



**CAMPUS PARQUE ECOLÓGICO CURSO
DE ODONTOLOGIA**

**ANNA LUISA COUTINHO
SARA JUSTINO DA SILVA**

**EFEITO DA RADIAÇÃO IONIZANTES NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS EM UMA
RESINA ORTODÔNTICA**

**FORTALEZA
2026**

ANNA LUISA COUTINHO
SARA JUSTINO DA SILVA

EFEITO DA RADIAÇÃO IONIZANTE NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE UMA
RESINA ORTODÔNTICA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de Graduação
em Odontologia, pelo Curso de
Odontologia da
Universidade Christus
Orientadora: Profa. Ma. Ana Carolina
Luna de Carvalho

FORTALEZA
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586e Silva, Sara Justino da.
Efeito da Radiação Ionizante nas Propriedades Físico-químicas em uma Resina Ortodôntica : Estudo Laboratorial Experimental conduzido In Vitro. / Sara Justino da Silva, Anna Luísa Coutinho . - 2026.
26 f. : il. color.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Curso de Biomedicina, Fortaleza, 2026.
Orientação: Profa. Ma. Ana Carolina Luna .
1. Radiação ionizante. 2. Resina ortodôntica. 3. Análise espectral raman. I. Coutinho, Anna Luísa. II. Título

CDD 612

ANNA LUISA COUTINHO
SARA JUSTINO DA SILVA

EFEITO DA RADIAÇÃO IONIZANTES NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS EM
RESINA ORTODÔNTICA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de Graduado
em Odontologia, pelo Curso de
Odontologia da Universidade

Christus

Orientador(a): Prof(a). Ma. Ana Carolina
Luna de Carvalho

Aprovado em: ___/___/___.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ma. Ana Carolina Luna
Universidade Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Dr. Pedro Henrique Acioly Guedes Peixoto Vieira
Universidade Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Dra. Flávia Jucá Alencar e Silva
Universidade Christus (UNICHRISTUS)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus, por nos conceder saúde, força, sabedoria e perseverança ao longo de toda nossa trajetória acadêmica, e por guiar nossos passos, permitindo que chegássemos até essa importante etapa de nossas vidas. “Porque sou eu que conheço os planos que tenho pra vocês- declara o SENHOR- planos de fazê-los prosperar, não de causar dano, planos de dar a vocês esperança e um futuro.” Jeremias 29.11

Agradecemos também as nossas famílias, que sempre estiveram ao nosso lado, oferecendo amor, apoio incondicional, compreensão e incentivo constante, especialmente nos momentos mais difíceis.

Expressamos nossa sincera gratidão aos nossos professores, pelos ensinamentos compartilhados, pela dedicação, paciência e contribuição essencial para a nossa formação acadêmica e profissional.

A realização deste trabalho simboliza o encerramento de uma etapa marcada por aprendizado, amadurecimento e superação. Mais do que um requisito acadêmico esse trabalho representa toda a nossa dedicação e a certeza de que cada dificuldade enfrentada valeu a pena.

Por fim, agradecemos a todos que de alguma forma contribuíram para nossa caminhada acadêmica e para a concretização desse trabalho, seja por meio de palavras de incentivo, apoio ou colaboração. Levaremos conosco cada aprendizado e cada experiência vivida durante essa trajetória.

RESUMO

A radioterapia atua por meio da radiação ionizante gerando alterações no DNA celular e causando à apoptose. Apesar de sua eficácia terapêutica, pode causar efeitos adversos nos tecidos orais. Dessa forma, compreender as alterações nos materiais odontológicos torna-se importante. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar os efeitos de diferentes doses crescentes de radiação na integridade da matriz orgânica da resina ortodôntica Transbond XT (3M Unitek, Monrovia, CA, EUA). Trata-se de um estudo experimental de caráter laboratorial, conduzido in vitro, no qual a resina composta foi submetida a diferentes doses de radiação ionizante (G1=0, G2= 40, G3=60, G4=80 e G5=120 Gy), foram confeccionados 3 corpos de prova para cada grupo estudado, aplicadas em fração única, em meio aquoso, A análise espectroscópica foi realizada por meio de espectroscopia micro-Raman. Os resultados revelaram variações estatisticamente significativas na razão de intensidade dos picos 1635/1608 entre os grupos experimentais (ANOVA, $p = 0,004$). O grupo controle (G1=0 Gy) apresentou a menor razão média ($0,5440 \pm 0,0202$). Observou-se aumento dos valores da razão nos grupos irradiados, com diferenças estatisticamente significativas nos grupos 60 Gy(G3) ($0,6010 \pm 0,0087$) e 120 Gy(G5) ($0,6143 \pm 0,0082$) em comparação ao grupo controle ($p < 0,05$, teste de Tukey). Os grupos 40 Gy(G2) e 80 Gy(G4), embora tenham apresentado valores médios superiores ao controle, não demonstraram diferenças estatisticamente significativas. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a radiação ionizante exerce influência sobre a integridade da matriz orgânica da resina composta avaliada, promovendo alterações detectáveis por espectroscopia micro-Raman. Observou-se que essas modificações são dependentes da dose de radiação, com diferenças significativas especialmente nas doses de 60 Gy (G3) e 120 Gy (G5). A razão 1635/1608 mostrou-se um parâmetro sensível para a avaliação dessas alterações estruturais. Dessa forma, demonstrando que a radiação pode interferir nas características estruturais de resinas compostas utilizadas em odontologia.

Palavras-chave: radiação ionizante; resina ortodôntica; Análise Espectral Raman.

ABSTRACT

Radiotherapy acts through ionizing radiation, generating alterations in cellular DNA and causing apoptosis. Despite its therapeutic efficacy, it can cause adverse effects on oral tissues. Therefore, understanding the alterations in dental materials becomes important. Thus, the present study aims to analyze the effects of different increasing doses of radiation on the integrity of the organic matrix of the Transbond XT orthodontic resin (3M Unitek, Monrovia, CA, USA). This is an experimental, laboratory-based study, conducted *in vitro*, in which the composite resin was subjected to different doses of ionizing radiation (G1=0, G2=40, G3=60, G4=80 and G5=120 Gy). Three specimens were prepared for each group studied, applied in a single fraction, in aqueous medium. Spectroscopic analysis was performed using micro-Raman spectroscopy. The results revealed statistically significant variations in the intensity ratio of the 1635/1608 peaks between the experimental groups (ANOVA, $p = 0.004$). The control group (G1=0 Gy) presented the lowest mean ratio (0.5440 ± 0.0202). An increase in the ratio values was observed in the irradiated groups, with statistically significant differences in the 60 Gy (G3) (0.6010 ± 0.0087) and 120 Gy (G5) (0.6143 ± 0.0082) groups compared to the control group ($p < 0.05$, Tukey test). The 40 Gy (G2) and 80 Gy (G4) groups, although presenting higher mean values than the control, did not show statistically significant differences. Based on the results obtained, it is concluded that ionizing radiation influences the integrity of the organic matrix of the evaluated composite resin, promoting alterations detectable by micro-Raman spectroscopy. It was observed that these modifications are dependent on the radiation dose, with significant differences especially at doses of 60 Gy (G3) and 120 Gy (G5). The 1635/1608 ratio proved to be a sensitive parameter for evaluating these structural alterations. Thus, demonstrating that radiation can interfere with the structural characteristics of composite resins used in dentistry.

Keywords: ionizing radiation; orthodontic resin; Raman spectral analysis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	09
2. OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo geral.....	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO	12
4. MATERIAIS E MÉTODOS	14
4.1 Desenho do estudo e considerações éticas.....	14
4.2 Confeção dos corpos de prova.....	14
4.3 Acabamento e polimento manual.....	15
4.4 Simulação do protocolo de radioterapia.....	16
4.5 Espectroscopia Micro-Raman.....	16
4.6 Análise estatística.....	17
5. RESULTADOS.....	18
6. DISCUSSÃO	19
7. CONCLUSÃO	22
8. REFERÊNCIAS	23

1. INTRODUÇÃO

Os tumores malignos que acometem cabeça e pescoço apresentam elevada morbidade e mortalidade, impactando negativamente a qualidade de vida dos pacientes com neoplasias orais. O diagnóstico precoce é determinante para um melhor prognóstico frente às abordagens terapêuticas disponíveis, como cirurgia, radioterapia e quimioterapia (ALMEIDA et al., 2011). Dentre essas, a radioterapia é amplamente utilizada e se baseia na aplicação de radiação ionizante, que promove alterações eletrofísicas no meio biológico ao induzir ionizações e agir diretamente sobre o DNA celular, resultando em inativação replicativa ou morte celular.

Muitos pacientes recebem altas doses de radiação em regiões extensas da cabeça e pescoço, incluindo estruturas como cavidade oral, mandíbula, glândulas salivares e maxila. Apesar da eficácia no controle tumoral, esse tratamento pode provocar efeitos adversos significativos nos tecidos orais (JHAM, 2006). A severidade das alterações induzidas pela radiação nos dentes está relacionada à sua composição mineral e orgânica, que pode manter radicais livres em sua estrutura por períodos prolongados (BRANDEBURSKI, 2018).

Aproximadamente 60% dos pacientes com câncer de cabeça e pescoço são submetidos à radioterapia, frequentemente em associação com outros tratamentos. Entre as principais complicações orais estão xerostomia, osteorradionecrose, mucosite, perda do paladar, trismo, candidíase e cáries de radiação. Assim, é recomendável que o preparo da cavidade oral ocorra de duas a três semanas antes da radioterapia, com eliminação de focos infecciosos e reforço das orientações de higiene bucal (SARI et al., 2014).

Avanços como a radioterapia de intensidade modulada (IMRT), uma evolução da técnica tridimensional convencional (3D CRT), permitem maior precisão na distribuição da dose, reduzindo a toxicidade nos tecidos saudáveis. Sua utilização tem se mostrado eficaz no tratamento dos cânceres de cabeça e pescoço, com melhora nos índices de morbidade e qualidade de vida dos pacientes (ALFOUZAN, 2021). Lambrecht e Nevens(2013) observaram menor incidência de xerostomia com IMRT em comparação à 3D CRT após seis meses

de tratamento (82% vs. 91%). Além disso, Rathod et al. (2013) relataram melhores resultados em sintomas como boca seca, abertura bucal, dor, deglutição e qualidade do sono em pacientes tratados com IMRT.

As alterações induzidas pela radiação na estrutura dentária incluem redução da microdureza do esmalte, aumento da rugosidade superficial e maior suscetibilidade à fratura, abrasão e adesão de biofilme. Também foram observadas desorganização da estrutura prismática, fissuras e maior solubilidade mineral, sobretudo nas camadas externas do esmalte. A interface esmalte-dentina mostra-se especialmente vulnerável, apresentando menor elasticidade e maior propensão à delaminação após a terapia (KLARIÉ, 2021).

Diante disso, torna-se relevante compreender como essas alterações impactam os materiais utilizados em tratamentos odontológicos. O presente estudo tem como objetivo avaliar os efeitos de doses crescentes de radiação ionizante sobre as propriedades físico-químicas em resina composta ortodôntica.

2. OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar o efeito de diferentes doses de radiação ionizante, por meio de espectroscopia micro raman na integridade da matriz orgânica de um material resinoso ortodôntico.

2.1. Objetivos específicos

- Analisar os espectros Raman de resina ortodôntica na faixa de 800 a 1800 cm^{-1} após exposição à radiação ionizante de uma resina ortodôntica.
- Determinar a razão entre os picos 1635 cm^{-1} e 1608 cm^{-1} como indicador da integridade da matriz polimérica.
- Comparar os valores da razão 1635/1608 entre os diferentes grupos experimentais (G1=0, G2=40, G3=60, G4=80 e G5=120 Gy).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

A radiação ionizante é administrada como tratamento do câncer com o objetivo de destruir os tecidos neoplásicos, interagindo com tecidos e formando elétrons que ionizam o meio, o que gera efeitos químicos por hidrólise da água e provoca a interrupção das cadeias de DNA. Entretanto, o tratamento radioterápico pode causar efeitos colaterais indesejáveis e impactos permanentes na cavidade oral, os quais devem ser considerados durante a realização de procedimentos restauradores e na colagem de braquetes ortodônticos (TOMASIN NETO *et al.* 2022). Além disso, a radioterapia também afeta negativamente a integridade estrutural dos tecidos dentários duros (SAIKAEW *et al.* 2025).

A gravidade da lesão dentária está diretamente relacionada à dose de radiação recebida pelo dente (LU, HUI *et al.* 2019). E a severidade e extensão das alterações nos tecidos dentais parecem depender do conteúdo mineral e orgânico das estruturas dentárias, que, após irradiação, podem acomodar radicais livres dentro da sua estrutura por longos períodos (BRANDEBURSKI; REICHERT; *et al.* 2018). Dessa forma, a saúde bucal de pacientes com câncer de cabeça e pescoço deve ser monitorada antes, durante e após a radioterapia, seguindo os protocolos de adequação oral (WANGHON *et al.* 2023).

O desempenho dos biomateriais adesivos consiste na sua capacidade de se ligar a materiais dentários ou à estrutura dentária, criando uma ligação forte e duradoura. Esses materiais geralmente apresentam um desempenho clínico excelente, caracterizando-se por boa retenção, baixa microinfiltração, mínimas fendas marginais e alta resistência de união. No entanto, após à irradiação ionizante, podem apresentar alterações das suas características físico-químicas, dependendo da dose e do tempo de exposição. Dessa forma, análises minuciosas devem ser realizadas a fim de compreender os possíveis efeitos decorrentes dessas modificações estruturais (EGGMANN FLORIN *et al.*, 2023).

A Resina ortodôntica Transbond XT da 3M é um compósito resinoso fotopolimerizável desenvolvido inicialmente para colagem de braquetes e outros

fins ortodônticos. É comumente citado na literatura científica para colagem de acessórios, e sua composição consiste sobretudo em quartzo tratado com silano (70-80%), BIS-GMA (10-20%) e dimetacrilato de bisfenol A (5-10%) (PATURAL HUGO *et. al.* 2024). A resistência de união e o grau de conversão (DC) são extremamente importantes para determinar as propriedades físicas e mecânicas de diversos sistemas de colagem ortodôntica (MASOOD MAHOMMED TAHA, *et.al.* 2018).

Na odontologia, a espectroscopia Raman tem demonstrado grande potencial de reconhecimento precoce de lesões cariosas como método complementar de diagnóstico, bem como na avaliação de efeitos desmineralizante de alimento e bebidas e na avaliação de agentes remineralizante. Ademais, permite a detecção rápida da composição química e da organização estrutural de tecidos inorgânicos. Essa técnica registra o perfil da luz que é dispersa por um feixe de laser direcionado à amostra, gerando um espectro único baseado em vibrações moleculares. Contudo, esse espectro possibilita uma análise quantitativa e a avaliação de alterações bioquímicas e estruturais (CLICHICI, *et.al.* 2026). E trata-se de um método comprovado para analisar e calcular o grau de conversão.

O grau de conversão (GC) de materiais à base de resina refere-se à conversão monomérica de ligações duplas carbono-carbono em ligações simples carbono-carbono poliméricas. Pode ser afetado por fatores de polimerização, incluindo tipo e teor de carga, composição química do monômero, grau de umidade e temperatura durante a cura (WU *et al.*, 2010) . O maior grau de conversão eleva as propriedades físicas do material, como microdureza, força de união, resistência ao desgaste e menor degradação ao longo do tempo. Monômeros não curados podem se desprender e causar efeitos indesejáveis (APERKOVIC *et al.*, 2023)..

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Desenho do estudo e considerações éticas

Trata-se de um estudo experimental de caráter laboratorial, conduzido in vitro, no qual a resina composta ortodôntica Transbond XT (3M Unitek, Monrovia, CA, EUA) foi submetida a diferentes doses de radiação ionizante sendo confeccionados 3 corpos de prova circulares para cada grupo estudado. Por não envolver a utilização de material biológico, nem a coleta de dados ou informações provenientes de seres humanos ou animais, o presente estudo está dispensado de avaliação por comitê de ética. Essa condição está em conformidade com a Resolução nº 466/2012, do Conselho Nacional de Saúde/Ministério da Saúde, bem como com as diretrizes estabelecidas pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP).

4.2 Confeção dos corpos de prova

Os corpos de prova de resina ortodôntica foram confeccionados utilizando uma matriz composta por duas placas de PVC rígido, com 2 mm de espessura. A placa base apresentava dimensões de 30 × 30 cm e possuía uma abertura central destinada ao encaixe de uma segunda placa (20 × 20 cm), perfurada com orifícios equidistantes de 6 mm de diâmetro (Figura 1). Esse sistema permitiu a obtenção de espécimes padronizados, com dimensões uniformes e remoção facilitada após a polimerização.

A resina ortodôntica foi inserida nos orifícios em incremento único e, em seguida, recoberta com lamínula de vidro, com o objetivo de obter uma superfície lisa e regular. Posteriormente, os espécimes foram fotoativados por 20 segundos, utilizando um fotopolimerizador LED Radium Xpert (SDI, Bayswater, Victoria, Austrália), com intensidade de 1500 mW/cm².

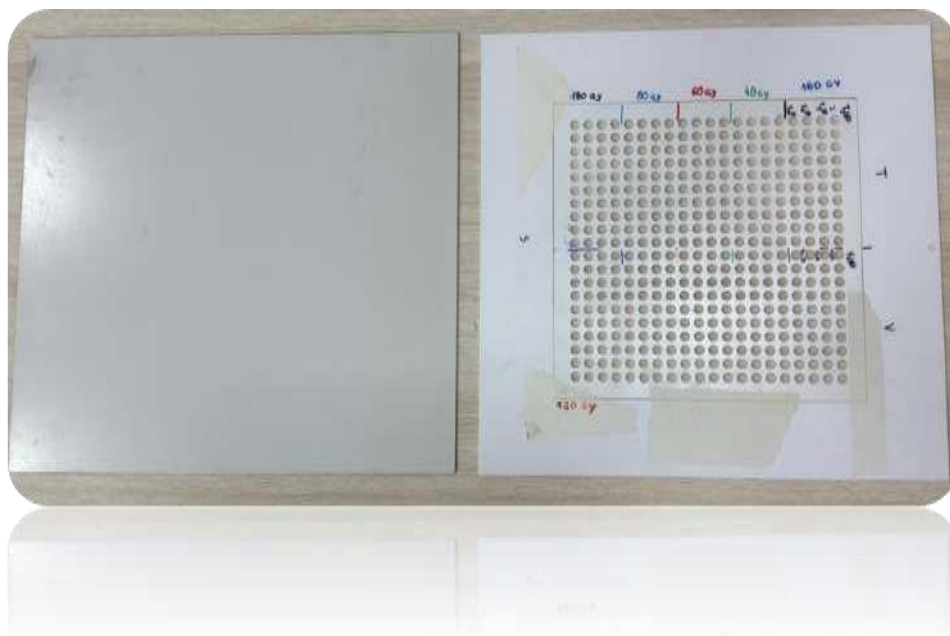


Figura 1. Matriz composta por duas placas de PVC rígido, com 2mm de espessura.

4.3 Acabamento e polimento manual

Os corpos de prova foram inicialmente submetidos aos procedimentos de acabamento e polimento manual, com o objetivo de favorecer o adequado encaixe na matriz de PVC. O acabamento foi realizado com lixa de granulação 600 (Figura 2), seguido do polimento com lixa de granulação 1200. Durante o procedimento, os espécimes foram lixados manualmente por meio de movimentos padronizados em formato de “8”, durante 1 minuto em cada face, assegurando tempo equivalente em ambos os lados. A pressão aplicada foi mantida entre 20 e 25 gramas, sendo controlada por meio de calibração em balança a cada espécime, garantindo a padronização da força exercida e a uniformidade da superfície final obtida (Queiroz et al., 2010).



Figura 2. Lixa de granulação 600.

4.4 Simulação do protocolo de radioterapia

As amostras foram distribuídas e randomizadas em grupos de acordo com a dose de radiação ionizantes (G1=0, G2=40, G3=60, G4=80 e G5=120 Gy), aplicadas em fração única. A irradiação foi realizada em meio aquoso, a fim de manter condições constantes de umidade durante todo o processo. Após cada etapa de irradiação, os espécimes correspondentes à dose aplicada eram removidos, permanecendo apenas aqueles destinados às doses subsequentes, até a conclusão do protocolo experimental.

O procedimento foi realizado em acelerador linear Trilogy (Varian), com energia de 6 MV, profundidade de 2 cm, campo de radiação de 20 × 20 cm e distância fonte-superfície (SSD) de 100 cm. As amostras foram posicionadas no centro do campo de irradiação. Para garantir condições adequadas de buildup e espalhamento, foram utilizadas dez placas de água sólida (IBA), conforme descrito por Taher et al. (2021).

4.5 Espectroscopia Raman

A análise espectroscópica foi realizada por meio de espectroscopia micro-Raman, utilizando o equipamento Xplora (Horiba Scientific, Paris, França). As leituras foram conduzidas com laser de 785 nm, potência ajustada para evitar degradação térmica da amostra, tempo de aquisição de 5 segundos e 10 acumulações por espectro, empregando objetiva de 100×. As análises foram realizadas à temperatura ambiente (23 ± 1 °C), sendo obtidos espectros na faixa de 800 a 1800 cm^{-1} . Para cada espécime, foram realizadas três leituras em pontos distintos da superfície, sendo os valores médios utilizados para análise.

Após a aplicação dos protocolos de radiação ionizante, os espécimes foram submetidos à análise espectroscópica, permitindo a avaliação das alterações estruturais induzidas pela irradiação na matriz orgânica da resina composta.

A avaliação da matriz orgânica foi realizada por meio da razão entre os picos localizados em 1635 cm^{-1} (C=C alifático) e 1608 cm^{-1} (C=C aromático),

sendo este último utilizado como padrão interno. Essa razão foi empregada como indicador indireto da integridade da matriz polimérica.

Os espectros obtidos foram analisados em software específico do equipamento, sendo previamente submetidos à correção de linha de base e normalização, a fim de minimizar interferências e permitir a comparação entre os grupos experimentais.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram inicialmente submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Em seguida, foram expressos em média e desvio padrão e analisados por meio de análise de variância (ANOVA) de um critério, seguida do teste post hoc de Tukey para comparações múltiplas. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SPSS (versão 17.0), adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

5. RESULTADOS

Os resultados da espectroscopia micro Raman revelaram variações estatisticamente significativas na razão de intensidade dos picos 1635/1608 entre os grupos experimentais (ANOVA, $p = 0,004$). O grupo controle G1 (0 Gy) apresentou a menor razão média ($0,5440 \pm 0,0202$). Observou-se aumento dos valores da razão nos grupos irradiados, com diferenças estatisticamente significativas nos grupos G3 (60 Gy) ($0,6010 \pm 0,0087$) e G5 (120 Gy) ($0,6143 \pm 0,0082$) em comparação ao grupo controle ($p < 0,05$, teste de Tukey). Os grupos G2 (40 Gy) e G4 (80 Gy), embora tenham apresentado valores médios superiores ao controle, não demonstraram diferenças estatisticamente significativas.

	0GY (G1)	40GY (G2)	60GY (G3) A	80GY (G4)	120GY (G5)B	P-VALOR
MÉDIA	0,5440	0,5675	0,6010	0,5727	0,6143	0,0040
DESVIO PADRÃO	0,0202	0,0061	0,0087	0,0070	0,0082	

* $P < 0,05$, ANOVA/TUKEY (MÉDIA \pm DP)

Tabela 1. Média e desvio padrão da razão 1635/1608 obtida por espectroscopia Raman da resina composta ortodôntica Transbond XT (3M Unitek) após exposição a diferentes doses de radiação ionizante (0, 40, 60, 80 e 120 Gy). Letras diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos (ANOVA de um critério seguida do teste de Tukey, $p < 0,05$).

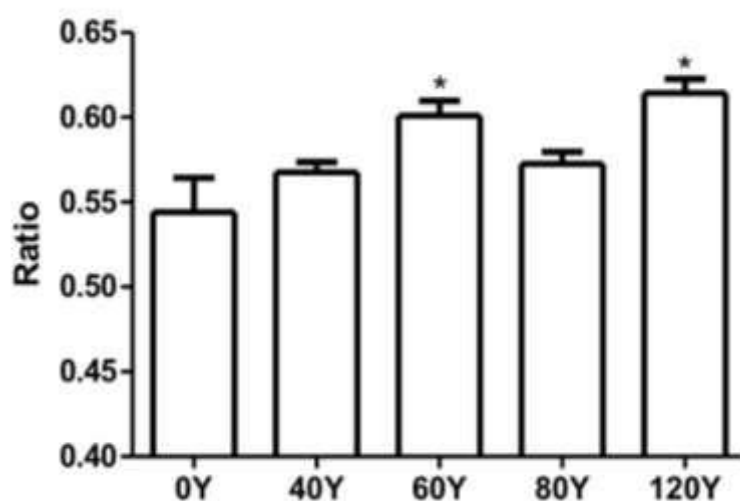


Figura 3. Distribuição dos valores da razão entre os picos Raman 1635/1608 da resina composta Transbond XT após exposição a diferentes doses de radiação ionizante (0, 40, 60, 80 e 120 Gy)

6. DISCUSSÃO

O presente estudo demonstrou que a exposição à radiação ionizante promove alterações significativas na razão entre os picos 1635/1608 da resina composta, evidenciando influência da dose de radiação sobre a estrutura do material. Observou-se aumento dos valores dessa razão nos grupos irradiados em comparação ao controle, com diferenças estatisticamente significativas nas doses de 60 Gy (G3) e 120 Gy (G5). Esses achados indicam que a radiação é capaz de modificar a organização molecular da matriz orgânica, sugerindo um comportamento dependente da dose.

A razão entre os picos em 1635 cm^{-1} e 1608 cm^{-1} tem sido amplamente utilizada como indicador da integridade da matriz orgânica em resinas compostas, uma vez que o pico em 1635 cm^{-1} está associado às ligações C=C alifáticas, enquanto o pico em 1608 cm^{-1} corresponde às estruturas aromáticas mais estáveis, sendo empregado como padrão interno. Dessa forma, variações nessa razão refletem alterações relativas na estrutura da rede polimérica. No presente estudo, o aumento observado nos valores da razão 1635/1608 sugere modificações na organização molecular da matriz resinosa após a exposição à radiação ionizante.

A ação da radiação ionizante sobre materiais poliméricos, como as resinas compostas, está diretamente relacionada à formação de radicais livres, que são espécies altamente reativas capazes de promover alterações na estrutura do material. Esses radicais podem induzir tanto a quebra das cadeias poliméricas (degradação) quanto a formação de novas ligações entre as cadeias (reticulação), modificando a organização da matriz orgânica (Ashfaq et al., 2020; Naikwadi et al., 2022). Em resinas à base de metacrilato, esses processos podem ocorrer simultaneamente, sendo influenciados por fatores como dose de radiação, presença de oxigênio e características do material (Wang et al., 2021; Jung et al., 2018). Dessa forma, as variações observadas na razão 1635/1608 podem estar relacionadas a esse conjunto de reações químicas induzidas pela radiação, refletindo alterações na estrutura da rede polimérica.

Ao analisar os diferentes níveis de radiação, observa-se que o comportamento da resina não foi linear em todas as doses. Embora todos os

grupos irradiados tenham apresentado valores superiores ao controle, apenas os grupos submetidos a 60 Gy (G3) e 120 Gy (G5) apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Esse achado sugere a existência de um possível limiar de dose a partir do qual as alterações estruturais se tornam mais evidentes. Estudos demonstram que, em doses moderadas, pode ocorrer predominância de reações de reticulação, enquanto doses mais elevadas podem intensificar processos de degradação e reorganização da matriz polimérica (Naikwadi et al., 2022; Bednarek et al., 2020). Além disso, fatores como mobilidade das cadeias e presença de oxigênio podem influenciar esse equilíbrio, justificando a ausência de diferenças significativas em algumas doses intermediárias (Ashfaq et al., 2020; Wang et al., 2021). Assim, os resultados encontrados reforçam que os efeitos da radiação sobre a resina composta são dependentes da dose e do ambiente, apresentando comportamento complexo e não linear.

Os resultados do presente estudo estão em consonância com a literatura que descreve os efeitos da radiação ionizante sobre materiais poliméricos, especialmente no que se refere à capacidade de induzir alterações estruturais na matriz orgânica. Estudos prévios demonstram que a exposição à radiação pode promover tanto processos de cisão de cadeia quanto de reticulação, resultando em modificações na organização da rede polimérica e, conseqüentemente, em alterações detectáveis por técnicas espectroscópicas (Naikwadi et al., 2022; Ashfaq et al., 2020; Belbakra et al., 2021). Embora a maioria dos trabalhos se concentre em polímeros industriais, evidências recentes indicam comportamento semelhante em materiais à base de metacrilato, como as resinas compostas odontológicas (Wang et al., 2021; Hernández et al., 2025). No entanto, ainda são limitados os estudos que utilizam a espectroscopia Raman para avaliar diretamente essas alterações em resinas odontológicas submetidas à radiação, o que reforça a relevância dos achados apresentados neste estudo.

Do ponto de vista clínico, os achados deste estudo sugerem que a exposição à radiação ionizante pode influenciar a integridade da matriz orgânica de resinas compostas utilizadas na prática odontológica, como a resina composta ortodôntica Transbond XT (3M Unitek, Monrovia, CA, EUA), amplamente empregada na colagem de braquetes. Alterações na estrutura polimérica desse material podem impactar diretamente sua capacidade adesiva,

podendo comprometer a resistência de união entre o braquete e a superfície dental. Em pacientes submetidos à radioterapia na região de cabeça e pescoço, essas modificações podem favorecer falhas adesivas, descolamento de braquetes e maior necessidade de manutenções clínicas. Embora o presente estudo tenha sido conduzido em condições *in vitro*, os resultados indicam que a radiação pode interferir no desempenho desses materiais, ressaltando a importância de considerar tais efeitos no planejamento ortodôntico de pacientes oncológico.

7. CONCLUSÃO

Conclui-se que a radiação ionizante exerce influência sobre a integridade da matriz orgânica da resina composta avaliada, promovendo alterações detectáveis por espectroscopia micro-Raman. Observou-se que essas modificações são dependentes da dose de radiação, com diferenças significativas nas doses de 60 Gy (G3) e 120 Gy (G5). A razão 1635/1608 mostrou-se um parâmetro sensível para a avaliação dessas alterações estruturais, confirmando sua aplicabilidade como indicador indireto da organização molecular da matriz polimérica. Dessa forma, o objetivo do estudo foi alcançado, demonstrando que a radiação pode interferir nas características estruturais de resinas compostas utilizadas em odontologia.

8. REFERÊNCIAS

ALFOUZAN, K. Recent advances of radiation therapy in the treatment of head and neck cancer. **Saudi Medical Journal**, [s.l.], v. 42, n. 9, p. 971–979, 2021. Disponível em: <https://smj.org.sa/content/42/3/247> Acesso em: 03 abril 2026.

ALMEIDA, Fernanda Campos Sousa *et al.* Fatores prognósticos no câncer de boca. **Revista Brasileira de Ciências da Saúde**, [s.l.], v.15, n. 4, p. 471-478, 2011 Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fernandahttps://www.researchgate.net/profile/Fernanda-Almeida13/publication/270874478_Fatores_Prognosticos_no_Cancer_de_Boca/links/5c9e692a45851506d73415fd/Fatores-Prognosticos-no-Cancer-de-Boca.pdf Acesso em: 03 abril 2026.

APERKOVIĆ, V. *et al.* Correlação entre a resistência de união ao cisalhamento e o grau de conversão em sistemas convencionais e autoadesivos utilizados em procedimentos de colagem ortodôntica. **Biomedicines**, [s.l.], v. 11, n. 5, p. 1252, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/biomedicines11051252>. Acesso em: 03 abril 2026.

ASHFAQ, A. *et al.* Polymerization reactions and modifications of polymers by ionizing radiation. **Polymers**, [s.l.], v. 12, n. 12, p. 2877, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym12122877>. Acesso em: 03 abril 2026.

BEDNAREK, M.; BORSKÁ, K.; KUBISA, P. Crosslinking of polylactide by high energy irradiation and photo-curing. **Molecules**, [s.l.], v. 25, n. 21, p. 4919, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules25214919>. Acesso em 06 de abril 2026.

BELBAKRA, Zakaria *et al.* Analysis of acrylic and methacrylic networks through pyrolysis-GC/MS. **Polymers**, [s.l.], v. 13, n. 24, p. 4349, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym13244349>. Acesso em 06 de abril 2026.

BRANDEBURSKI, Suzane Boa Nova; REICHERT, Leandro Azambuja. Efeito da radioterapia com raios x de alta energia sobre a resistência de união da dentina humana com resina composta—estudo in vitro. **Revista de Investigações Orais**, [s.l.], v. 2, pág. 33-45, 2018. Disponível em: <http://seer.atitus.edu.br/index.php/JOI/article/view/2763>. Acesso em 03 de maio 2026.

CLICHICI, A. *et al.* O uso da espectroscopia Raman na avaliação da profundidade de infiltração de materiais resinosos experimentais e comerciais em dentes extraídos. **Sensors**, [s.l.], v. 26, n. 3, p. 940, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s26030940>. Acesso em 03 de maio de 2026.

EGGMANN, F. *et al.* Impacto da irradiação no desempenho adesivo de biomateriais dentários à base de resina: uma revisão sistemática de estudos laboratoriais. **Materials**, [s.l.], v. 16, n. 7, p. 2580, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma16072580>. Acesso em 05 de maio de 2026.

HERNÁNDEZ-CABANILLAS, Juan Carlos *et al.* Comparative evaluation of the physicochemical and biological properties of calcium silicate-based pulp capping materials. **Frontiers in Dental Medicine**, [s.l.], v. 6, p. 1737941, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fdmed.2025.1737941>. Acesso em: 05 de maio de 2026.

JHAM, Bruno Correia; FREIRE, Addah Regina da Silva. Complicações bucais da radioterapia em cabeça e pescoço. **Revista brasileira de otorrinolaringologia**, [s.l.], v. 72, p. 704-708, 2006 Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rboto/a/ymMsSN8SJnmLfyg6HyJwGVv/?lang=pt>. Acesso em: 05 de abril de 2026.

JUNG, S. *et al.* Investigation of degradation pathways of poly (semiperfluoroalkyl methacrylate) thin films induced by electron-beam irradiation. **Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry**, [s.l.], v. 56, n. 23, p. 2672–2680, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pola.29251>. Acesso em 26 de março 2026.

KLARIĆ SEVER, Eva *et al.* Direct induced effects of standard and modified radiotherapy protocol on surface structure of hard dental tissue. **Acta Stomatologica Croatica, Zagreb**, [s.l.], v. 55, n. 4, p. 334–345, 2021. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/clanak/388284>. Acesso em: 26 de março 2026.

LAMBRECHT, Maarten; NEVENS, D.; NUYTS, Sandra. Intensity-modulated radiotherapy vs. parotid-sparing 3D conformal radiotherapy: Effect on outcome and toxicity in locally advanced head and neck cancer. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00066-012-0289-7> . Acesso em: 18 abril 2026.

LU, H. *et al.* Efeitos diretos da radiação no tecido dentário duro. **Radiation Oncology**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 5, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s13014-019-1208-1>. Acesso em: 26 de março 2026.

MASOOD, T. M. *et al.* Análise por FTIR/ATR para o grau de conversão e resistência de união ao cisalhamento do sistema adesivo Transbond XT.

Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry, p. 275–280, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.2147/CCIDE.S169438>, Acesso em 15 abril 2025.

NAIKWADI, A. T. *et al.* Gamma radiation processed polymeric materials for high performance applications: a review. **Frontiers in Chemistry**, [s.l.], v. 10, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.837111>. Acesso em 10 fevereiro de 2026.

PATURAL, H. *et al.* Comparação estética de dois compósitos utilizados para a colagem de attachments do Invisalign. **Journal of Clinical and Experimental Dentistry**, [s.l.], v. 16, n. 8, p. e940, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.4317/jced.61853>. Acesso em 10 fevereiro 2026.

QUEIROZ, Renato Souza *et al.* Análise comparativa da rugosidade superficial de resinas compostas de alta densidade. **Revista Sul-Brasileira de Odontologia**, [s.l.], v. 7, n. 4, p. 414-21, 2010. Disponível em: <https://periodicos.univille.br/RSBO/article/download/1171/1048>. Acesso em 15 de fevereiro 2026.

RATHOD, Shrinivas *et al.* Resultados de qualidade de vida (QV) em pacientes com carcinoma espinocelular de cabeça e pescoço (HNSCC) tratados com radioterapia de intensidade modulada (IMRT) em comparação com radioterapia conformada tridimensional (3D-CRT): evidência de um estudo prospectivo randomizado. **Oncologia oral**, [s.l.], v. 49, n. 6, p. 634-642, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.oraloncology.2013.02.013>. Acesso em: 28 de março 2026.

SAIKAEW, P. *et al.* Efeito da radioterapia na resistência de união à dentina de um adesivo universal. **BMC Oral Health**, [s.l.], v. 25, n. 1, p. 812, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06226-5>. Acesso em 28 de março 2026.

SARI, Jale *et al.* Oral care before and after radiotherapy for head and neck cancer. **Supportive Care in Cancer**, [s.l.], v. 22, p. 3151–3157, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-863720140004000007573>. Acesso em: 28 março 2026.

TAHER, Ragia M. *et al.* O efeito da exposição à radiação e do tempo de armazenamento no grau de conversão e na resistência à flexão de diferentes compósitos de resina. **Boletim do Centro Nacional de Pesquisa**, [s.l.], v. 45, n. 1, p. 146, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00605-y>. Acesso em 12 maio 2026.

TOMASIN NETO, A.; AMARAL, F.; ROMANO, F. Efeitos da radiação ionizante e de diferentes resinas compostas na resistência ao cisalhamento

de braquetes cerâmicos: um estudo in vitro. **Dental Press Journal of Orthodontics**, [s.l.], v. 27, p. e2219330, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2177-6709.27.2.e2219330>. Acesso em 12 maio 2026.

WANG, S. *et al.* Recent advances in stimuli-responsive commodity polymers. **Macromolecular Rapid Communications**, [s.l.], v. 42, n. 18, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/marc.202100054>. Acesso em 10 de abril 2026.

WANGHON, Z. M. L. *et al.* Influência do adesivo autocondicionante na resistência de união em dentes submetidos à radiação. **RGO - Revista Gaúcha de Odontologia**, [s.l.], v. 71, p. e20230047, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-86372023004720220066>. Acesso em 10 de abril 2026.

WU, W.-C. *et al.* Grau de conversão de um cimento endodôntico à base de metacrilato: um estudo de espectroscopia micro-Raman. **Journal of Endodontics**, [s.l.], v. 36, n. 2, p. 329–333, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.10.015>. Acesso em: 20 de novembro 2025.