



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA**



CHRISTIAN DE ALMEIDA SOARES

**INFLUÊNCIA DA DOSE DE ENERGIA SOBRE AS
PROPRIEDADES DA RESINA COMPOSTA**

UBERLÂNDIA
2022

CHRISTIAN DE ALMEIDA SOARES

**INFLUÊNCIA DA DOSE DE ENERGIA SOBRE AS
PROPRIEDADES DA RESINA COMPOSTA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de
Odontologia da UFU, como requisito
parcial para obtenção do título de
Graduado em Odontologia

Orientador: Prof. Dr. Luís Henrique
Araújo Raposo.

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre
Coelho Machado.

**UBERLÂNDIA
2022**

RESUMO

As resinas compostas são atualmente um dos materiais mais empregados na odontologia restauradora e suas propriedades dependem diretamente da dose de energia fornecida pelas unidades de luz durante a fotoativação. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses de energia, variando os tempos de fotoativação, sobre o grau de conversão, microdureza, resistência à tração diametral e módulo de elasticidade de uma resina composta. Espécimes foram confeccionados utilizando resina composta nanohíbrida (Aura, SDI, cor DC2) e a fotoativação foi realizada nos tempos de 10s, 20s, 40s, 60s e 120s com 869mW/cm² de irradiância (fotopolimerizador Radian Xpert, SDI). O grau de conversão foi avaliado em Espectrofotômetro de InfraVermelho por Transformada de Fourier – FTIR. A microdureza (teste de Knoop) e o cálculo para o módulo de elasticidade foram obtidos por meio do microdurômetro. Teste de compressão foi realizado a fim de avaliar a resistência à tração diametral em máquina de ensaio universal. Todos os dados obtidos foram analisados de acordo com sua distribuição e nível de significância de $\alpha = 0,05$. Os resultados mostraram que o tempo de fotoativação inferior àquele recomendado pelo fabricante, 10s, interferiu negativamente na maior parte das propriedades físicas em estudo; porém o grau de conversão e resistência à tração diametral foram similares aos demais grupos avaliados. Os tempos superiores (40s, 60s e 120s) não induziram melhoras nas propriedades físicas quando comparado ao tempo de 20s (recomendado pelo fabricante). Apesar da espessura dos espécimes (2mm), a base apresentou menor dureza, módulo de elasticidade e grau de conversão, independentemente do tempo de fotoativação. Conclui-se, que para o material avaliado, é de extrema importância seguir ao menos o tempo de fotoativação recomendado pelo fabricante, uma vez que tempos inferiores podem afetar algumas das propriedades físicas da resina composta.

Palavras-chave: Resina Composta; Propriedades Mecânicas; Dose de Energia.

ABSTRACT

Composite resins are currently one of the most used materials in restorative dentistry and their properties depend directly on the energy dose provided by the light units during photoactivation. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of different energy doses, varying the photoactivation times, on the degree of conversion, microhardness, diametral tensile strength and modulus of elasticity of a composite resin. Specimens were made using nanohybrid composite resin (Aura, SDI, DC2 color) and photoactivation was performed at times of 10s, 20s, 40s, 60s and 120s with 869mW/cm² of irradiance (radii Xpert photopolymerizer, SDI). The degree of conversion was evaluated using a Fourier Transform Infrared Spectrophotometer – FTIR. The microhardness (Knoop test) and the calculation for the modulus of elasticity were obtained using a microhardness tester. Compression test was carried out in order to evaluate the diametral tensile strength in a universal testing machine. All data obtained were analyzed according to their distribution and significance level of $\alpha = 0.05$. The results showed that the photoactivation time lower than that recommended by the manufacturer, 10s, negatively interfered in most of the physical properties under study; however, the degree of conversion and resistance to diametral traction were similar to the other evaluated groups. The higher times (40s, 60s and 120s) did not induce improvements in the physical properties when compared to the 20s time (recommended by the manufacturer). Despite the thickness of the specimens (2mm), the base showed lower hardness, modulus of elasticity and degree of conversion, regardless of the photoactivation time. It is concluded that, for the evaluated material, it is extremely important to follow at least the photoactivation time recommended by the manufacturer, since shorter times can affect some of the physical properties of the composite resin.

Palavras-chave: Composite Resin; Mechanical Properties; Energy Dose.

SUMÁRIO

Introdução	05
Objetivo	07
Hipótese Nula	07
Metodologia	08
Resultados	15
Discussão	18
Conclusão	24
Referências	25
Anexos	30

INTRODUÇÃO

As resinas compostas são atualmente um dos materiais mais empregados na odontologia (SILVA et al., 2007). Esse material é esteticamente favorável, apresenta boas propriedades mecânicas e altas taxas de sucesso clínico quando bem indicado e executado (TURBINO; SANTOS; MATSON, 2000; KUBO; KAWASAKI; HAYASHI, 2011). A fotoativação é uma etapa fundamental para a adequada polimerização das resinas compostas. A luz ativa o fotoiniciador que inicia a conversão de monômeros em polímeros, seguido pela contração volumétrica do material (SILVA et al., 2007). Quando a conversão dos monômeros não acontece de forma adequada, a estabilidade química da resina pode ser afetada, tornando o material mais suscetível à degradação (NEVES et al., 2002). Dessa forma, para se obter bom desempenho clínico, ter conhecimento sobre as propriedades da resina e sobre o processo de fotoativação é indispensável para o sucesso das restaurações confeccionadas com este material (SALGADO et al., 2018; FARIA-E-SILVA; PFEIFER, 2017).

O uso de variados tempos de exposição à luz e/ou níveis de irradiância, conseqüentemente, resultam em diferentes doses de energia durante a fotoativação dos compósitos resinosos e são fatores de interesse na odontologia. De fato, sabe-se que o grau de conversão tem direta relação com as propriedades físicas das resinas compostas e esse, por sua vez, é dependente da quantidade total de luz fornecida ao monômero (irradiância) e também do tempo de exposição (CALHEIROS et al., 2006). Um baixo grau de conversão pode afetar propriedades como microdureza e resistência à tração diametral, além de diminuir a estabilidade química desse material (TONGTAKSIN; LEEVAILOJ, 2017). Como visto, a forma de fotoativação tem influência direta sobre a polimerização das resinas compostas, podendo afetar suas propriedades físico-químicas e conseqüentemente, o desempenho clínico e longevidade das restaurações (SALGADO et al., 2018; FARIA-E-SILVA; PFEIFER, 2017).

Com adequada fotoativação desses materiais, pode ocorrer maior grau de conversão (maior a quantidade de monômeros convertidos em polímeros),

com melhores propriedades físicas e desempenho funcional da resina composta (CARDOSO et al., 2020). No entanto, um alto grau de conversão normalmente induz maior contração de polimerização no material (TURBINO; SANTOS; MATSON, 2000) e, conseqüentemente, pode haver redução volumétrica do compósito (SOARES et al., 2017). Este fato pode levar a problemas clínicos, visto que podem ocorrer descontinuidades na interface dente-restauração, causando sensibilidade pós-operatória, microinfiltração marginal e cáries secundárias (OLIVEIRA et al., 2012).

As resinas compostas possuem inúmeras propriedades que podem ser influenciadas de acordo com a quantidade de energia que é emitida sobre o material durante a fotoativação. Dentre estas, é válido destacar que a dureza de um material pode ser definida com uma medida quantitativa que determina resistência ao desgaste e é calculada com uma carga máxima aplicada sobre o corpo, dividida pela área de contato (TABOR, 1970). O módulo de elasticidade é definido como a resistência que um corpo possui ao ser deformado elasticamente sob efeito de uma força, podendo ser calculado pela inclinação da curva tensão-deformação na área de deformação elástica (SOARES et al., 2019). Nesse caso, ambas as propriedades citadas determinam a deformação da resina diante a diferentes situações (COUTO et al., 2000), porém o teste de microdureza pode ser utilizado para obtenção do módulo de elasticidade de materiais friáveis (SOARES et al., 2019). Outra propriedade importante é a resistência à tração de diametral dos compósitos, pois demonstra a capacidade do material de suportar tensões de tração gerada durante movimentos oclusais (PONTES et al., 2013). Durante o teste mecânico, o compósito é submetido a cargas que comprimem o material paralelo ao longo eixo diametral, gerando tensões de tração perpendiculares a esta compressão e que resultam em fraturas (ALZRAIKAT et al., 2018).

Tendo-se em vista que as propriedades da restauração estão relacionadas com quantidade de energia fornecida durante a fotoativação e com o grau de conversão (polimerização) do material, é importante analisar a influência do tempo de fotoativação/dose de energia nas propriedades da resina composta.

OBJETIVO

O presente estudo objetivou avaliar a influência da dose de energia relacionada a diferentes tempos de fotoativação (10s, 20s, 40s, 60s e 120s) em propriedades físicas de uma resina composta nanohíbrida.

HIPÓTESE NULA

A hipótese gerada foi que a variação na dose de energia (dependente do tempo de fotoativação) não influenciaria as propriedades da resina composta nanohíbrida testada.

METODOLOGIA

O delineamento experimental do presente estudo está descrito na Tabela 1. O detalhamento das etapas para condução de cada método está descrito nos tópicos a seguir.

Tabela 1: Delineamento experimental do presente estudo.

Unidade Experimental:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Corpos de prova de resina composta em formato cilíndrico, com espessura e diâmetro variado, de acordo com cada método de análise
Fatores de Estudo:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dose de energia (Tempo de Fotoativação): <ul style="list-style-type: none"> i. 10 segundos; i. 20 segundos; i. 40 segundos; v. 60 segundos; v. 120 segundos.
Variáveis Respostas:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Microdureza Knoop; ▪ Módulo de Elasticidade; ▪ Grau de conversão; ▪ Resistência à tração diametral.
Método de Análise:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Microdurômetro; ▪ Microdureza Knoop; ▪ FTIR; ▪ Teste de compressão à tração diametral.
Forma de Análise:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ANOVA Two-way RM; ▪ ANOVA One-Way (Tração Diametral) ▪ Distribuição de dados com nível de significância de $\alpha = 0,05$.

Materiais Utilizados:

Para realizar a confecção dos espécimes para os ensaios, os materiais selecionados estão destacados na Tabela 2.

Tabela 2: Materiais utilizados e suas características.

Materiais	Descrição
Resina Composta Nanohíbrida (AURA, cor DC2, SDI)	Base de bisfenol-A Diglicidil Dimetacrilato (Bis-GMA), Trietileno Glicol Dimetacrilato (TEGDMA), Bisfenol-A Diglicidil Dimetacrilato Etoxilado (Bis-EMA) e Uretano Dimetacrilato (UDMA); com carga inorgânica a base de zircônia/sílica e vidro de bário (Figura 1);
Unidade Fotoativadora LED sem fio (Radii-Xpert, SDI)	Espectro de onda entre 440-480nm, configurado com irradiância de 869mW/cm ² e potência de 415mW (Figura 2).



Figura 1 - Resina composta nanohíbrida (AURA, cor DC2, SDI).

Fonte - Acervo dos autores (2022).



Figura 2 – Unidade fotoativadora LED sem fio (Radii-Xpert, SDI).

Fonte - Acervo dos autores (2022).

Preparo dos espécimes:

Foram confeccionados um total de 150 espécimes ($n=10$) de dimensões variadas de acordo com cada método de análise. Para microdureza e módulo de elasticidade, foram confeccionadas espécimes de 2mm x 5mm (para ambos os métodos, foram utilizadas as mesmas espécimes devido à possibilidade de ambas serem obtidas em um mesmo teste). Grau de conversão, espécimes de

2mm x 4mm. E, por fim, resistência à tração diametral, espécimes de 3mm x 6mm.

Os espécimes foram confeccionados com auxílio de matriz de silicone, utilizando resina composta convencional nanohíbrida (Aura, SDI, cor DC2), com padrão e forma cilíndrica de acordo com a especificação de cada metodologia. As dimensões e o armazenamento estão detalhados em cada método de análise.

Para a fotoativação do compósito resinoso, foi utilizado unidade fotoativadora LED sem fio (Radii-Xpert, SDI) com aproximadamente 869 mW/cm² de intensidade de luz. A potência do aparelho foi previamente mensurada (415mW) em equipamento específico e a irradiância mensurada pela divisão dessa potência pela área da ponteira do fotoativador (7,8mm). Assim, de acordo com o tempo, foi calculada a dose de energia para 10s, 20s, 40s, 60s e 120s de fotoativação (Tabela 3). Estes valores foram considerados para todos os testes realizados neste estudo.

Tabela 3: Cálculo da dose de energia de acordo com o tempo de fotoativação.

Tempo de Fotoativação	Dose de Energia
10 s	4.150 mW (4.15 J/s)
20 s	8.300 mW (8.3 J/s)
40 s	16.650 mW (16.65 J/s)
60 s	24.900 mW (24.9 J/s)
120 s	49.800 mW (49.8 J/s)

Para isto, foram confeccionadas matrizes em silicone por adição, sendo uma para confecção dos espécimes para o teste de microdureza e módulo de elasticidade, outra para os espécimes do grau de conversão e uma última para o teste de tração diametral. O procedimento de fotoativação foi realizado com o aparelho fotoativador posicionado rente a tira de poliéster colocada sobre o topo da amostra, com temperatura e umidade controladas, ao abrigo de luz, utilizando apenas iluminação laranja. Imediatamente após a fotoativação, as superfícies de topo e de base dos espécimes foram devidamente identificadas

e os mesmos foram armazenados em frascos tipo Eppendorf e refratário fosco, a seco e ao abrigo de luz, a 37 °C e submetidas aos testes após 24 horas.

Microdureza e Módulo de Elasticidade:

Para a realização deste método foram confeccionados espécimes (n=10) com dimensão de 2 mm de espessura e 5 mm de diâmetro por meio de matriz de silicone por adição. A resina composta foi inserida na matriz em incremento único. Anteriormente à fotoativação, uma tira de poliéster foi posicionada sobre o espécime e o conjunto foi pressionado com uma placa de vidro por 10s para gerar uma superfície lisa e polida. A fotoativação foi realizada de acordo com os grupos experimentais (10s, 20 s, 40s, 60s e 120s) com unidade fotoativadora LED (Radii-Xpert, SDI). Posteriormente, os espécimes foram armazenados por 24 h em uma estufa a 37°C, a seco e ao abrigo de luz. Após armazenamento, foi realizado o acabamento dos espécims com lixas sequenciais de carbetto de silício, em ordem decrescente de granulação (#100, #800, #1200, #2000 e #3000), em lixadeira (Politriz Universal, Arotec, São Paulo, SP, Brasil) com irrigação constante.

A microdureza e módulo de elasticidade dos espécimes foram obtidos por meio do microdurômetro (FM-7000, FUTURE-TECH CORP, Kawasaki, Japão), acoplado a um software e edentador de diamante de dureza tipo Knoop, com geometria piramidal e base quadrangular, formando um losango (Figura 5). As edentações de superfície (topo e base) de cada espécime foram realizadas em cinco regiões diferentes próximas ao centro da amostra. O teste foi realizado com força controlada, aplicando uma carga de 50 g (0,98 N) de força em um tempo determinado de 15 segundos em cada edentação. Para cálculo da dureza Knoop dos espécimes, foi utilizada a média das cinco medidas da dureza para cada amostra.

Além da determinação da dureza, também foi utilizado o microdurômetro para determinar o módulo de elasticidade. A diminuição do comprimento das diagonais de cada edentação causada pela recuperação elástica da resina composta está relacionada com a relação dureza: módulo H/E pela equação: $b/a = b/a - \alpha(H/E)$, onde b/a é a razão das dimensões diagonais, a e b no

estado totalmente carregado, dado por uma constante 0,140647. E b/a é a razão das dimensões alteradas quando totalmente recuperado e $\alpha=0,45$ é a proporcionalidade constante. Para cálculo do módulo de elasticidade dos grupos, foi utilizada a média das cinco medidas do módulo de elasticidade para cada espécime.



Figura 5 - Cilindro de resina (2x5mm) submetido ao teste de Knoop.

Fonte - Acervo dos autores (2022).

Grau de Conversão:

O grau de conversão (GC) dos espécimes nos estados não-polimerizado e polimerizado foi medido imediatamente à confecção dos mesmos no formato de cilindros com diâmetro de 4 mm e espessura de 2 mm. Nesse período, os espécimes foram armazenadas em estufa a 37°C, a seco e ao abrigo de luz. A fotoativação ocorreu em diferentes tempos (10s, 20s, 40s, 60s e 120s) com unidade de fotoativação LED (Radii-Xpert, SDI). Para análise do GC, foi utilizado o Espectrofotômetro de InfraVermelho por Transformada de Fourier – FTIR (n = 10). O equipamento FTIR (Vertex 70, Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany) com elemento acoplado de reflectância total atenuada (ATR) e infravermelho médio (MIR) realizou o GC (Figura 6).

A análise quantitativa do grau de conversão baseou-se em intensidades correspondentes às bandas 1608 cm^{-1} e 1638 cm^{-1} da resina composta. Os espectros nos estados polimerizado e não-polimerizado da resina composta foram obtidos por meio do *software* OPUS (Spectroscopy Software, Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Germany) entre o pico de absorbância em 1608 cm^{-1} da

cadeia aromática de carbono C=C e o pico em 1638 cm^{-1} da cadeia alifática de carbono C=C, com resolução de 4 cm^{-1} e 32 *scans*. As análises realizadas foram sujeitas a condições controladas de temperatura ($25\pm 1^\circ\text{C}$) e umidade ($60\pm 5\%$). O GC (%) foi calculado pela fórmula: $\text{GC} = (1 - \text{P}/\text{NP}) \times 100$, sendo P a razão da intensidade em 1638 cm^{-1} / 1608 cm^{-1} e NP a razão da intensidade em 1638 cm^{-1} / 1608 cm^{-1} no estado não-polimerizado.



Figura 6 - Cilindro de resina (2x4mm) submetido ao FTIR.

Fonte - Acervo dos autores (2022).

Teste de Resistência à Tração Diametral:

O teste de resistência à tração diametral foi realizado de acordo com a especificação n. 27 da ADA para resinas restauradoras diretas (1977). Para a confecção das amostras ($n = 10$), cada incremento de resina com 1,5 mm de espessura foi inserido em uma matriz confeccionada com silicone por adição de 6 mm de diâmetro por 3 mm de espessura. A matriz foi posicionada sobre uma tira de poliéster a fim de evitar o escoamento da resina. Após a inserção do material, uma nova tira de poliéster foi posicionada sobre a matriz. Após a remoção dos excessos, as resinas foram polimerizadas de acordo com os grupos experimentais (10s, 20s, 40s, 60s e 120s), com unidade de fotoativação LED sem fio (Radii-Xpert, SDI). Após a confecção, todos os espécimes foram armazenados em recipientes plásticos individuais pelo período de 24 h à 37°C em estufa.

Após 24 h, o ensaio de resistência à tração diametral foi realizado em máquina de ensaio universal (EMIC, DL 2000), com velocidade de

carregamento de 0,5 mm/min, até que ocorresse a fratura do espécime, utilizando um esquema de pistão sobre superfície plana (Figura 7). A tensão máxima de fratura foi obtida em N, e convertida em MPa segundo a fórmula a seguir:

$$T_s = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot T}$$

Onde, T_s é a resistência à tração diametral, P é a força máxima obtida (N), D é o diâmetro (6mm) e T é a espessura (3mm).

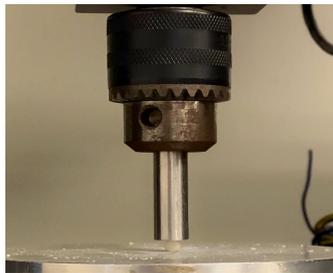


Figura 7 - Cilindro de resina (3x6mm) submetido ao teste de tração diametral.

Fonte - Acervo dos autores (2022).

Análise Estatística:

Para análise dos dados, os resultados foram tabulados e exportados para programa de análise estatísticas (SigamPlot 12.0, Systat Software, São Paulo, SP, Brasil), sendo submetidos aos testes de variância e normalidade (Shapiro-Wilk). Para microdureza, módulo de elasticidade e Grau de Conversão foi utilizado Análise variância em dois fatores com repetição de amostra (topo x base, ANOVA 2-way RM) seguido de teste Tukey HSD. Para o teste de resistência à tração diametral, foi utilizado Teste T. Todas as análises foram realizadas com nível de confiança de 95% ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS

Os resultados de microdureza estão representados na Tabela 4, com comparação das médias dos valores obtidos do topo e da base para cada grupo experimental. O tempo de fotoativação de 10 segundos resultou em menores médias de dureza comparado com os demais grupos experimentais, tanto para base quanto para o topo dos espécimes. Os demais grupos experimentais não apresentaram diferença estatística entre si, independente da região de análise (topo ou base). Para todos os grupos experimentais, o topo apresentou maiores médias de dureza comparado às da base ($p < 0,001$).

Tabela 4: Média da microdureza (KNP e desvio padrão \pm) e categoria estatística conforme ANOVA 2-way RM –Teste Tukey HSD ($p < 0,05$).

	10s	20s	40s	60s	120s
Topo	51,41 (\pm 5,57) Ba	56,36 (\pm 4,47) Aa	54,30 (\pm 3,58) Aa	54,65 (\pm 3,16) Aa	56,10 (\pm 2,57) Aa
Base	43,88 (\pm 3,97) Bb	48,93 (\pm 6,41) Aa	50,79 (\pm 3,40) Aa	49,58 (\pm 5,16) Aa	52,98 (\pm 3,90) Aa

*Letras maiúsculas para comparação horizontal: entre tempos de fotoativação ($p = 0,001$). Letras minúsculas para comparação vertical (topo e base) ($p < 0,001$). Não houve interação entre os fatores ($p = 0,199$).

Os resultados para o módulo de elasticidade estão representados na Tabela 5, com comparação das médias dos valores obtidos do topo e da base para cada grupo experimental. O tempo de fotoativação de 10 segundos resultou em menores médias para módulo de elasticidade comparado com os tempos de 40s, 60s e 120s, tanto para base quanto para topo dos espécimes. Para todos os grupos experimentais, o topo apresentou maiores médias para módulo de elasticidade comparado às da base ($p < 0,001$).

Tabela 5: Média do módulo de elasticidade (GPa e desvio padrão \pm) e categoria estatística conforme ANOVA 2-way RM –Teste Tukey HSD ($p < 0,05$).

	10s	20s	40s	60s	120s
Topo	9,93 (\pm 2,70) Ba	12,85 (\pm 3,97) ABa	13,64 (\pm 2,98) Aa	14,13 (\pm 2,39) Aa	14,73 (\pm 2,95) Aa
Base	8,76 (\pm 2,92) Bb	10,74 (\pm 2,32) ABb	10,99 (\pm 2,09) Ab	10,07 (\pm 1,98) Ab	10,08 (\pm 1,37) Ab

*Letras maiúsculas para comparação horizontal: entre tempos de fotoativação ($p = 0,014$). Letras minúsculas para comparação vertical (topo e base) ($p < 0,001$). Não houve interação entre os fatores ($p = 0,097$).

Os resultados para o grau de conversão estão representados na Tabela 6, com comparação das médias dos valores obtidos do topo e da base para cada grupo experimental. Para o topo, não houveram diferenças estatísticas entre os tempos de fotoativação analisados. Entretanto, ao analisar o grau de conversão da base dos espécimes, o grupo fotoativado por 10 segundos apresentou menores médias (23,16%) e o grupo de 120 segundos o de maiores médias (54,87%). Apesar do tempo de 20 segundos apresentar maior grau de conversão quando comparado ao tempo de 10 segundos, este apresentou médias inferiores aos tempos de 40 e 60 segundos, que foram similares estatisticamente entre si. Para todos os grupos, o topo apresentou maiores médias para grau de conversão comparado às da base ($p < 0,001$).

Tabela 6: Média do grau de conversão (% e desvio padrão \pm) e categoria estatística conforme ANOVA 2-way RM –Teste Tukey HSD ($p < 0,05$).

	10s	20s	40s	60s	120s
Topo	62,18 (\pm 6,69) Aa	64,60 (\pm 2,03) Aa	66,06 (\pm 3,00) Aa	67,17 (\pm 3,68) Aa	65,52 (\pm 5,22) Aa
Base	23,16 (\pm 6,25) Db	29,61 (\pm 8,77) Cb	40,07 (\pm 1,42) Bb	44,05 (\pm 3,84) Bb	54,87 (\pm 2,68) Ab

*Letras maiúsculas para comparação horizontal: entre tempos de fotoativação. Letras minúsculas para comparação vertical (topo e base) ($p < 0,001$). Houve interação entre os fatores ($p < 0,001$).

A Tabela 7 apresenta a relação dos valores de dureza e grau de conversão para base/topo. Em relação à dureza, esta relação foi superior a 80% para todos os tempos de fotoativação analisados. Já para o grau de conversão, todos os grupos apresentaram valores inferiores a 90%.

Tabela 7: Análise da relação base/topo para microdureza e grau de conversão (%).

	10s	20s	40s	60s	120s
Dureza	85,35	86,81	93,53	90,72	94,43
Grau de conversão	37,24	45,83	60,65	65,57	83,74

Os resultados da resistência máxima à tração diametral estão representados na Tabela 8, com comparação das médias dos valores obtidos para cada grupo experimental. Não foram observadas diferenças significantes entre os grupos avaliados ($p = 0,442$).

Tabela 8: Média da resistência máxima à tração diametral (GPa e desvio padrão \pm) e categoria estatística conforme ANOVA 1-way – Teste Tukey HSD ($p < 0.05$).

10s	20s	40s	60s	120s
28,05 (\pm 3,79) A	31,92 (\pm 5,92) A	28,17 (\pm 6,37) A	28,84 (\pm 4,90) A	29,74 (\pm 4,58) A

*Letras maiúsculas para comparação horizontal: entre tempos de fotoativação ($p = 0.442$).

DISCUSSÃO

A polimerização adequada das resinas compostas é um fator essencial para que as restaurações sejam duradouras e possuam desempenho clínico adequado (YAP; SENEVIRATNE, 2001). Ao contrário disso, variações na intensidade da luz e tempo de exposição (dose de energia), além da técnica de fotoativação podem afetar negativamente o processo de polimerização, gerando propriedades físicas e mecânicas inadequadas, além de reações pulpares negativas (ARAVAMUDHAN et al., 2006; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2005;).

Diante dos fatores analisados, a hipótese nula proposta foi rejeitada, pois a dose de energia, a depender da variação do tempo de fotopolimerização, induziu alterações significativas nas propriedades da resina composta avaliada (dureza, módulo de elasticidade e grau de conversão). Os espécimes fotoativados com intensidade de 869 mW/cm² por um período de 10 segundos apresentaram dureza (topo e base) e grau de conversão (base) inferiores às do grupo fotoativado por 20 segundos. Enquanto os espécimes fotoativados por tempos superiores, 40, 60 e 120 segundos, induziram melhorias no grau de conversão sem, no entanto, resultar em alterações na microdureza, resistência à tração diametral e módulo de elasticidade. Este resultado demonstra que a dose de energia é um aspecto crucial no desempenho dos compósitos resinosos, corroborando com estudos prévios (CALHEIROS et al., 2006; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2005; SILVA et al., 2007; HALVORSON; ERICKSON; DAVIDSON, 2002).

Na física, a dureza diz respeito à resistência que um material possui à deformação definitiva quando submetido a uma penetração, envolvendo forças e tensões complexas. Nesse sentido, considerando as resinas restauradoras e as constantes tensões compressivas às quais esses materiais são submetidos, principalmente durante a mastigação, a dureza é um aspecto de suma relevância, visto ser diretamente proporcional à resistência ao desgaste (MAIR et al., 1996). A literatura mostra que a microdureza e o consequente desempenho dos compósitos fotopolimerizáveis tem relação direta com os métodos de fotoativação empregados (CAVALCANTE et al., 2003; CONSANI

et al., 2002; COTRINA et al., 2003; COSTA et al., 2002). Ao ser analisada sob efeito de variados tempos de exposição, essa propriedade passa a não apresentar melhoras significativas a partir de determinado período de exposição, estabilizando-se quando exposta a tempos superiores ao recomendado pelo fabricante (20 segundos). Dessa maneira, tempos de exposição mais curtos podem levar ao comprometimento da dureza, reduzindo seus valores (BROSH et al., 1997). Ambas as situações descritas em investigações prévias (fotoativação insuficiente ou sobrefotoativação) estão em concordância com os achados da presente pesquisa. Neste trabalho, o tempo de fotoativação de 20 segundos apresentou valores de dureza similares aos tempos de fotoativação de 40, 60 e 120 segundos; mesmo quando comparados valores da base e do topo. Já o tempo de fotoativação de 10 segundos resultou em valor de dureza inferior aos demais grupos, sendo este inferior ao tempo recomendado pelo fabricante.

No que diz respeito ao módulo de elasticidade, a sua importância se deve à possibilidade de deformação do material, visto que os compósitos resinosos que apresentam baixo módulo, quando em função e submetidos a intenso esforços mastigatórios, terão maiores chances de sofrerem deformação e possível falha (ILIE; HICKEL, 2009). Nessa perspectiva, os resultados obtidos mostram que o aumento do tempo de exposição além do recomendado pelo fabricante não proporciona ao material melhoras relevantes no sentido de diminuir essa probabilidade de deformação (aumento do módulo de elasticidade). Com apenas 10 segundos de fotoativação, houve comprometimento do módulo de elasticidade, resultando em média inferior às dos tempos de 40, 60 e 120 segundos. Isto, possivelmente, influenciaria negativamente o desempenho clínico da resina considerando a importância de um comportamento biomecânico próximo ao da dentina (MACHADO et al., 2017). Além disso, acrescenta-se que a base dos espécimes avaliados apresentou menores valores de módulo de elasticidade para todos os tempos de fotoativação.

O grau de conversão obtido ao final da polimerização é dependente de uma série de fatores que podem influenciar a conversão de monômeros em polímeros (CALHEIROS et al., 2004). Fatores intrínsecos, características físico-químicas específicas de cada material, e fatores extrínsecos, relacionado

ao processo de fotopolimerização podem influenciar na conversão dos monômeros em polímeros (CALHEIROS et al., 2004). Ainda não existe um valor percentual pré-estabelecido do grau de conversão que determine performance clínica aceitável; não obstante, segundo a literatura, valores de conversão inferiores a 55% não são recomendáveis para os incrementos de restaurações oclusais (CALHEIROS et al., 2004). Validando essa situação, a presente pesquisa mostrou que o topo das amostras em estudo quando submetidas à fotopolimerização com intensidade de 864 mW/cm² durante o tempo recomendado pelo fabricante (20 segundos), obtiveram uma média de conversão de 64,60%. Os tempos superiores, 40, 60 e 120 segundos, e mesmo o tempo inferior, 10 segundos, apresentaram médias estatisticamente semelhantes. Ou seja, quando mantida constante a potência da luz, apesar de variar o tempo de polimerização, os topos das amostras alcançaram valores aceitáveis. Por outro lado, ao serem analisadas as bases das mesmas amostras, as médias percentuais não foram satisfatórias para os tempos de 10, 20, 40 e 60 segundos, melhorando quando fotoativada por 120 segundos (54,87%), quase alcançando a média recomendável para o incremento oclusal.

Variações no tempo de fotoativação e intensidade da luz emitida pelo fotopolimerizador também influenciam na profundidade de polimerização do material (MAIR et al., 1996; CAVALCANTE et al., 2003). Sabe-se que o tempo de exposição tem direta influência sobre dureza superficial das resinas, bem como sobre a conversão de monômeros em polímeros ao longo de toda a estrutura do material (MAIR et al., 1996). Um estudo mostrou que, quando fotoativados por 20 segundos, os compósitos resinosos apresentam grau de conversão e, conseqüentemente, microdureza menores a partir dos dois primeiros milímetros de profundidade, justificado pela diminuição da intensidade da luz à medida que a espessura da resina aumenta (MAIR et al., 1996). Já quando fotoativada pelo dobro do tempo, 40 segundos, a resina passa a apresentar sutil melhora em sua base e constância, sem melhoras significativas, em tempos superiores (CAVALCANTE et al., 2003). Neste estudo, mesmo as amostras para dureza e grau de conversão apresentando apenas 2 mm de profundidade, a base da amostra apresentou valores estatisticamente inferiores de dureza e grau de conversão do que o topo para todos os tempos analisados. Entretanto, a proporção base/topo para estas

propriedades foi diminuindo conforme aumentou-se o tempo de fotoativação. Sendo assim e extrapolando estes achados para a aplicação clínica, a profundidade de polimerização das resinas é de extrema importância, visto que em cavidade amplas, compósitos resinosos convencionais devem ser inseridos em incrementos com no máximo 2,0 mm de espessura a fim de que se obtenha polimerização adequada e maior homogeneidade nas propriedades ao longo de toda a dimensão do material.

A resistência à tração diametral fornece informações a respeito da capacidade dos materiais em suportar forças de tração que são geradas sobre eles, no caso das resinas, forças de tração exercidas durante a mastigação (PONTES et al., 2013). Essa propriedade, na pesquisa em questão, não foi influenciada com o aumento do tempo de exposição. Contrário a isso, manteve-se estatisticamente constante para todos os grupos experimentais (de 10 até 120 segundos). Este resultado corrobora com estudo anterior, que obteve resultados semelhantes (BROSH et al., 1997). Este resultado pode ser justificado pela geometria dos espécimes, cilindros com 3 mm de diâmetro e 6 mm de espessura. Considerando que a espessura máxima de cada incremento seja de até 2 mm, neste teste, cada espécime foi confeccionado com 3 incrementos fotoativados pelos tempos do fator em estudo analisado. Assim, os primeiros e segundos incrementos foram fotoativados por mais de uma vez, o que provavelmente levou à homogeneização dos resultados entre os grupos.

De certa forma, dureza e grau de conversão estão correlacionados (BOUSCHLICHER; RUEGGERBERG; WILSON, 2004), uma vez que a propriedade dureza é considerada parâmetro direto para avaliação do grau de conversão dos compósitos resinosos (RUEGGERBERG; TAMARESELY, 1995). Nessa perspectiva, a literatura traz que existe uma análise para estas propriedades quanto à relação dos valores de base e topo das amostras para se obter uma excelente performance clínica. Assim, a base das amostras deve apresentar no mínimo 80% da dureza quando comparado ao topo. Isto seria equivalente a aproximadamente uma relação de 90% do grau de conversão comparando base/topo (DEWALD; FERRACANE, 2004). Neste estudo, a relação base/topo para a dureza foi superior a 80% para todos os tempos de fotoativação analisados, o que sinalizaria para um bom desempenho mecânico. Por outro lado, a relação base/topo para o grau de conversão foi inferior a 90%

para todos os grupos, o que poderia resultar em baixo desempenho mecânico. Devido a esta contradição da análise da proporção das propriedades da base/topo para dureza e grau de conversão, estas devem ser analisadas com cautela mesmo sendo descritas na literatura.

A contração de polimerização pode ser definida como a redução volumétrica que ocorre em decorrência da movimentação e aproximação dos monômeros entre si durante o processo de polimerização (SANTOS; SILVA; MONDELLI, 2002). Essa propriedade é um dos fatores que mais limitam o sucesso clínico das resinas compostas (SANTOS; SILVA; MONDELLI, 2002). Há uma premissa recorrentemente citada na literatura de que maiores doses de energia resultam em maior contração de polimerização (SANTOS; SILVA; MONDELLI, 2002). Em concordância a essa afirmação, estudos mostraram que quando fotoativadas por períodos prolongados (altas doses de energia), as resinas compostas passam a apresentar valores da tensão de contração significativamente maiores comparadas a tempos inferiores, independentemente da fonte de luz (CASTAÑEDA-ESPINOSA; MONDELLI, 2002). No entanto, no presente trabalho essa relação não foi avaliada, sendo importante estudos futuros sobre o tema.

Vale destacar que os resultados deste trabalho não são determinantes para se definir um protocolo padrão de fotoativação para os compósitos resinosos, uma vez que, se tratando de uma pesquisa laboratorial, esta se enquadra na base da pirâmide de evidência científica (ROSNER, 2002), tendo ainda analisado apenas um material resinoso. É importante também, para esses casos, atentar-se à necessidade de diversos e variados métodos de investigação e experimentação científica a fim de se obter uma resposta eficaz à pergunta de uma pesquisa, visto que todos os modelos de experimentação quantitativa não devem ser interpretados como métodos absolutos de conhecimento (ROSNER, 2002). Contudo, os resultados encontrados não devem ser descartados e podem ser considerados relevantes por se aproximarem e, por vezes, se assemelham aos resultados obtidos em pesquisas anteriores (CALHEIROS et al., 2006; ASMUSSEN; PEUTZFELDT, 2005; SILVA et al., 2007; HALVORSON; ERICKSON; DAVIDSON, 2002). Dessa forma, outros estudos com metodologias complementares são recomendados para avaliarem as diferenças qualitativas das propriedades

físicas e mecânicas das resinas compostas quando submetidas a diferentes protocolos de fotoativação.

CONCLUSÃO

Levando em consideração os dados obtidos neste estudo, pode-se concluir que:

- O tempo de fotoativação inferior (10s) ao recomendado pelo fabricante comprometeu algumas das propriedades físicas da resina composta nanohíbrida avaliada;

- Os tempos de fotoativação superiores (40s, 60s e 120s) aos recomendados pelos fabricantes aumentaram o grau de conversão, sem contudo resultar em implementação da dureza, resistência à tração diametral e módulo de elasticidade;

- Mesmo em espécimes com 2 mm de espessura, a base apresentou menor dureza e grau de conversão, independentemente do tempo de fotoativação.

REFERÊNCIAS

ALZRAIKAT, H. et al. Nanofilled Resin Composite Properties and Clinical Performance: A Review. **Operative Dentistry**, v. 43, n. 4, p. E173–E190, 1 jul. 2018.

ARAVAMUDHAN, K. et al. Light-emitting diode curing light irradiance and polymerization of resin-based composite. **The Journal of the American Dental Association**, v. 137, n. 2, p. 213–223, fev. 2006.

ASMUSSEN, E.; PEUTZFELDT, A. Polymerization contraction of resin composite vs. energy and power density of light-cure. **European Journal of Oral Sciences**, v. 113, n. 5, p. 417–421, out. 2005.

BOUSCHLICHER, M. R.; RUEGGER, F. A.; WILSON, B. M. Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. **Operative Dentistry**, v. 29, n. 6m p. 698-704, 2004.

BROSH, T. et al. The influence of surface loading and irradiation time during curing on mechanical properties of a composite. **J Prosthet Dent**, v. 77, n. 6, p. 573-577, 1997.

CALHEIROS, F. C. et al. Influence of radiant exposure on contraction stress, degree of conversion and mechanical properties of resin composites. **Dental Materials**, v. 22, n. 9, p. 799–803, set. 2006.

CALHEIROS, F. C. et al. Relationship between contraction stress and degree of conversion in restorative composites. **Dent Mater**, v. 20, n. 10, p. 939-946, 2004.

CASTAÑEDA-ESPINOSA, J. C.; MONDELLI, R. F. L. Avaliação das forças de contração na polimerização de resinas compostas ativadas com luz halógena e LED. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA

ODONTOLÓGICA, 19., Aguas de Lindóia, 2002. **Anais**. Águas de Lindóia, Ed. Científica, 2002. p.15.

CAVALCANTI, A. P.; CASTANEDA-ESPINOSA, J. C.; MONDELLI, R. F. L. Avaliação das forças de contração de polimerização em diferentes técnicas com a mesma energia de irradiação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE PESQUISA ODONTOLÓGICA, 20., Águas de Lindóia, 2003. **Anais**. Águas de Lindóia, Ed. Científica, 2003. p.95.

CARDOSO, I. et al. Influence of Different Cordless Light-emitting-diode Units and Battery Levels on Chemical, Mechanical, and Physical Properties of Composite Resin. **Operative Dentistry**, v. 45, n. 4, p. 377–386, 1 jul. 2020.

CAVALCANTE, L. M. A. et al. Influence of polymerization technique on microleakage and microhardness of resin composite restorations. **Operative dentistry**, v. 28, n. 2, p. 200–6, 2003.

CONSANI, S. et al. Efeito dos métodos de fotoativação e de inserção sobre a dureza de resinas compostas. **Pesqui Odontol**, v. 16, n. 4, p. 355-360, 2002.

COSTA, L. H. et al. Avaliação da dureza superficial das resinas compostas: Efeito da complementação da fotopolimerização por diferentes métodos. *Rev Cienc Odontol*, v. 5, n. 5, p. 67-71, 2002.

COTRINA, L. A. D. et al. Efeito de diferentes sistemas de Fotopolimerização na Microdureza de uma Resina Composta Bleach Shade. **JBD**, v. 3, n. 8, p. 348-357, 2003.

COUTO, M. G. P. et al. Estudo do “creep” em cinco resinas compostas fotopolimerizáveis. **Rev. FOB**, v. 8, n. 3/4, p. 37–42, dez. 2000.

DA SILVA, E. M.; POSKUS, L. T.; GUIMARÃES, J. G. A. Influence of Light-polymerization Modes on the Degree of Conversion and Mechanical Properties of Resin Composites: A Comparative Analysis Between a Hybrid and

a Nanofilled Composite. **Operative Dentistry**, v. 33, n. 3, p. 287–293, 1 maio 2008.

DEWALD, J. P.; FERRACANE, J. L. A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. **Journal of Dental Research**, v. 66, n. 3, p. 727-730, 1987.

FARIA-E-SILVA, A. L.; PFEIFER, C. S. Impact of thio-urethane additive and filler type on light-transmission and depth of polymerization of dental composites. **Dental Materials**, v. 33, n. 11, p. 1274–1285, nov. 2017.

ILIE, N.; HICKEL, R. Investigations on mechanical behavior of dental composites. **Clin Oral Inves**, v. 13, n. 4, p. 427-438, 2009.

HALVORSON, R. H.; ERICKSON, R. L.; DAVIDSON, C. L. Energy dependent polymerization of resin-based composite. **Dental Materials**, v. 18, n. 6, p. 463–469, set. 2002.

KUBO, S.; KAWASAKI, A.; HAYASHI, Y. Factors associated with the longevity of resin composite restorations. **Dental Materials Journal**, v. 30, n. 3, p. 374–383, 2011.

MACHADO, A. C. et al. Stress-strain Analysis of Premolars With Non-cariou Cervical Lesions: Influence of Restorative Material, Loading Direction and Mechanical Fatigue. **Oper Dent**, v. 42, n. 3, p. 253-265, mar. 2017.

MAIR, L. H. et al. Wear: mechanisms, manifestations and measurement. Report of a workshop. **Journal of Dentistry**, v. 24, n. 1–2, p. 141–148, jan. 1996.

NEVES, A. D. et al. Correlação entre grau de conversão, microdureza e conteúdo inorgânico em compósitos. **Pesquisa Odontológica Brasileira**, v. 16, n. 4, p. 349–354, dez. 2002.

OLIVEIRA, K. M. C. et al. Shrinkage stress and degree of conversion of a dental composite submitted to different photoactivation protocols. **Acta odontologica latinoamericana : AOL**, v. 25, n. 1, p. 115–22, 2012.

PONTES, L. F. et al. Mechanical properties of nanofilled and microhybrid composites cured by different light polymerization modes. **General dentistry**, v. 61, n. 3, p. 30–3, 2013.

RENCZ, A.; HICKEL, R.; ILIE, N. Curing efficiency of modern LED units. **Clinical Oral Investigations**, v. 16, n. 1, p. 173–179, 14 fev. 2012.

ROSNER, A. L. Evidence-based medicine: revisiting the pyramid of priorities. **J Bodyw Mov Ther**, v. 16, n. 1, p. 42-49, 2012.

RUEGGERBERG, F.; TAMARESLVY, K. Resin cure determination by polymerization shrinkage. **Dental Materials**, v. 11, n. 4, p.265-268, 1995.

SALGADO, V. E. et al. Does translucency influence cure efficiency and color stability of resin-based composites? **Dental Materials**, v. 34, n. 7, p. 957–966, jul. 2018.

SILVA, G. R. DA et al. Mechanical Properties of Light-curing Composites Polymerized with Different Laboratory Photo-curing Units. **Dental Materials Journal**, v. 26, n. 2, p. 217–223, 2007.

SOARES, C. J. et al. Polymerization shrinkage stress of composite resins and resin cements – What do we need to know? **Brazilian Oral Research**, v. 31, n. suppl 1, 28 ago. 2017.

SOARES, P. V. et al. Resina composta nos últimos 10 anos - Revisão de Literatura. Parte 2: Propriedades Mecânicas. **Dental Press Publising - J Clin Dent Res**, v. 16, n. 1, p. 58-72, jan-abr. 2019.

TABOR, D. The hardness of solids. **Reviews of Physics in Technology**, v. 1, n. 3, p. 145–179, 1 jan. 1970.

TONGTAKSIN, A.; LEEVAILOJ, C. Battery Charge Affects the Stability of Light Intensity from Light-emitting Diode Light-curing Units. **Operative Dentistry**, v. 42, n. 5, p. 497–504, 1 set. 2017.

TURBINO, M. L.; SANTOS, L. A.; MATSON, E. Microdureza de resina composta fotopolimerizável: a cor da matriz experimental pode alterar os resultados dos testes? **Pesquisa Odontológica Brasileira**, v. 14, n. 3, p. 232–236, set. 2000.

YAP, A. U.; SENEVIRATNE, C. Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. **Operative dentistry**, v. 26, n. 5, p. 460–6, 2001.

ANEXOS

Anexo 1: Relatório de Análise estatística – Dureza Knoop

Two Way Repeated Measures ANOVA (One Factor Repetition) sexta-feira, agosto 12, 2022, 17:41:14

Data source: Data 1 in Notebook1

Balanced Design

Dependent Variable: Col 4

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0,973)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,621)

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
tempo	4	522,003	130,501	5,402	0,001
amostras(tempo)		45	1087,120	24,158	
superficie	1	710,542	710,542	50,956	<0,001
tempo x superficie	4	87,547		21,887	1,570
Residual		45	627,487	13,944	0,199
Total	99	3034,700	30,654		

The difference in the mean values among the different levels of tempo is greater than would be expected by chance after allowing for effects of differences in superficie. There is a statistically significant difference (P = 0,001). To isolate which group(s) differ from the others use a multiple comparison procedure.

The difference in the mean values among the different levels of superficie is greater than would be expected by chance after allowing for effects of differences in tempo. There is a statistically significant difference (P = <0,001). To isolate which group(s) differ from the others use a multiple comparison procedure.

The effect of different levels of tempo does not depend on what level of superficie is present. There is not a statistically significant interaction between tempo and superficie. (P = 0,199)

Power of performed test with alpha = 0,0500: for tempo : 0,917

Power of performed test with alpha = 0,0500: for superficie : 1,000

Power of performed test with alpha = 0,0500: for tempo x superficie : 0,172

Least square means for tempo :

Group Mean

10s 47,646

20s 52,648

40s 52,547

60s 52,113

120s 54,542

Std Err of LS Mean = 1,099

Least square means for superficie :

Group Mean

topo 54,565

base 49,234

Std Err of LS Mean = 0,617

Least square means for tempo x superficie :

Group	Mean
10s x topo	51,410
10s x base	43,882
20s x topo	56,362
20s x base	48,934
40s x topo	54,300
40s x base	50,794
60s x topo	54,650
60s x base	49,576
120s x topo	56,102
120s x base	52,982

Std Err of LS Mean = 1,380

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor: **tempo**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,050
120s vs. 10s	6,896	5	6,275	<0,001	Yes
120s vs. 60s	2,429	5	2,210	0,528	No
120s vs. 40s	1,995	5	1,815	0,703	Do Not Test
120s vs. 20s	1,894	5	1,723	0,741	Do Not Test
20s vs. 10s	5,002	5	4,551	0,019	Yes
20s vs. 60s	0,535	5	0,487	0,997	Do Not Test
20s vs. 40s	0,101	5	0,0919	1,000	Do Not Test
40s vs. 10s	4,901	5	4,459	0,023	Yes
40s vs. 60s	0,434	5	0,395	0,999	Do Not Test
60s vs. 10s	4,467	5	4,064	0,046	Yes

Comparisons for factor: **superficie**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,050	
topo vs. base		5,331	2	10,095	<0,001	Yes

A result of "Do Not Test" occurs for a comparison when no significant difference is found between two means that enclose that comparison. For example, if you had four means sorted in order, and found no difference between means 4 vs. 2, then you would not test 4 vs. 3 and 3 vs. 2, but still test 4 vs. 1 and 3 vs. 1 (4 vs. 3 and 3 vs. 2 are enclosed by 4 vs. 2: 4 3 2 1). Note that not testing the enclosed means is a procedural rule, and a result of Do Not Test should be treated as if there is no significant difference between the means, even though one may appear to exist.

Anexo 2: Relatório de Análise estatística – Módulo de Elasticidade

Two Way Repeated Measures ANOVA (One Factor Repetition) sexta-feira, agosto 12, 2022, 21:40:25

Data source: Data 1 in Dureza

Balanced Design

Dependent Variable: E

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0,312)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,125)

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
tempo	4	130,799	32,700	3,530	0,014
amostras(tempo)	45	416,843	9,263		
superficie	1	214,120	214,120	44,357	<0,001
tempo x superficie	4	40,468	10,117	2,096	0,097
Residual	45	217,222	4,827		
Total	99	1019,453	10,298		

The difference in the mean values among the different levels of tempo is greater than would be expected by chance after allowing for effects of differences in superficie. There is a statistically significant difference (P = 0,014). To isolate which group(s) differ from the others use a multiple comparison procedure.

The difference in the mean values among the different levels of superficie is greater than would be expected by chance after allowing for effects of differences in tempo. There is a statistically significant difference (P = <0,001). To isolate which group(s) differ from the others use a multiple comparison procedure.

The effect of different levels of tempo does not depend on what level of superficie is present. There is not a statistically significant interaction between tempo and superficie. (P = 0,097)

Power of performed test with alpha = 0,0500: for tempo : 0,669

Power of performed test with alpha = 0,0500: for superficie : 1,000

Power of performed test with alpha = 0,0500: for tempo x superficie : 0,310

Least square means for tempo :

Group Mean

10s 9,345

20s 11,793

40s 12,315

60s 12,103

120s 12,409

Std Err of LS Mean = 0,681

Least square means for superficie :

Group Mean

topo 13,056

base 10,130

Std Err of LS Mean = 0,375

Least square means for tempo x superficie :

Group Mean

10s x topo 9,927

10s x base	8,763
20s x topo	12,848
20s x base	10,738
40s x topo	13,641
40s x base	10,988
60s x topo	14,131
60s x base	10,074
120s x topo	14,733
120s x base	10,084
Std Err of LS Mean = 0,839	

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor: **tempo**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,050
120s vs. 10s	3,064	5	4,502	0,021	Yes
120s vs. 20s	0,615	5	0,904	0,968	No
120s vs. 60s	0,306	5	0,450	0,998	Do Not Test
120s vs. 40s	0,0942	5	0,138	1,000	Do Not Test
40s vs. 10s	2,970	5	4,364	0,027	Yes
40s vs. 20s	0,521	5	0,766	0,982	Do Not Test
40s vs. 60s	0,212	5	0,311	1,000	Do Not Test
60s vs. 10s	2,758	5	4,052	0,047	Yes
60s vs. 20s	0,310	5	0,455	0,998	Do Not Test
20s vs. 10s	2,448	5	3,598	0,099	No

Comparisons for factor: **superficie**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,050
topo vs. base	2,927	2	9,419	<0,001	Yes

A result of "Do Not Test" occurs for a comparison when no significant difference is found between two means that enclose that comparison. For example, if you had four means sorted in order, and found no difference between means 4 vs. 2, then you would not test 4 vs. 3 and 3 vs. 2, but still test 4 vs. 1 and 3 vs. 1 (4 vs. 3 and 3 vs. 2 are enclosed by 4 vs. 2: 4 3 2 1). Note that not testing the enclosed means is a procedural rule, and a result of Do Not Test should be treated as if there is no significant difference between the means, even though one may appear to exist.

Anexo 3: Relatório de Análise estatística – Grau de Conversão

Two Way Repeated Measures ANOVA (One Factor Repetition) segunda-feira, setembro 12, 2022, 11:35:43

Data source: Data 1 in Notebook1

Balanced Design

Dependent Variable: Col 4

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0,397)

Equal Variance Test: Passed (P = 0,534)

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
tempo 4	3840,103	960,026	43,194	<0,001	
Col 1(tempo)	45	1000,163	22,226		
area 1	17894,783	17894,783	701,024	<0,001	
tempo x area	4	2456,107	614,027	24,054	<0,001
Residual	45	1148,699	25,527		
Total	99	26339,855	266,059		

Main effects cannot be properly interpreted if significant interaction is determined. This is because the size of a factor's effect depends upon the level of the other factor.

The effect of different levels of tempo depends on what level of area is present. There is a statistically significant interaction between tempo and area. (P = <0,001)

Power of performed test with alpha = 0,0500: for tempo : 1,000

Power of performed test with alpha = 0,0500: for area : 1,000

Power of performed test with alpha = 0,0500: for tempo x area : 1,000

Least square means for tempo :

Group Mean

10s 42,669

20s 47,107

40s 53,063

60s 55,610

120s 60,198

Std Err of LS Mean = 1,054

Least square means for area :

Group Mean

topo 65,106

base 38,352

Std Err of LS Mean = 0,691

Least square means for tempo x area :

Group Mean

10s x topo 62,176

10s x base 23,162

20s x topo 64,601

20s x base 29,614

40s x topo 66,061

40s x base 40,065

60s x topo 67,173

60s x base 44,046
 120s x topo 65,522
 120s x base 54,874
 Std Err of LS Mean = 1,545

All Pairwise Multiple Comparison Procedures (Tukey Test):

Comparisons for factor: **area within 10s**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,05
topo vs. base	39,014	2	24,419	<0,001	Yes

Comparisons for factor: **area within 20s**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,05
topo vs. base	34,987	2	21,898	<0,001	Yes

Comparisons for factor: **area within 40s**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,05
topo vs. base	25,995	2	16,271	<0,001	Yes

Comparisons for factor: **area within 60s**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,05
topo vs. base	23,127	2	14,475	<0,001	Yes

Comparisons for factor: **area within 120s**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,05
topo vs. base	10,648	2	6,665	<0,001	Yes

Comparisons for factor: **tempo within topo**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,05
60s vs. 10s	4,997	5	3,234	0,159	No
60s vs. 20s	2,572	5	1,665	0,764	Do Not Test
60s vs. 120s	1,651	5	1,069	0,942	Do Not Test
60s vs. 40s	1,112	5	0,720	0,986	Do Not Test
40s vs. 10s	3,885	5	2,514	0,393	Do Not Test
40s vs. 20s	1,460	5	0,945	0,963	Do Not Test
40s vs. 120s	0,539	5	0,349	0,999	Do Not Test
120s vs. 10s	3,346	5	2,165	0,545	Do Not Test
120s vs. 20s	0,921	5	0,596	0,993	Do Not Test
20s vs. 10s	2,425	5	1,569	0,801	Do Not Test

Comparisons for factor: **tempo within base**

Comparison	Diff of Means	p	q	P	P<0,05
120s vs. 10s	31,712	5	20,523	<0,001	Yes
120s vs. 20s	25,260	5	16,347	<0,001	Yes
120s vs. 40s	14,809	5	9,584	<0,001	Yes
120s vs. 60s	10,827	5	7,007	<0,001	Yes
60s vs. 10s	20,885	5	13,516	<0,001	Yes
60s vs. 20s	14,432	5	9,340	<0,001	Yes
60s vs. 40s	3,981	5	2,576	0,368	No
40s vs. 10s	16,903	5	10,939	<0,001	Yes
40s vs. 20s	10,451	5	6,764	<0,001	Yes
20s vs. 10s	6,452	5	4,176	0,032	Yes

A result of "Do Not Test" occurs for a comparison when no significant difference is found between two means that enclose that comparison. For example, if you had four means sorted in order, and found no difference between means 4 vs. 2, then you would not test 4 vs. 3 and 3 vs. 2, but still test 4 vs. 1 and 3 vs. 1 (4 vs. 3 and 3 vs. 2 are enclosed by 4 vs. 2: 4 3 2 1). Note that not testing the enclosed means is a procedural rule, and a result of Do Not Test should be treated as if there is no significant difference between the means, even though one may appear to exist.

Anexo 4: Relatório de Análise estatística – Resistência Máxima à tração**One Way Analysis of Variance**

segunda-feira, setembro 26, 2022, 12:21:14

Data source: Data 1 in Notebook1

Dependent Variable: log10(col(2))

Normality Test (Shapiro-Wilk) Passed (P = 0.073)**Equal Variance Test:** Passed (P = 0.152)

Group Name	N	Missing	Mean	Std Dev	SEM
10 segundos	10	0	1.445	0.0553	0.0175
20 segundos	10	0	1.497	0.0806	0.0255
40 segundos	10	0	1.440	0.0970	0.0307
60 segundos	10	0	1.455	0.0681	0.0215
120 segundos	10	0	1.469	0.0656	0.0208

Source of Variation	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	4	0.0213	0.00532	0.953	0.442
Residual	45	0.251	0.00558		
Total	49	0.272			

The differences in the mean values among the treatment groups are not great enough to exclude the possibility that the difference is due to random sampling variability; there is not a statistically significant difference (P = 0.442).

Power of performed test with alpha = 0.050: 0.049

The power of the performed test (0.049) is below the desired power of 0.800. Less than desired power indicates you are less likely to detect a difference when one actually exists. Negative results should be interpreted cautiously.