

# Medida Comparativa da Resistência à Fadiga de Ligas de Cobalto-Cromo pelo Método de Ultra-Som

**OSVALDO LUIZ BEZZON**  
Professor assistente da FORP-USP.

**HEITOR PANZERI**  
Professor titular da FORP-USP.

**CARLOS ALBERTO PELA**  
Professor assistente doutor da FFCLRP-USP.

**JOÃO MANUEL DOMINGOS DE ALMEIDA ROLLO**

Professor livre-docente da EESC-USP.

*Aceito para publicação em 05/10/1987.*

## Resumo

Um método, utilizando ultra-som, foi desenvolvido com a finalidade de testar, comparativamente, a resistência à fadiga de ligas de cobalto-cromo, utilizadas na confecção de próteses parciais removíveis.

Amostras de três ligas de cobalto-cromo comerciais (Brasalloy, Steldent e Duracrom), preparadas por fundição em forma de fios, foram acopladas a uma ponta modificada do aparelho de ultra-som Profilat (Dabi-Atlante) para raspagem de tártaro e postas para vibrar em um dos modos transversais de vibração, com amplitude controlada, próximo das condições de ressonância, sendo cronometrado o tempo decorrido até a ruptura dos fios.

O controle da amplitude foi con-

seguido com a utilização de um dispositivo de medida da amplitude de vibração construído com lâmina piezoelétrica, uma vez que, mesmo entre amostras de uma mesma liga, havia uma variação nos comprimentos capazes de estabelecer condições de ressonância, evidenciando a heterogeneidade da estrutura das amostras obtidas.

Os resultados com 25 amostras de cada liga testada mostraram, estatisticamente, um comportamento significativamente melhor para a liga Brasalloy, tendo as outras duas ligas comportamentos comparáveis.

A análise metalográfica revelou características aparentemente superiores na microestrutura da liga Brasalloy, com disposição bem simétrica dos cristais colunares e menor presença de impurezas.



SYSNO	0781462
PROD	000827
ACERVO EESC	

## Introdução e revisão da literatura

Nos aparelhos parciais removíveis corretamente planejados, os grampos de retenção estarão sujeitos a tensões de flexão sempre inferiores ao limite proporcional da liga metálica utilizada na sua confecção. Este fato permite aos grampos sempre retornarem à sua forma original, mantendo o seu relacionamento com o dente suporte. Embora aparentemente não haja qualquer alteração na estrutura do metal, tem sido observado que, em casos de flexões sucessivas, essas tensões, mesmo inferiores ao limite proporcional, podem reduzir drasticamente a resistência do metal, provocando a sua fratura através do fenômeno denominado fadiga (6, 7, 13, 16).

A fadiga pode ser definida como uma diminuição na resistência limite de um metal, que pode ocorrer após carregamento cíclico ou repetido e o metal pode fraturar-se com forças menores que a sua resistência original (5).

Se levarmos em consideração que, em condições de uso, os grampos de retenção dos aparelhos parciais removíveis estão sujeitos a mais de 300.000 flexões por ano (13), podemos concluir que a resistência à fadiga é uma propriedade importante das ligas metálicas utilizadas na confecção desses aparelhos.

Em um trabalho onde examinou as superfícies fraturadas de 14 casos coletados, Bates (3) observou que três deles sugeriram uma fratura por fadiga.

Esse mesmo autor (4), analisando próteses parciais removíveis, observou que em grampos de retenção a tensão está muito próxima do limite de fadiga.

De um modo geral, os trabalhos de fadiga são realizados através de ensaios em máquinas rotativas, quase sempre construídas a partir do modelo proposto por Peyton (12) em 1934.

Os resultados desses ensaios são representados em gráficos que relacionam uma

determinada carga (5) com o número de ciclos (N) para ocorrer a fratura do metal.

Através desse método é possível determinar o limite de fadiga da liga metálica (2, 6). Esse limite pode ser definido como a tensão máxima onde não mais ocorrem fraturas, mesmo sendo o material submetido a um grande número de ciclos ( $10^7$  ou  $10^8$  ciclos).

Como uma característica comum, os ensaios de fadiga que utilizam máquinas rotativas, em função da baixa frequência de rotação dessas máquinas (800 a 1.000rpm), tendem a ser extremamente demorados, devido à necessidade de se atingir esse grande número de ciclos de flexão.

Por isso, ensaios de fadiga em frequência ultra-sônica (acima de 20.000Hz) têm sido propostos com a finalidade de se encurtar o tempo de ensaio (5, 11).

Neste trabalho, foi feita uma medida comparativa da resistência à fadiga de três ligas de cobalto-cromo comerciais, utilizando ciclos de flexão em frequência ultra-sônica (em torno de 25.000Hz).

Os corpos de prova foram submetidos a uma tensão de flexão padronizada, e os resultados, portanto, não foram expressos em forma de curva  $S \times N$ , mas em histogramas que relacionaram a quantidade de corpos de prova com os tempos decorridos até suas fraturas.

## Materiais

Os testes foram realizados em três ligas de cobalto-cromo, cujas especificações constam na Tabela.

## Equipamentos

Como fonte de ultra-som foi utilizado um aparelho para raspagem de tártaro denominado Profilat (Dabi-Atlante), cuja ponta ativa foi substituída pela do aparelho Cavitron (Dentsplay), que se mostrou

Tabela

Marca	Fabricante	Procedência
Brasalloy	Dentária Napoleão Santos Ltda.	Rio de Janeiro
Duracrom	M. S.	São Paulo
Steldent	Eriez P.M.M. Ltda.	São Paulo

mais efetiva em intensidade de vibração para o propósito deste trabalho.

Para permitir o acoplamento dos corpos de prova, fundidos em forma de fios, o extremo ativo desta ponta foi cerrado e, na porção remanescente, foi soldada uma luva contendo uma perfuração perpendicular ao longo do eixo da ponta ativa. No extremo dessa luva foi colocado um parafuso com a finalidade de prender os corpos de prova introduzidos na perfuração (Fig. 1).

Para a padronização da tensão de flexão dos corpos de prova, foi utilizado o dispositivo representado na Fig. 2. Este dispositivo, quando conectado a um osciloscópio, permite quantificar a intensidade de vibração alcançada pelo corpo de prova. O seu funcionamento pode ser assim explicado: quando um corpo é colocado para vibrar em contato com o meio viscoso acondicionado no recipiente plástico (óleo de rícino), as ondulações produzidas nesse meio percorrem o dispositivo e são captadas pela lâmina piezoelétrica. A conexão dessa lâmina com um osciloscópio produz um sinal que será proporcional à amplitude de vibração do corpo.

Para a medida da intensidade de vibração, foi também necessário padronizar o comprimento do corpo de prova a ser introduzido no meio viscoso (5mm). Para tanto, a ponta ativa da fonte de ultra-som foi mantida em um suporte graduado que permitiu tal padronização (Fig. 1).

## Método

Para cada uma das ligas testadas foram obtidos 25 corpos de prova fundidos em forma de fios, da seguinte maneira: em

uma base conformadora de cadinho foram posicionados equidistantemente cinco fios de aço inoxidável com 0,9mm de diâmetro e 18mm de comprimento. Em seguida, um anel de borracha foi encaixado na base conformadora e os fios de aço foram incluídos em revestimento Hi-temp (Whip Mix). Após a presa final do revestimento, o molde foi removido do anel e, com o uso de um alicate, os fios de aço foram removidos do interior do molde. Após o fechamento dos orifícios com cera, os moldes foram fundidos da maneira convencional para ligas de cobalto-cromo, em uma chama de gás e oxigênio. O ciclo de aquecimento do revestimento seguiu as orientações do fabricante.

Após a fundição, os fios foram removidos do revestimento, cortados da sobra da liga, limpos com escova de aço e ajustados para um comprimento inicial de 17mm.

Uma vez preparados, esses corpos de prova foram acoplados, por uma extremidade, à fonte de ultra-som para a realização dos ensaios.

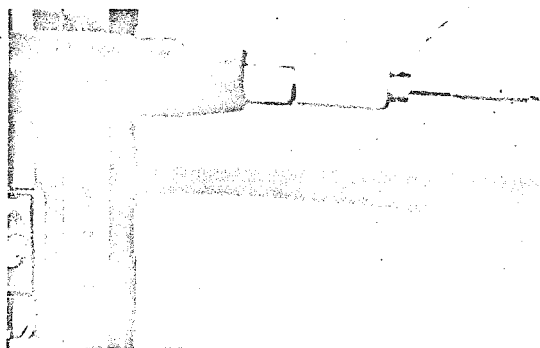


Figura 1 — Ponta ativa do aparelho de ultra-som, modificada para receber os corpos de prova e posicionada num suporte graduado para a medida da amplitude de vibração.

Quando a fonte de ultra-som era acionada, a vibração do fio, que podia ser detectada pela turbulência produzida quando da introdução da extremidade livre do fio em um recipiente com água, mostrou-se variável em função do seu comprimento, pelo aparecimento de condições de ressonância (14, 17).

Entretanto, foi observada uma variação no comprimento dos fios capazes de estabelecer essa condição de ressonância, de tal maneira que fios de mesmo comprimento podiam exibir diferentes intensidades de vibração. Esse fato pode ser atribuído a uma heterogeneidade da estrutura interna das fundições de cobalto-cromo, que produzem diferentes velocidades de propagação de ondas.

Portanto, se fossem padronizados os comprimentos dos corpos de prova, eles poderiam estar sendo submetidos a diferentes esforços de flexão, o que invalidaria qualquer tentativa de comparação.

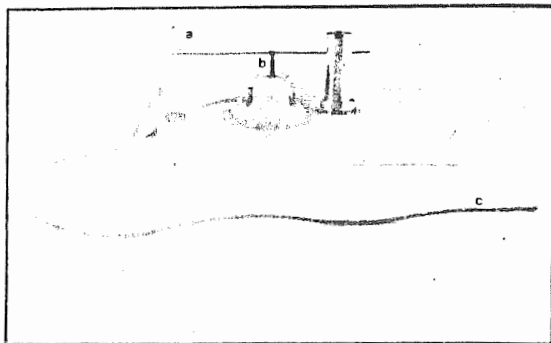
Desse modo, foi necessário a utilização do dispositivo de medidas da amplitude de vibração para que os fios, mesmo de comprimentos diferentes, pudessem ser submetidos à mesma amplitude de vibração, relacionada com as tensões aplicadas.

Assim sendo, cada corpo de prova teve seu comprimento progressivamente ajustado, até que fosse alcançada a amplitude de vibração convencional (em unidades arbitrárias). Em seguida, a fonte de ultra-som foi acionada, sendo cronometrado o tempo decorrido até a fratura dos corpos de prova, caracterizada pela cessação da turbulência produzida. Nessa situação, apesar dos fios permanecerem inteiros, uma leve flexão revelava a fratura que havia ocorrido.

Um fato importante a ser comentado é que a amplitude de vibração que foi adotada, embora muito inferior à máxima amplitude que podia ser obtida pela redução do comprimento dos fios, relaciona-se com níveis de tensão de flexão maiores

que o limite de fadiga, provocando uma fratura relativamente rápida dos corpos de prova.

Deve ainda ser observado que o ciclo de flexão produzido pela fonte de ultra-som é do tipo de flexão reversa, situação que não ocorre na boca. Entretanto, para propósitos de medidas comparativas, tal ciclo de tensão pode ser utilizado.



**Figura 2** — Dispositivo para a quantificação da amplitude de vibração alcançada pelo fio. a. recipiente plástico para acondicionamento do óleo de rícino; b. lâmina piezoelétrica; c. cabo para conexão com osciloscópio.

## Resultados

Os resultados obtidos estão representados (Fig. 3) em histogramas que relacionam a quantidade de corpos de prova com os tempos decorridos até suas fraturas.

Devido à distribuição assimétrica dos dados amostrais, foi utilizado um método estatístico não paramétrico para a análise dos resultados. O método utilizado foi o de Wilcoxon para mais de duas amostras (9).

Para a aplicação deste método, calcula-se a somatória dos pontos dos tempos obtidos com cada corpo de prova e analisa-se a diferença entre esses valores (ver quadro).

O resultado da análise estatística revela, portanto, que a liga Brasalloy apresentou resultados superiores às demais.

Procura-se odontologistas com  
coragem para experimentar o  
"choque do sabor" de...

# parodontax<sup>®</sup>

pasta dentífrica medicinal

- Agradável sabor salino refrescante
- Princípios vegetais ativos com eficácia de medicamento
- Proteção natural para os dentes e gengivas



Os princípios ativos de PARODONTAX agem regulando a circulação capilar na mucosa e nos bordos gengivais, auxiliando o cirurgião-dentista na prevenção e tratamento das periodontopatias.

• **RATÂNIA** - ação anti-séptica promovendo a limpeza dos dentes e das gengivas.

• **MIÉRA** - ação adstringente removendo as impurezas do trato bucal.

• **CAMOMILA** - ação antiinflamatória nos processos periodontais.

• **EQUINÁCEA** - age estimulando as defesas orgânicas e a regeneração tissular, fortalecendo os bordos gengivais e prevenindo as infecções bucais.

• **SÁLVIA E MENTA** - agem proporcionando uma ação desodorizante e refrescante, evidenciando o sabor salino medicamentoso de PARODONTAX.



BYK QUÍMICA E FARMACÉUTICA LTDA.  
C.P. 9322 - CEP 01000 - São Paulo - SP

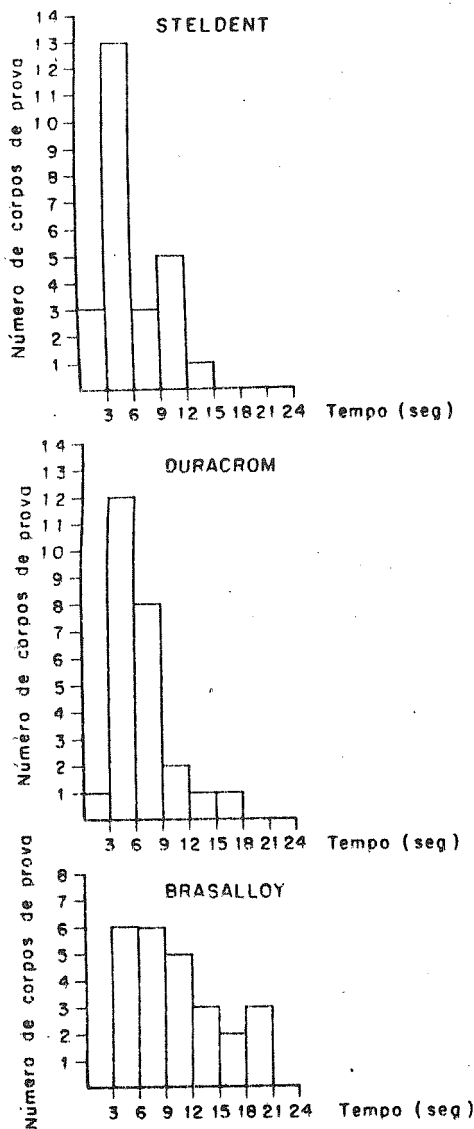


Figura 3 — Histogramas correspondentes aos tempos de fratura das amostras para cada uma das ligas ensaiadas.

## Discussão

De um modo geral, as fraturas em um corpo tendem a ocorrer em locais onde há maior concentração de tensões (2).

Devido à ausência de constrictão nos corpos de prova utilizados neste trabalho, diferentemente do que ocorre na maioria dos trabalhos de fadiga, sítios de concentração de tensões não foram intencionalmente provocados. Em função disso, procurou-se analisar o local onde essas fraturas ocorreram: essa análise revelou uma variação muito grande dos sítios de fratura, sugerindo a presença de fases mais frágeis na estrutura do material, dispostas ao acaso.

Vários autores (1, 8, 10, 15) destacaram a importância da presença de inclusões na microestrutura das ligas de cobalto-cromo, em relação às suas propriedades físicas.

A análise metalográfica que foi realizada (Figs. 4, 5 e 6) evidenciou um aspecto aparentemente superior para a liga Brasalloy, no que diz respeito a uma distribuição bem simétrica dos cristais colunares (dentritas) e à ausência de inclusões. Este fato poderia explicar os melhores resultados obtidos com essa liga.

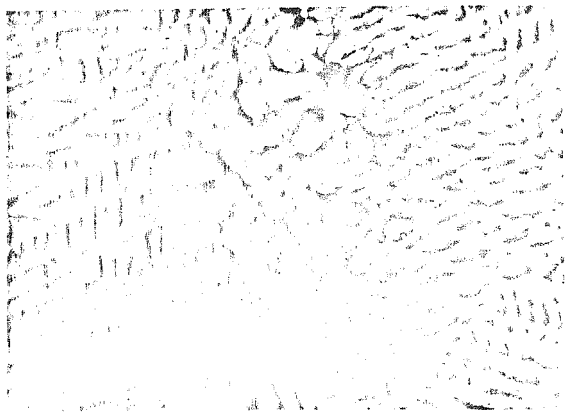
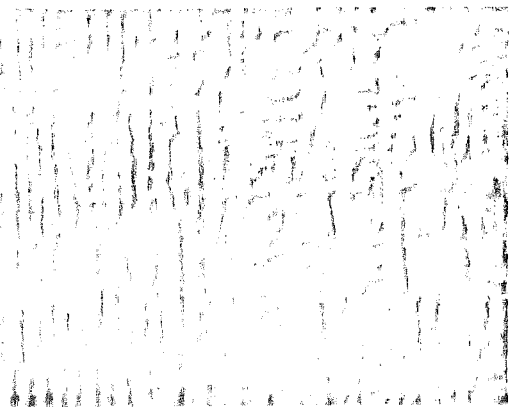
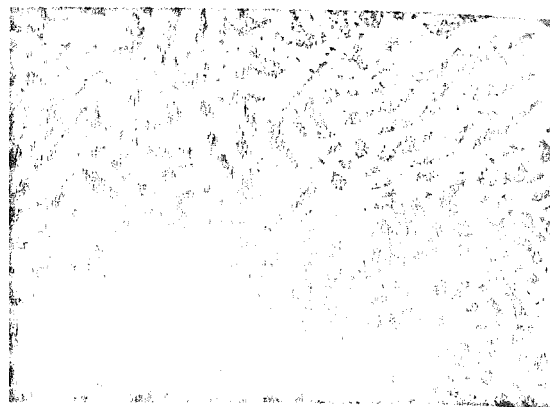


Figura 4 — Fotomicrografia da liga Steldent. Estado bruto de fusão — aumento 400x. Notar a distribuição simétrica dos cristais colunares, alterada pela presença de inclusões que proporcionaram a formação de cristais equiaxiais (seta).



**Figura 5** — Fotomicrografia da liga Brasalloy. Estado bruto de fusão. Aumento 400x. Notar a distribuição bem simétrica dos cristais colunares e ausência de inclusões.



**Figura 6** — Fotomicrografia da liga Duracrom. Estado bruto de fusão. Aumento 400x. Notar a distribuição bem assimétrica dos cristais colunares e a presença de inclusão de grande dimensão (seta).

### Quadro

Comparação das diferenças entre as somatórias dos pontos

	BRASALLOY (1.270)	DURACROM (822)	STELDENT (758)
1.270	—	—	—
822	(B-D) 448	—	—
758	(B-S) 512	(D-S) 64	—

Valor crítico para comparação para  $n = 25$        $t_c = 361,1$   
 $k = 3$   
 $\alpha = 0,05\%$

64	$t_c$	448,512
$H_0$	361,1	$H_1$

$H_0$  — Não há diferença estatisticamente significativa.

$H_1$  — Não há diferença estatisticamente significativa.

### Conclusões

1. O método proposto neste trabalho mostrou-se válido para a avaliação comparativa da resistência à fadiga de ligas metálicas, apresentando como vantagem, em relação ao método convencional, uma redução acentuada do tempo de ensaio. Para a determinação do limite de fadiga, entretanto, modificações seriam necessárias para que di-

ferentes níveis de tensão pudessem ser aplicados nos corpos de prova, para a obtenção da curva  $S_xN$ .

2. A variação necessária nos comprimentos dos fios de cobalto-cromo, para que a condição de ressonância estivesse presente em todos os corpos de prova, revela a heterogeneidade da estrutura interna desse material.

3. Nas condições em que as ligas foram testadas, a Brasalloy apresentou a me-



lhor resistência à fadiga, quando comparada com as outras duas ligas.

4. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores da resistência à fadiga das ligas Steldent e Duracrom.
5. O melhor comportamento da liga Brasalloy em relação à resistência à fadiga poderia ser atribuído à característica aparentemente superior da sua microestrutura.
6. Como as propriedades mecânicas das ligas de cobalto-cromo estão relacionadas com as suas estruturas internas e estas, por sua vez, são dependentes das condições de fundição a que são submetidas, outros testes devem ser realizados com o propósito de relacionar estes fatores.

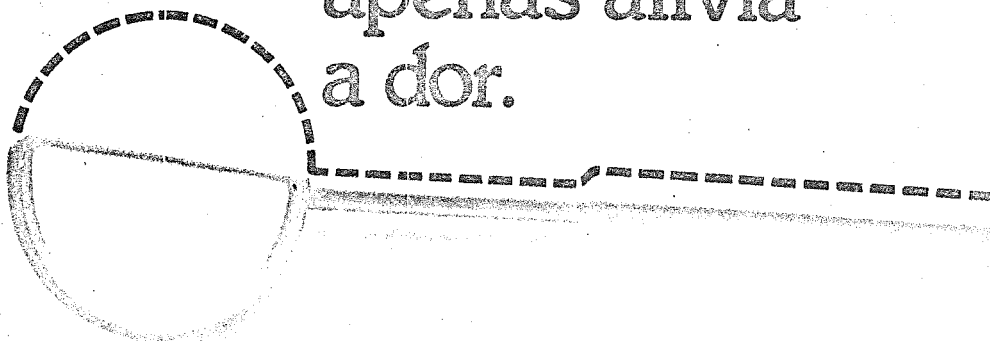
### Summary

*A method using ultra sound was developed to compare the fatigue resistance of cobalt-chrome alloys commonly employed*

*in removable partial denture. Sample of each of three commercial cobalt-chrome alloys (Brasalloy, Steldent and Duracrom) was cast in wire form and coupled to the modified point of the ultra sound apparatus (Profilat, Dabi-Atlante) normally employed for the removal of tartar. The wire sample was made to vibrate with controlled amplitude near the resonance frequency of one of transverses modes of vibration until failure. The time to failure was taken as a relative indication of the fatigue resistance of the sample. A piezoelectric sensor was used to control the amplitude of vibration in spite of small differences among the samples. On the basis of 25 samples of each alloy tested Brasalloy showed significantly better fatigue resistance than the other two alloys, wich appear comparable.*

*In addition a metallographic analysis reveals the apparently superior micro structure characteristics of Brasalloy with a symmetric disposition of columnar crystals and the presence of less impurities.*

Analgésico  
comum  
apenas alivia  
a dor.



## Referências

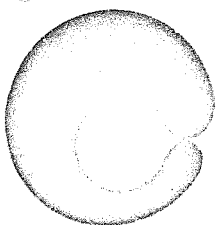
1. ASGAR, K. & PEYTON, F. A. — Effect of microstructure on the physical properties of cobalt-base alloys. *J. Dent. Res.*, 40: 63-72, 1961.
2. BATES, J. F. — Studies related to the fracture of partial dentures: Flexural fatigue of a chromium-cobalt alloy. *Brit. Dent. J.*, 118: 532-7, 1965.
3. BATES, J. F. — The mechanical properties of the cobalt-chromium alloys and their relation to partial denture design. *Brit. Dent. J.*, 119: 389-96, 1965.
4. BATES, J. F. — Studies related to the fracture of partial dentures. The functional strain in cobalt-chromium dentures. A preliminary report. *Brit. Dent. J.*, 120: 79-83, 1966.
5. BUCALON, A. J. — *Investigação da fadiga metálica em frequência de ultra-som. Equipamentos e testes comparativos*. São Carlos. Escola de Engenharia-USP, 1982. Tese.
6. EARNSHAW, R. — Fatigue tests on a dental cobalt-chromium alloy. *Brit. Dent. J.*, 110: 341-346, 1961.
7. GRENER, E. H. — Mechanical properties. In: *Materials science in dentistry*. Baltimore, William and Wilkins, 1972. p.60.
8. LANE, J. R. & CAMBRIDGE, M. — A survey of dental alloys. *J. A. D. A.*, 39(4): 414-437, 1949.
9. LEDERLE LABORATORIES — *Método Wilcoxon para mais de 2 amostras*. New York, Peak River, 1964.
10. PAFFENBARGER, G. G.; CAUL, H. J. & DICKSON, G. — Base metal alloy for oral restorations. *J. A. D. A.*, 30(11): 852-862, 1953.
11. PALMER, S. B. & FOSTER, G. A. — Experiments in pulsed ultrasonics. *American J. of Physics*, 38(17): 814-821, 1970.
12. PEYTON, F. A. — Flexure fatigue studies of cast dental gold alloys. *J. A. D. A.*, 21(3): 394-415, 1934.
13. PEYTON, F. A.; ANTHONY, D. H. et al. — Physycal and mechanical properties. In: *Restorative dental materials*. Saint Louis, Mosby, 1960. p.103.
14. SEARS, F. W. — Reflexão. Ondas estacionárias. In: *Física I, mecânica, movimento vibratório, calor*. Rio de Janeiro, Livro Técnico, 1970. p.468.
15. SKINNER, E. W. & PHILLIPS, R. W. — Aleaciones de cromo-cobalto para colados dentales. In: *La ciencia de los materiales dentales*. 6. ed., Buenos Aires, Editorial Mundi, 1970. p. 560-572.
16. STAFFORD, G. D. & SMITH, D. C. — Flexural fatigue test on some denture base polymers. *Brit. Dent. J.*, 128: 442-5, 1970.
17. TIPLER, P. A. — Ondas estacionárias. In: *Física*. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1978. p.554-565. vol.2.

Endereço para correspondência  
 PROF. OSVALDO LUIZ BEZZON  
 Faculdade de Odontologia de Ribeirão Preto  
 Av. do Café, s/n.<sup>o</sup>  
 14049 — Ribeirão Preto-SP

## Errata

*No Curso para Atendente de Consultório Dentário, Capítulo III — Relações Humanas no Consultório Odontológico, publicado no Odontólogo Moderno, volume XV, nº 3, páginas 44-49, abril, 1988:*

*No item Relação Atendente/Cliente, da página 47, 8º parágrafo, 4ª linha: Onde se lê: este trabalho é tão simples e corriqueiro... Leia-se: este trabalho não é tão simples e corriqueiro...*



em odontologia

(DILANTATO SÓLIDO)

## alivia a dor e a inflamação.

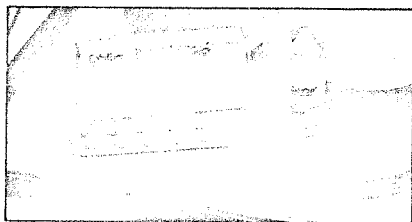
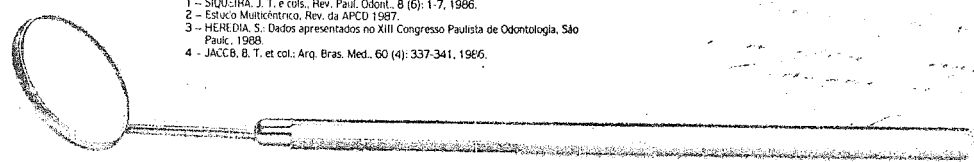
- A dor, freqüentemente, é sintoma de um processo inflamatório.
- CATAFLAM combate eficazmente a inflamação e proporciona rápido efeito analgésico<sup>1,2</sup>.
- CATAFLAM é comprovadamente mais eficaz que os analgésicos comuns<sup>3,4</sup>.

1 - SIQUEIRA, J. T. e cols. Rev. Paul. Odont., 8 (6): 1-7, 1986.

2 - Estudo Multicêntrico, Rev. da APCO 1987.

3 - HEREDIA, S.: Dados apresentados no XIII Congresso Paulista de Odontologia, São Paulo, 1988.

4 - JACOB, B. T. et col.: Arq. Bras. Med., 60 (4): 337-341, 1986.



Além de drágeas e gotas, CATAFLAM é apresentado em ampolas de 75mg (aplicação I.M.) e supositórios de 75mg para adultos e de 12,5mg e 25mg para crianças.

Composição - Cada frasco supositório contém 50mg; supositórios com 12,5, 25 e 75mg; gotas com 15mg/ml (aproximadamente 0,5mg por gota); ampolas com 75mg/3ml (veiculado em álcool benzílico). Indicações - Estado inflamatório doloroso por traumatismo, dor e estresse pós-operatório. Estado doloroso e ou inflamatório em ginecologia. Como coadjuvante no tratamento de processos infecciosos agudos acompanhados de inflamação no nível, parvo ou gigante. Síndromes dolorosas da coluna vertebral, dores musculares e articulares. Posologia - Adultos. De acordo com as indicações, 75 a 150mg (na dose máxima, até 220mg) em 3 a 4 doses diárias para dor aguda. Crianças. Acima de 6 anos 0,5 a 2mg/kg/dia em 3 a 4 doses diárias. Até 6 anos 0,25 a 1mg/kg/dia em 3 a 4 doses diárias. Em alergia, administrar analgésicos regularmente se a analgesia mínima de cada hora não for obtida. Contra-indicações - Doença hepática, hiperemulsibilidade aos álcoois benzílico, Alergia a outros álcoois benzílicos, embolização da circulação ou ao álcool benzílico. Proctite, no caso dos supositórios. Precauções - Há risco de doença gastrointestinal, especialmente em pacientes com tendência a náuseas e vômitos. Pacientes em uso de diuréticos ou após grandes emergências. Reações adversas - Os efeitos gastrointestinais são, em geral, leves. São raras, sob efeito placebo, o aumento da leucócitos, leucopenia, discrasias sanguíneas, anormalidade na função hepática ou renal, bem como manifestações cutâneas ou de sensibilidade como broncoespasmo ou reações sistêmicas anafiláticas. Apresentação - Drágeas de 50mg, caixas com 10 drágeas. Supositórios de 12,5, 25 e 75mg, caixas com 10 supositórios. Gotas, frascos com 10ml. Ampolas de 75mg/3ml, caixas com 03 e 50 ampolas.

**BIOGALÊNICA**  
FARMACÊUTICA  
CIBA-GEIGY

INFORMAÇÕES ADICIONAIS PARA PRESCRIÇÃO AO DISPOR DA CLASSE ODONTOLÓGICA MEDIANTE SOLICITAÇÃO.