



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE – FS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA - PPGODT

Dissertação de Mestrado

Pino de fibra condutor de luz: tecnologia para melhorar a transmissão de luz

Ana Carolina Portes Pasmadjian Santos

Brasília, 21 de fevereiro de 2022

Ana Carolina Portes Pasmadjian Santos

Pino de fibra condutor de luz: tecnologia para melhorar a transmissão de luz

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Fernandes da Cunha

Brasília, 2022

Ana Carolina Portes Pasmadjian Santos

Pino de fibra condutor de luz: tecnologia para melhorar a transmissão de luz

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Odontologia, Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília

Data da defesa: 21/02/2022

Banca examinadora:

Prof. Dr. Leonardo Fernandes da Cunha (Orientador)

Prof. Dr. Alysson Nunes Diógenes

Prof. Dra. Liliana Vicente Melo de Lucas Rezende

Prof. Dra. Fernanda Cristina Pimentel Garcia (Suplente)

A Lucas e Bernardo.

Lucas, amor da vida, sem seu suporte e leveza não conseguiria chegar ao fim de mais uma etapa. Você sempre quis uma vida extraordinária, mas quem me proporciona essa vida é você, com a maior generosidade do mundo. Agradecimentos nunca serão suficientes.

“Como flechas nas mãos do guerreiro são os filhos nascidos na juventude”

Salmo 127:4

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade de Brasília pela oportunidade de pesquisa e acolhimento.

À minha família que me proporcionou educação e apoio desmedidos em todos os projetos e etapas desde os primeiros passos.

Ao querido Professor Leonardo pela melhor orientação que eu poderia ter. Pela solicitude, disponibilidade, pelas oportunidades, pelas mil gentilezas, idas aos laboratórios, conversas e risadas. Dizem que tenho muita sorte em ser sua orientada e é verdade. Eu não imaginava que merecia tanto. Agradeço a orientação objetiva e consistente, ao mesmo tempo agradável e generosa. Admiro seu conhecimento, sua nobreza, educação e leveza para tratar de qualquer assunto. Conte comigo sempre.

À Patricia Ferronato, minha querida amiga que a pós trouxe. Generosidade e sabedoria em pessoa. Sou grata por tudo que compartilhamos nessa fase e ansiosa pelas fases que virão.

À Gabriela pela amizade e ternura. Por tantos seminários juntas, conversas e suportes. Uma leveza que me faz muito feliz. Você mora no meu coração.

À Patricia Magno, minha amiga e dupla do Aria, pelo período compartilhado e reflexões sobre pós-graduação, dentística, Deus e família.

Ao professor Tien e ao Bruno pela ajuda com a estatística.

Aos professores Alysson, Liliana e Fernanda por aceitarem participar da banca com alegria e brevidade.

À professora Eloisa, da farmácia, pela solicitude e ajuda no contato com a Química.

Ao Instituto de Química pela disponibilidade e realização dos testes.

Ao Instituto Aria pelo conhecimento clínico embasado em ciência transmitido aos alunos. Especialmente, ao professor Mauricio Watanabe pelo apoio e compreensão de algumas ausências por compromissos do mestrado.

À Universidade de Brasília por todas as oportunidades que me proporcionou: desde o conhecimento técnico, ao incentivo a pesquisa, amizades e o início de uma profissão.

O meu sincero agradecimento!

“É justo que muito custe o que muito vale” (Santa Tereza D’Avila)

RESUMO

Este estudo avaliou a transmitância de luz através de dois pinos de fibra de vidro. Os pinos de fibra foram divididos em dois grupos: Exacto (comercial) e Experimental (fibras de vidro e quartzo com disposição modificadas). A transmitância de luz dos espécimes foi comparada usando um teste de intensidade luminosa por fotografias (n=4) e um segundo teste com um espectrofotômetro (n=10). A normalidade dos dados foi testada com o teste Shapiro Wilk, seguido de teste t de Welch, com nível de significância de 0.05. A porcentagem de iluminação do pino comercial no terço coronário foi 97%, no terço médio 68% e no terço apical 27,66%. Já para o pino de fibra de vidro com fibra de vidro e quartzo com disposição modificadas, a distribuição da luz foi de 95,33% no terço cervical, 80,66% no terço médio e 41,33% no terço apical. O espectrômetro revelou um efeito médio de 30% a mais de transmitância de luz do pino Experimental (97%) em relação ao Exacto comercial (66%). A quantidade de transmissão de luz depende do tipo de fibra e sua disposição. Os pinos do grupo Experimental transmitiram mais luz que o Comercial nas duas metodologias

Palavras chaves: luz, pino de fibra, transmitância

ABSTRACT

This study evaluated the light transmittance through two fiberglass posts. The fiber posts were divided into two groups: Exacto (commercial) and Experimental (glass and quartz fibers with modified arrangement). The light transmittance of the specimens was compared using a photographic light intensity test (n=4) and a second test performed with a spectrophotometer (n=10). Data normality was tested with the Shapiro Wilk test, followed by the Welch t test, with a significance level of 0.05. The percentage of illumination of the commercial pin in the first third (cervical) was 97%, in the second third (medium) 68% and in the third third (apical) 27.66%. As for the fiberglass post with increased efficiency by modifying the quantity and arrangement of fibers, the light distribution was 95.33% in the first third, 80.66% in the second third and 41.33% in the third third. The spectrometer revealed an average effect of 30% more light transmittance from the Experimental post (97%) compared to the commercial Exacto (66%). The amount of light transmission depends on the type of post and the light transmission capacity of the post. The pins from the Experimental group transmitted more light than the Commercial pins in both methodologies.

Key words: light, fiber post, transmittance

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Pinos avaliados no estudo.....	29
Figura 2: Câmera posicionada para capturar a passagem de luz através do pino.....	29
Figura 3: Pinos identificados e armazenados antes do teste.....	31
Figura 4: Espectrofotômetro Ultravioleta Visível e Infravermelho próximo (UV-Vis- NIR), Cary 5000, Varian.....	31
Figura 5: Pino posicionado dentro do Espectrofotômetro Ultravioleta Visível e Infravermelho próximo (UV-Vis- NIR), modelo Cary 5000, Varian.....	32
Figura 6: Anteparo utilizado para posicionar o pino dentro do equipamento.....	33
Figura 7: Teste para transmissão de luz. À esquerda pino Experimental apresentado. À direita, pino Exacto – Angelus.....	35
Figura 8: Gráfico para comparação da transmissão de luz entre os pinos.....	36
Figura 9: Gráfico para comparação em porcentagem da transmissão de luz entre os pinos apresentados.....	36
Figura 10: Valores percentuais de transmitância de luz e desvios padrão dos grupos em função do comprimento de onda.....	39
Figura 11: Valores de representação linear dos dados obtidos de transmitância de luz dos grupos em função do comprimento de onda.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias e desvio padrão dos grupos em função dos terços.....	37
Tabela 2 - Médias e desvios padrão de transmitância dos grupos em relação a todos os comprimentos de onda.....	40
Tabela 3 - Resultados no comprimento 400.....	40
Tabela 4 - Teste de Shapiro Wilk para dados de transmitância do comprimento 400.....	41
Tabela 5 - Teste de Shapiro Wilk para o arcosseno da raiz dos dados de transmitância do comprimento 400.....	41
Tabela 6 - Teste de Shapiro Wilk para o valor transformado z do comprimento 400.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS

UV- Vis- NIR - Espectrofotômetro ultravioleta-visível e infravermelho próximo

GPa - Unidade de pressão (gigapascal)

mm - Unidade de comprimento (milímetro)

Bis-GMA - Bisfenol-a glicidil metacrilato

E-glass – Vidro elétrico

Aramid – Poliamida aromática

LED – Diodo emissor de luz

nm – Unidade de comprimento (nanômetro)

pH – Potencial hidrogeniônico

SLR – Reflexo de única lente

ISO – Organização Internacional para padronização

CCD – Dispositivo de carga acoplada

hZ – Unidade de frequência (Hertz)

cm – Unidade de comprimento (centímetro)

s – Unidade de tempo (segundo)

μ s – Unidade de tempo (microsegundo)

UHMWP – Polietileno de ultra alto peso molecular

mW/cm² – Unidade de potência (miliwatts por centímetro quadrado)

% - Porcentagem

p – Probabilidade de significância

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVO GERAL	17
1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 PINO DE FIBRA DE VIDRO	18
2.2 LUZ	20
2.3 FRATURA	21
2.4 UV-VIS	23
2.5 FOTÔMETRO	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 DISCRIMINAÇÃO DO EXPERIMENTO NO PRESENTE TRABALHO ...	28
3.2 FOTÔMETRO	28
3.3 ESPECTROFOTÔMETRO ULTRAVIOLETA VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO (UV-VIS- NIR)	30
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	34
4 RESULTADOS	35
4.1 FOTÔMETRO	35
4.2 ESPECTROFOTÔMETRO ULTRAVIOLETA VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO (UV-VIS- NIR)	38
5 DISCUSSÃO	43
5.1 TRANSMISSÃO DE LUZ	43
5.2 COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES DOS PINOS	45
5.3 METODOLOGIA UTILIZADA	46
5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	48

6 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	52
PRESS RELEASE	56
ANEXOS	57

1 INTRODUÇÃO

A reabilitação de dentes com muita perda de estrutura foi feita com núcleos metálicos por muitas décadas. O surgimento de pinos pré-fabricados trouxe uma série de vantagens como melhores resultados estéticos, propriedades semelhantes à da dentina e facilidade de manipulação. Os pinos reforçados com fibra pré-fabricados são feitos de resina e fibras brancas ou translúcidas, como fibra de vidro, quartzo ou zircônia. Essas fibras transmitem luz ao longo do pino levando a uma maior polimerização do cimento resinoso. Cada pino possui uma composição de fibras e porcentagem resina/fibras diferentes [1-6]. Portanto, o estudo das fibras nos pinos intracanal é fundamental uma vez que existem inúmeras fibras que podem ser utilizadas para essa finalidade.

O tipo de pino influencia a quantidade de energia luminosa. A quantidade de luz absorvida, refletida e transmitida depende da composição das fibras e da matriz resinosa que as envolve. A densidade dessa energia diminui com o aumento da profundidade do canal [2]. Vários trabalhos descreveram a transmissão da luz através de pinos com distintas técnicas, como medição direta ou indireta. O teste de transmissão de luz pelo pino por fotômetro, por exemplo, é considerado uma forma direta e já foi utilizado em estudos anteriores [1,2]. A transmissão da luz medida em microscópio óptico de transmissão acoplado ao espectrômetro pode ser considerada uma forma eficiente e precisa para avaliação de transmissão de luz [2].

Outro método usado para avaliar a transmissão da luz de forma direta é a espectrofotometria ultravioleta. Esse equipamento, UV-VIS (Espectrofotômetro ultravioleta-visível), fornece informações sobre a estrutura do material estudado, analisando amostras sólidas, líquidas ou gasosas. Além da versatilidade dos tipos de amostra, é uma ferramenta útil para avaliar materiais dentários [7].

Sendo assim, o objetivo geral deste estudo foi avaliar a transmissão de luz pelos pinos de fibra testados por meio de dois métodos. A hipótese nula deste trabalho é que não há diferenças significativas na transmissão de luz dos pinos testados.

1.1 JUSTIFICATIVA

É muito relevante para a durabilidade do tratamento que a fotopolimerização seja eficaz. Especificamente, o terço apical é uma região crítica onde há muitas falhas de cura, e conseqüentemente, menor adesão. Para isso, é necessário que os pinos de fibra sejam testados e avaliados quanto a sua capacidade de transmissão da luz ao longo dos três terços.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a capacidade de transmissão da luz em dois tipos de pino de fibra, por meio de dois métodos.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

Testar a hipótese nula de que não haverá diferença significativa entre os dois pinos testados e avaliar de maneira quantitativa a transmissão da luz, ao longo do comprimento total do pino e por terços distintos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PINO DE FIBRA DE VIDRO

Os pinos de fibra ganharam espaço por terem várias características favoráveis ao uso clínico em relação aos metálicos. Propriedades mecânicas semelhantes à dentina, capacidade de adesão à estrutura radicular e boa estética são qualidades notórias do material. Vários trabalhos demonstram que pinos de fibra têm módulo de elasticidade por volta de 20GPa (Gigapascal), muito similar ao da dentina (18GPa). Essa convergência de propriedades uniformiza a distribuição de estresse e desfavorece o risco de fratura [8,9].

Outro aspecto relevante sobre os pinos é a transmitância de luz. Pinos translúcidos podem permitir que mais luz o atravesse, melhorando a profundidade e qualidade da cura do cimento. Yoldas et al. [5] avaliaram a profundidade de cura com pinos plásticos transmissores de luz com pino de fibra de vidro. As amostras foram avaliadas em diferentes profundidades pelo teste de avaliação indireta da qualidade da polimerização, a microdureza. Esses dois tipos de pino trouxeram bons resultados até 10mm de profundidade [5]. Teixeira et al 2006 [10] avaliaram a capacidade de retenção, dureza, carga para fraturar e transmitância da luz. O resultado da carga para fratura está relacionado à geometria dos pinos e há diferença entre as marcas. Quanto à transmitância de luz, os pinos mais translúcidos mostraram menos de 40% da capacidade de transmissão. Nesse trabalho, a luz foi transmitida em uma profundidade de 10mm e ela foi menor nos pinos mais opacos. Além de sua intensidade ter diminuído com a presença de sombras formadas pelas estruturas próximas, houve um espalhamento no interior do pino.

Outro fator que afeta a transmitância da luz é o tipo de tratamento da superfície do pino. Pesquisadores que analisaram esse dado trataram as superfícies com laser, ácido fluorídrico com silano, óxido de alumínio, óxido de alumínio com silano e grupo controle sem nenhum tratamento. Os valores de transmissão de luz foram explicados pelas fibras serem de sílica-zircônia, que por si só trazem adversidade à transmissão de luz. O grupo com melhor resultado foi o grupo controle, sem nenhum tratamento de superfície. O

estudo encontrou menos transmissão de luz nos pinos tratados com ácido fluorídrico e silano, ao passo que outros tratamentos de superfície permitiram mais de 40% de passagem de luz [11].

Quanto as fibras, elas têm a função de dar suporte à matriz polimérica diante de um estresse. A variedade de tipos de fibra é grande e essa escolha, somada à união da interface, é importante para manter a integridade dos pinos. Os pinos são constituídos de fibras de sílica ou carbono unidas a uma matriz polimérica. Resina epóxi e matriz bis-GMA (Bisfenol-a glicidil metacrilato) também podem estar na composição de pinos reforçados. Matrizes poliméricas estão presentes nos pinos de fibra reforçados, especificamente os polímeros epóxi com maior grau de conversão [12].

Pela diferença do módulo de elasticidade entre a matriz e as fibras pode haver um estresse nessa interface. Microbolhas e gaps podem aparecer na fabricação dos pinos, enfraquecendo-os. Para minimizar falhas relacionadas a fratura, aumentar o limite da força de elasticidade é interessante [13].

Há vários tipos de fibra reforçando a estrutura dos pinos. Fibras de carbono representam um dos primeiros pinos pré-fabricados. Eles são compostos por fibras de carbono unidirecionais inseridas em uma matriz de resina epóxi. A cimentação é comumente feita com resina composta e, apesar de falharem menos que os metálicos, não representam um uso rotineiro na prática clínica, especialmente por conta da sua cor escura, que desfavorece a estética da restauração [14].

Fibras de vidro podem ser feitas de diferentes tipos de vidro. E-glass (vidro elétrico) possui uma fase amorfa composta por mistura de óxidos e é o tipo mais comum. S-glass high strength também possui fase amorfa. Por fim, a fibra de quartzo é a sílica pura em sua forma cristalizada. Todos possuem baixo módulo de elasticidade [15]. Qualidade importante desses materiais é a translucidez, que favorece a reabilitação em áreas de alta demanda estética. As fibras contribuem para a resistência a solubilidade, alta força de tração e baixa condutibilidade elétrica [12]. Outro material que pode reforçar pino é a poliamida poliaromática (Aramid). Essas fibras são usadas em pneus e produtos balísticos [16,17].

Polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWP) também é um componente de fibras em pinos usado em prótese fixa parcial e esplintagem pós trauma [18]. É uma fibra

com ótimas características, baixo peso, resistência ao desgaste e resistência química. Porém, não possui boa adesão a matriz [19].

2.2 LUZ

Luz na odontologia restauradora é um elemento muito relevante. Está relacionado, por exemplo, à qualidade da cura e envolve diversos fatores [20,21]. Dentre eles, há as unidades de fotopolimerização, que passaram por um bom desenvolvimento que permitiu alta irradiância, leveza do dispositivo, durabilidade e a possibilidade de se dispensar o uso de fio [20]. Deve haver uma preocupação em relação à entrega de energia pela extremidade do dispositivo porque, à medida em que a distância aumenta, a irradiância de luz diminui [22].

Existem estudos que demonstram superioridade de algumas luzes sobre outras a partir de combinações variadas entre material e luz. Um dos fatores mais determinantes sobre essas diferenças é a correlação entre espectro de emissão de luz e absorção do fotoiniciador [21,23,24].

Irradiância, tempo de irradiação e exposição radiante representam outros fatores. Exposição radiante é o total de energia entregue à superfície do material durante a irradiação. Tem relação com as propriedades dos materiais após a cura. É o produto da irradiância da luz (mW/cm^2) pelo tempo em segundos de irradiação [25]. Apesar da relação com o tempo, a melhora das propriedades do material atinge um limite depois um certo nível de exposição, e essa saturação é específica de cada material [26].

Dentre os modos de irradiação, existe especificamente o modo de início suave, em que não há resposta uniforme, por enquanto. Há chances de que isso se deva às diferentes composições dos materiais analisados nos trabalhos que alteram as propriedades e eficiência dos modos de cura [22].

O bom posicionamento da ponta do fotopolimerizador influencia significativamente a quantidade de energia entregue ao material [27]. A ponta do dispositivo deve estar perpendicular em relação a superfície, além de estável e sempre o mais próxima possível

da superfície. Assim, há transmissão de luz em maior profundidade [28]. Malhotra et al. [28] descreve o valor de “R” como a razão entre os diâmetros de entrada e saída da ponta do dispositivo. Quando “R” é mais alto nas guias de luz, mais bem polimerizado ficará em distâncias de menos de 5mm. A profundidade de cura também é afetada pelo valor de “R”.

O fotoiniciador deve estar em quantidade adequada para reagir corretamente ao comprimento de onda. A unidade fotoativadora deve emitir um comprimento de onda compatível com o espectro de absorção do fotoiniciador. Cada dispositivo tem especificações, como seu comprimento de onda e eficácia de cura. A qualidade da fotoativação também depende do dispositivo que será utilizado. As unidades de LED (diodo emissor de luz) mais comuns não são adaptáveis aos fotoiniciadores que apresentam absorção de pico em comprimentos de onda mais curtos [29].

As propriedades óticas do material estão relacionadas à forma com que a luz é transmitida e influenciam, principalmente em profundidade, na qualidade da reação de polimerização. Há vários aspectos potencialmente limitantes. Por exemplo, a reflexão da luz que ocorre na superfície pode ser um deles [30].

Dentre os fatores que alteram aspectos relacionados à luz, há a velocidade de propagação que depende do comprimento de onda, na maioria dos materiais. À medida em que a luz muda de meio, também há um desvio de caminho ótico. A relação entre velocidade de fase em dois meios, ângulo de incidência, refração e o índice de refração dos dois meios é descrita pela lei de Snell. O conhecimento sobre esses dados é necessário para compreensão das propriedades dos materiais quanto ao seu endurecimento [31].

2.3 FRATURA

Nos últimos anos, polímeros foram estudados com diversos tipos de fibra para melhorar o fortalecimento dos pinos. A qualidade desse reforço depende da quantidade de fibras, diâmetro [32] comprimento, arquitetura e localização das fibras [33]

Lassila et al. [32] estudaram o efeito da distribuição das fibras antes e após a fratura e demonstraram a importância dessas características na resistência de compostos

reforçados com fibras. As amostras foram feitas com compostos de partículas indiretas reforçados com fibra de polietileno de alto peso molecular ou outros dois tipos de fibras de vidro. As fibras foram distribuídas de diversas formas e um grupo não recebeu esse reforço com fibra. Após o período de envelhecimento, os espécimes foram submetidos ao teste de flexão de três pontos para análise das cargas inicial e final em que houve fratura. O menor valor de carga resultou de uma amostra com fibras na diagonal. Os valores mais altos foram de espécimes com reforço de fibras uni direcionadas. O fortalecimento através das fibras acontece porque uma matriz polimérica com certa flexibilidade permite a transferência de carga aplicada as fibras por meio de força de cisalhamento na interface [33].

Estudou-se, em trabalho laboratorial, o posicionamento das fibras de polietileno de ultra alto peso molecular e suas propriedades flexurais em compósitos dentário e trouxe como resultado que a posição mais distante das fibras do lado de tração melhorou muito as propriedades flexurais. Os resultados dos grupos sem o reforço da fibra foram inferiores [34].

Fonseca et al [35] avaliaram o efeito da proporção de fibra de vidro e partículas de carga a resistência à tração diametral e resistência à flexão de um compósito reforçado com fibra curta experimental. Os resultados confirmaram a hipótese de que o aumento do volume em até 30% faz com que a resistência melhore. Outra questão relevante demonstrada é que, em amostras fraturadas, as áreas sem fibra encapsulavam ar gerando bolhas na estrutura. Espaços vazios reduzem a força coesiva e permitem a degradação hidrolítica da matriz resinosa.

Cheleux et al. [36] estudaram cinco tipos de pinos submetendo-os ao teste de flexão de três pontos para avaliar fadiga e resistência a flexão. Concluíram que a resistência à flexão está diretamente relacionada ao diâmetro de fibras, especificamente as mais curtas. Defeitos interfaciais encontrados em secções longitudinais influenciam muito as propriedades dos pinos. Dentro de um contexto clínico, o sucesso do tratamento envolve outros fatores como uma distribuição adequada de forças oclusais e boa adaptação à geometria dos canais radiculares.

Callaghan et al [37] trouxe imagens de microscopia em que o excesso de fibras resultou em prejuízo na adesão entre fibras e matriz. A maior quantidade de fibras fez

com que a matriz não conseguisse envolver todas elas. Algumas fibras foram puxadas para fora da matriz. Alta concentração de fibras pode levar a fratura prematura e maior desgaste. Em relação ao comprimento das fibras, onde havia fibras mais longas houve menos desgaste. O comprimento maior traz mais resistência ao desgaste porque há mais mecanismos de reforço.

Há três modos de falha descritos: instantâneo, estatístico e o passo a passo. A primeira ocorre quando existe uma concentração de carga em uma região estreita causando rompimento. Quando a distribuição da carga é em uma região mais ampla, é preciso mais carga para a fratura continuar. Dessa forma, pode haver a fratura passo a passo ou o tipo falha estatística, que é uma sequência de pequenas fraturas que resistem ao impacto e exigem mais carga para avançar. De acordo com o número de fibras do compósito, resistência a tração da fibra e seu volume, a fratura pode variar de estatística a instantânea. Quanto maior o volume da fibra, menos numerosas serão. Quanto mais curtas, mais chance de falha instantânea. O uso de teste de tensão para avaliar os tipos de fratura podem trazer resultados questionáveis. Durante a execução do teste, há uma concentração de deformação próxima à primeira falha da fibra. Por conta dessa concentração, existem variados modos de falha que podem ser analisados no teste de intensidade, mesmo quando não há grandes diferenças no comportamento da fratura [38].

2.4 UV-VIS

A espectroscopia envolve diversas técnicas baseadas na interação da reação eletromagnética com o substrato. O uso desse método permite conhecer a estrutura química de materiais dentários. A técnica possui a vantagem de não ser destrutiva, além de utilizar amostras pequenas [39,40]. Cada tipo de espectroscopia está relacionado ao movimento específico dos constituintes do sistema em um nível microscópico e, portanto, difere na magnitude da energia entre os estados energéticos de transição [39].

Diferentes critérios são utilizados para classificar as técnicas: o método de coleta do espectro, a forma de troca de energia entre radiação e matéria, a faixa de radiação eletromagnética e as propriedades do sistema estudado. A região do espectro

eletromagnético que envolve o infravermelho, nos comprimentos de onda de 10^{-3} a 10^{-6} , é analisado pela Espectroscopia UV- Visível (UV-Vis) [7].

A análise espectroscópica é realizada em soluções com mais frequência, porém gases e sólidos também podem ser estudados. Normalmente, as medidas são realizadas para compostos demonstrando absorção na faixa de UV-Vis, que contém cromóforos e auxocromos em sua estrutura; dentro deles, há uma transição eletrônica do estado fundamental para o estado excitado [41].

A medição da absorbância de uma determinada substância em uma solução é diretamente proporcional a sua concentração. Sendo assim, a espectroscopia de absorção pode ser usada para análises quantitativas. Essa característica torna a técnica uma ótima ferramenta analítica para a caracterização e observação de diversas substâncias, inclusive biomateriais e compósitos odontológicos [42].

A espectroscopia UV-Vis também é usada para análises qualitativas. Suas principais vantagens são suas alta sensibilidade e alta precisão de marcação. A precisão da determinação depende da faixa de concentração e da classe de dispositivos usados. A medida objetiva para a sensibilidade do método espectrofotométrico é a absortividade molar [43].

Keul et al. [45] analisaram a eluição do monômero residual MMA do polimetilmetacrilato em água destilada após diversas formas de envelhecimento. Para isso, utilizaram um espectrofotômetro UV / Vis. Os autores consideraram um método adequado para o objetivo do estudo. Permitiu uma análise quantitativa dos monômeros por meio do parâmetro absorbância.

Esse mesmo método pode ser aplicado ao estudo de preenchimentos para resinas compostas, para avaliar o risco de reações alérgicas e hipersensibilidade oral devido à eluição de polímeros, para analisar novos co-iniciadores úteis para fotopolimerização de polímeros dentais [44- 46].

Nessa técnica, a análise é baseada na medição dos espectros de elétrons gerados durante as transições entre os níveis de energia dos elétrons de valência na faixa espectral de 200nm a 750nm. A absorção de energia na faixa de UV-Vis pode gerar transições de elétrons da linha de base de energia mais baixa para níveis de energia

mais elevados. O método fornece informações sobre a estrutura da molécula estudada, a presença de sistemas de dupla ligação conjugada e sistemas aromáticos [41,47,48].

Kim et al. [49] usaram espectroscopia UV/Vis para avaliar pinos. Dois tipos de pinos eram translúcidos e um era opaco. A transmissão do espectro foi de 400nm a 600nm ao longo de todo o pino. Os resultados dos pinos translúcidos foram 10, 2% e 7,7%, no pico de 470nm. No pino opaco, a taxa de transmissão foi de menos de 1%. Em 470nm, o pino opaco caiu para menos de 0,5%. Os diâmetros não eram iguais, então foi feito um cálculo para minimizar essa interferência.

Em outro trabalho que usou UV/Vis, Masotti et al. [50] avaliaram a transmitância direta de espécimes de resinas compostas. Após a cura, elas foram submetidas à espectroscopia UV/Vis em três comprimentos de onda diferentes: 400nm, 560nm e 700nm. A resina mais opaca mostrou maior transmitância que a translúcida, na marca Charisma. Nas Solitaire II, Intens, Tetric Ceram e Esthet-x, as translúcidas transmitiram mais luz.

2.5 FOTÔMETRO

Os autores Craig et al. [51] trazem um exemplo da utilização de câmeras digitais em configurações pré-definidas para utilização como linha de base em aplicações práticas. Mais especificamente, propõem um experimento de estimativa de coloração e transmitância da luz em filtros de óculos utilizando apenas uma câmera digital e papel branco.

A ideia dos autores foi criar um modelo mais barato e simples para tal medição, normalmente feita apenas em laboratórios especializados e com o uso de equipamentos muito caros, como espectrofotômetros. Inclusive, os resultados do estudo sugerem a possibilidade de desenvolvimento de um aplicativo com tal funcionalidade para *smartphones*. A funcionalidade de tal experimento visa não apenas ao barateamento

dessa medição para equipamentos destinados ao público comum, mas também garantir a eficácia de equipamentos de proteção individual de proteção dos olhos.

O experimento também vai na linha de outros estudos que atestam a eficiência de câmeras digitais, para variadas finalidades, tais como determinar o pH da água, quantificar os níveis de proteína e glicose em testes de urina, monitorar a qualidade de alimentos e até mesmo detectar explosivos.

Em todos os casos, é essencial uma parametrização bem definida das câmeras digitais utilizadas a fim de se permitir a reprodução dos resultados encontrados.

Na descrição do método adotado no estudo, os autores descrevem cinco etapas: 1) a obtenção de uma imagem branca de referência, 2) a obtenção da mesma imagem de referência, mas com a colocação de um filtro entre o papel e a câmera, 3) o cálculo da coloração, 4) o cálculo da transmitância de luz e 5) a comparação com os resultados obtidos por um espectrofotômetro.

Para o presente trabalho, interessa a descrição da primeira etapa, relativa à obtenção de uma imagem branca que servirá como linha de base para as demais.

Para tanto, é necessária a observância de parâmetros bem definidos: a folha de papel deve ser iluminada de forma uniforme a fim de garantir uma distribuição de cor equilibrada. Além disso, a imagem deve ficar próxima do ponto de saturação, sem atingi-lo, entretanto.

Um balanço de cor equilibrado significa uma contribuição relativamente igual das cores vermelho, verde e azul para a formação da imagem, ao passo que o nível de saturação ótimo é obtido por meio de ajustes no diafragma e nas lentes da câmera.

Para a medição desses parâmetros, faz-se necessário analisar a imagem obtida em um aplicativo de edição de imagens para checar se atende aos parâmetros em questão.

Há, portanto, a obtenção de várias imagens em diferentes variações de configurações da câmera e da iluminação. Ao final, os autores adotaram três *setups*: um com uma câmera SLR (reflexo de lente única) e iluminação de nível profissional, e dois com smartphones com fontes de luzes variadas.

Obtidas as imagens de referências, os autores procedem então para as etapas seguintes: obtenção das imagens filtradas (mantendo-se os parâmetros pré-definidos),

cálculo da coloração e da transmitância de luz e, finalmente, validação dos resultados em espectrofotômetro.

Na discussão, os autores entendem que o estudo demonstra que câmeras digitais, mesmo aquelas instaladas em *smartphones* e sem uma estrutura profissional, podem ser usadas para a obtenção de uma medida razoável dos níveis de eficiência de filtros para os olhos. Naturalmente, não são tão precisos quanto um espectrofotômetro, de forma que tal método apenas deve ser utilizado como uma estimativa.

Entretanto, o uso desse método traz o benefício de que um aplicativo desenvolvido especificamente para esse fim poderia controlar com maior precisão e de forma automatizada os parâmetros necessários à obtenção de resultados mais precisos e consistentes. Essa técnica potencialmente pode gerar formas escaláveis, de fácil e ampla utilização e de baixo custo para a aferição da eficiência de filtros em equipamentos oculares.

O interessante de tal estudo ao presente trabalho é que apresenta a utilização de uma câmera digital como referência para os resultados obtidos. Mais do que isso, os parâmetros utilizados são muito similares àqueles usados no presente trabalho para analisar a transmissão da luz por um dos métodos apresentados [51].

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DISCRIMINAÇÃO DO EXPERIMENTO

Os experimentos que compõem o trabalho são: análise da passagem de luz por imagens no software, por fotômetro, que avaliou a transmissão da luz em diferentes terços (cervical, médio e apical) e a análise de transmissão da luz ao longo do pino, sem distinção dos terços, por um espectrofotômetro ultravioleta visível e infravermelho próximo (UV-Vis- NIR).

3.2 FOTÔMETRO

O pino Comercial (Angelus, Londrina) e o pino condutor de luz (Experimental – Angelus, Londrina) foram avaliados nesta pesquisa, cada grupo apresentou quatro pinos (n=4). Ambos com comprimento de 18mm, cônicos, com mesmo diâmetro máximo e mínimo de 1,8mm e 1,0mm, respectivamente. Os pinos estão representados na figura 1.

A primeira análise consistiu em testes de intensidade luminosa com um emissor de luz fotopolimerizador odontológico Radium Xpert SDI e uma câmera Canon 70D com lente Macro 100mm, com exposição regulada em ISO 100, F18 e velocidade 125, resultando com isso em imagens de 5.612x3.440 pixels em formato RAW. Os pinos foram irradiados na vertical, com o Radium Xpert encostado na extremidade cervical dos pinos (figura 2). O espectrofotômetro foi conectado a um computador executando o software analisador de espectro (OOIBase 32, Ocean Optics).

O software foi definido em um modo para avaliação das contagens de luz que se correlacionavam com a quantidade de fótons recebidos do detector CCD (dispositivo de carga acoplada) do espectrofotômetro. A 470nm, para cada contagem, 30 fótons foram recebidos do detector do instrumento. As contagens foram registradas em total escuridão para 10 postagens de cada tipo. A cada 10 pinos medidos, foi utilizado radiometria do aparelho para verificar se a saída da ponta da luz permaneceu calibrada. Além disso, as fotografias dos pinos irradiados por luz da unidade de cura foram tiradas em completa escuridão (Canon 70D com lente Macro 100mm).



Figura 1: Pinos avaliados no estudo



Figura 2: Câmera posicionada para capturar a passagem de luz através do pino

3.3 ESPECTROFOTÔMETRO ULTRAVIOLETA VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO (UV-VIS- NIR)

Após o primeiro teste, houve a análise da transmitância de luz por meio de outro método. Os pinos, Exacto e Experimental, foram divididos novamente em dois grupos com dez espécimes em cada grupo. As dimensões dos pinos foram exatamente as mesmas do teste anterior (figura 3).

Os pinos foram higienizados com álcool 70%, armazenados em frascos *Eppendorf* e manipulados sempre com luvas de procedimentos. Após a distribuição e identificação da amostra (enumeradas de um a dez), foram submetidos ao espectrofotômetro ultravioleta visível e infravermelho próximo (UV-Vis- NIR), modelo Cary 5000, Varian. O equipamento é um Espectrofotômetro de alta performance para análise de amostras líquidas e sólidas na região de 175nm a 3300nm em unidades de absorbância, refletância e/ou transmitância (figura 4). O equipamento pertence ao Instituto de Química da Universidade de Brasília. O objetivo do trabalho abrangia o modo transmitância do equipamento. Cada pino foi posicionado dentro do equipamento conforme a figura 5.

Além disso, o tempo médio de exposição foi definido em 10s, e a distância de aplicação foi de 10mm. A transmissão da luz foi medida usando um microscópio óptico de transmissão acoplado a um espectrômetro. A fonte de luz referenciada para cima foi transmitida através da extremidade do corte e mediu a porcentagem de intensidade da luz (em comparação com a referência de 100%) para cada pino. Os valores foram dados como a porcentagem de luz incidente medida no comprimento oposto do pino.

Figura 3: Pinos identificados e armazenados antes do teste



Figura 3: Pinos identificados e armazenados antes do teste

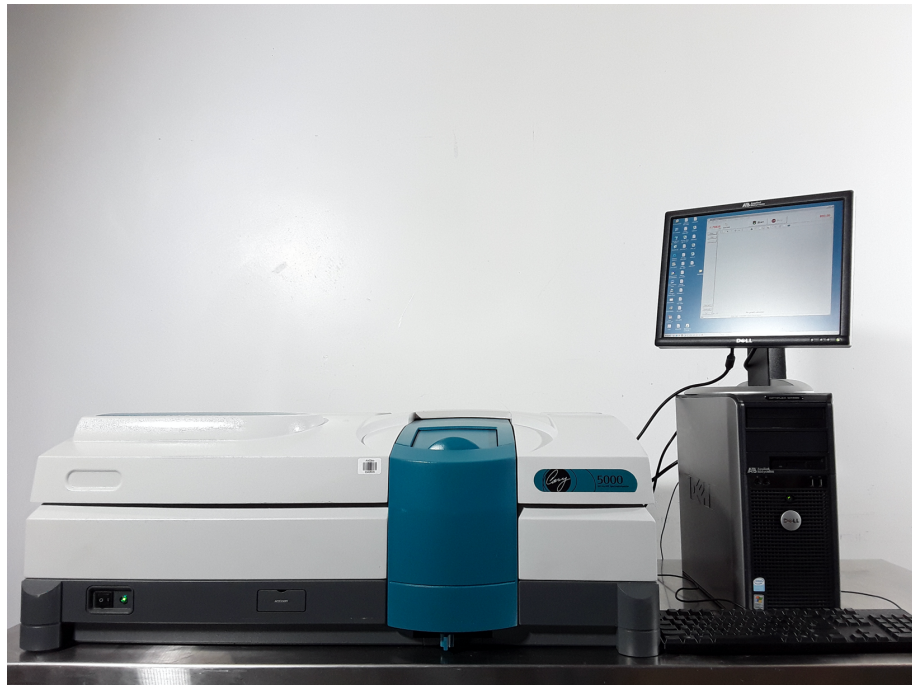


Figura 4: Espectrofotômetro Ultravioleta Visível e Infravermelho próximo (UV-Vis- NIR), Cary 5000, Varian



Figura 5: Pino posicionado dentro do Espectrofotômetro Ultravioleta Visível e Infravermelho próximo (UV-Vis- NIR), modelo Cary 5000, Varian



Figura 6: Anteparo utilizado para posicionar o pino dentro do equipamento

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A unidade amostral foi o pino de fibra em relação a transmissão de luz, com e sem discriminação entre os terços. Quatro pinos para o primeiro método de transmissão de luz foram utilizados ($n=4$) e dez pinos para o segundo método ($n=10$). A normalidade das médias relativas ao primeiro teste foi testada pelo Shapiro Wilk com as hipóteses:

H_0 : Os dados da amostra seguem distribuição normal.

H_1 : Os dados da amostra não seguem distribuição normal.

Depois da avaliação da normalidade, foi feito o teste de comparação de médias t de Welch com as hipóteses:

H_0 : Não existe diferença significativa entre os grupos Comercial e Experimental.

H_1 : Existe diferença significativa entre os grupos Comercial e Experimental.

Para o segundo método de transmissão da luz avaliado também foi feito o teste de normalidade Shapiro Wilk e depois a comparação das médias com t de Welch. As hipóteses testadas foram as mesmas do primeiro método.

4 RESULTADOS

4.1 FOTÔMETRO

O estudo mostrou que o tipo de fibra e região do pino influenciaram significativamente a transmissão da luz. O teste t de Welch mostrou que a transmissão de luz era significativamente maior nos níveis coronais ($p < 0,05$). Nos dois últimos níveis, as condições de transmissão da luz foram comparáveis ($p > 0,05$).

No que diz respeito ao tipo de pino, a diferença de transmissão de luz foi estatisticamente significativa para o pino Experimental transmissor de luz em comparação com o Comercial. Para o Comercial, a intensidade da luz diminuiu de cervical para apical. Nos terços médio e apical, houve menos transmissão em relação ao Comercial.

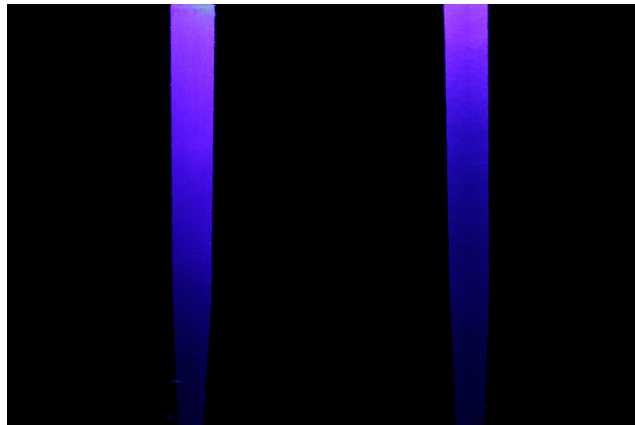


Figura 7: Teste para transmissão de luz. À esquerda pino Experimental apresentado. À direita, pino Comercial.

Para pinos de fibra de vidro à direita, ao fazer uma divisão imaginária em três (3) partes no pino e emitir uma fonte de luz, ela irá irradiar mais luz. No pino comercial, à direita da imagem acima, conforme gráfico das figuras 8 e 9, a porcentagem de iluminação no primeiro terço (cervical) foi 96,5%, no segundo terço (médio) 68,25% e no terceiro terço (apical) 28%.

Já para o pino Experimental, a distribuição da luz foi homogênea. Mais especificamente, o gráfico da figura 8 e 9, apresentam essa distribuição homogênea da luz, sendo no primeiro terço 95%, no segundo terço 79% e no terceiro terço 39,75%.

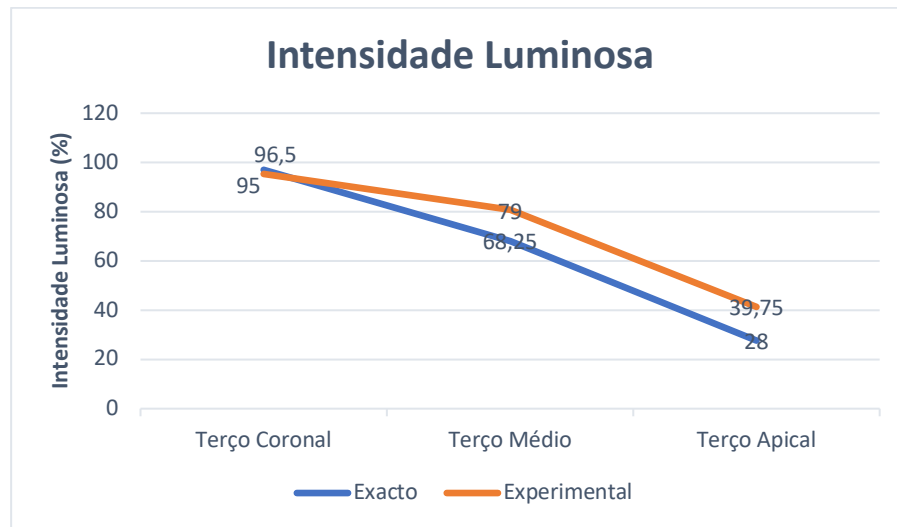


Figura 8: Gráfico para comparação da transmissão de luz entre os pinos.

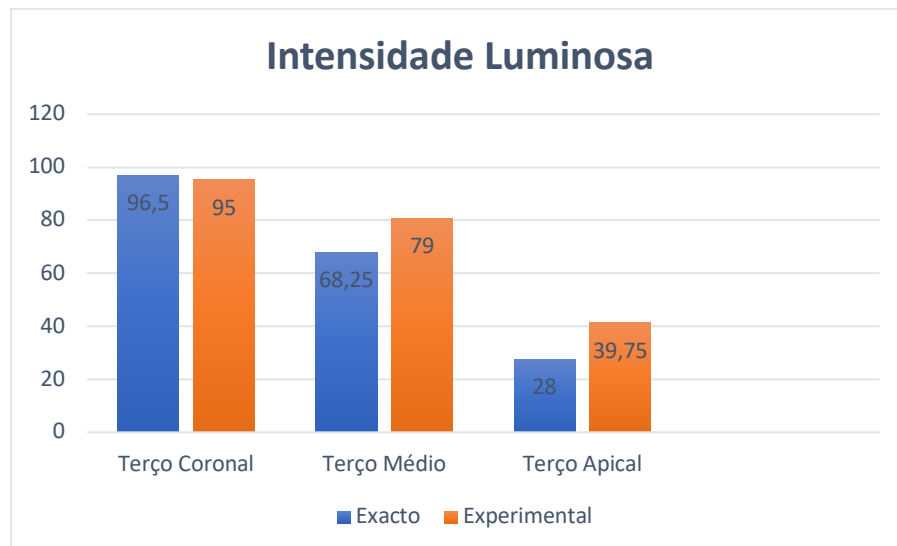


Figura 9: Gráfico para comparação em porcentagem da transmissão de luz entre os pinos apresentados.

As diferenças estatisticamente significativas na capacidade de intensidade luminosa exibida pelos pinos nos níveis avaliados são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Médias e desvio padrão dos grupos em função dos terços

Grupo	Coronal	Médio	Apical
Exacto	97,00 ± 1,00 ^a	68 ± 4,35 ^c	27,66 ± 1,52 ^d
Experimental	95,33 ± 0,57 ^a	80,66 ± 4,61 ^b	41,33 ± 9,45 ^d

Na tabela acima, valores seguidos pela mesma letra sobrescrita são estatisticamente semelhantes ($p > 0,05$). Para a região cervical ($p = 0,106$), a hipótese nula não foi rejeitada, não existe evidência estatística de diferença entre as médias dos dois grupos comparados. Para o terço médio ($p = 0,0155$), a hipótese nula foi rejeitada. Ao nível de significância de 0.05, existe evidência estatística significativa de diferença entre a média dos dois grupos separados. Em relação ao terço apical ($p = 0,0649$), a hipótese nula não foi rejeitada. Ao nível de significância de 0,05, não existe evidência estatística significativa de diferença entre a média dos dois grupos comparados.

O fato de o p-valor observado ser tão próximo do nível de significância pode apontar para uma possível rejeição da hipótese nula caso o teste seja realizado com uma amostra maior.

Após a normalidade ter sido testada e as hipóteses nulas não terem sido rejeitadas, foi elaborado um cruzamento de regiões e grupos.

O cruzamento entre o terço médio e apical do grupo Comercial, próximo ao zero, aponta para uma menor probabilidade de as duas amostras virem de uma população com médias iguais, o que significa diferença estatística grande. Isso também ocorreu entre terço cervical e apical do grupo comercial e entre terço cervical do Experimental e apical do Comercial.

4.2 ESPECTROFOTÔMETRO ULTRAVIOLETA VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO (UV-VIS- NIR)

No teste de transmitância de luz, os valores percentuais médios de medida pelo espectrômetro, desvios padrão e as diferenças dentro dos grupos são apresentados na Figura 10.

Os valores de transmitância relativos ao pino experimental foram de 97,4% no comprimento de onda de 400nm, 97% em 450nm e 500nm, e 96,9% em 550nm.

Os pinos Comerciais apresentaram médias de 72,3% de transmitância no comprimento de onda de 400nm, 68,6% em 450nm; 64,6% em 500nm e 61,5% em 550nm.

Portanto, há uma diferença favorável ao grupo Experimental de 25,1%; 28,4%; 32,4% e 35,4, respectivamente. O valor de transmitância de luz mais alto foi alcançado no pino Experimental.

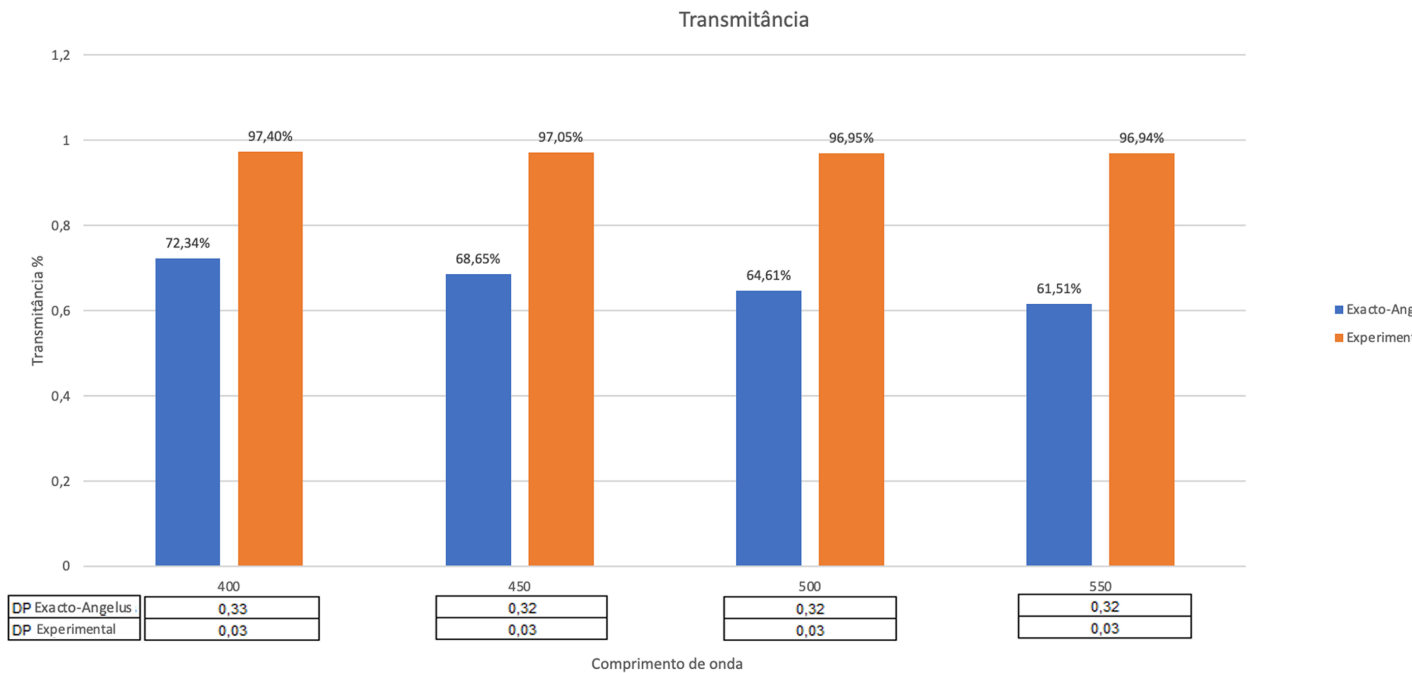


Figura 10: Valores percentuais de transmitância de luz e desvios padrão dos grupos em função do comprimento de onda.

A figura 11 é relativa à representação linear dos dados obtidos, no qual o grupo experimental apresentou uma maior homogeneidade e estabilidade na transmissão da luz em todo o espectro analisado (próxima dos 0,97). O grupo Comercial mostrou maior alteração ao longo da análise, sendo que, no comprimento de onda de 550nm, houve a menor média de transmitância (0,615), enquanto a transmitância mais alta ocorreu aos 400nm, (0,723). A tabela 2 representa as médias e desvios padrão gerais, envolvendo todos os comprimentos de onda apresentados no teste.

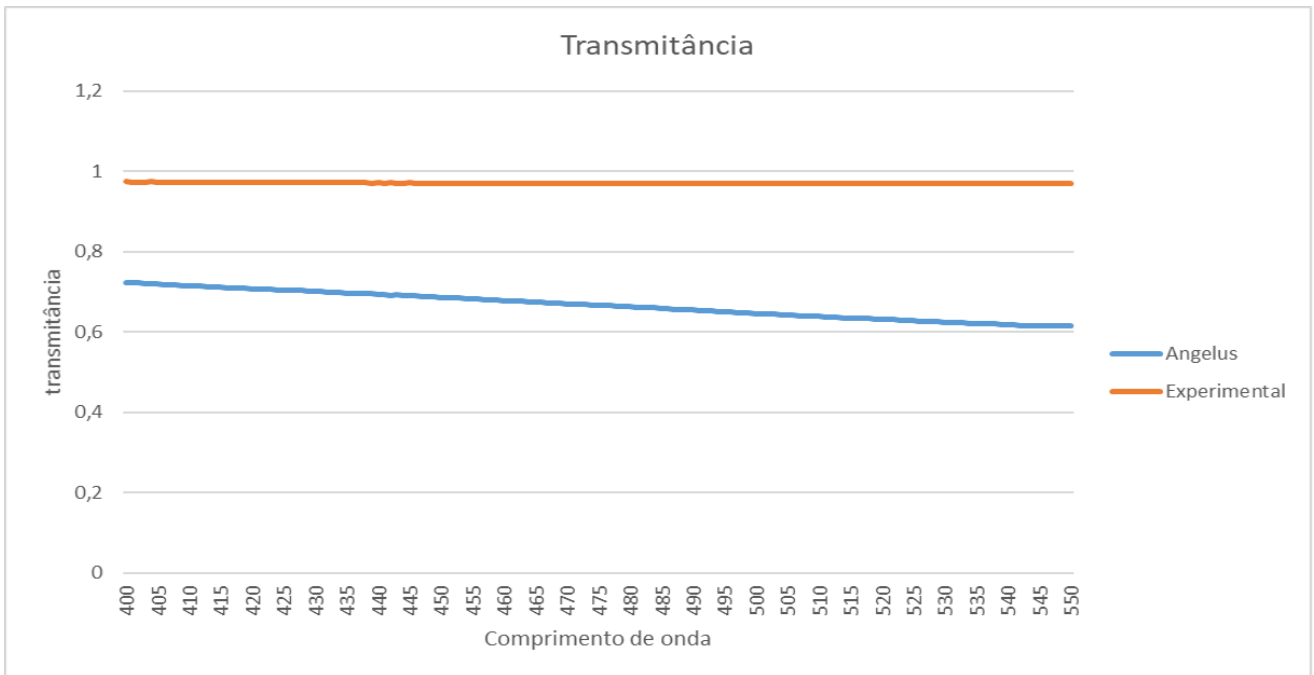


Figura 11: Valores de representação linear dos dados obtidos de transmitância de luz dos grupos em função do comprimento de onda.

Tabela 2 - Médias e desvio padrão de transmitância dos grupos em relação a todos os comprimentos de onda

Grupo	Transmitância
Comercial	$0,66 \pm 0,32^b$
Experimental	$0,97 \pm 0,02^a$

A comparação proposta é entre dados de proporção, uma vez que o conceito de transmitância se refere à fração de luz que ultrapassa determinado material. Dados de proporção não apresentam distribuição normal. Então, para aplicação do teste t de Welch, uma transformação na variável foi feita para que os dados sigam em distribuição normal.

Tabela 3 - Resultados no comprimento 400nm

Grupo	Comprimento de onda	Média
Experimental	400	0,974
Comercial	400	0,723

Tabela 4 - Teste de Shapiro Wilk para dados de transmitância do comprimento 400

W	p-valor
0,6198	0.000004755

Como esperado, para dados de proporção, a hipótese nula de normalidade foi rejeitada. A transformação utilizada na literatura, para essa situação, é o arcosseno da raiz quadrada dos dados. Sendo x os dados coletados e y os dados transformados, a relação é a seguinte:

$$y = \arcsin \sqrt{x}$$

O teste com os dados transformados:

Tabela 5 - Teste de Shapiro Wilk para o arcosseno da raiz dos dados de transmitância do comprimento 400

W	p-valor
0,70945	0,00005095

O p-valor aponta para a rejeição da hipótese nula. Sendo assim, uma nova transformação foi feita:

$$Z = \exp y^2$$

E, novamente testando a normalidade, agora para a segunda transformação (z):

Tabela 6 - Teste de Shapiro Wilk para o valor transformado z do comprimento 400

W	p-valor
0,93896	0.2291

Finalmente, não existe evidência estatística para rejeitar a hipótese de que os dados transformados seguem uma distribuição normal.

Para o comprimento 400nm, o p-valor foi de 0,0001968; 450nm, o p-valor foi de 0,00004236; 500nm, p-valor foi 0,00001456; 550nm, p-valor foi 0,00002883. Em todos esses comprimentos de onda houve diferença estatística entre a média dos dois grupos.

5 DISCUSSÃO

5.1 TRANSMISSÃO DE LUZ

Neste trabalho, investigou-se a transmissão de luz através dos pinos com fibras diferentes. De acordo com resultados deste estudo laboratorial, os pinos com fibras mistas mostraram significativamente melhor transmissão de luz nos terços médio e apical em comparação com os pinos convencionais comerciais. A hipótese nula testada de que a transmissão da luz de diferentes pinos não difere foi rejeitada. Do ponto de vista clínico, isso sugere uma polimerização melhorada de cimentos resinosos no canal radicular [5].

As medidas espectrofotométricas foram realizadas em completa escuridão para evitar possíveis interferências da luz ambiente. A mesma regulagem da máquina foi utilizada para todos os espécimes.

Em estudos prévios, a opacidade dos pinos foi atribuída à presença de fibras de sílica-zircônio ou ricas em zircônia enquanto maior translucidez foi exibida pelos pinos de fibra de vidro. Para os pinos mais opacos, a transmitância da luz era exclusiva para o terço coronal. Para os mais favoráveis, era relativamente alta nos níveis cervical e médio, mas caiu notavelmente no nível apical. No presente trabalho, o pino com associação de fibras de vidro e fibras de quartzo demonstrou melhor resultado, com transmitância da luz, inclusive no terço apical [1]. Importante destacar que, nas imagens analisadas, a medida foi feita pelo centro, que é justamente a seção mais confiável. Isso porque a medida pelas laterais do pino pode ser afetada pela luz direta da própria fonte de iluminação e não pela luz que o atravessa.

Essa associação de fibra de vidro e quartzo favoreceu a transmissão de luz, diferentemente de estudos prévios avaliando por exemplo fibras de sílica-zircônia embutidas em uma matriz de resina que possivelmente influenciaram negativamente suas propriedades de transmissão de luz [11]. Além disso, um estudo anterior de Goracci et al. [1] avaliou o comportamento da transmissão de luz de pinos translúcidos e encontrou valores inferiores a 40% da luz incidente. No presente estudo, esse valor (41%) foi alcançado no terço apical do pino experimental, o que pode ser atribuído às diferenças entre o tipo e conteúdo de fibra e a estrutura da matriz dos pinos.

As medidas espectroscópicas de infravermelho demonstraram valores mais altos de transmissão de luz do grupo Experimental, o que pode estar relacionado ao tipo e disposição das fibras e, assim, aumentar os valores de transmissão de luz. O resultado deste teste pode ser considerado extremamente eficiente no presente estudo, pois os pinos apresentam o mesmo design, tanto em comprimento quanto em espessura. Quando acontece a irradiação, os feixes de luz são distribuídos ao longo do pino por reflexão interna total. O ângulo crítico é o produto da diferença dos índices de refração entre o núcleo e o material da superfície. Raios que ultrapassem o limite da superfície do material com um ângulo maior que os ângulos críticos são refletidos. Assim, as diferenças nas propriedades ópticas são explicadas pela variabilidade do diâmetro e padrão de orientação da fibra e pela composição variável da matriz. Todos esses fatores contribuem para divergências de refração e dificulta a comparação entre pinos de diferentes marcas comerciais [1].

Os dois testes de transmissão de luz utilizados neste estudo apresentam certa dificuldade para conversão em um desfecho clínico. No entanto, podem ser correlacionados com testes de resistência de união dos pinos ao cimento resinoso no canal radicular, explicando, assim, possíveis resultados favoráveis ao pino experimental em função de uma maior transmissão de luz. Por exemplo, Yoldas et al. [5] avaliaram a transmissão da luz por outro método e houve bons resultados em 10mm de profundidade. No presente trabalho, o pino experimental mostrou maior transmissão de luz no terço apical, permitindo um paralelo com os 10 mm do estudo citado acima [5].

Um aspecto relevante que influencia na transmissão de luz é o tratamento de superfície dado aos pinos. Os valores de transmissão de luz foram explicados pelas fibras serem de sílica-zircônia, que por si só trazem adversidade à transmissão de luz. Inclusive, o grupo com melhor resultado foi o grupo controle, sem nenhum tratamento de superfície [11]. Nos dois métodos apresentados neste trabalho, não houve tratamento de superfície, eliminando assim possíveis interferências aos resultados. Porém abre a discussão para futuros trabalhos avaliarem o tratamento de superfície com outras substâncias.

Outro trabalho que usou espectrofotômetro associado ao mesmo software e com configurações parecidas com o presente trabalho mostrou variações na transmissão da luz. Três grupos, com pinos opacos, obtiveram resultados muito inferiores quando

comparados aos achados deste trabalho. Havia fibras de carbono na composição. Já os grupos compostos por fibra de vidro permitiram passagem de luz na região cervical. A forma serrilhada de um dos grupos provavelmente também pode ter alterado esse nível transmissão [1]. Os grupos apresentados aqui, Experimental e Comercial, não diferiam em design. Sendo assim, esse critério não pôde alterar a transmitância.

A análise de dez tipos de pinos diferentes, entre convencionais e translúcidos, embebidos em resina escura trouxe resultados interessantes. A transmissão da luz foi medida com um fotômetro digital, em diferentes profundidades. A luz não alcançou ou pouco alcançou o terço apical. Independente da presença de pino, a luz não atingiu adequadamente maiores comprimentos radiculares. Um fato notório desse trabalho é a presença do pino Exacto (Angelus), que apresentou a menor energia luminosa. Foi o mesmo pino testado neste trabalho, no grupo Comercial [2].

5.2 COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES DOS PINOS

Existe uma variedade na composição dos pinos disponíveis no mercado. Podem ser compostos por fibra de vidro, quartzo, carbono, zircônia [11,13]. Os pinos brancos e translúcidos ganharam popularidade pelas vantagens estéticas. A capacidade de retenção dos pinos, característica importante, também depende do paralelismo e da composição da matriz resinosa, que pode ser composta por resina epóxi, bis GMA ou poliamida [13]. Não apenas a transmissão da luz é relevante [11], de forma que não deve ser avaliada isoladamente.

Polietileno de alto peso molecular também é um tipo de fibra usado para reforçar estruturas de compósitos. Esse material foi testado em uma ponte fixa de três elementos, não em pinos. Porém, as informações sobre o posicionamento dessas fibras são relevantes. A distribuição delas próximas à região de tração funcionou como uma viga na estrutura [34]. Além dos quesitos citados anteriormente sobre a resistência dos pinos, a disposição das fibras também é um critério de resistência notório.

Outro estudo que analisou as propriedades mecânicas de cinco tipos pinos de fibra de vidro relacionou a homogeneidade da distribuição a resultados melhores. A presença de espaços vazios encontrados na matriz resinosa é importante para detalhar a qualidade

do material. Essa descontinuidade na interface chama a atenção para o tratamento adequado com silano das fibras antes da incorporação na resina. Esse detalhamento não explicado pelo fabricante influencia os resultados, bem como outras limitações trazidas pelos autores [36].

5.3 METODOLOGIA UTILIZADA

Keul et al. [45] utilizaram UV-Vis para análise quantitativa. Há diversas diferenças entre o presente trabalho e de Keul et al. [45]. Especificamente, os objetivos são muito distintos. Bem como o número da amostra e a quantidade de grupos nos dois trabalhos. Entretanto, as dimensões dos espécimes também são na ordem de milímetros, apesar de retangulares. O comprimento de onda analisado foi de 220nm até 500nm, passando pelos 470nm estudados neste trabalho. Sobretudo, trouxe o uso da espectrofotometria UV/ Vis como importante e viável para a odontologia [45].

A espectroscopia escaneia ponto a ponto ou age por monitorização de posicionamentos dentro do espectro. Essa metodologia apresenta uma série de vantagens como a capacidade de analisar amostras muito pequenas, na ordem de microgramas ou miligramas, por exemplo. A informação estrutural é muito confiável e precisa, com boa sensibilidade à presença de impurezas. A espectroscopia utilizada foi do ultravioleta/visível. Para isso é necessário conhecer o espectro adequado para a amostra que for testada [45].

A análise espectroscópica traz informações químicas sobre a estrutura de materiais dentários [7], as estruturas bioquímicas e os diagnósticos [45]. Sua utilidade e simplicidade de manuseio são notórias para o estudo de materiais na odontologia. Apesar dos avanços, é necessário aperfeiçoar suas limitações [7]. Dependendo do espécime, a amplitude do espectro necessária pode não ser alcançada em um equipamento específico disponível ao pesquisador. No segundo método deste trabalho, o equipamento atendeu perfeitamente as necessidades da amostra.

Com o desenvolvimento da espectroscopia, a ciência ganhou mais ferramentas para acessar propriedades das amostras sem precisar de pré-tratamento, outra vantagem. Trouxe facilidade e opções com os diversos métodos que a espectroscopia abrange.

Outra excelente característica desse método é a possibilidade de combinações entre seus subtipos, permitindo uma complementariedade de resultados, análises e diagnósticos [42].

Goracci et al. [1] estudaram a transmissão de luz em pinos de fibra de vidro, zircônia enriquecida com vidro, quartzo e sílica com zircônia. Para isso, ele utilizou a mesma metodologia do primeiro teste deste trabalho. O software para avaliação da imagem foi o mesmo, bem como o comprimento de onda do espectro, 470nm. As diferenças metodológicas encontram-se na câmera digital - Goracci et al. usaram Nikon - e na variedade dos designs dos pinos. Diâmetros e comprimentos não eram padronizados. Por outro lado, a amostra era mais robusta [1]. Assim como os achados deste trabalho, o estudo citado acima considerou uma metodologia válida para o objetivo proposto.

Cekic Nagas et al. [11] avaliaram os pinos com espectrofotômetro acoplado ao microscópio ótico da mesma maneira que foi apresentado neste trabalho. Porém, os autores tinham o objetivo de verificar a influência que tratamentos de superfície teriam sobre a passagem de luz. Apresentaram mais grupos, com uma amostra de sete espécimes. A direção da luz foi a mesma utilizada neste estudo, sentido coronal para apical [11].

A técnica de avaliação das imagens do pino usando uma câmera digital no primeiro teste também foi utilizada em um trabalho que avaliou a transmissão luminosa em filtros de óculos. O uso de câmera para avaliação de cor e luz tem uma serie de utilidades, além de simplificarem e reduzirem custos. Para tornar mais preciso, os autores também usaram um espectrofotômetro, assim como neste trabalho. As configurações da câmera eram parecidas, apenas a abertura usada foi diferente [49]. Apesar de não ser um artigo sobre materiais dentários, a descrição da técnica é interessante para ilustrar aquela utilizada neste trabalho.

A literatura é vasta em trabalhos que tratam sobre transmissão da luz de forma indireta, com testes mecânicos, microdureza especificamente [3-5, 21]. Também é rica em trabalhos que tratam de propriedades flexurais, rigidez, força [9,13,18,29,32,33-36,38]. A relevância dos métodos que avaliam a transmissão de forma direta é grande, de forma que merecem ser explorados.

5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

No primeiro método de transmissão da luz deste trabalho, a análise foi feita por terços. Na região cervical, não houve diferença entre os grupos. Não há dificuldade de a luz atingir uma região mais superficial. Roberts et al. [4] avaliaram a passagem da luz por diferentes regiões também, porém com profundidade em milímetros definidos, em seis pontos estabelecidos. As médias das regiões superficiais também não diferiram entre os dois grupos do trabalho de Roberts et al. Entretanto, a metodologia usada foi transmissão indireta, com microdureza [4].

Na região do terço médio, houve diferença estatística entre os grupos Experimental (79%) e Comercial (68,25%). Em outro trabalho que avaliou a qualidade da cura em várias profundidades, o resultado favorável ocorreu na profundidade além de 8mm [10].

No terço apical, as médias foram de 39,75% no grupo Experimental e 28% no grupo Comercial. Os valores são bem distintos, mas não houve diferença estatística. O p-valor foi 0,0649, muito próximo ao nível de significância. A hipótese nula poderia ser rejeitada se a amostra fosse maior. Silva et al. [6] estudaram grau de conversão após a cimentação de dois tipos de pinos, em três níveis de profundidade. Só houve diferença estatística entre os terços médios dos dois tipos de pinos, apesar da translucidez de um grupo.

O cruzamento das regiões cervical e média entre os dois grupos mostrou diferenças significativas. É possível que a diferença no alcance da luz entre as regiões tenha gerado esse resultado, assim como Silva et al. [6] só encontraram variação no terço médio.

O cruzamento entre região cervical e apical certamente trouxe diferenças significativas. O alcance da luz é notoriamente diferente, principalmente no grupo Experimental, em que há maior transmissão de luz. Roberts et al. [4] usaram pino transmissor de luz que aumentou os valores da avaliação indireta de passagem de luz em profundidades maiores, mas somente próximo ao pino. O cruzamento das regiões

média e apical também mostrou diferenças significativas. Entretanto, trabalhos nem sempre apresentam resultados expressivos em terço apical [6, 4].

O segundo teste avaliou transmissão de luz ao longo de todo o comprimento do pino, sem distinção dos terços. Os comprimentos de onda analisados foram 400nm, 450nm, 500nm e 550nm. Eles pertencem ao espectro da luz visível que é o emitido por fotopolimerizadores. Em todos os comprimentos de onda houve diferença estatística entre os grupos dos pinos testados.

Teixeira et al. [10] avaliaram a passagem de luz em quatro tipos de pinos. A metodologia foi semelhante ao segundo teste deste trabalho. Nele foi analisado o espectro de 470nm, sem distinção dos terços. A transmissão da luz foi bem abaixo dos resultados apresentados através dos dois métodos deste estudo. No trabalho citado acima, o pino com maior transmissão apresentou valores abaixo de 40%. O pior resultado foi menor que 1%. É provável que a composição dos pinos tenha sido fator importante para esse resultado.

Cekic-Nagas et al. [11]. também encontrou resultados de transmissão de luz inferiores aos deste trabalho. O valor mais alto foi 49,83%, após tratamento da superfície com laser. O valor mais baixo foi 38,19%. Não houve variação de comprimentos de onda e a influência do tratamento de superfície certamente alterou os resultados. Apesar de mais baixos que os apresentados neste estudo, o objetivo e equipamento diferiam.

Price et al. [21] investigaram a fotossensibilidade dependente do comprimento de onda de onze resinas compostas. Os espécimes tinham espessura de 1,6mm e foram expostos aos comprimentos de onda 394nm, 400nm, 405nm, 410nm, 415nm, 420nm, 430nm, 436nm, 442nm, 450nm, 455nm, 458nm, 467nm, 470nm, 480nm, 486nm, 493nm, 500nm, 505nm e 515nm. A maioria teve um pico de sensibilidade em 470nm. Com filtros estreitos, é possível determinar a fotossensibilidade dependente do comprimento de onda e antever o desempenho de fotopolimerizadores. No presente trabalho, em relação ao comprimento de onda de 450nm, as médias de transmitância foram 0,97 (grupo Experimental) e 0,69 (grupo Comercial). Com o comprimento 500nm, as médias foram parecidas, 0,97 (Experimental) e 0,66 (Comercial). O pico de 470nm no trabalho citado acima encontra-se nesse intervalo (450nm e 500nm), em que houve bons resultados também.

Kim et al. [50] também usaram espectroscopia UV/Vis para avaliar pinos. Os valores foram extremamente baixos quando comparados aos encontrados nos achados recentes deste trabalho. Os equipamentos usados, um mais antigo e outro mais recente, podem estar relacionados. A composição dos pinos também difere entre os dois trabalhos.

Masotti et al. [51] avaliaram a transmitância direta de espécimes de resinas compostas. Encontraram diferença de transmissão da luz entre as marcas comerciais e seus subtipos. A resina mais opaca da marca Charisma transmitiu mais luz que a translúcida correspondente. A composição das resinas está relacionada a esses resultados diferentes nessa marca comercial. Ao contrário dos resultados dos pinos Comercial e Experimental. O comportamento de resinas compostas é muito relevante por ser um material utilizado em pinos anatômicos. Antes da cimentação dos pinos, ele será envolto com resina composta, na maior parte dos casos, alterando a transmissão da luz. Sendo assim, futuras pesquisas envolvendo pinos anatômicos, tratamento de superfície e outras espectroscopias associadas são fundamentais para enriquecer a literatura.

Os estudos devem continuar para que pinos sejam explorados sob vários parâmetros e aperfeiçoados. A metodologia também precisa progredir para os resultados serem otimizados.

6 CONCLUSÃO

Os pinos do grupo Experimental transmitiram mais luz que o Comercial nas duas metodologias.

REFERÊNCIAS

- 1 Goracci C, Corciolani G, Vichi A, Ferrari M. Light-transmitting ability of marketed fiber posts. *J Dent Res*. 2008;87:1122–1126.
- 2 dos Santos Alves Morgan LF, Peixoto RT, de Castro Albuquerque R, Santos Corrêa MF, de Abreu Poletto LT, Pinotti MB. Light transmission through a translucent fiber post. *J Endod*. 2008; 34:299–302.
- 3 Ozcan M, Zamboni S, Valandro F, Bottino M, Bagis B. Microhardness of dual-polymerized resin cement around a translucent fiber post in the intraradicular environment. *J Conserv Dent*. 2011; 14:370– 373.
- 4 Roberts HW, Leonard DL, Vandewalle KS, Cohen ME, Charlton DG. The effect of a translucent post on resin composite depth of cure. *Dental Materials*. 2004; 20:617–622.
- 5 Yoldas O, Alaçam T. Microhardness of composites in simulated root canals cured with light transmitting posts and glass-fiber reinforced composite posts. *J Endod*. 2005; 31:104–106.
- 6 Faria e Silva AL, Arias VG, Soares LE, Martin AA, Martins LR. Influence of fiber-post translucency on the degree of conversion of a dual-cured resin cement. *J Endod*. 2007; 33:303–305.
- 7 Katarzyna Kaczmarek, Andrzej Leniart, Barbara Lapinska, Slawomira Skrzypek, Monika Lukomska-Szymanska. Selected Spectroscopic Techniques for Surface Analysis of Dental Materials: A Narrative Review. *Materials*. 2021; 14, 2624.
- 8 Goracci C, Ferrari M. Current perspectives on post systems: a literature review. *Aust Dent J*. 2011; 56:77–83.
- 9 Lassila LV, Tanner J, Le Bell AM, Narva K, Vallittu PK. Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. *Dent Mater*. 2004; 20:29–36.
- 10 Teixeira, E. C. N., Teixeira, F. B., Piasick, J. R., & Thompson, J. Y. An in vitro assessment of prefabricated fiber post systems. *The Journal of the American Dental Association*. 2006; 137(7): 1006–1012.
- 11 Cekic-Nagas I, Ergun G, Egilmez F. Light transmittance of fiber posts following various surface treatments: A preliminary study. *Eur J Dent* 2016; 10:230-3.
- 12 Aashwini Lamichhane, Chun Xu, Fu-qiang Zhang. Dental fiber-post resin base material: a review. *J Adv Prosthodont*. 2014; 6:60-5.

- 13 Erik Asmussen*, Anne Peutzfeldt, Thomas Heitmann. Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts. *Journal of Dentistry*. 1999; 275-278.
- 14 S.-o. Hedlund, n. G. Johansson G. Sjogren. A retrospective study of pre-fabricated carbon fiber root canal posts. *Journal of oral rehabilitation*. 2003; 30(10): 1036-1040.
- 15 Murphy J. Reinforced plastics handbook. Segunda edição. Oxford: Kidlington; 1998.
- 16 Callister WD. In: Callister WD, editor. *Materials science and engineering: an Introduction*. 7th ed. Wiley Asia Student Ed. New York: John Wiley & Sons; 2007. p. 585-615.
- 17 Mallick PK. In: Faulkner LL, editor. *Fiber-reinforced composites*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker; 1993. p. 6-84.
- 18 Uzun G, Hersek N, Tinçer T. Effect of five woven fiber reinforcements on the impact and transverse strength of a denture base resin. *J Prosthet Dent*. 1999; 81: 616-620.
- 19 K. Takagi, H. Fujimatsu, H. Usami, S. Ogasawara. Adhesion between high strength and high modulus polyethylene. *Journal of Adhesion Science and technology*. 1996; 10(9): 869-882.
- 20 Rueggeberg FA. State of the art: dental photocuring – a review. *Dental Materials*; 2011. 27:39–52.
- 21 Price RBT, Felix CA. Effect of delivering light in specific narrow bandwidths from 394 to 515 nm on the micro-hardness of resin composites. *Dental Materials*. 2009; 25:899–908.
- 22 Fróes-Salgado, N. R. G., Pfeifer, C. S. C., Francci, C. E., & Kawano, Y. Influence of Photoactivation Protocol and Light Guide Distance on Conversion and Microleakage of Composite Restorations. *Operative Dentistry*. 2009; 34(4), 408–414.
- 23 Richard B.T. Price, Corey A. Felix, Pantelis Andreou. Effects of resin composite composition and irradiation distance on the performance of curing lights. *Biomaterials*. 2004; 25(18): 4465-4477.
- 24 Musanje, B.W. Darvell. Polymerization of resin composite restorative materials: exposure reciprocity. *Dental materials*. 2003; 19(6): 531-541.
- 25 A. Peutzfeldt and E. Asmussen. Resin Composite Properties and Energy Density of Light Cure. *Journal Dental Research*. 2005; 84(7): 659-662.

- 26 Richard B. Price, J.M. Whalen, Thomas B. Price, Christopher M. Felix, John Fahey. The effect of specimen temperature on the polymerization of a resin-composite. *Dental Materials*. 2011; 27(10): 983-989.
- 27 Leprince J, Devaux J, Mullier T, Vreven J, Leloup G. Pulpal temperature rise and polymerization efficiency of LED curing lights. *Operative Dentistry*. 2010; 35:220–30.
- 28 Malhotra, Neeraj; kundabala, M. Light-curing considerations for resin-based composite materials: a review. Part II. *CompendContinEduc Dent*. 2010; 31(8): 584-588.
- 29 Julian G. Leprince, William M. Palin, Mohammed A. Hadis, Jacques Devaux, Gaetane Leloup. Progress in dimethacrylate based dental composite technology and curing efficiency. *Dental Materials*. 2013; 29(2): 139-156.
- 30 Ferracane J L, Aday P, Matsumoto H, Marker VA. Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resins. *Dent Mater* 1986; 2: 80-84.
- 31 Hadis, M. A., Tomlins, P. H., Shortall, A. C., & Palin, W. M. (2010). Dynamic monitoring of refractive index change through photoactive resins. *Dental materials*, 26(11), 1106-1112.
- 32 Dyer SR, Lassila LV, Jokinen M, Vallittu PK. Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite. *Dent Mater*. 2004; 20:947–55.
- 33 Foo SH, Lindquist TJ, Aquilino SA, Schneider RL, Williamson DL, Boyer DB. Effect of polyaramid fiber reinforcement on the strength of 3 denture base polymethyl methacrylate resins. *J Prosthodont*. 2001; 10:148–53.
- 34 Ellakwa AE, Shortall AC, Shehata MK, Marquis PM. The influence of fiber placement and position on the efficiency of reinforcement of fiber reinforced composite bridgework. *J Oral Rehabil*. 2001; 28(8):785-91.
- 35 Fonseca, R. B., de Almeida, L. N., Mendes, G. A. M., Kasuya, A. V. B., Favarão, I. N., & de Paula, M. S. Effect of short glass fiber/filler particle proportion on flexural and diametral tensile strength of a novel fiber-reinforced composite. *Journal of prosthodontic research*. 2016; 60(1): 47-53.
- 36 Nicolas Cheleux, Patrick J. Sharrock. Mechanical properties of glass fiber-reinforced endodontic posts. *Acta Biomaterialia*. 2009; 5(8): 3224-3230.
- 37 Callaghan, D. J., Vaziri, A., & Nayeb-Hashemi, H. (2006). Effect of fiber volume fraction and length on the wear characteristics of glass fiber-reinforced dental composites. *Dental Materials*, 22(1), 84-93.

- 38 Craig, W. H., & Courtney, T. H. On the tension test as a means of characterizing fiber composite failure mode. *Journal of Materials Science*. 1975; 10(7): 1119-1126.
- 39 Eugen A. Preoteasa, Elena S. Preoteasa, Ioana Suciuc and Ruxandra N. Bartok. Atomic and nuclear surface analysis methods for dental materials: A review. *AIMS Materials Science*. 2018; 5(4): 781-844.
- 40 Lach, S., Jurczak, P., Karska, N., Kubiś, A., Szymańska, A., & Rodziewicz-Motowidło, S. Spectroscopic methods used in implant material studies. *Molecules*. 2020; 25(3): 579.
- 41 Malik AK, Kumar R, Heena. Spectroscopy: Types. In *Encyclopedia of Food and Health*. Elsevier Inc. 2015 Sep: 64-72.
- 42 OMIDI, Meisam et al. Characterization of biomaterials. In: *Biomaterials for oral and dental tissue engineering*. Woodhead Publishing, 2017 97-115.
- 43 Kafle, B.P. Application of UVVIS spectrophotometry for chemical analysis. In *Chemical Analysis and Material Characterization by Spectrophotometry*; Elsevier: New York, NY, USA, 2020; pp. 79–145.
- 44 Stürmer, M Garcia, I M Souza, V S Visioli, F Scholten, J D Samuel, S M. ,et al. Titanium dioxide nanotubes with triazine-methacrylate monomer to improve physicochemical and biological properties of adhesives. *Dent. Mater.* 2021; 37: 223–235.
- 45 Keul C, Seidl, J Güth, J F, Liebermann, A. Impact of fabrication procedures on residual monomer elution of conventional polymethyl methacrylate (PMMA)—a measurement approach by UV/Vis spectrophotometry. *Clin. Oral Investig.* 2020; 24: 4519–4530.
- 46 Castellanos, M., Delgado, A. J., Sinhoreti, M. A. C., de Oliveira, D. C. R. S., Abdulhameed, N., Geraldini, S., et al. Effect of thickness of ceramic veneers on color stability and bond strength of resin luting cements containing alternative photoinitiators. *J Adhes Dent*, 2019; 21(1): 67-76.
- 47 Sharma, R.K. Various Spectroscopic Techniques. In *Environmental Pollution: Monitoring Modelling and Control*; Studium Press, LLC: Houston, TX, USA, 2017; pp. 181–206.
- 48 Yu, J.; Wang, H.; Zhan, J.; Huang, W. Review of recent UV-Vis and infrared spectroscopy researches on wine detection and discrimination. *Appl. Spectrosc. Rev.* 2018, 53, 65–86.

- 49 Kim, Y. K., Kim, S. K., Kim, K. H, Kwon, T. Y. Degree of conversion of dual-cured resin cement light-cured through three fibre posts within human root canals: an ex vivo study. *International Endodontic Journal*. 2009; 42(8): 667-674.
- 50 Masotti, A S, Onófrio, Á B, Conceição, E N, Spohr, A M. UV–vis spectrophotometric direct transmittance analysis of composite resins. *Dental materials*. 2007; 23(6): 724-730.
- 51 Williamson, C. A., & Kinerk, W. T. Estimation of coloration and luminous transmittance of eyewear filters using a digital camera and white paper. *Applied optics*. 2019; 58(13): 3354-3358.

PRESS RELEASE

A qualidade da fotoativação é fundamental para o sucesso da cimentação de pinos de fibra de vidro. Para isso, a luz deve ser transmitida de forma eficaz ao longo dos pinos. Existem diversos materiais utilizados na fabricação dos pinos, alguns favorecem mais a passagem de luz. Por isso, é importante testar essa variedade de materiais quanto a transmissão de luz para que o profissional tenha acesso a essas informações. O objetivo deste trabalho foi testar duas formas de avaliação dessa transmissão, o fotômetro e a Espectroscopia UV- Vis, em dois tipos de pinos diferentes. As duas se mostraram adequadas para a avaliação dos pinos. O tipo de pino Experimental mostrou mais transmissão de luz que o tipo Comercial. Os estudos precisam continuar para que a literatura tenha mais informações disponíveis para os profissionais terem acesso e os fabricantes aprimoraram os materiais.

ANEXOS

1 TESTE 1 - FOTÔMETRO

1.1 REGIÃO 1

Tabela 1: Valores da Região 1 segundo Grupo.

Grupo	Região	Valor
Experimental	1	95
Experimental	1	95
Experimental	1	94
Experimental	1	96
Comercial	1	98
Comercial	1	97
Comercial	1	96
Comercial	1	95

Tabela 2: Médias da região 1 segundo Grupo

Grupo	Região	Média
Experimental	1	95
Comercial	1	96,5

Tabela 3: Resultados dos testes de Shapiro-Wilk para cada grupo – Região 1

Grupo	W	p-valor
Experimental	0,945	0,683
Comercial	0,993	0,972

Tabela 4: Teste t de Welch para a Região 1

t	Graus de Liberdade	p-valor
-1,964	5.069	0,106

Tabela 5: Intervalo de confiança Região 1

Intervalo de Confiança de 95%	
-3,455	0,455

1.2 REGIÃO 2

Tabela 6: Valores da Região 2 segundo grupo

Grupo	Região	Valor
Experimental	2	78
Experimental	2	78
Experimental	2	74
Experimental	2	86
Comercial	2	70
Comercial	2	63
Comercial	2	71
Comercial	2	69

Tabela 7: Médias da região 2 segundo grupo

Grupo	Região	Média
Experimental	2	79
Comercial	2	68,25

Tabela 8: Resultados dos testes de Shapiro-Wilk para cada grupo – Região 2

Grupo	W	p-valor
Experimental	0,89	0,163
Comercial	0,83	0,401

Tabela 9: Teste t de Welch para a Região 2

t	Graus de Liberdade	p-valor
3.476	5.428	0.0155

Tabela 10: Intervalo de confiança Região 2

Intervalo de Confiança de 95%	
2,99	18,51

1.3 REGIÃO 3

Tabela 11: Valores da Região 3 segundo grupo

Grupo	Região	Valor
Experimental	3	52
Experimental	3	38
Experimental	3	35
Experimental	3	34
Comercial	3	26
Comercial	3	28
Comercial	3	29
Comercial	3	29

Tabela 12: Médias da região 3 segundo Grupo

Grupo	Região	Média
Experimental	3	39,75
Comercial	3	28

Tabela 13: Resultados dos testes de Shapiro-Wilk para cada grupo – Região 3

Grupo	W	p-valor
Experimental	0,793	0,091
Comercial	0,827	0,161

Tabela 14: Teste t de Welch para a Região 3

t	Graus de Liberdade	p-valor
3.778	3.172	0.0649

Tabela 15: Intervalo de confiança Região 3

Intervalo de Confiança de 95%	
-1,308	24,808

1.4 TESTES CRUZADOS

Tabela 16: Médias de cada Grupo e Região

	Grupo Comercial	Grupo Experimental
Região 1	96.5	95
Região 2	68.25	79
Região 3	28	39.75

1.4.1 Região 1 x Região 2

Tabela 17: Testes t de Welch para a comparação entre Regiões 1 e 2

Combinação	t	Graus de Liberdade	p-valor	Decisão (H_0)
Comercial 1 x Comercial 2	14.795	3.7615	0.0001798	Rejeitada
Comercial 1 x Experimental 2	6.7358	3.393	0.004478	Rejeitada
Experimental 1 x Comercial 2	14.516	3.3089	0.0004131	Rejeitada
Experimental 1 x Experimental 2	6.2757	3.1578	0.007003	Rejeitada

Tabela 18: Intervalo de Confiança de 95% para t (Região 1 x Região 2)

Combinação	Limite Inferior	Limite Superior
Comercial 1 x Comercial 2	22.813	33.687
Comercial 1 x Experimental 2	9.748	25.252
Experimental 1 x Comercial 2	21.183	32.317
Experimental 1 x Experimental 2	8.111	23.889

1.4.2 Região 1 x Região 3

Tabela 19: Testes t de Welch para a comparação entre Regiões 1 e 3

Combinação	t	Graus de Liberdade	p-valor	Decisão (H_0)
Comercial 1 x Comercial 3	71.546	5.9508	5.802×10^{-10}	Rejeitada
Comercial 1 x Experimental 3	13.446	3.1436	0.0006977	Rejeitada
Experimental 1 x Comercial 3	82.058	4.8	9.67×10^{-9}	Rejeitada
Experimental 1 x Experimental 3	13.184	3.0575	0.0008561	Rejeitada

Tabela 20: Intervalo de Confiança de 95% para t (Região 1 x Região 3)

Combinação	Limite Inferior	Limite Superior
Comercial 1 x Comercial 3	66.153	70.847
Comercial 1 x Experimental 3	43.659	69.841
Experimental 1 x Comercial 3	64.875	69.125
Experimental 1 x Experimental 3	42.054	68.446

1.4.3 Região 2 x Região 3

Tabela 21: Testes t de Welch para a comparação entre Regiões 2 e 3

Combinação	t	Graus de Liberdade	p-valor	
Comercial 2 x Comercial 3	20.843	3.9073	3.758×10^{-5}	Rejeitada
Comercial 2 x Experimental 3	6.2755	4.0767	0.003088	Rejeitada
Experimental 2 x Comercial 3	19.51	3.4708	0.0001135	Rejeitada
Experimental 2 x Experimental 3	8.0575	4.9288	0.0005097	Rejeitada

Tabela 22: Intervalo de Confiança de 95% para t (Região 2 x Região 3)

Combinação	Limite Inferior	Limite Superior
Comercial 2 x Comercial 3	34.838	45.662
Comercial 2 x Experimental 3	15.984	41.016
Experimental 2 x Comercial 3	43.284	58.716
Experimental 2 x Experimental 3	26.673	51.827

2 TESTE 2 – DADOS DE TRANSMITÂNCIA

2.1 TESTES EM COMPRIMENTO DE ONDA 400NM

Tabela 1: Transmitância do comprimento 400nm

Grupo	Comprimento de Onda	Transmitância	Identificação
Comercial	400	0.842	A1
Comercial	400	0.926	A2
Comercial	400	0.934	A3
Comercial	400	0.981	A4
Comercial	400	0.918	A5
Comercial	400	0.723	A6
Comercial	400	0	A7
Comercial	400	0.859	A8
Comercial	400	0.454	A9
Comercial	400	0.699	A10
Experimental	400	0.963	E1
Experimental	400	0.990	E2
Experimental	400	0.994	E3
Experimental	400	0.990	E4
Experimental	400	0.963	E5
Experimental	400	0.992	E6
Experimental	400	0.995	E7
Experimental	400	0.949	E8
Experimental	400	0.910	E9
Experimental	400	0.993	E10

Tabela 2: Médias do comprimento 400nm segundo Grupo

Grupo	Comprimento de Onda	Média
Experimental	400	0.974
Comercial	400	0.723

Tabela 3: Teste de Shapiro-Wilk para os dados de transmitância do comprimento 400nm

W	p-valor
0.6198	0.000004755

Tabela 4: Teste de Shapiro-Wilk para o arcosseno da raiz dos dados de transmitância do comprimento 400nm

W	p-valor
0.70945	0.00005095

Tabela 5: Teste de Shapiro-Wilk para o valor transformado z do comprimento 400nm

W	p-valor
0.93896	0.2291

Tabela 6: Teste t de Welch para o z do comprimento de onda 400nm

t	Graus de Liberdade	p-valor
-4.7124	17.137	0.0001968

Tabela 7: Intervalo de confiança (onda 400nm)

Intervalo de Confiança de 95% para t
-5.607 -2.14

2.2 TESTES EM COMPRIMENTO DE ONDA 450NM

Tabela 8: Transmitância do comprimento 450nm

Grupo	Comprimento de Onda	Transmitância	Identificação
Comercial	450	0.728	A1
Comercial	450	0.926	A2
Comercial	450	0.863	A3
Comercial	450	0.975	A4
Comercial	450	0.911	A5
Comercial	450	0.705	A6
Comercial	450	0	A7
Comercial	450	0.837	A8
Comercial	450	0.437	A9
Comercial	450	0.657	A10
Experimental	450	0.962	E1
Experimental	450	0.987	E2
Experimental	450	0.991	E3
Experimental	450	0.988	E4
Experimental	450	0.958	E5
Experimental	450	0.988	E6
Experimental	450	0.993	E7
Experimental	450	0.943	E8
Experimental	450	0.905	E9
Experimental	450	0.990	E10

Tabela 9: Médias do comprimento 450nm segundo Grupo

Grupo	Comprimento de Onda	Média
Experimental	450	0.970
Comercial	450	0.699

Tabela 10: Teste de Shapiro-Wilk para a transformação y do comprimento 450nm

W	p-valor
0.74894	0.0001643

Tabela 11: Teste de Shapiro-Wilk para a transformação z do comprimento 450nm

W	p-valor
0.93159	0.1657

Tabela 12: Teste t de Welch para o z do comprimento de onda 450nm

t	Graus de Liberdade	p-valor
-5.4268	17.335	0.00004236

Tabela 13: Intervalo de confiança (onda 450nm)

Intervalo de Confiança de 95% para t	
-5.619	-2.476

2.3 TESTES EM COMPRIMENTO DE ONDA 500NM

Tabela 14: Transmitância do comprimento 500nm

Grupo	Comprimento de Onda	Transmitância	Identificação
Comercial	500	0.596	A1
Comercial	500	0.806	A2
Comercial	500	0.790	A3
Comercial	500	0.971	A4
Comercial	500	0.906	A5
Comercial	500	0.683	A6
Comercial	500	0	A7
Comercial	500	0.814	A8
Comercial	500	0.425	A9
Comercial	500	0.612	A10
Experimental	500	0.962	E1
Experimental	500	0.986	E2
Experimental	500	0.991	E3
Experimental	500	0.987	E4
Experimental	500	0.955	E5
Experimental	500	0.987	E6
Experimental	500	0.992	E7
Experimental	500	0.941	E8
Experimental	500	0.904	E9
Experimental	500	0.989	E10

Tabela 15: Médias do comprimento 500nm segundo Grupo

Grupo	Comprimento de Onda	Média
Experimental	500	0.970
Comercial	500	0.660

Tabela 16: Teste de Shapiro-Wilk para a transformação y do comprimento 500nm

W	p-valor
0.78519	0.0005239

Tabela 17: Teste de Shapiro-Wilk para a transformação z do comprimento 500nm

W	p-valor
0.91471	0.07843

Tabela 18: Teste de t de Welch para o z do comprimento de onda 500nm

t	Graus de Liberdade	p-valor
-5.9384	17.444	0.00001456

Tabela 19: Intervalo de confiança (onda 500nm)

Intervalo de Confiança de 95% para t
-5.823
-2.774

2.4 TESTES EM COMPRIMENTO DE ONDA 550NM

Tabela 20: Transmitância do comprimento 550nm

Grupo	Comprimento de Onda	Transmitância	Identificação
Comercial	550	0.495	A1
Comercial	550	0.751	A2
Comercial	550	0.730	A3
Comercial	550	0.968	A4
Comercial	550	0.902	A5
Comercial	550	0.670	A6
Comercial	550	0	A7
Comercial	550	0.792	A8
Comercial	550	0.423	A9
Comercial	550	0.581	A10
Experimental	550	0.962	E1
Experimental	550	0.986	E2
Experimental	550	0.991	E3
Experimental	550	0.988	E4
Experimental	550	0.955	E5
Experimental	550	0.987	E6
Experimental	550	0.992	E7
Experimental	550	0.941	E8
Experimental	550	0.905	E9
Experimental	550	0.988	E10

Tabela 21: Médias do comprimento 550nm segundo Grupo

Grupo	Comprimento de Onda	Média
Experimental	550	0.969
Comercial	550	0.631

Tabela 22: Teste de Shapiro-Wilk para a transformação y do comprimento 550nm

W	p-valor
0.80689	0.001097

Tabela 23: Teste de Shapiro-Wilk para a transformação z do comprimento 550nm

W	p-valor
0.90415	0.04936

Tabela 24: Teste de Shapiro-Wilk para a transformação z' do comprimento 550nm

W	p-valor
0.91273	0.07185

Tabela 25: Teste t de Welch para o z do comprimento de onda 550 nm

t	Graus de Liberdade	p-valor
-6.0165	14.31	0.00002883

Tabela 26: Intervalo de confiança (onda 550nm)

Intervalo de Confiança de 95% para t
-12.729567 -6.048939

