

AVALIAÇÃO FOTOACÚSTICA DA FOTOPOLIMERIZAÇÃO DA RESINA ACRÍLICA Z250 (3M) PRODUZIDA COM APARELHOS DE LUZ HALÓGENA E LED

Salvador Laviano Neto¹, Paulo Roxo Barja², Daniel Acosta Avalos³

Abstract — Nowadays, light-cured dental composites are the most widely used material by dentists in restorative dental works and the market presents a great deal of light-curing devices for this purpose. The aim of this work was to evaluate, comparatively, through photoacoustic measurements, the efficacy of two distinct photoactivation devices: the first one with halogen lamp, produced by KULZER, model Translux, 110V, 45-220W, 60 Hz, and the second one with LED generated light, produced by DABI-ATLANTE, model Ultraled, 110V, 4W, 50/60/Hz. Standardized samples of a commonly used composite in dental offices, the 3M's Z250, color A3,5, were monitored before, during and after photoactivation. Twenty samples were used for each device. Results indicate that the period specified by the producer for photopolimerization is sufficient for effective polymerization of a 1mm-thick resin layer, and that the LED curing unit produces less residual polymerization than the halogen source.

Index Terms — dental composite, halogenous lamp, LED, photoacoustic technique, photopolymerization.

INTRODUÇÃO

As resinas acrílicas odontológicas fotopolimerizáveis usadas para restaurações dentárias, também chamadas resinas curadas por luz, foram introduzidas comercialmente na década de 1970. Sua cor, próxima da dos dentes naturais, e sua facilidade de manipulação garantiram-lhe sucesso entre os profissionais da Odontologia e pacientes. Além disso, sendo a polimerização da resina ativada por luz, não há exigência de tempo de manuseio para a sua colocação no dente em tratamento: o dentista dispõe de um tempo virtualmente ilimitado para inserir e modelar a resina no dente a ser tratado, bastando impedir a incidência de luz com comprimento de onda de fotopolimerização sobre seu campo de trabalho.

O sucesso clínico de uma restauração dentária executada em resina acrílica, além da qualidade da resina, do adesivo e da técnica utilizados, depende de uma eficiente fotopolimerização. Se esta for incompleta ou ineficiente, a resina pode sofrer prejuízo em suas propriedades físicas,

como tornar-se mais susceptível a mudanças de coloração e aumentar sua absorção de água.

Aparelhos fotoativadores usando lâmpadas halógenas foram os primeiros e são os mais usados para fotopolimerização de resinas, sendo por isso chamados convencionais. Emitem um largo espectro de luz visível, do qual apenas uma pequena parte é usada para a fotoativação. Os comprimentos de onda utilizados para a fotopolimerização situam-se na faixa do azul, entre 470nm e 500nm; o restante do espectro deve ser filtrado para evitar aumento indesejável da temperatura do dente a ser tratado. Um incremento maior que 5,5°C na câmara pulpar pode causar danos histopatológicos à polpa dentária, podendo levar este tecido a uma degeneração irreversível [1].

Os aparelhos que utilizam diodos emissores de luz (LEDs) operam através da combinação de semicondutores com a propriedade de emitir luz dentro de uma pequena faixa do espectro eletromagnético (azul). São indicados para fotopolimerização, pois não produzem comprimentos de onda inúteis ao processo e que podem aumentar a temperatura do dente, como no caso dos aparelhos de lâmpada halógena.

No presente estudo, para avaliar o processo de fotopolimerização, utilizamos a técnica fotoacústica por se tratar de um método de análise em profundidade e que não requer nenhum preparo prévio da amostra [2].

O efeito fotoacústico consiste na geração de ondas acústicas por qualquer material sobre o qual se faz incidir um feixe energético modulado ou pulsado, como radiação eletromagnética (desde ondas de rádio a raios X), ondas ultrasônicas etc. A liberação modulada de moléculas (como no caso da fotossíntese) também pode contribuir para a geração de som (ondas acústicas).

No presente trabalho, utilizou-se a técnica fotoacústica para monitorar a reação de fotopolimerização da resina odontológica por dois aparelhos, de luz halógena e de LEDs. O objetivo do trabalho foi contribuir para um melhor conhecimento do processo de polimerização, bem como indicar qual aparelho forneceria uma restauração dentária de melhor qualidade clínica. O resultado deste tipo de estudo pode fornecer uma avaliação importante no que se refere às restaurações, principalmente em dentes posteriores, com resinas acrílicas.

¹ Salvador Laviano Neto, Mestrado em Bioengenharia, IP&D / UNIVAP, salvadorlaviano@apcd.org.br

² Paulo R. Barja, Laboratório de Fotoacústica Aplicada a Sistemas Biológicos – FASBio / IP&D / UNIVAP, barja@univap.br

³ Daniel Acosta Avalos, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF, dacosta@cbpf.br

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Resinas Compostas

O dentista usa vários materiais plásticos sintéticos na sua prática diária. Materiais para moldagem e barreiras plásticas fotopolimerizáveis, para proteção gengival, são exemplos de resina sintética. Há, também, resinas quimicamente ativadas (pó/líquido), utilizadas para tarefas de consultório e laboratório, como confecção de base de dentaduras, moldeiras individualizadas, reparos em próteses plásticas etc. Para a restauração da estrutura dental perdida há outro tipo de resinas, as chamadas “resinas compostas”, formadas basicamente por misturas de metacrilatos derivados do poli(metacrilato de metila) ou, mais modernamente, poli(metil metacrilato) [3], [4].

Os polímeros são macromoléculas formadas pela repetição de moléculas menores e mais simples, os monômeros, unidos por ligações químicas. As resinas acrílicas são compostos sintéticos, classificados como polímeros orgânicos por serem constituídos basicamente por carbono. A estrutura básica das resinas compostas é uma base orgânica (matriz) e partículas inorgânicas adicionadas (carga), cuja função é impedir a deformação e reduzir o coeficiente de expansão térmica da matriz. Para efeito de comparação com a estrutura dentária, pode-se dizer que o esmalte e a dentina são compostos por uma matriz orgânica de colágeno e cristais de hidroxiapatita como carga inorgânica.

A polimerização das resinas ocorre por união química, geralmente através de ligações covalentes, de moléculas menores (basicamente metil-metacrilato), formando uma macromolécula de alto peso molecular. Há dois mecanismos básicos de polimerização: condensação e adição. No primeiro processo, há a união dos monômeros com a formação de subprodutos, em geral água ou álcool. É o processo característico que ocorre com os elastômeros para moldagem do tipo polissulfeto e polidimetil-siloxano, conhecidos como siliconas por condensação.

O processo de adição ocorre na polimerização das resinas acrílicas, em que macromoléculas são formadas pela união dos monômeros. A presença de insaturações (ligações duplas) nos monômeros gera radicais livres (espécies químicas altamente reativas) durante a formação da cadeia polimérica, sem que haja alteração na composição química dos monômeros. Isto se repete muitas vezes no polímero e não há formação de subprodutos, como no caso da condensação. Para induzir esta reação, são necessários um iniciador e um ativador. O ativador tem a função de formar moléculas que darão origem aos radicais livres, enquanto o iniciador quebra o ativador, produzindo estes radicais livres. O ativador transfere sua energia para as moléculas de monômero cujas ligações duplas se abrem; estas moléculas ficam susceptíveis de se ligarem umas às outras por ligações simples. O processo se propaga e o resultado é uma molécula gigante, de alto peso molecular.

A ativação do iniciador pode ser feita de várias maneiras: transferência de energia por outro composto ativador (quimioativação), calor (termoativação) ou luz (fotoativação). Os primeiros sistemas de resina para restauração eram, em geral, constituídos por misturas pó/líquido ou pasta/pasta, onde um dos componentes continha o iniciador (peróxido de benzoíla) e o outro continha uma amina terciária ativadora (N,N - dimetil p-toluidina); ao serem misturados, iniciava-se a polimerização.

Desde a década de 1970, usa-se a luz para polimerizar as resinas fotoativadas. O primeiro sistema usado em odontologia foi o de luz ultravioleta (UV), no qual são empregados o éter metílico de benzoína ou éteres alquílicos de benzoína. Estes éteres se decompõem pela exposição à radiação UV, liberando radicais livres que desencadeiam a polimerização. Atualmente, usam-se os sistemas de ativação por luz visível nos quais os componentes fotossensíveis usuais são diquetonas e quetonas aromáticas, como o biacetil e a canforoquinona [3], cuja curva de absorção vai de 320nm a 520nm, com um pico de absorção entre 465 e 468nm (azul). Quando a canforoquinona é exposta a esta luz azul na presença de agentes redutores co-iniciadores (como aminas terciárias), formam-se radicais livres remanescentes da fotoativação. Estes, por sua vez, quebram as ligações duplas dos metacrilatos, disparando a reação e dando continuidade à polimerização [3], [5].

Aparelhos Fotopolimerizadores

- **Fotopolimerizadores por Luz Halógena:** A luz é produzida pela passagem de corrente elétrica por um filamento de tungstênio extremamente fino, que age como um resistor e é tão fortemente aquecido que emite radiação eletromagnética na região visível. Para se conseguir luz para fotopolimerização, lâmpadas contendo gases halogênicos (Flúor, Cloro, Bromo, Iodo) precisam ser aquecidas a altas temperatura, sem que seja possível obter uma produção seletiva de luz azul. Por isso, ocorre um aquecimento indesejável do dente em tratamento pelos comprimentos de onda que não participam do processo de fotopolimerização.
- **Fotopolimerizadores por LED:** Os diodos emissores de luz (LED) são combinações de dois diferentes semicondutores: um dito com dopagem-n (N), que apresenta excesso de elétrons, e outro dito com dopagem-p (P), que apresenta déficit de elétrons (os chamados “buracos”), distribuídos em duas camadas, com uma camada separadora dita ativa. Quando uma diferença de potencial é aplicada, os elétrons da camada N migram em direção até a camada P através da camada ativa, resultando numa emissão de luz de comprimento de onda característico. A cor da luz LED é determinada pela composição química dos semicondutores. Quando os elétrons passam de um nível de energia mais alto para um nível mais baixo, a diferença na energia é liberada em forma de fótons.

Embora os aparelhos convencionais de luz halógena sejam fontes luminosas comuns e amplamente utilizadas, emitem luz numa faixa do espectro muito mais ampla que o necessário para ativar a canforoquinona, havendo demasiada perda de energia e geração de calor. Os LEDs emitem numa região restrita do espectro, minimizando assim as perdas de energia e a geração de calor.

Fujibayashi et al [6] mostraram que luz LED com intensidade de 100mW/cm^2 melhorou significativamente a profundidade de cura e a conversão monômero-polímero em resinas compostas. Já Knezevic et al [7] estudaram o grau de conversão e o aumento da temperatura na fotopolimerização com luz LED e luz halógena, concluindo ser o comprimento de onda de 470nm o mais adequado para polimerização.

O estudo de Tarle et al [8], comparando um aparelho de luz halógena convencional, um aparelho com luz de arco de plasma e um terceiro com luz LED permitiu observar que este último causa menor aumento de temperatura durante a fotopolimerização. Como o pico da distribuição espectral do LED é semelhante à curva de absorção da canforoquinona, a intensidade luminosa requerida é até 150 vezes menor do que a empregada no arco de plasma.

Técnica Fotoacústica

O efeito fotoacústico foi descoberto por Graham Bell no século XIX, tendo sido uma descoberta acidental (BELL, 1880 apud [2]). O efeito é obtido numa célula constituída por uma câmara na qual uma janela de vidro permite a entrada de luz. A câmara é preenchida por um gás (em geral o ar). Um feixe de luz modulada atravessa a janela, sendo absorvido pela amostra; em seguida, por desexcitação não radiativa, a luz absorvida é transformada em energia térmica.

Quando se utiliza a célula fotoacústica convencional (modelo fechado), a amostra é normalmente posicionada no interior da célula para a realização das medidas. No presente trabalho, optamos por uma célula fotoacústica aberta, de duas faces. Uma das faces permite a entrada do feixe de luz modulada; a face oposta é fechada pela própria amostra, sendo que entre esta e a câmara fotoacústica foi colocada uma fina folha de alumínio.

METODOLOGIA

A montagem fotoacústica utilizada incluiu uma lâmpada de tungstênio de 250W como fonte de luz, modulada mecanicamente (*chopper* SR530, Stanford Research Systems) a 17Hz e dirigida à janela inferior (de vidro) da célula fotoacústica.

Para padronizar o volume das amostras (resina 3M Filtek™ Z250, cor A3,5), utilizou-se moldes de silicone em forma de disco, com 15mm de diâmetro e orifício central com 7mm de diâmetro e 1mm de altura. A amostra era disposta no orifício do molde e o conjunto então era depositado sobre a face externa da folha de alumínio (espessura de $55\mu\text{m}$) utilizada para vedar a janela superior da célula fotoacústica, com o auxílio de graxa de silicone.

Durante as medições, registrou-se o sinal fotoacústico em função do tempo. O sinal captado pelo microfone de eletreto da célula PA era enviado ao amplificador síncrono (SR540, Stanford Research Systems), conectado a um microcomputador onde os dados são armazenados em arquivos .dat; os gráficos resultantes foram gerados através do programa Origin 6.0 (Microcal Software Inc.).

Para a polimerização, a ponta ativa do aparelho fotopolimerizador era mantida a uma distância de 5mm acima da amostra. Com a fotopolimerização da resina, o sinal fotoacústico tinha sua amplitude alterada, atingindo um nível diferente do inicial. As medidas foram efetuadas nas condições ambientes (temperatura de cerca de 25°C e umidade relativa do ar em torno de 80%). Foram utilizadas 20 amostras para cada aparelho, num total de 40 amostras. Para a cor (A3,5) e a espessura da resina (1 mm), adotou-se o tempo de 20s para fotopolimerização, conforme as especificações do fabricante da resina.

RESULTADOS

A figura 1 exibe as curvas médias de polimerização da resina Z250 realizadas com cada uma das fontes de luz (primeiros cinco minutos de medidas). As curvas podem ser divididas em 3 trechos para análise. Antes de iniciar a incidência da luz de polimerização, determinava-se o nível inicial do sinal fotoacústico (primeiros 100s). Nesta etapa, o sinal consiste basicamente numa reta de coeficiente angular igual a zero para ambas as curvas, refletindo a ausência de reações de polimerização. Uma inclinação diferente de zero poderia indicar uma pequena conversão de resina devida à luz ambiente ou outra fonte de luz, como pode ocorrer nos consultórios dentários devido à luz dos refletores.

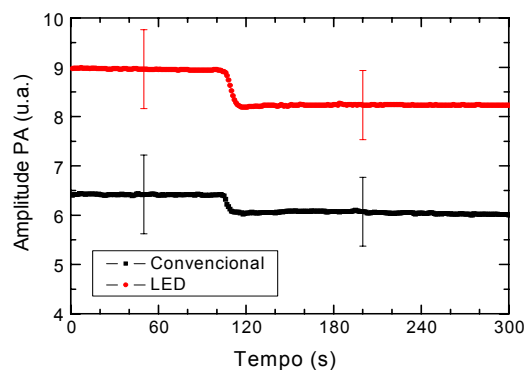


FIGURA 1

CURVAS MÉDIAS DE POLIMERIZAÇÃO (AMPLITUDE DO SINAL PA EM FUNÇÃO DO TEMPO). AS BARRAS INDICAM DESVIO PADRÃO.

No segundo trecho das curvas, a partir de 100s, ocorre a fase de iluminação da resina com o fotopolimerizador, por 20s (Fig.2). Para o caso do LED (curva superior), observamos uma queda mais acentuada (8%) na amplitude do sinal do que para o aparelho convencional (5%).

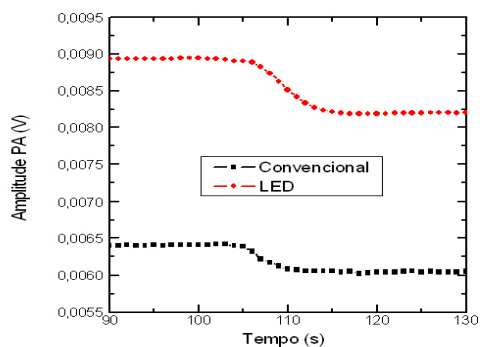


FIGURA 2

DETALHE DO PÉRIODO DE POLIMERIZAÇÃO (T ENTRE 100 E 120S).

Depois que o fotopolimerizador é desligado ($t = 120s$), observa-se que o sinal fotoacústico tende a se estabilizar novamente; no entanto, a amplitude do sinal neste terceiro trecho é, em média, inferior à amplitude inicial. Neste terceiro trecho, constatou-se que, para o aparelho convencional (curva inferior, Figs.1 e 2), o sinal fotoacústico apresenta uma suave tendência de queda, mesmo após a retirada da fonte de luz fotopolimerizadora. Assim, o sinal fotoacústico passa por uma mudança residual, mais lenta. Para o aparelho de luz LED, esta inclinação residual é quase imperceptível, ou seja, o sinal mantém-se praticamente no mesmo patamar durante todo o terceiro trecho da curva.

A partir desta constatação, foi realizado o ajuste linear da fase final das curvas de polimerização visando avaliar numericamente a inclinação das curvas neste trecho. Os resultados encontram-se na figura 3 e na tabela 1.

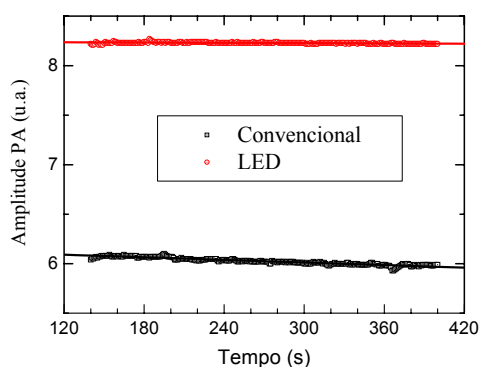


FIGURA 3

AMPLITUDE DO SINAL FOTOACÚSTICO APÓS A ETAPA DE POLIMERIZAÇÃO: DADOS E RETAS DE AJUSTE.

A equação para regressão linear é dada por:

$$PA \text{ (u.a.)} = A + B.T(s) \quad (1)$$

onde PA é a amplitude do sinal fotoacústico e T é o tempo em segundos. Os parâmetros A e B são respectivamente os coeficientes linear e angular da reta de ajuste.

TABELA 1

RESULTADOS DA REGRESSÃO LINEAR PARA AVALIAÇÃO DE POLIMERIZAÇÃO RESIDUAL		
LUZ	A (u.a.)	B (u.a./s)
Halógena	$6,143 \pm 0,002$	$(-4,3 \pm 0,1).10^{-4}$
LED	$8,242 \pm 0,001$	$(-4,8 \pm 0,5).10^{-5}$

DISCUSSÃO

Na configuração experimental empregada, a luz modulada incidia sobre a folha de alumínio que, por sua vez, ficava justaposta à resina. Embora o alumínio seja opticamente opaco (a luz não é transmitida através da folha), para a frequência de modulação utilizada, a folha de alumínio é termicamente transparente (o alumínio conduz bem o calor). Por esta razão, pode-se atribuir as mudanças observadas no sinal fotoacústico às mudanças nas propriedades térmicas da resina que ocorrem com a polimerização.

Os gráficos mostram uma queda no sinal fotoacústico com a fotopolimerização, queda esta mais acentuada para o processo conduzido pelo aparelho de luz LED. Isso pode indicar que mais moléculas de monômero foram adicionadas às cadeias poliméricas com a utilização do aparelho LED.

Após a polimerização, o sinal manteve-se mais estável para o aparelho de luz LED. Na Tabela 1, os resultados obtidos para o parâmetro "B" indicam uma estabilidade cerca de 10 vezes maior após a polimerização com LED. A figura 2 permite estimar a variação percentual nos dois casos: para a curva inferior (polimerização convencional) temos uma variação próxima a 2,5% (6,1 para 5,95), enquanto a variação para a curva correspondente ao LED é de menos de 0,4% (8,25 para 8,22), valores dentro da ordem de grandeza da estabilidade estimada pelo ajuste.

Estes resultados sugerem que, neste caso, houve menos polimerização residual, indicando que pode ter havido maior conversão de resina durante a fotopolimerização com LED do que com o aparelho de luz halógena.

O problema da polimerização residual está diretamente ligado ao desempenho clínico das restaurações feitas com resinas fotoativadas. Watts et al [9] determinaram esta variação na polimerização medindo a dureza Knoop de resinas de vários fabricantes, logo após a fotopolimerização e posteriormente. Foi obtido um aumento significativo desta dureza após uma semana e um aumento discreto contínuo até um mês, na seguinte seqüência: para a resina Silux da 3M, a 23°C, a dureza imediatamente após a fotoativação é de cerca de 46% de seu valor máximo, 77% após uma hora, 90% após um dia e 96% após uma semana, considerando máximo o valor obtido após um mês, ou seja, 100%. A presença de espectros devidos a radicais livres presentes em resina não completamente fotopolimerizada foi atestada por Ottaviani et al [10], utilizando ESR.

Comportamento similar ao descrito acima para as resinas foi relatado no trabalho de Sano e Mello [5], também

usando ESR para verificar a presença, na massa de resina, de radicais livres residuais responsáveis pela continuidade da polimerização. Os autores concluíram que os radicais livres permanecem altamente reativos nos primeiros instantes, com uma meia-vida de 1,2 dias. Nesse período, a dureza aumenta de 46% para 90%. Em seguida, as reações ocorrem mais lentamente, quando a meia-vida dos radicais passa para 12,6 dias, compatível com o aumento de dureza para 96%, em uma semana, até o máximo de 100%, após um mês.

Do ponto de vista clínico, a polimerização residual compromete a qualidade da restauração, mantendo ativo o processo de contração da resina após a fotoativação. Isso aumenta o valamento marginal na interface com o dente [11], aumentando a infiltração salivar.

A experiência clínica mostra que podem ocorrer os seguintes problemas quanto à polimerização das resinas:

- a) A polimerização incompleta pode levar a deficiências nas propriedades mecânicas da resina, gerando falhas prematuras da restauração: instabilidade dimensional, alterações de forma, inadaptação marginal na interface dente-restauração, resistência mecânica alterada, fratura e absorção de fluidos, podendo causar alterações de cor e recidiva de cárie;
- b) Um monômero residual não polimerizado pode levar a uma degeneração pulpar a médio e longo prazo, acarretando a necessidade de tratamento endodôntico.

Estas considerações mostram a necessidade de se ter um processo de fotoativação que minimize a polimerização residual, garantindo a qualidade da restauração logo após sua confecção, já que, enquanto o processo não se completar, a restauração estará sujeita à contração contínua, levando aos riscos já mencionados.

Micalí e Basting, em trabalho recente com a resina Z250, não observaram diferença estatística significativa entre a polimerização com luz halógena ou com LEDs [12]. Devemos observar, no entanto, que estes autores usaram espectroscopia para avaliar a quantidade de corante absorvido após a polimerização da resina e tratamento das amostras com estufa, álcool e trituração, enquanto o presente trabalho monitora o próprio processo de polimerização, sem nenhuma alteração prévia ou posterior nos corpos de prova.

Recentemente, Coloiano et al [13] mostraram que a técnica fotoacústica permite avaliar a polimerização de resinas foto e quimicamente ativadas, com a alteração do sinal fotoacústico durante a polimerização. Os resultados obtidos no presente trabalho sugerem que o aparelho fotopolimerizador de luz LED é mais eficiente na polimerização da resina Z250 do que o fotopolimerizador de luz halógena.

CONCLUSÃO

O trabalho realizado mostra diferenças entre o processo de fotopolimerização de resinas odontológicas realizado com duas diferentes fontes de luz. Para uma camada de resina com 1mm de espessura, o ajuste das medidas fotoacústicas

mostra que o tempo de fotopolimerização indicado pelo fabricante é suficiente para o processo de polimerização, quando se utiliza o fotopolimerizador do tipo LED. No caso do polimerizador que utiliza luz halógena, as medidas indicam ocorrência de polimerização residual não desprezível.

Quanto ao grau efetivo de conversão da resina odontológica durante o processo de fotopolimerização, sugere-se futuras investigações combinando o uso da técnica fotoacústica com medidas de diversos tipos de dureza, análise espectroscópica e análises químicas, visando estabelecer a correlação entre o sinal fotoacústico e o grau efetivo de polimerização.

REFERÊNCIAS

- [1] ZACH, L.; COHEN, G. Pulp responses to externally applied heat. **Oral Surg. Oral Med Oral Path**, v.19, 1965, p.515-530.
- [2] ROSENCWAIG, A. **Photoacoustics and Photoacoustic Spectroscopy**, New York: John Wiley & Sons, 1980, p.309.
- [3] ANUSAVICE K.J. **Phillips' Science of Dental Materials**, 10.ed, Philadelphia: W.B.Saunders Company, 1996, p.709.
- [4] RUYTER, I. E. Monomer systems and polymerization. In: VANHERLE, G.; SMITH, D. (ed.) **Posterior Composite Resin Dental Restorative Materials**, The Netherlands: Szule Pub., 1985, p.109-135.
- [5] SANO, W.; MELLO, C.B.M. Dureza das resinas odontológicas e quantidade de radicais determinadas por ESR. **Rev. Bras. de Eng. Biomédica**, v.15 (1-2), 1999, p.17-20.
- [6] FUJIBAYASHI K.; ISHIMARU K.; TAKAHASHI N.; KOHNO A. Newly developed curing unit using blue light-emitting diodes. **Dent Jpn.**, v.34, 1998, p.49-53.
- [7] KNEZEVIC, A.; TARLE, Z.; MENIGA, A.; SUSTALO, J.; PICHLER, G. Degree of conversion and temperature rise during polymerization of composite resin samples with blue diodes. **J. Oral Rehabil.**, v.28, 2001, p.586-591.
- [8] TARLE, Z.; MENIGA, A.; KNEZEVIC, A.; SUSTALO, J.; RISTIC, M.; PICHLER, G. Composite conversion and temperature rise using a conventional, plasma arc and a experimental blue LED curing unit. **J. Oral Rehabil.**, v.29, 2002, p. 662-667.
- [9] WATTS, D.C.; AMER, O M.; COMBE, E.C. Surface hardness development in light-cured composites. **Dental Materials**, v.3 (5), 1987, p.265-269.
- [10] OTTAVIANI, M.F; FIORINI, A.; MASON, P.N.; CORVAJA, C. Electron spin resonance studies of dental composites: effects of irradiation time, decay over time, pulverization and temperature variations, **Dental Materials**, v.8 (2), 1992, p.118-124.
- [11] UNTERBRINK, G.L.; MUESSNER, R. Influence of light intensity on two restorative systems. **J. Dentistry**, v.23 (3), 1995, p.183-189.
- [12] MICALI, B.; BASTING, R.T. Effectiveness of composite resin polymerization using light-emitting diodes (LEDs) or halogen based light-curing units. **Braz Oral Res.**, v.18 (3), 2004, p.266-270.
- [13] COLOIANO, E.C.R.; ROCHA, R.; MARTIN A.A.; DA SILVA M.D.; ACOSTA-AVALOS D.; BARJA P.R. Photoacoustic Analysis of Dental Resin Polymerization, **J. Phys. IV France**, v.125, 2005, p.793-795.