78,8	79,4	83,4	79,1
	82,6	84,6	81,2	81,3	82,3		89,8	84,1	86,2	85,9	87,9
60s	85,1	83,6	88,9	92,9	85,2	60s	74,1	71,1	72,7	72,1	68,4
	97,1	94	93,4	91,7	92,4		74,2	74,1	73,9	74,4	71,1
	83,6	77,4	78,8	77,4	78,8		62	64,5	65,6	64,3	68,4
	81,2	86,2	79,7	84,3	83,1		72,6	85,9	79,4	71,2	74,3
	82,1	73,2	81,6	82,1	83,3		77,2	82,3	81,8	82,3	84,1

APÊNDICE G – Valores de microdureza Vickers e Knoop de resina composta com carga de 100gf

Resina composta											
Carga de 100gf											
Vickers						Knoop					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5s	83,2	82,2	82,9	98,9	94,6	5s	81,7	72,6	86,8	83,8	80,1
	88,9	95,8	108	87,6	89,3		80,4	69,6	84,2	79,2	81,7
	76,9	85	86,9	87,4	84,3		74,7	81,7	79,8	75,8	78,7
	93,6	91,6	92,1	89,6	88,7		69,6	70,1	69,8	78,1	75,8
	86,5	87,8	85	88,9	87,3		80,4	72,6	79,2	81	70,6
15s	91,6	97,1	82,5	86,5	92,1	15s	80,4	81,7	82,3	78,1	79,7
	88	85	86,9	87,2	94,1		72,6	72,8	74,7	79,1	76,9
	79,5	82,5	82,9	86,9	83,1		69,6	79,2	78,7	78,1	71,6
	95,8	93,2	85,8	89,1	90,1		70,6	75,8	68,7	75,1	70,8
	82,2	71,9	80,5	81,9	83,1		73,6	74,7	75,1	74,8	75,8
30s	90	86,1	78,8	79,5	92	30s	80,4	71,6	73,6	76,1	79,3
	85,4	97,1	87,2	76	80,1		64,2	75,8	76,8	78,1	69,8
	82,5	84,3	85,6	79,5	82,3		73,6	75,7	72,6	77,1	74,2
	82,9	85,8	87,1	89,1	86,9		75,8	75,8	68,6	74,3	74,2
	78,5	85	83,9	82,7	81,9		78,1	79,2	78,6	75,8	73,4
45s	79,2	83,9	81,2	87,3	81	45s	76,9	79,1	75,8	77,1	76,9
	80,8	89,2	85,8	88,8	87,9		68,9	65,8	73,6	71,7	72,6
	82,6	72,9	74,5	79,1	77,3		67,7	70,6	72,6	71,8	69,3
	93,2	90,7	89,8	82,2	89,4		69,6	70,1	71,7	69,8	71,8
	86,9	87,6	88,1	85,8	88,3		66,8	76,9	82,9	62,4	75,8
60s	81,5	84,2	82,9	83,1	81,8	60s	73,6	71,6	74,8	65,8	68,6
	88,8	95,4	81,8	88,4	89,1		74,7	72,6	75,1	69,6	69,9
	90,1	89,7	89,8	91,7	83,4		71,6	79,2	74,6	78,3	72,4
	81,9	83,4	85,6	87,9	90,1		70,3	67,7	71	69,8	73,6
	85,4	87,6	86,2	87,8	80,2		62,4	64,3	66,8	69,6	70,1

APÊNDICE H - Análise estatística

Resina

Carga de 25 gramas- Entre tempos

Dureza Vickers

H = 7.1262

Graus de liberdade = 4

(p) Kruskal-Wallis = 0.1294

Dureza Knoop

H = 9.7755

Graus de liberdade = 4

(p) Kruskal-Wallis = 0.0444

R 1 (posto médio) = 7.2000

R 2 (posto médio) = 20.6000

R 3 (posto médio) = 15.2000

R 4 (posto médio) = 11.9000

R 5 (posto médio) = 10.1000

Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor

Grupos (31 e 32) = 13.4000 0.0040

Grupos (31 e 33) = 8.0000 0.0857

Grupos (31 e 34) = 4.7000 0.3126

Grupos (31 e 35) = 2.9000 0.5333

Grupos (32 e 33) = 5.4000 0.2460

Grupos (32 e 34) = 8.7000 0.0616

Grupos (32 e 35) = 10.5000 0.0241
 Grupos (33 e 34) = 3.3000 0.4784
 Grupos (33 e 35) = 5.1000 0.2732
 Grupos (34 e 35) = 1.8000 0.6990

Carga de 50 gramas entre tempos

Dureza Vickers

H = 3.4929
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.4790

Dureza Knoop

H = 1.9569
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.7437

Carga de 100 gramas entre tempos

Dureza Vickers

H = 4.8812
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.2997

Dureza Knoop

H = 10.2889
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0358
 R 1 (posto médio) = 19.6000
 R 2 (posto médio) = 15.5000
 R 3 (posto médio) = 14.6000
 R 4 (posto médio) = 8.6000
 R 5 (posto médio) = 6.7000
 Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor
 Grupos (41 e 42) = 4.1000 0.3784
 Grupos (41 e 43) = 5.0000 0.2827
 Grupos (41 e 44) = 11.0000 0.0181
 Grupos (41 e 45) = 12.9000 0.0056
 Grupos (42 e 43) = 0.9000 0.8467
 Grupos (42 e 44) = 6.9000 0.1382
 Grupos (42 e 45) = 8.8000 0.0587
 Grupos (43 e 44) = 6.0000 0.1974
 Grupos (43 e 45) = 7.9000 0.0897
 Grupos (44 e 45) = 1.9000 0.6831

Entre cargas- Vickers - Resina

5s

H = 1.2600
 Graus de liberdade = 2

(p) Kruskal-Wallis = 0.5326

15s

H = 1.2600
Graus de liberdade = 2
(p) Kruskal-Wallis = 0.5326

30s

H = 3.2600
Graus de liberdade = 2
(p) Kruskal-Wallis = 0.1959

45s

H = 0.7200
Graus de liberdade = 2
(p) Kruskal-Wallis = 0.6977

60s

H = 5.5400
Graus de liberdade = 2
(p) Kruskal-Wallis = 0.0627

Entre cargas- Knoop- Resina

5s

H = 4.3400
Graus de liberdade = 2
(p) Kruskal-Wallis = 0.1142

15s

H = 8.0600
Graus de liberdade = 2
(p) Kruskal-Wallis = 0.0178
R 1 (posto médio) = 12.6000
R 2 (posto médio) = 6.2000
R 3 (posto médio) = 5.2000
Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor
Grupos (32 e 37) = 6.4000 0.0237
Grupos (32 e 42) = 7.4000 0.0089
Grupos (37 e 42) = 1.0000 0.7237

30s

H = 2.9400
Graus de liberdade = 2
(p) Kruskal-Wallis = 0.2299

45s

H = 3.9800
Graus de liberdade = 2

(p) Kruskal-Wallis = 0.1367

60s

H = 5.8400

Graus de liberdade = 2

(p) Kruskal-Wallis = 0.0539

APÊNDICE I – Valores de microdureza Vickers e Knoop de dentina com carga de 25gf

Dentina											
Carga de 25gf											
Vickers						Knoop					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5s	53,7	52,7	63,1	45,2	53,4	5s	61,6	58,5	68,2	66	64,3
	64	61,8	60,9	46,9	59,6		66,8	65,3	65,3	69	68,2
	70,1	68	63,1	64,5	72,9		75,1	60,1	60,3	56,8	66,4
	78,3	72,9	72,3	78,9	83		68,2	71,3	67,9	66,8	75,5
	62,7	77,1	60,9	66,5	62,2		58,8	69,8	64	69	61,6
15s	69,6	54	50,3	54	60,4	15s	58,5	54,6	65,3	61	62
	75,8	69,6	71	78,3	75,3		53	42,7	50,1	50,2	56,5
	57,5	61,4	58,8	64,1	63,2		71,3	82	71,7	70,2	72,2
	60,4	62,7	66,5	70,1	68,1		70,2	65	62,9	70,9	56,2
	68	68,5	67,5	61,8	66		60,1	63,4	63,6	61,3	59,4
30s	60	67	77	59,6	64,5	30s	55,7	49,6	59,1	55,1	56,8
	67,4	69,2	63,4	61,9	71,2		46,1	51,7	46,5	44,7	49,6
	53,4	60,5	61,3	64,1	61,8		70,2	77,8	61,6	62,3	68,6
	71	63,6	68,5	64,5	67,3		58	69,4	64,6	67,1	60,4
	60,9	64,1	60,5	58,8	67		55,9	61,2	78,7	53,5	52,5
45s	64,3	68,9	71,2	66	64,5	45s	57,5	57,4	52,5	54,9	59,2
	62,1	56,4	62,2	55	57,5		45,5	48,4	45	46,3	49,1
	54,9	58,1	54,1	53,4	52		60,7	71,3	62,3	60,7	57,1
	67,5	65,5	60,9	67	66,7		62,9	67,1	64,6	69	65,7
	54,5	66	65	58,3	63,1		60,7	62	50	63,6	64,1
60s	52,3	54,5	68,3	70,1	66	60s	51,3	55,7	53,5	48,7	50,3
	51	65,1	64	64,2	65		50,1	48	54,6	53,5	52,7
	59,6	53,4	48,7	52,1	66		57,7	67,5	54,3	56,8	60,4
	67,6	70,7	64,1	68,5	64,1		69,8	73,8	80,6	69,8	71,3
	64	69,6	72,3	64,1	66,7		64,3	65,1	60,4	73	53,8

APÊNDICE J – Valores de microdureza Vickers e Knoop de dentina com carga de 50gf

Dentina											
Carga de 50gf											
Vickers						Knoop					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5s	51	47,2	53	57,7	49,9	5s	54,7	55,7	52,9	54,6	56,8
	52,1	52,6	50,9	47,9	51		52	52,1	45,5	48,9	51,1
	52,1	54,1	53,1	53,8	59,1		53,4	53,2	48,7	51	53,2
	51,1	42,5	46,6	48,3	42,1		50,2	50,7	47,8	49,1	49,9
	46,6	48,1	46,8	49,7	44,6		54,3	54,5	49,8	46,9	51,1
15s	57,1	59,7	45,2	47,7	52,3	15s	48,6	52,6	46,3	51,7	50,1
	56	54,6	55,2	48,8	58,8		51,1	52	51,9	44,8	46,1
	52,8	53,1	53,6	52,8	53,1		49,7	51,7	52,9	48,8	48,6
	55,7	51,3	53,8	54,1	52,8		52,9	51,3	46,8	49,3	52,3
	46,6	46,2	47,1	45	47		49,6	51,3	46,8	49,3	52,3
30s	44	45,2	46,2	45,1	47,3	30s	47,8	50,2	58,8	46,8	49,1
	53,6	55,2	56	54,2	53,4		49,4	51	49,7	46,3	50,5
	56,8	51,3	51,4	50,3	48,6		51	51,1	49,9	47,4	51,2
	52,8	49,7	47,5	50,7	50,3		48,6	49,4	47,3	49,1	47,9
	47,2	45,6	48,1	45,2	46,1		45,7	50,7	59,1	47,2	49,1
45s	48,1	46,8	44,8	45,6	47,3	45s	46,3	52	51,9	48,8	47,8
	46	47,1	47,9	48,1	46,4		44,1	48,3	49,1	47	46,8
	50,1	51,6	52,6	52,3	51,1		48,3	51,2	48,4	49,7	52,3
	49	45,2	54,3	47,2	48,8		49,4	51	49,9	47,8	47,4
	45,2	43,8	46,4	46,5	42,7		48,3	49,2	50,7	48,7	46,7
60s	45,6	47	46,1	45,7	43,8	60s	50,2	47,8	49,4	51,3	48,9
	51,1	54,9	46,4	48,1	47		45,5	47,8	43,4	48,3	49,4
	52,3	53,1	54,4	53,3	50,9		48,7	51	50,3	51,1	49,8
	49,9	48,8	49,7	50,9	50,5		51,1	51,9	48,8	48,6	50,9
	42,5	46,8	49,9	45,8	47,1		52,1	47,8	48,3	48,9	50,1

APÊNDICE L – Valores de microdureza Vickers e Knoop de dentina com carga de 100gf

Dentina											
Carga de 100gf											
Vickers						Knoop					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5s	48,1	47,3	46,9	47,3	47,4	5s	50,4	46,5	47,1	47	48,1
	53,1	54,1	52,2	53,1	52,7		52,3	52,4	50,4	52,3	52,1
	52,7	49,7	51,8	48,6	51,7		57,7	55,6	56,1	55,8	55,8
	51,5	48,1	48,2	50,7	49,8		57,8	56,3	57,1	54,2	55,6
	46	44,9	46,1	47	44,6		48,7	49,1	47	43,9	41,1
15s	46,7	45,5	46,6	46,4	47,8	15s	48,1	48,7	58,5	44,4	47,2
	53,3	54,1	52,8	57,3	52,8		52,3	51,7	52,4	52,3	51,3
	49,4	49,3	50,8	53,4	51,3		52,4	51	53,6	52,6	51,8
	48,2	49,2	48,7	49,4	48,1		57	57,2	54,2	53,8	56,1
	43,1	49,2	48,2	45,8	48,9		41,6	49,8	45,9	47,7	49,1
30s	48,3	51,3	48,7	43,4	48,1	30s	44,9	44,8	45,1	44,9	46,1
	46,3	47,1	46,8	48,1	40,8		49,8	51	56,3	46,5	49,7
	45,7	43,8	48,1	46,7	50,4		56,3	57,2	53,6	53,8	51
	48,7	52,2	54	49,5	50,2		55,6	54,2	52,3	51,6	52,8
	44,3	42,8	44,2	45,7	45,1		48,1	40,7	43,2	40,2	41,3
45s	43,6	44,1	45,7	48,1	47,7	45s	46,5	44,9	45,9	46,2	47,2
	48,4	45,1	47,6	51,3	44		46,5	48,1	47,3	49,2	51,6
	51,2	46,7	48,1	51,4	52,4		47,1	48,7	47	50,4	50,2
	49,3	49,7	51,2	53,1	49,8		54,2	51,1	53,6	54,1	52,1
	43,9	41,3	46,1	48,1	43		40	41,6	40	44,4	42,1
60s	45,8	46,1	47,3	43,6	47,2	60s	48,1	49,2	43,4	44,1	40,7
	48,4	48,7	51	44,3	47,3		51,6	52,4	50,4	50,9	48,7
	45,6	47,3	50,7	48,2	45,5		46,5	48,7	49,1	50,4	51,1
	49	49,7	48,6	50,1	49,8		51,6	51	52,9	51,8	53,1
	39,6	41,8	46,9	47,8	43,4		42,5	44,1	49,3	43	43,7

APÊNDICE M - Análise estatística

Dentina

Carga de 25 gramas - Entre tempos

Dureza Vickers

H = 1.1034

Graus de liberdade = 4

(p) Kruskal-Wallis = 0.8937

Dureza Knoop

H = 5.9742

Graus de liberdade = 4

(p) Kruskal-Wallis = 0.2011

Carga de 50 gramas entre tempos

Dureza Vickers

H = 4.7114

Graus de liberdade = 4

(p) Kruskal-Wallis = 0.3182

Dureza Knoop

H = 8.1262

Graus de liberdade = 4

(p) Kruskal-Wallis = 0.0871

Carga de 100 gramas entre tempos**Dureza Vickers**

H = 2.8652
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.5806

Dureza Knoop

H = 3.2357
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.5192

Entre cargas- Vickers - Dentina

5s

H = 8.7807
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0124
 R 1 (posto médio) = 12.8000
 R 2 (posto médio) = 6.1000
 R 3 (posto médio) = 5.1000

Comparações Student-Newman-Keuls	Dif. Postos	p-valor
Grupos (1 e 6) =	6.7000	0.0178
Grupos (1 e 11) =	7.7000	0.0065
Grupos (6 e 11) =	1.0000	0.7237

15s

H = 9.7800
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0075
 R 1 (posto médio) = 13.0000
 R 2 (posto médio) = 6.4000
 R 3 (posto médio) = 4.6000

Comparações Student-Newman-Keuls	Dif. Postos	p-valor
Grupos (2 e 7) =	6.6000	0.0196
Grupos (2 e 12) =	8.4000	0.0030
Grupos (7 e 12) =	1.8000	0.5245

30s

H = 9.7800
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0075
 R 1 (posto médio) = 13.0000
 R 2 (posto médio) = 6.4000
 R 3 (posto médio) = 4.6000

Comparações Student-Newman-Keuls	Dif. Postos	p-valor
Grupos (3 e 8) =	6.6000	0.0196
Grupos (3 e 13) =	8.4000	0.0030
Grupos (8 e 13) =	1.8000	0.5245

45s

H = 9.3800
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0092
 R 1 (posto médio) = 13.0000
 R 2 (posto médio) = 5.6000
 R 3 (posto médio) = 5.4000
 Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor
 Grupos (4 e 9) = 7.4000 0.0089
 Grupos (4 e 14) = 7.6000 0.0072
 Grupos (9 e 14) = 0.2000 0.9436

60s

H = 9.9800
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0068
 R 1 (posto médio) = 13.0000
 R 2 (posto médio) = 6.6000
 R 3 (posto médio) = 4.4000
 Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor
 Grupos (5 e 10) = 6.4000 0.0237
 Grupos (5 e 15) = 8.6000 0.0024
 Grupos (10 e 15) = 2.2000 0.4367

Entre cargas- Knoop - Dentina**5s**

H = 9.4287
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0090
 R 1 (posto médio) = 13.0000
 R 2 (posto médio) = 5.3000
 R 3 (posto médio) = 5.7000
 Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor
 Grupos (31 e 36) = 7.7000 0.0065
 Grupos (31 e 41) = 7.3000 0.0099
 Grupos (36 e 41) = 0.4000 0.8875

15s

H = 7.0326
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0297
 R 1 (posto médio) = 12.2000
 R 2 (posto médio) = 5.0000
 R 3 (posto médio) = 6.8000
 Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor
 Grupos (32 e 37) = 7.2000 0.0109
 Grupos (32 e 42) = 5.4000 0.0562
 Grupos (37 e 42) = 1.8000 0.5245

30s

H = 4.3800
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.1119

45s

H = 5.1800
Graus de liberdade = 2
(p) Kruskal-Wallis = 0.0750

60s

H = 7.9400
Graus de liberdade = 2
(p) Kruskal-Wallis = 0.0189
R 1 (posto médio) = 12.6000
R 2 (posto médio) = 5.8000
R 3 (posto médio) = 5.6000
Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor
Grupos (35 e 40) = 6.8000 0.0162
Grupos (35 e 45) = 7.0000 0.0133
Grupos (40 e 45) = 0.2000 0.9436

APÊNDICE N – Valores de microdureza Vickers e Knoop de esmalte com carga de 25gf

Esmalte											
Carga de 25gf											
	Vickers						Knoop				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5s	285	260	310	261	219	5s	279	226	228	276	238
	324	294	303	313	268		372	226	248	279	336
	200	208	272	313	269		267	309	238	267	256
	238	221	289	283	276		250	352	273	295	292
	208	280	272	264	262		270	289	287	336	271
15s	280	276	289	222	268	15s	289	349	299	303	233
	392	399	340	378	352		336	306	313	289	279
	281	308	272	235	324		320	292	353	353	328
	293	307	309	326	364		381	376	436	407	448
	216	260	289	245	289		256	386	397	372	358
30s	318	313	280	264	340	30s	270	264	292	288	332
	378	406	392	353	340		270	353	336	306	328
	313	324	346	280	303		285	381	349	295	261
	358	371	357	306	296		397	418	424	376	372
	352	238	232	280	238		261	279	292	381	336
45s	340	329	289	285	268	45s	291	320	289	340	289
	335	385	358	378	447		324	345	324	238	205
	308	340	298	299	306		397	386	391	298	295
	317	298	328	308	307		345	358	397	402	309
	225	280	260	211	352		320	362	345	324	276
60s	260	308	289	299	324	60s	381	292	372	344	376
	358	346	385	352	340		292	345	324	324	349
	242	270	380	276	290		340	313	378	376	397
	281	321	386	373	301		381	397	386	381	279
	303	318	229	272	242		295	309	289	308	313

APÊNDICE O – Valores de microdureza Vickers e Knoop de esmalte com carga de 50gf

Esmalte											
Carga de 50gf											
	Vickers						Knoop				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5s	242	203	204	277	247	5s	278	257	304	281	261
	352	375	370	370	371		217	263	258	248	253
	344	310	317	328	344		269	281	271	279	228
	370	410	375	390	389		306	296	311	299	301
	277	278	303	310	312		317	328	309	301	311
15s	317	235	289	332	310	15s	292	280	276	292	285
	344	361	366	331	370		274	298	311	319	293
	310	366	340	336	328		283	295	300	291	285
	348	340	324	328	370		317	314	267	298	301
	296	332	303	289	301		330	328	342	309	299
30s	328	306	299	289	286	30s	296	287	263	281	279
	357	361	340	370	369		299	314	317	310	298
	306	324	313	352	324		301	289	271	302	297
	361	348	317	353	366		319	301	306	299	300
	306	286	296	284	289		317	354	345	305	311
45s	344	310	317	296	299	45s	267	292	281	294	299
	345	380	375	370	361		293	281	287	298	289
	289	299	284	313	303		273	292	288	293	281
	328	370	375	378	370		301	299	289	302	299
	313	304	289	305	304		314	328	336	330	328
60s	306	296	310	324	306	60s	294	328	296	278	300
	324	370	357	385	375		299	329	304	301	298
	320	313	309	317	306		301	299	313	297	312
	390	386	375	366	370		259	290	276	295	317
	299	304	260	289	313		322	318	274	339	318

APÊNDICE P – Valores de microdureza Vickers e Knoop de esmalte com carga de 100gf

Esmalte											
Carga de 100gf											
	Vickers						Knoop				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
5s	283	299	301	284	275	5s	301	308	304	301	299
	308	335	321	326	374		229	218	227	213	231
	324	338	318	306	331		254	262	270	286	301
	365	385	375	381	346		239	313	287	301	234
	311	320	308	301	305		264	228	299	223	268
15s	289	294	285	268	279	15s	302	311	307	301	297
	355	343	332	331	355		212	222	209	210	230
	316	318	321	324	319		264	295	289	291	281
	321	368	362	346	355		213	297	215	229	278
	276	285	292	301	292		303	189	214	302	285
30s	266	237	264	283	271	30s	292	298	352	301	299
	358	349	350	361	362		234	216	194	202	185
	340	316	318	322	303		266	270	229	259	269
	356	361	362	370	378		237	289	299	260	293
	283	289	311	303	301		216	219	202	271	291
45s	289	268	274	301	287	45s	281	285	308	299	306
	355	361	362	356	332		240	276	306	281	296
	321	324	316	325	281		227	260	235	287	298
	380	378	355	349	375		289	281	241	237	299
	313	321	316	318	319		301	299	302	283	284
60s	289	262	278	237	215	60s	282	299	295	296	291
	321	318	343	326	329		218	284	296	213	298
	308	326	294	311	308		254	270	285	291	290
	335	340	368	370	369		319	188	200	295	305
	285	291	296	281	302		261	301	298	303	299

APÊNDICE Q - Análise estatística

Esmalte

Carga de 25 gramas, entre tempos

Dureza Vickers

H = 7.9803

Graus de liberdade = 4

(p) Kruskal-Wallis = 0.0923

Dureza Knoop

H = 9.9471

Graus de liberdade = 4

(p) Kruskal-Wallis = 0.0413

R 1 (posto médio) = 4.2000

R 2 (posto médio) = 16.0000

R 3 (posto médio) = 13.0000

R 4 (posto médio) = 14.4000

R 5 (posto médio) = 17.4000

Comparações Student-Newman-Keuls Dif. Postos p-valor

Grupos (31 e 32) = 11.8000 0.0112

Grupos (31 e 33) = 8.8000 0.0587

Grupos (31 e 34) = 10.2000 0.0284

Grupos (31 e 35) = 13.2000 0.0046

Grupos (32 e 33) = 3.0000 0.5192

Grupos (32 e 34) = 1.6000 0.7310

Grupos (32 e 35) = 1.4000 0.7636

Grupos (33 e 34) = 1.4000 0.7636

Grupos (33 e 35) = 4.4000 0.3445
 Grupos (34 e 35) = 3.0000 0.5192

Carga de 50 gramas entre tempos

Dureza Vickers

H = 0.3028
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.9896

Dureza Knoop

H = 3.2862
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.5111

Carga de 100 gramas entre tempos

Dureza Vickers

H = 0.7311
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.9474

Dureza Knoop

H = 2.3908
 Graus de liberdade = 4
 (p) Kruskal-Wallis = 0.6643

Entre cargas- Vickers - Esmalte

5s

H = 4.9400
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0846

15s

H = 1.4600
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.4819

30s

H = 0.0200
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.9900

45s

H = 0.8600
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.6505

60s

H = 1.5000
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.4724

Entre cargas- Knoop- Esmalte**5s**

H = 0.6662
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.7167

15s

H = 8.0000
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0183
 R 1 (posto médio) = 12.0000
 R 2 (posto médio) = 8.0000
 R 3 (posto médio) = 4.0000

Comparações Student-Newman-Keuls	Dif. Postos	p-valor
Grupos (32 e 37) =	4.0000	0.1573
Grupos (32 e 42) =	8.0000	0.0047
Grupos (37 e 42) =	4.0000	0.1573

30s

H = 6.9800
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0305
 R 1 (posto médio) = 11.4000
 R 2 (posto médio) = 8.6000
 R 3 (posto médio) = 4.0000

Comparações Student-Newman-Keuls	Dif. Postos	p-valor
Grupos (33 e 38) =	2.8000	0.3222
Grupos (33 e 43) =	7.4000	0.0089
Grupos (38 e 43) =	4.6000	0.1039

45s

H = 6.1400
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0464
 R 1 (posto médio) = 11.6000
 R 2 (posto médio) = 7.8000
 R 3 (posto médio) = 4.6000

Comparações Student-Newman-Keuls	Dif. Postos	p-valor
Grupos (34 e 39) =	3.8000	0.1791
Grupos (34 e 44) =	7.0000	0.0133
Grupos (39 e 44) =	3.2000	0.2579

60s

H = 10.1400
 Graus de liberdade = 2
 (p) Kruskal-Wallis = 0.0063
 R 1 (posto médio) = 12.4000
 R 2 (posto médio) = 8.2000
 R 3 (posto médio) = 3.4000

Comparações Student-Newman-Keuls	Dif. Postos	p-valor
Grupos (35 e 40) =	4.2000	0.1376
Grupos (35 e 45) =	9.0000	0.0015
Grupos (40 e 45) =	4.8000	0.0897