

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SETE LAGOAS (FACSETE)**

**JÚLIA VALKIMIL TAVANIELLO**

**A RELAÇÃO ENTRE REABSORÇÕES RADICULARES EXTERNAS E O USO DE  
ALINHADORES ORTODÔNTICOS TRANSPARENTES - REVISÃO DE  
LITERATURA**

**LAJEADO  
2022**

**JÚLIA VALKIMIL TAVANIELLO**

**A RELAÇÃO ENTRE REABSORÇÕES RADICULARES EXTERNAS E O USO DE  
ALINHADORES ORTODÔNTICOS TRANSPARENTES - REVISÃO DE  
LITERATURA**

Monografia apresentada ao curso de Especialização da Faculdade de Tecnologia de Sete Lagoas (FACSETE) / Fundação para Reabilitação das Deformidades Craniofaciais (FUNDEF), como requisito parcial para conclusão do Curso de Ortodontia e Ortopedia Facial

Orientador: Prof. Me. Ricardo Damo Meneguzzi

**LAJEADO  
2022**

Valkimil Tavaniello, Júlia

Título: A relação entre reabsorções radiculares externas e o uso de alinhadores ortodônticos transparentes - revisão de literatura/Júlia Valkimil Tavaniello - 2022

Orientador: Ricardo Damo Meneguzzi  
Monografia (Especialização) - Faculdade de Tecnologia de Sete Lagoas (FACSETE)/ Fundação para Reabilitação das Deformidades Craniofaciais (FUNDEF), para conclusão do Curso de Ortodontia e Ortopedia Facial, 2022.

1. Ortodontia 2. Aparelhos Ortodônticos Removíveis 3. Reabsorção da Raiz.

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SETE LAGOAS (FACSETE)**  
**Fundação para Reabilitação das Deformidades Crânio-Faciais (FUNDEF)**

Monografia intitulada: "A relação entre reabsorções radiculares externas e o uso de alinhadores ortodônticos transparentes - Revisão de literatura" de autoria da aluna Júlia Valkimil Tavaniello, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

---

Prof. Me. Ricardo Damo Meneguzzi - Fundação para Reabilitação das Deformidades Craniofaciais - FUNDEF - Orientador

---

Prof. Dr. Henrique Telles Ramos de Oliveira - Fundação para Reabilitação das Deformidades Craniofaciais - FUNDEF

---

Prof. Me. Jeverson Calvi - Fundação para Reabilitação das Deformidades Craniofaciais - FUNDEF

Lajeado, \_\_\_\_\_ de 2022.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a meus pais, Raquel e Paulo, os quais além da vida me proporcionaram a possibilidade de seguir estudando mesmo no início da minha vida profissional. Me incentivam diariamente para a busca do conhecimento, da excelência, do amor e ética profissional. Que não mediram esforços para me apoiar e dirigir as minhas escolhas. Que mesmo diante da correria diária me fizeram ver que todo esforço valeria a pena.

Ao meu irmão César por torcer sempre para a realização dos meus sonhos.

Assim como meus avós, Elânia, Carlos e Vanda, por todo amor ao questionarem a cada final de semana quando eu teria mais tempo livre. Afinal viam a correria que a pós-graduação gerava, mas ao mesmo tempo ficavam felizes em ver que eu estava crescendo profissionalmente.

Agradeço ao time de professores do curso de Ortodontia da FUNDEF pelos ensinamentos Prof. Rodrigo Matos, Prof. Carolina Miranda, Prof. Henrique Telles, Prof. Marcel Farret, Prof. Gabriel Dolci. Em especial ao meu orientador Prof. Ricardo Meneguzzi pela paciência e dedicação com meu trabalho, bem como a disponibilidade de contato extra-classe para apoio em casos clínicos de consultório com uma didática incrível.

Agradeço a dedicação da secretária Cassiana Wolfart em montar a agenda de pacientes, bem como carinho e amizade criada ao longo desses 3 anos de curso.

Obrigada pela parceria dos meus colegas Adriana Ortiz, Adriéle Oliveira, Camila Gonzatti, Mariana Fernandes e Renan Rathke durante o curso.

Sou grata também aos pacientes que passaram pelo curso na Uniodonto bem como na FUNDEF, de maneira que me permitiram aprender a Ortodontia de maneira prática.

Obrigada a todas as pessoas que direta e indiretamente fizeram com que eu me tornasse especialista em Ortodontia e Ortopedia Facial.

Agradeço a compreensão da ausência em muitos momentos com amigos e família para que esse sonho se tornasse realidade.

"Você nunca sabe que resultados virão da sua ação.  
Mas se você não fizer nada, não existirão resultados".  
Mahatma Gandhi

## RESUMO

As reabsorções radiculares externas representam processos fisiológicos ou patológicos, de origem multifatorial, os quais resultam na perda dos tecidos mineralizados da raiz dentária. Quando associada à movimentação ortodôntica, denomina-se reabsorção radicular inflamatória induzida ortodonticamente (RRIIO), variando a sua extensão de acordo com especificidades do indivíduo e do tratamento ortodôntico. O objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de revisão da literatura, a relação entre o tratamento ortodôntico realizado com alinhadores ortodônticos transparentes e a ocorrência de RRIIO. Especificamente, buscou-se analisar a frequência e/ou magnitude da RRIIO, bem como identificar quais movimentos e/ou forças ortodônticas poderiam favorecer ou acentuar o surgimento desse processo quando do uso de alinhadores ortodônticos transparentes. A metodologia utilizada foi de uma pesquisa bibliográfica realizada na base de dados da *PubMed (Medline)*, *LILACS* e *Google Scholar* no período de 1998 a 2022. Os dados publicados sobre essa técnica de tratamento ortodôntico, ainda que limitados, sugerem que os pacientes submetidos ao tratamento com alinhadores ortodônticos transparentes também possam ser suscetíveis ao surgimento de RRIIO. A morfologia radicular, especialmente do ápice, além da proporção coroa-raiz e forma da crista óssea alveolar, são fatores predisponentes de RRIIO. Logo, raízes dilaceradas ou em forma de pipeta são mais suscetíveis à reabsorção apical. A duração do tratamento ortodôntico, magnitude e tipo de força, bem como o tipo de aparelho também influenciam no grau de reabsorção radicular apical externa. Quando se aplica uma força de intrusão, praticamente toda pressão se concentrará no ápice radicular, favorecendo a ocorrência de reabsorção nesse local, a qual será mais acentuada conforme a anatomia radicular. O tratamento ortodôntico realizado com alinhadores transparentes removíveis, conforme a literatura, apresenta uma menor incidência de reabsorção radicular quando comparado ao tratamento convencional realizado com aparelho fixo nos casos que não envolvam extrações.

**Palavras-chave:** Ortodontia; Aparelhos Ortodônticos Removíveis; Reabsorção da Raiz.

## ABSTRACT

The external root resorptions represent physiological or pathological processes, of multifactorial origin, which result in the loss of mineralized tissues of the dental root. When associated with orthodontic movement, it is called orthodontically induced inflammatory root resorption (OIIRR), with its extension varying according to the specifics of the human being and the orthodontic treatment. The present study aimed at evaluating, through a literature review, the relationship between orthodontic treatment performed with clear orthodontic aligners and the occurrence of OIIRR. Specifically, it intended to analyze the frequency and/or magnitude of OIIRR, as well as to identify which movements and/or orthodontic forces could favor or accentuate the development of this process when using clear orthodontic aligners. The methodology used was a literature research carried out in the *Pubmed (Medline)*, *LILACS* and *Google Scholar* from 1998 to 2022. The published data on this orthodontic treatment technique, although limited, suggest that patients undergoing treatment with clear orthodontic aligners may also be susceptible to develop OIIRR. The root morphology, especially the root apex, and the proportion root-crown and alveolar bone crest, are predisposing factors for OIIRR. Therefore, torn or pipette roots shape are more suitable for apical resorption. The duration of orthodontics treatment, magnitude and type of force, also influence on the degree of external apical root resorption. When an intrusion force is applied, all the pressure is concentrated at the root apex, favoring the occurrence of resorption there, which will be more resistant to compliance with the root anatomy. Orthodontic treatment performed with clear orthodontic aligners, according to literature, has a lower incidence of root resorption when compared to conventional treatment performed with fixed appliances in cases that do not involve extractions.

**Keywords:** Orthodontic; Removable Orthodontic Appliances; Root Resorption.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fenômenos biológicos da movimentação dentária induzida .....	15
Figura 2a - Classificação dos níveis de reabsorção radicular durante o tratamento ortodôntico sugerida por Levander, Malmgrem (1988). 1 - Reabsorção mínima (contorno apical irregular); 2 - Reabsorção apical moderada (<2 mm) .....	19
Figura 2b - Classificação dos níveis de reabsorção radicular durante o tratamento ortodôntico sugerida por Levander, Malmgrem (1988). 3 - Reabsorção severa (>2 mm <1/3 da raiz); 4 - Reabsorção extrema (>1/3 da raiz)....	20
Figura 3a - Formas atípicas de raiz que constituem fatores de risco à reabsorção, segundo Levander, Malmgrem (1988). A - Raiz curta; B - Raiz tortuosa ... ..	20
Figura 3b - Formas atípicas de raiz que constituem fatores de risco à reabsorção, segundo Levander, Malmgrem (1988). C - Raiz abaulada; D - Raiz em forma de pipeta .....	21

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- Sigla 1 - OIIRR - *orthodontically induced inflammatory root resorption*
- Sigla 2 - RRAE - reabsorção radicular apical externa
- Sigla 3 - REAIO - reabsorção externa apical induzida ortodonticamente
- Sigla 4 - OIEARR - *Orthodontically induced external apical root resorption*
- Sigla 5 - RRIIO - reabsorção radicular inflamatória induzida ortodonticamente
- Sigla 6 - EARR - *External apical root resorption*
- Sigla 7 - TCFC - Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico
- Sigla 8 - IL-1 - Interleucina-1
- Sigla 9 - TNF - fator de necrose tumoral
- Sigla 10 - IL-1B - interleucina-1 beta
- Sigla 11 - IC - Intervalo de confiança
- Sigla 12 - ERR - *external root resorption*
- Sigla 13 - TNFRSF11A - Lisado de superexpressão transitória da superfamília do receptor do fator de necrose tumoral, membro 11a
- Sigla 14 - RANK - fator nuclear kappa B
- Sigla 15 - TNF - Tumor necrosis fator
- Sigla 16 - TNSALP - fosfatase alcalina inespecífica tecidual
- Sigla 17 - 2D - Bidimensional
- Sigla 18 - 3D - Tridimensional
- Sigla 19 - MEV - Microscopia eletrônica de varredura
- Sigla 20 - Micro-CT - Microtomografia de raios-X
- Sigla 21 - T0 - Antes do início do tratamento
- Sigla 22 - T1 - Após o início do tratamento
- Sigla 23 - IPR - redução interproximal
- Sigla 24 - CAD - design moderno auxiliado por computador
- Sigla 25 - CAM - fabricação auxiliada por computador

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 PROPOSIÇÃO</b> .....	<b>13</b>
2.1 Objetivo .....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
3.1 Fenômenos biológicos da movimentação dentária induzida .....	14
3.2 Etiologia e mecanismo de ação da reabsorção radicular inflamatória induzida ortodonticamente (RRIIO) .....	16
3.3 Fatores predisponentes de RRIIO .....	23
3.4 Tipo de movimento ortodôntico x ocorrência de RRIIO .....	27
3.5 Ocorrência e severidade da RRIIO.....	28
3.6 Alinhadores ortodônticos.....	31
<b>4 MATERIAL E MÉTODO</b> .....	<b>35</b>
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>43</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A literatura ortodôntica incorporou o termo "reabsorção" somente em 1932, graças a Becks e Marshall. Já em 1944, Oppenheim relatou que a Ortodontia causava danos inevitáveis ao cimento, periodonto, osso alveolar e polpa (BREZNIAK; WASSERSTEIN, 1993b).

Existem inúmeras terminologias descritas na literatura para esse processo de reabsorção radicular: o termo em inglês, utilizado por Brezniak e Wasserstein (2002a), Aman e colaboradores (2018), Barbagallo e colaboradores (2008), é *orthodontically induced inflammatory root resorption* (OIIRR). Outros autores, por sua vez, descrevem o fenômeno como reabsorção radicular apical externa (RRAE), reabsorção externa apical induzida ortodonticamente (REAIO) ou *orthodontically induced external apical root resorption* (OIEARR). No presente trabalho, convencionou-se utilizar o termo em português, reabsorção radicular inflamatória induzida ortodonticamente (RRIIO), para referenciar o processo de reabsorção radicular associada à movimentação ortodôntica.

As reabsorções dentárias apresentam uma etiologia multifatorial de modo que podem ser divididas em: fatores relacionados ao paciente (genética, idade, distúrbios sistêmicos, morfologia dentária, densidade óssea, entre outros) e fatores relacionados ao tratamento ortodôntico (tipo e magnitude da força aplicada, direção do movimento dentário, técnica e tipo de aparelho ortodôntico, duração do tratamento ortodôntico, entre outros) (DINDAROĞLU; DOĞAN, 2016).

Segundo Consolaro e Consolaro (2009), na prática ortodôntica existe relação direta entre as características da força aplicada (tipo, intensidade e frequência) e a morfologia das estruturas envolvidas (raiz e tecido ósseo), determinando, assim, o grau de severidade da reabsorção radicular. Em razão disso, o ortodontista, ao planejar a movimentação ortodôntica, pode utilizar mecânicas adequadas com o objetivo de evitar ou, ao menos, diminuir os danos provocados pelas reabsorções radiculares durante o tratamento ortodôntico. Para tanto, o profissional deve despender tempo, estudo e capacidade de prognóstico nos planejamentos dos seus casos.

A reabsorção radicular externa, advinda do tratamento ortodôntico, é um tipo de reabsorção patológica, a partir de uma reação inflamatória que ocorre nos tecidos de suporte em torno de toda a extensão da raiz dentária (DINDAROĞLU; DOĞAN, 2016).

A RRAE é a perda irreversível de cemento do ápice radicular, resultando na redução do comprimento do dente, bem como no aumento da mobilidade dentária (ALSHAMMERY et al, 2021).

A força ortodôntica aplicada nos dentes por meio de aparelhos fixos ou removíveis desencadeia uma resposta celular e molecular que permite que as raízes se movam através do osso alveolar. É o mesmo tipo de resposta celular que pode, em certos casos, levar à RRIIO, de modo que o tratamento com alinhadores não está isento do mesmo efeito iatrogênico (KRISHNAN; DAVIDOVITCH, 2009).

Poucos estudos compararam o RRIIO do tratamento com alinhadores ortodônticos transparentes com o do tratamento com aparelhos fixos. Os aparelhos removíveis não aplicam uma força contínua aos dentes como os aparelhos fixos, e, diante disso, espera-se que os alinhadores removíveis ofereçam a oportunidade, ainda que limitada, de cicatrização do cemento reabsorvido devido à força descontínua aplicada. Os resultados desse estudo suportam que outros fatores etiológicos estão ligados à reabsorção radicular, além da força ortodôntica (BARBAGALLO et al, 2008).

Em razão da crescente demanda por tratamentos ortodônticos realizados com alinhadores transparentes removíveis, o presente trabalho visa compilar as informações disponíveis na literatura acerca da ocorrência de RRIIO decorrente do uso desse tipo de aparelho ortodôntico, de modo a conferir maior segurança ao tratamento.

## **2 PROPOSIÇÃO**

### **2.1 Objetivo**

O objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de revisão da literatura integrativa, a relação entre o uso de alinhadores ortodônticos transparentes e a ocorrência de RRIIO durante o tratamento ortodôntico.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar a frequência e/ou magnitude da RRIIO gerada pelo tratamento ortodôntico realizado com alinhadores ortodônticos transparentes;
- Identificar quais movimentos e/ou forças ortodônticas podem favorecer ou acentuar o processo de RRIIO durante o tratamento ortodôntico.

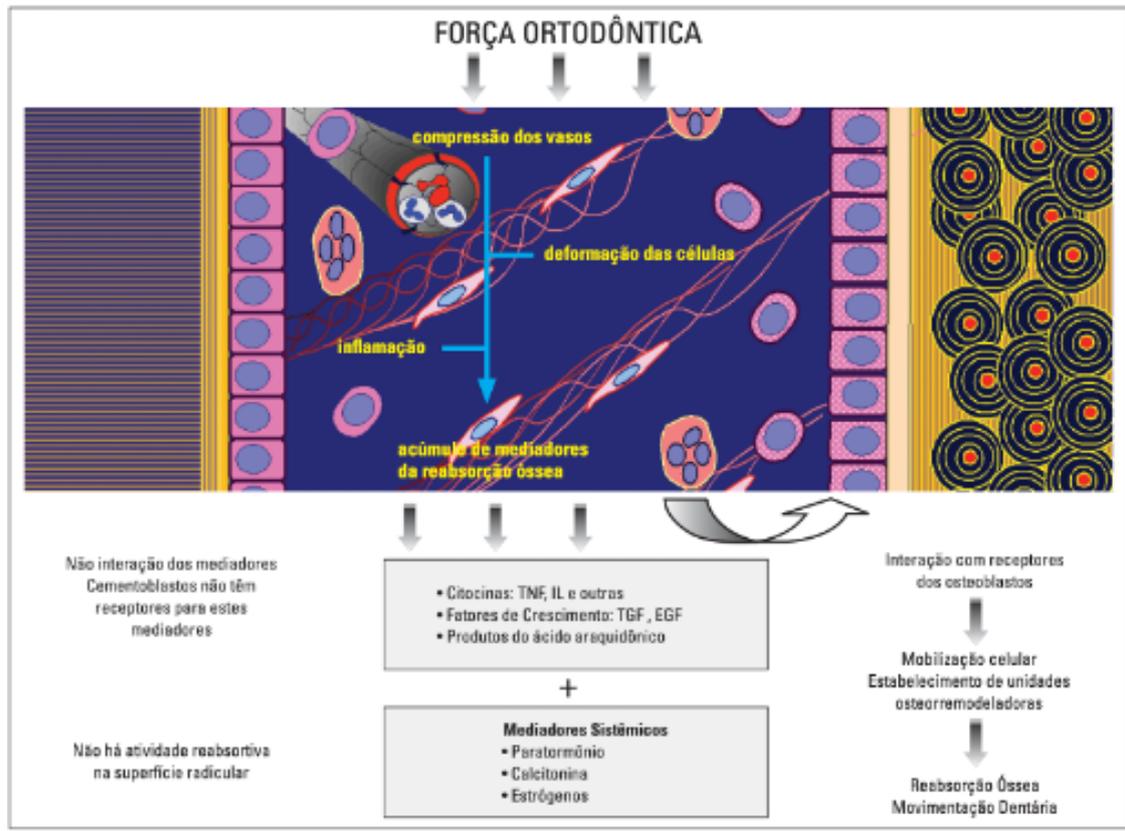
### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Fenômenos biológicos da movimentação dentária induzida

O princípio fundamental da Ortodontia, segundo Brudvik e Rygh (1994), é que o cimento é mais resistente à reabsorção, de modo que as forças ortodônticas normalmente induzem remodelação óssea, com consequente movimentação dentária, porém com grau de reabsorção radicular insignificante do ponto de vista clínico.

Na movimentação ortodôntica, o estresse celular e a inflamação (induzida no ligamento periodontal pela compressão das células e deformação do seu citoesqueleto e a redução do fluxo sanguíneo para a região) resultam em acúmulo de mediadores químicos. A morte de cementoblastos, a exposição radicular diretamente no espaço periodontal e a hialinização da matriz extracelular, associadas ao acúmulo de mediadores, induzem as células clásticas e osteoblásticas a desempenhar suas funções via receptores de membrana e ativação gênica. Mas o que desencadeia todos esses fenômenos são fatores ambientais, não ligados a qualquer alteração ou mutação gênica herdada ou não dos pais (CONSOLARO; CONSOLARO, 2009).

Nos fenômenos biológicos da movimentação dentária induzida, os dentes não são incluídos na remodelação porque os cementoblastos não possuem receptores para os mediadores que comandam a reabsorção óssea (CONSOLARO, 2002). Por analogia, pode-se afirmar que os cementoblastos são “surdos” para os mediadores da remodelação óssea e assim protegem o dente da reabsorção radicular, atuando como protetores da superfície radicular durante a remodelação e também na movimentação dentária, viabilizando o tratamento ortodôntico (Fig. 1) (CONSOLARO; MARTINS-ORTIZ, 2004).



**Figura 1 - Fenômenos biológicos da movimentação dentária induzida<sup>1</sup>**

Qualquer causa que atue no local onde se localizam os cementoblastos, removendo-os da superfície, permitirá a exposição da superfície radicular mineralizada, de modo que as células ósseas, presentes no local, promoverão a reabsorção radicular, ainda que temporariamente. As reabsorções dentárias têm causas locais que eliminam os cementoblastos da superfície radicular e não se conhece nenhuma causa sistêmica que promova esse tipo de efeito sobre os dentes (CONSOLARO, 2011).

A eliminação dos cementoblastos da superfície radicular é um fenômeno típico dos traumatismos e da movimentação ortodôntica. Durante a movimentação ortodôntica, a concentração de forças no ápice implica em maior destruição dos cementoblastos pela compressão dos vasos sanguíneos e das próprias células do ligamento periodontal. Quando não há morte dos cementoblastos, o número de mediadores encontra-se aumentado naturalmente em função do estresse celular e da inflamação, induzidos pela força ortodôntica aplicada no ligamento periodontal,

<sup>1</sup> Fonte: Consolaro e Martins-Ortiz, 2004, p. 147

estimulando, desse modo, a remodelação óssea e possibilitando o movimento dentário (CONSOLARO, 2011).

Do ponto de vista histológico, o sistema de força dissipante seria o mais favorável, pois o período de repouso corresponde à fase de restabelecimento do ligamento periodontal, quando o mesmo se reorganiza para reativação da movimentação ortodôntica. Logo, a mecânica ideal deve liberar força de magnitude suave e de natureza dissipante, com um intervalo de aplicação de força suficiente para concluir o processo (OWMAN-MOLL, 1995).

A aplicação de forças pesadas resultaria em uma movimentação dentária com maior custo biológico, através da formação de áreas de hialinização extensas, reabsorção óssea indireta (à distância) ou solapante, presença de cementoclasia, retardo no início do movimento dentário e possibilidade de danos irreversíveis às estruturas dentárias e do periodonto de sustentação (HARRY; SIMS, 1982; REITAN, 1957).

Toda vez que o Ortodontista menosprezar a resposta metabólica individual, estará comprometendo a integridade da estrutura dentária durante a movimentação ortodôntica (REGO et al, 2004).

### **3.2 Etiologia e mecanismo de ação da reabsorção radicular inflamatória induzida ortodonticamente (RRIIO)**

A RRIIO ou, genericamente descrita, como reabsorção radicular, trata-se de uma reação patológica inerente ao processo de movimentação dentária de origem ortodôntica. A Ortodontia tem como princípio a modulação de um processo inflamatório provocado, de modo a promover movimentação dentária, com o objetivo de corrigir problemas oclusais, melhorando, deste modo, os aspectos funcionais e estéticos. Após a aplicação de uma força ortodôntica, inicia-se um processo celular sequencial, o qual resultará na movimentação dentária simplesmente ou associada a um grau variável de reabsorção radicular. A extensão deste processo inflamatório depende de muitos fatores, tais como: a virulência ou agressividade das diferentes células reabsortivas, a vulnerabilidade e sensibilidade dos tecidos envolvidos. A variação e a suscetibilidade individual, que estão relacionadas a esse processo, ainda necessitam de mais estudos para melhor compreensão da influência desses fatores.

Logo, ainda não é possível prever a incidência, bem como a extensão da RRIIO após a aplicação de uma força ortodôntica (BREZNIAK; WASSERSTEIN, 2002b).

Apesar do elevado número de estudos realizados acerca da reabsorção radicular decorrente do tratamento ortodôntico, não é possível definir claramente uma possível relação ou suscetibilidade devido à grande variabilidade de metodologia, tornando esses estudos muitos contraditórios e, portanto, a causa da reabsorção radicular ainda permanece indefinida. Do ponto de vista ético, ensaios clínicos prospectivos em humanos não podem ser conduzidos. Logo, novas pesquisas, talvez baseadas em hipóteses não convencionais, podem fornecer tais respostas. Enquanto isso, bom senso, atenção aos detalhes e inspeção frequente das raízes são medidas essenciais para prevenir ou controlar os processos de reabsorção radicular durante a terapia ortodôntica (KILLIANY, 2002).

Há fatores relacionados ao paciente que predis põem ao aparecimento de reabsorções dentárias: fatores genéticos, idade cronológica, idade dentária, sexo, fatores étnicos, síndromes, estresse psicológico, aumento da força oclusal, vitalidade dentária, tipo de dentes, invaginações dentárias, características das estruturas dentoalveolares e faciais, reabsorção radicular existente antes do tratamento, proximidade de da raiz ao osso cortical, nutrição, fatores sistêmicos (doenças que causam inflamação, asma, alergia), irregularidades hormonais, uso de medicamentos sistêmicos, distúrbios metabólicos esqueléticos, hábitos parafuncionais, morfologia dos dentes/raiz, anormalidades do desenvolvimento das raízes, propriedades da mineralização do cimento, hipofunção do periodonto, histórico de trauma, tratamento endodôntico, densidade do osso alveolar, tipo e gravidade da má oclusão e alcoolismo (DINDAROĞLU; DOĞAN, 2016).

Segundo Consolaro e Martins-Ortiz (2004), o primeiro passo para a reabsorção radicular externa é a destruição da camada cementoblástica e isto apenas decorre da ação de fatores locais como traumatismo ou força ortodôntica excessiva. Após a morte dos cementoblastos, os fenômenos na superfície dentária também apresentam natureza óssea, visto que são células clásticas, oriundas deste tecido que promovem a reabsorção radicular.

Para iniciar um processo de reabsorção na superfície radicular, os cementoblastos devem ser removidos, eliminados ou desaparecer do local. Uma situação em que pode ocorrer a eliminação dos cementoblastos é durante o movimento dentário induzido. Uma força excessiva pode impedir que o ligamento

periodontal, comprimido entre o osso e o dente, possa receber suprimento sanguíneo adequado, ocasionando o deslocamento ou a morte das células nesse local, incluindo os cementoblastos, deixando exposta a superfície radicular adjacente a uma extensa matriz hialinizada. Diante desse evento, a superfície radicular passa a ser palco de reabsorções no processo de reorganização periodontal da região após a dissipação da força aplicada (CONSOLARO; FRANSCISCHONE; FURQUIM, 2011).

O processo de reabsorção radicular durante o tratamento ortodôntico geralmente é suave e cessa quando a força é removida (DINDAROĞLU; DOĞAN, 2016). A reabsorção cessa quando a força é retirada, permitindo a reorganização dos cementoblastos recolonizando e protegendo a superfície dos tecidos dentários da ação das células clásticas. Requer-se um controle individualizado das forças e de outros aspectos inerentes à técnica ortodôntica. A frequência e o controle das reabsorções radiculares em Ortodontia revelam-se ao alcance do profissional (CONSOLARO, 2004).

Esta certa interdependência entre a magnitude da força e a extensão/severidade da reabsorção radicular pode ser atribuída à individualidade na resposta biológica. Na realidade, esta variação individual não se aplica somente ao custo biológico do tratamento ortodôntico (reabsorção radicular), mas também à velocidade da movimentação dentária, aspectos intimamente relacionados ao intervalo de aplicação da força (OWMAN-MOLL, 1995; OWMAN-MOLL; KURROL; LUNDGREN, 1996).

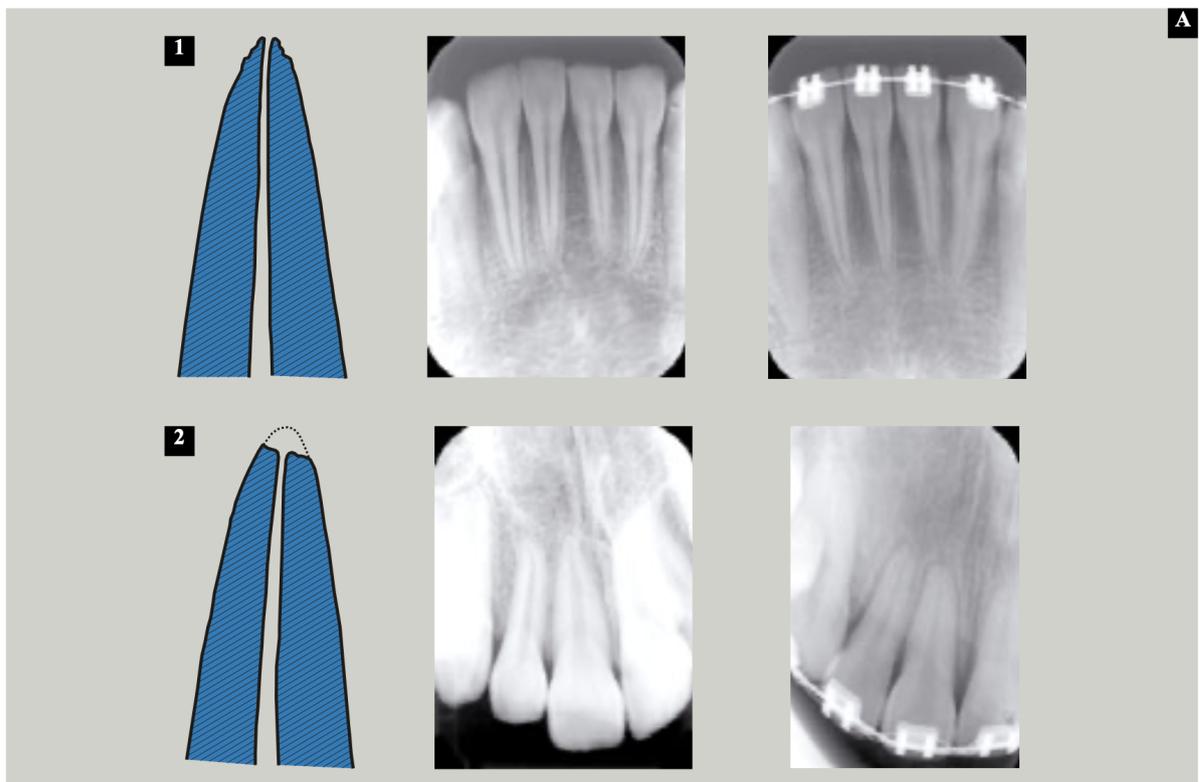
Segundo Brezniak e Wasserstein (2002a) existem três graus de severidade de RRIIO:

1. Reabsorção cementária ou superficial com remodelação: apenas as camadas externas de cimento são reabsorvidas, sendo posteriormente totalmente regeneradas ou remodeladas.
2. Reabsorção dentinária com reparo (reabsorção profunda): o cimento e as camadas externas da dentina são reabsorvidos e geralmente reparados com cimento. A forma final da raiz após esse processo de reabsorção e formação pode ou não ser idêntica à forma original.
3. Reabsorção radicular apical circunferencial: ocorre a reabsorção completa dos componentes do tecido duro do ápice radicular e o encurtamento da raiz é evidente. Diferentes graus de encurtamento apical da raiz são possíveis. Quando a raiz perde material apical abaixo do cimento, nenhuma regeneração é possível. O reparo da superfície externa geralmente ocorre na

camada cementária. Com o tempo, as arestas vivas podem ser niveladas gradualmente. A anquilose não é uma sequela comum da RRIIO.

Levander e Malmgren (1988) avaliaram o risco de reabsorção severa em fase inicial do tratamento ortodôntico com aparelho fixo *Edgewise* e de *Begg* (6 a 9 meses de tratamento) e com relação ao formato do ápice radicular (normal, curto, rombóide, dilacerado, em forma de pipeta), através das radiografias periapicais iniciais e após esse período de ortodontia. Estabeleceram um índice de reabsorção de 0 a 4, conforme Figura 2a e 2b, relatada no estudo de Rego et al (2004):

- 1) contorno radicular irregular (reabsorção mínima);
- 2) reabsorção radicular apicalmente, totalizando menos de 2 mm (reabsorção moderada);
- 3) reabsorção radicular apicalmente, de 2 mm a um terço do comprimento original da raiz (reabsorção severa);
- 4) reabsorção radicular superior a um terço do comprimento original da raiz. (reabsorção extrema).



**Figura 2a - Classificação dos níveis de reabsorção radicular durante o tratamento ortodôntico sugerida por Levander, Malmgren (1988). 1 - Reabsorção mínima (contorno apical irregular); 2 - Reabsorção apical moderada (<2 mm)<sup>2</sup>**

<sup>2</sup> Fonte: Rego et al, 2004, p. 294

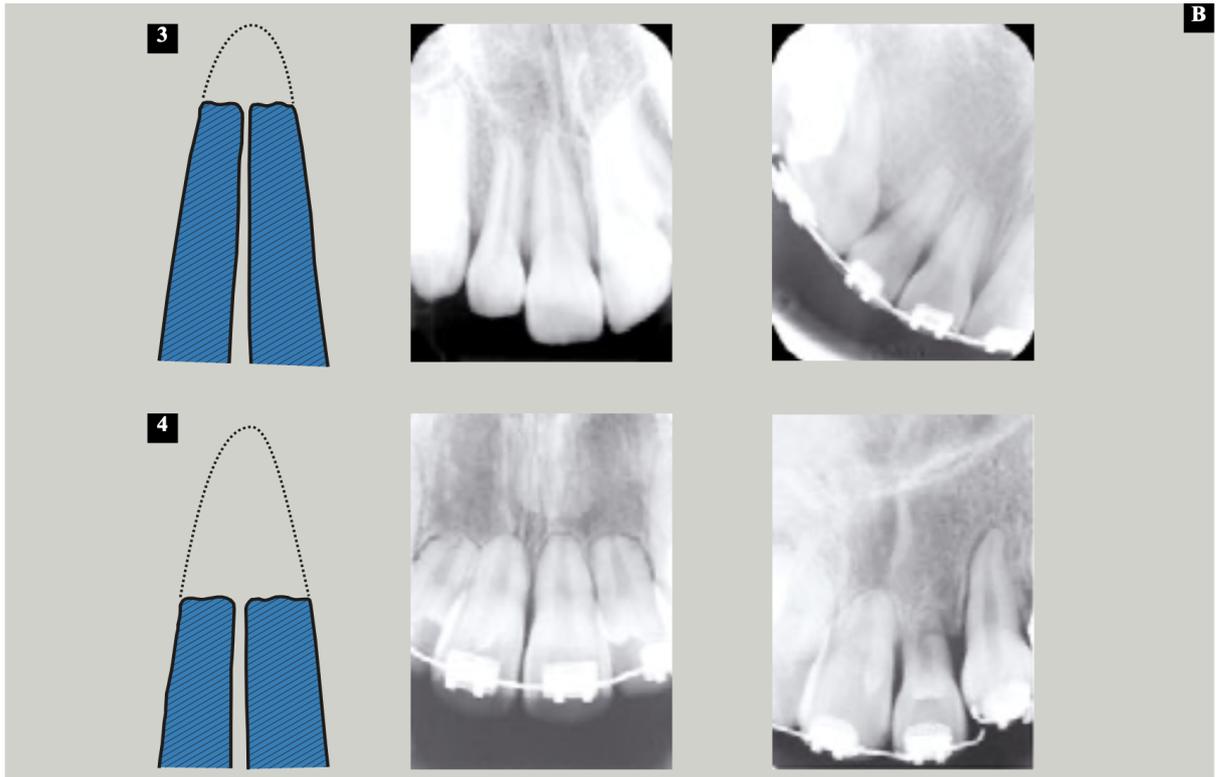


Figura 2b - Classificação dos níveis de reabsorção radicular durante o tratamento ortodôntico sugerida por Levander, Malmgrem (1988). 3 - Reabsorção severa (>2 mm <1/3 da raiz); 4 - Reabsorção extrema (>1/3 da raiz)<sup>3</sup>

Formato apical da raiz (normal, curto, rombóide, apicalmente dobrado, em forma de pipeta), conforme figura 3a e 3b:

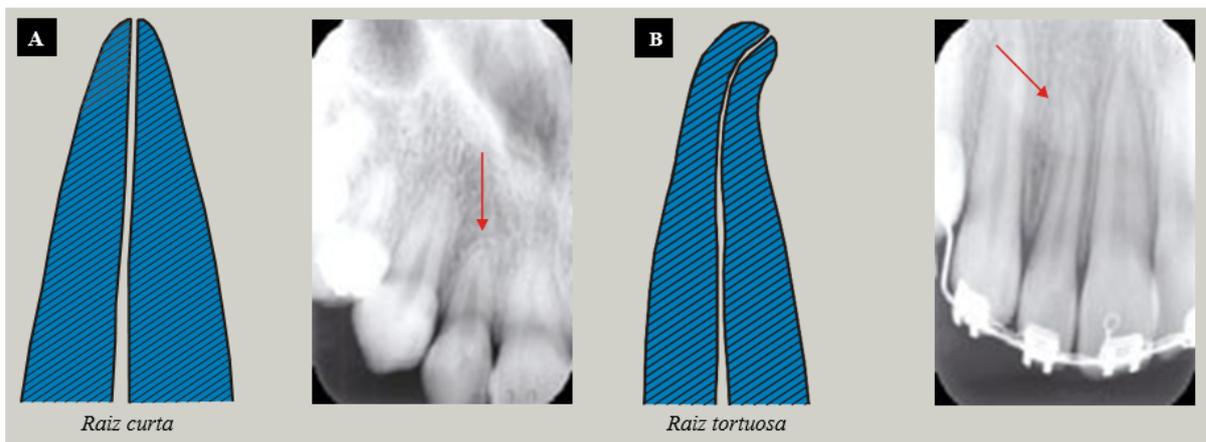
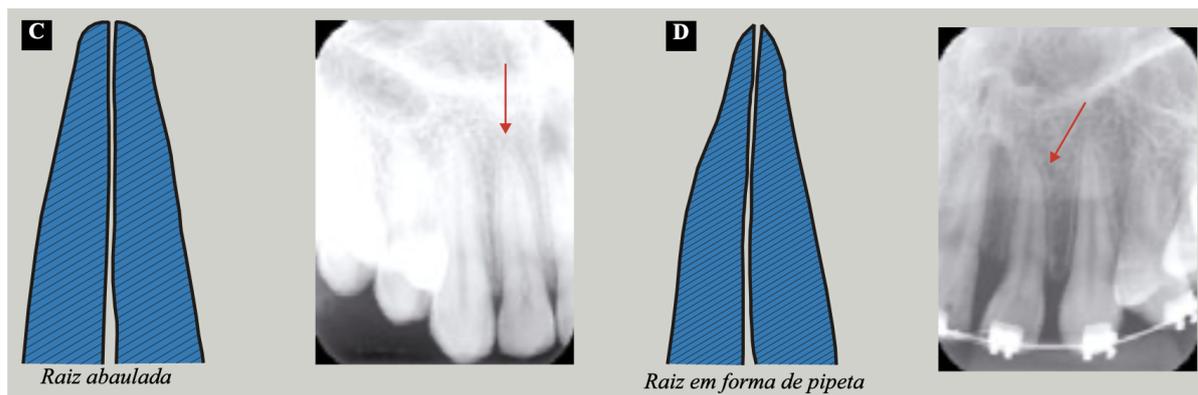


Figura 3a - Formas atípicas de raiz que constituem fatores de risco à reabsorção, segundo Levander, Malmgrem (1988). A - Raiz curta; B - Raiz tortuosa<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Fonte: Rego et al, 2004, p. 295

<sup>4</sup> Fonte: Rego et al, 2004, p. 297



**Figura 3b - Formas atípicas de raiz que constituem fatores de risco à reabsorção, segundo Levander, Malmgren (1988). C - Raiz abaulada; D - Raiz em forma de pipeta<sup>5</sup>.**

Como resultado, Levander e Malmgren (1988) encontraram que o número de dentes com reabsorção severa, após o tratamento ortodôntico, foi significativamente maior em dentes com reabsorções menores ou em dentes com contorno radicular irregular após o tratamento inicial do que em dentes sem tal reabsorção inicial.

Segundo Levander e Malmgren (1988), o grau de reabsorção radicular em dentes com raízes abauladas ou em forma de pipeta foi significativamente maior que em dentes com forma radicular normal. Nesse sentido, ainda, observaram que dentre os diferentes formatos radiculares, as raízes em forma de pipeta apresentaram maior suscetibilidade à reabsorção radicular severa. Observaram, também, que dentes com algum grau de reabsorção radicular prévia evoluíram para quadros mais severos, após o tratamento ortodôntico, quando comparados com dentes sem qualquer indício de reabsorção ao início do tratamento.

Já no estudo de Freitas e colaboradores (2013), os ápices radiculares foram classificados em 5 níveis de reabsorção radicular: 0 = sem reabsorção radicular; 1 = contorno radicular irregular; 2 = reabsorção radicular apical menor que 2 mm; 3 = reabsorção radicular apical, de 2 mm a um terço do comprimento original da raiz; 4 = reabsorção radicular apical superior a um terço do comprimento original da raiz.

Aman e colaboradores (2018) e Brezniak e Wasserstein (2002), em seus estudos, mediram os comprimentos das raízes dos incisivos superiores em imagens ortogonais de exames de tomografia computadorizada de feixe cônico, pré e pós-tratamento ortodôntico com alinhadores transparentes, tendo como resultado reabsorção radicular mínima. A prevalência de RRIIO grave, definida como ambos os

<sup>5</sup> Fonte: Rego et al, 2004, p. 298

incisivos centrais superiores experimentando uma redução maior que 25% no comprimento da raiz, foi de 1,25% (AMAN et al, 2018).

Através de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), Lund et al (2012) verificaram que após a terapia com aparelho fixo, 94% dos pacientes apresentavam pelo menos 1 raiz com mais de 1 mm de encurtamento e 6,6% dos pacientes apresentavam pelo menos 1 raiz com reabsorção superior a 4 mm.

Na maioria dos casos, a reabsorção consequente à movimentação ortodôntica é mínima e sem significado clínico, atingindo valores médios de 0,5 a 3 mm de encurtamento radicular (BREZNIAK; WASSERSTEIN, 1993a; 1993b).

Quando um dente se move, ocorre uma necrose do ligamento periodontal, no lado da pressão, com a consequente formação de uma zona hialina livre de células. Este evento é seguido por reabsorção osteoclástica do osso alveolar adjacente e aposição óssea por osteoblastos no lado da tensão (ABUABARA, 2007). O processo de reabsorção dos tecidos duros dentários parece ser desencadeado pela atividade de algumas citocinas liberadas a partir da necrose das fibras do ligamento periodontal. As células de defesa migram para fora dos capilares no ligamento periodontal e interagem com as células residentes localmente, disponibilizando uma grande variedade de moléculas sinalizadoras (JÄGER et al, 2005).

Citocinas pró-inflamatórias como a interleucina-1 (IL-1) e o fator de necrose tumoral (TNF) são conhecidas por induzir a síntese de várias proteínas que, por sua vez, provocam inflamação aguda ou crônica. Al-Qawasmi et al (2003) identificaram desequilíbrio de ligação entre o gene IL-1B e reabsorção radicular em indivíduos tratados ortodonticamente. A variação do polimorfismo foi responsável por 15% da variação na reabsorção radicular nessa amostra. As pessoas em sua amostra homozigotas para o alelo 1 da IL-1B tiveram um risco aumentado de 5,6 vezes (IC 95% 1,9-21,2) de reabsorção radicular superior a 2 mm em comparação com aqueles que não são homozigotos para o alelo beta 1 da IL-1. Os dados indicam que o alelo 1 no gene IL-1B, conhecido por diminuir a produção da citocina IL-1 in vivo (POCIOT et al, 1992).

Outro gene candidato para *external root resorption* (ERR) é o TNFRSF11A, que codifica o receptor ativador do fator nuclear kappa B (RANK), localizado na mesma região da osteólise expansiva familiar e uma forma de doença óssea de Paget familiar. RANK é um membro da superfamília de receptores de *tumor necrosis factor* (TNF) e, juntamente com o ligante RANK, medeia a sinalização que leva à osteoclastogênese.

Outro gene candidato para ERR no tratamento ortodôntico é a fosfatase alcalina inespecífica tecidual (TNSALP), cujo produto desempenha um papel importante na mineralização e formação do cemento. O TNF, encontrado no sulco gengival humano, é elevado durante a movimentação dentária (LOWNEY et al, 1995; NAKAGAWA et al, 1998).

A extensão da reabsorção radicular, resultante do processo de remodelação óssea após a aplicação de uma força ortodôntica, o qual envolve estresse, inflamação, hialinização e morte celular, não há correlação com fatores genéticos, mas com características dessa força (tipo, intensidade e frequência). Tais efeitos podem apresentar variações, dependendo das morfologias óssea local e radicular (CONSOLARO; CONSOLARO, 2009).

Durante a remoção da zona hialina, pode ocorrer dano da superfície externa da raiz, a qual possui uma camada de cementoblastos recobrimo o cemento. Haverá, assim, a exposição do cemento mineralizado subjacente (HELLSING; HAMMARSTROM, 1996). A própria pressão ortodôntica pode danificar diretamente as camadas externas da superfície radicular, e, conseqüentemente, haverá necessidade de remoção da mesma. A superfície radicular, adjacente à zona hialina principal, é reabsorvida alguns dias depois, no momento em que o processo de reparo da periferia está ocorrendo. Tais eventos foram observados em estudos com pré-molares humanos movimentados para vestibular antes da exodontia (OWMAN-MOLL, 1995; OWMAN-MOLL; KUROL, 1998).

### **3.3 Fatores predisponentes de RRIIO**

Os fatores de risco potenciais para RRIIO em incisivos superiores com uso de aparelho alinhador ortodôntico transparente incluíram sexo, má oclusão, apinhamento e aproximação pós-tratamento dos ápices às placas corticais. Já a etnia, redução interproximal, trauma prévio nos dentes, elásticos, idade, duração do tratamento e aproximação pré-tratamento dos ápices às placas corticais não afetaram significativamente a quantidade de RRIIO (AMAN et al, 2018). A aproximação pós-tratamento dos ápices radiculares à placa cortical palatina mostrou a associação mais forte para o aumento da RRIIO (AMAN et al, 2018).

Para os fatores mecânicos, estão envolvidos: o movimento dentário extenso, torque radicular e forças intrusivas, tipo de movimento, magnitude da força

ortodôntica, duração e tipo de força. Para os fatores biológicos, a suscetibilidade genética, doença sistêmica, gênero e ingestão de medicamentos demonstraram influenciar a reabsorção radicular (LEVANDER; MALMGREN; STENBACK, 1998). A terapia ortodôntica de pacientes com risco aumentado de reabsorção radicular deve ser cuidadosamente planejada. Histórico médico, ingestão de medicamentos, histórico familiar, agenesia dentária, morfologia radicular, a saúde e os hábitos bucais devem ser levados em consideração se não quisermos prejudicar nossos pacientes por reabsorções radiculares severas (ABUABARA, 2007).

Os traumatismos, os procedimentos cirúrgicos, os produtos bacterianos e químicos aplicados na superfície radicular, os quais podem remover os cementoblastos, são considerados fatores predisponentes de RRIIO (CONSOLARO; FRANSCISCHONE; FURQUIM, 2011). Assim como, a raiz triangular constitui um indicador de previsibilidade da ocorrência de reabsorção durante a movimentação ortodôntica (CONSOLARO, 2004).

Os traumatismos dentários provocam danos ao ligamento periodontal e ao cimento, aumentando o risco de reabsorção radicular. Porém, dentes com traumatismos leves ou moderados e com ligamento periodontal intacto, após um período de cinco a seis meses, podem ser movimentados ortodonticamente com um prognóstico comparável, em relação à reabsorção radicular, aos dentes que não sofreram traumas (MALMGREN et al, 1982). Rego e colaboradores (2004) concordam que dentes traumatizados devem ser monitorados por um período de aproximadamente seis meses, para, então, serem incluídos na mecanoterapia. E relatam que, apesar de os dentes traumatizados apresentarem um maior risco de reabsorção, não se contraindica a movimentação dos mesmos, desde que a mesma tenha um planejamento correto e um controle periódico.

Os cementoblastos não sofrem influência de mediadores sistêmicos ou hormônios. Independentemente de os mediadores sistêmicos estarem em baixos ou altos níveis, os cementoblastos continuam colonizando a superfície radicular (CONSOLARO; FRANSCISCHONE; FURQUIM, 2011).

Com relação aos fatores mecânicos, a duração do tratamento, tipo e magnitude da força, quantidade de movimento dentário e técnica de tratamento ortodôntico têm sido sugeridos como fatores influenciadores do grau de REAIO (WELTMAN, 2010).

Estudos histológicos evidenciaram que a distribuição de lacunas de reabsorção está diretamente relacionada com a quantidade de força na superfície radicular, bem

como a velocidade de desenvolvimento dessas lacunas é mais rápida com o aumento das forças aplicadas, embora essa relação não seja diretamente proporcional (HARRY; SIMS, 1982).

A eliminação dos cementoblastos também pode ocorrer durante o movimento dentário induzido. Uma força excessiva pode impedir que o ligamento periodontal, comprimido entre o osso e o dente, possa receber suprimento sanguíneo, faltando-lhes nutrição. As células deste ligamento comprimido, incluindo-se os cementoblastos, fogem do local e abandonam a superfície ou morrem antes de migrar e desnudam a raiz. Muito eventualmente, o contato dente-osso promovido pela força excessiva pode, fisicamente, eliminar cementoblastos da superfície radicular por compressão. Essa saída ou morte celular deixa na região apenas uma matriz extracelular hialinizada. A superfície radicular, sem a proteção dos cementoblastos, passa a ser palco de reabsorções no processo de reorganização periodontal da região após a dissipação da força aplicada (CONSOLARO; FRANSCISCHONE; FURQUIM, 2011); (CONSOLARO, 2011).

O apinhamento provou ser um fator de risco para RRIIO, com a porcentagem de mudança no comprimento da raiz para apinhamento leve significativamente menor do que para apinhamento grave (AMAN et al, 2018).

A porcentagem de mudança no comprimento da raiz para má oclusão de Classe I foi significativamente menor do que para más oclusões Classe II incompleta (molares em relação de oclusão de topo), mas a porcentagem de mudança no comprimento da raiz não diferiu significativamente das outras classes de má oclusão. Apesar da diferença estatisticamente significativa, as implicações clínicas podem ser irrelevantes, uma vez que a diferença percentual entre os 2 grupos foi de 1,86% (AMAN et al, 2018).

Newman (1983) sugeriu que a mordida aberta constitui um fator associado ao encurtamento radicular dos dentes anteriores, devido à função anormal da língua, que imprime uma força crônica, intermitente e incontrolável.

Segundo Brezniak e Wasserstein (2002b), não há uma previsão do prognóstico de reabsorção radicular baseado no tipo de má-oclusão. Acredita-se na correlação entre o binômio gravidade da má-oclusão e reabsorção radicular, em consequência dos recursos mecânicos exigidos e da amplitude e tipo de movimento a ser realizado. Tratamentos que envolvam uma grande amplitude de movimentos dentários no intuito

de camuflar discrepâncias esqueléticas acentuadas, são mais predispostos à reabsorção radicular devido aos limites biológicos impostos pela má-oclusão.

Muitas vezes é comum haver pausas no tratamento enquanto estão sendo feitos refinamentos na prescrição exclusiva de alinhadores de um paciente. Portanto, a quantidade de tempo entre o início e a interrupção do tratamento não é necessariamente um reflexo preciso do tempo de tratamento ativo com alinhadores (AMAN et al, 2018).

Já o tempo de tratamento com ortodontia fixa, quando prolongado, parece ter relação com o aumento da prevalência de reabsorção radicular severa (MOTOKAWA et al, 2012). Neste estudo, no grupo tratado por mais de 30 meses, a prevalência de reabsorção radicular severa foi significativamente maior. Considera-se também que o acúmulo de reabsorção radicular superficial pode levar ao aparecimento de reabsorção radicular severa devido à estimulação contínua da raiz.

Há controvérsias na literatura no que diz respeito ao gênero como fator de risco para RRIIO, de modo que alguns estudos mostraram que esse fator não é um preditor confiável de reabsorção radicular. No entanto, os resultados de Aman et al (2018) concordam com os achados de outras investigações (DESHIELDS, 1969; SAMESHIMA; SINCLAIR, 2001) de que indivíduos do gênero masculino apresentaram mais reabsorção radicular do que indivíduos do gênero feminino.

De acordo com Consolaro (2004), o gene da RRAE relacionada a tratamentos ortodônticos não foi determinado, bem como a sua natureza hereditária, nem a suscetibilidade à reabsorção radicular durante o tratamento ortodôntico foi detectada ou provada. Portanto, o mesmo critica o trabalho de Al-Qawasmi e colaboradores (2003), o qual passa ao leitor a impressão de que existe um gene determinado responsável pela reabsorção externa apical em Ortodontia.

Além dos fatores clínicos e radiográficos, os sujeitos do estudo de Iglesias-Linares e colaboradores (2017) foram genotipados para genes-alvo identificados em publicações anteriores com grau significativo de risco de RRIIO. As associações finais ajustadas entre fatores clínicos/genéticos e predisposição à RRIIO não mostraram diferenças estatisticamente significativas em relação a ocorrência de RRIIO.

A morfologia apical e radicular, a proporção coroa-raiz, assim como a forma da crista óssea alveolar, influenciam na previsibilidade de reabsorções dentárias no tratamento ortodôntico. Pode-se até afirmar que os pacientes com raízes dentárias triangulares, ápices em forma de pipeta ou dilacerados e cristas ósseas retangulares

são mais predispostos à reabsorção radicular durante o tratamento ortodôntico, mas sem qualquer natureza genética ou hereditária, e sim morfológica (CONSOLARO, 2011). Com cristas ósseas retangulares, a dissipação de forças será menor, pois a deflexão óssea apresenta-se diminuída (FURQUIM, 2002). As cristas ósseas retangulares aumentam a possibilidade de reabsorções radiculares, pois apresentam menor deflexão óssea e concentram maior força no ligamento periodontal (REGO et al, 2004).

Através das evidências científicas, pode-se admitir que as endocrinopatias não provocam reabsorções dentárias. Portanto, a maior ou menor frequência de reabsorção dentária, na prática ortodôntica, estaria associada principalmente a fatores locais, particularmente, a forma da raiz e da crista óssea alveolar, não a fatores sistêmicos (FRANSCISCHONE, 2002). De acordo com Brezniak e Wasserstein (2002b), não há causas sistêmicas ou medicamentosas para as reabsorções dentárias durante o tratamento ortodôntico, como, por exemplo, os contraceptivos.

### **3.4 Tipo de movimento ortodôntico x ocorrência de RRIIO**

A distribuição de força por área do ligamento periodontal sofre influência do tipo de movimento dentário a ser realizado, da morfologia da crista óssea alveolar e da morfologia da raiz, sendo a maior concentração de força observada nos movimentos de intrusão e de inclinação descontrolada (OWMAN-MOLL; KUROL; LUNDGREN, 1996).

De acordo com o tipo de movimento, pontos altos de pressão, onde a força é intensificada, são mais propensos à reabsorção radicular. Nos movimentos intrusivos, quase toda a pressão se concentra no ápice radicular; o risco de reabsorção aumenta acentuadamente devido à anatomia da raiz. Dentre os tipos de movimento mais associados à reabsorção radicular, estão os movimentos de retração do segmento anterior, devido à extensão do deslocamento apical dos incisivos contra a cortical óssea (BECK; HARRYS, 1994). A maior predisposição à reabsorção dos incisivos superiores está relacionada à extensão de movimentação desses dentes, a qual é frequentemente maior que a dos outros dentes, em decorrência da correção da má oclusão, função e estética (SILVA FILHO; BERRETA; CAVASSAN, 1993).

O movimento de intrusão é o que implica em uma maior concentração de força por área do ligamento periodontal (BREZNIAK; WASSERSTEIN, 1993a). Quando

comparados aos movimentos intrusivos, os movimentos extrusivos ocorrem com facilidade, mas também causam reabsorção radicular em áreas interdentais no terço cervical da raiz. Tem sido afirmado que a reabsorção radicular ocorre quatro vezes mais durante a intrusão do que durante a extrusão (HAN et al, 2005).

A maior incidência de reabsorção radicular em incisivos superiores e inferiores pode ser explicada com a maior extensão de movimento dos incisivos superiores que geralmente ocorre, a estrutura radicular dos incisivos e sua relação com o osso e o ligamento periodontal, que transfere a maior parte das forças para o ápice (ENGLISH, 2001).

No estudo de Motokawa e colaboradores (2012) o qual avaliou a prevalência e o grau de reabsorção radicular induzida pelo tratamento ortodôntico em associação com os fatores de tratamento, notou-se maior prevalência de reabsorção radicular severa no grupo com extrações. A prevalência não foi significativamente diferente entre os indivíduos tratados com ou sem extrações, mas houve um aumento significativo quando o tempo de tratamento foi prolongado. Observou-se uma diferença significativa na quantidade de movimento radicular dos incisivos centrais superiores e na distância de seus ápices radiculares até a superfície óssea cortical. Um incisivo central superior próximo ao osso cortical do alvéolo e do canal incisivo poderia causar reabsorção radicular severa. Além disso, o tipo de movimento dentário, como inclinação, movimento de corpo e torque, pode ser um fator de risco para reabsorções severas.

### **3.5 Ocorrência e severidade da RRIIO**

Apesar da existência de uma barreira biológica protetora, a reabsorção de cimento e dentina também pode ocorrer (BREZNIAK; WASSERSTEIN, 1993a; 1993b). Para monitorar a reabsorção radicular apical, o procedimento padrão é um exame radiográfico após 6 meses de tratamento. Em dentes com risco aumentado, é recomendado um acompanhamento radiográfico a cada 3 meses (ABUABARA, 2007). O monitoramento radiográfico após 6 meses do início do tratamento ortodôntico é essencial para o controle da RRAE ao longo do tratamento, pois a reabsorção pode ser detectada desde os estágios iniciais do nivelamento. A resposta do paciente à movimentação ortodôntica é indicada durante essas etapas e isso auxilia o ortodontista a determinar os limites individuais de cada paciente (SMALÉ et al, 2005).

O estudo de Alshammery e colaboradores (2021) avaliou o comprimento radicular por meio de radiografia panorâmica, com auxílio de paquímetro eletrônico, dentes tratados endodonticamente, nos períodos de pré e pós tratamento ortodôntico com alinhadores transparentes. Os pacientes incluídos na amostra da pesquisa tinham média de idade de  $28 \pm 8,2$  anos. Os autores observaram que todos os dentes tratados endodonticamente demonstraram redução no comprimento radicular devido a reabsorção radicular externa mínima após o tratamento ortodôntico realizado com alinhadores transparentes removíveis.

Sameshima e Asgarifar (2001), assim como Gandhi (2021), relatam que a radiografia panorâmica superestima a RRIIO, o que demonstra a importância de estabelecer um padrão de comparação confiável para medir a quantidade de reabsorção externa apical.

Há maior acurácia na medição de reabsorção radicular com o uso de Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (TCFC) por ser imagens tridimensionais (YI et al, 2018) ao invés de radiografia panorâmica (ALSHAMMERY et al, 2021). Como limitação deste último estudo estão os fatores que influenciam a reabsorção radicular ortodôntica, os quais não foram abordados, como: genética, etnia, doenças sistêmicas, gênero, idade e quantidade de forças ortodônticas, bem como a inclusão de uma amostra de dentes endodonticamente tratados maior.

A ocorrência média de RRAE foi mais observada nos incisivos centrais superiores (dentes 21) do que nos molares (dentes 46). Esse achado, segundo Iglesias-Linares e colaboradores (2017) pode ser devido à maior amplitude de movimento dos dentes incisivos que o restante da dentição, bem como a estrutura radicular dos incisivos, sua relação com o osso e a região periodontal que transmite a maioria das tensões ao ápice. A comparação do comprimento das raízes, no pré-tratamento e pós-tratamento, permitiu verificar que molares apresentaram reabsorção radicular mínima (<10%) com diferenças significativas na média da RRAE. Entre os molares, o dente 16 apresentou maior RRAE seguido pelos dentes 46, 36, e por último, o dente 26. Essa variação na RRAE em dentes molares pode ser atribuída a muitos fatores, incluindo a anatomia da raiz, a pressão aplicada à raiz e a duração do uso do alinhador. No entanto, uma comparação das diferenças médias no comprimento da raiz no pós-tratamento em diferentes dentes não mostrou diferenças significativas na RRAE.

A proximidade das raízes com a cortical óssea é outro fator que tem sido associado à reabsorção radicular. Horiuchi e colaboradores (1998) apresentaram algumas evidências de que a proximidade com a lâmina cortical palatina não é saudável para a raiz dentária, embora grande parte da reabsorção radicular produzida ortodonticamente não esteja relacionada a essa condição (HORIUCHI; HOTOKEZAKA; KOBAYASHI, 1998). Já Aman e colaboradores (2018) relatam que a aproximação pós-tratamento dos ápices radiculares à placa cortical palatina mostrou a associação mais forte para o aumento da OIRR, assim como o gênero, a má oclusão e apinhamento afetaram significativamente a porcentagem de mudança no comprimento da raiz.

Em estudo de Parker e Harris (1998), que analisou a RRAE na esfera ortodôntica relacionando três prescrições e técnicas (*edgewise* padrão *Tweed*, *Begg lightwire* e *straight wire* com prescrição *Roth*), chegou a conclusão de que a intrusão dos incisivos com o aumento do torque radicular lingual foram os mais fortes preditores de RRIIO. Já a retração de corpo, extrusão ou inclinação da coroa para lingual não tiveram efeito evidente.

A revisão sistemática de Fang, Qi e Liu (2019) sugere que os alinhadores transparentes não podem evitar a reabsorção radicular, porém a incidência e a gravidade da reabsorção aparentam ser menores em comparação com os resultados obtidos no tratamento com aparelhos fixos.

A revisão sistemática de Aldeeri e colaboradores (2018) teve como conclusão que os alinhadores ortodônticos transparentes não são inferiores aos aparelhos ortodônticos fixos de força leve. Ainda, que os aparelhos ortodônticos fixos quando empregam força pesada são superiores em termos de risco de desenvolvimento de raiz apical reabsorção quando comparado aos alinhadores. Os autores sugerem que ensaios clínicos randomizados, utilizando metodologia meticulosa, critérios de seleção de amostras, medidas 3D de reabsorção radicular e controle de possíveis fontes de viés, são necessários para obter uma conclusão baseada em evidências científicas acerca desse assunto.

A reabsorção radicular ainda é um risco associado ao tratamento ortodôntico na terapia com alinhadores, como nos aparelhos fixos (TAMER; ÖZTAŞ; MARŞAN, 2019).

### 3.6 Alinhadores ortodônticos

O princípio de se utilizar um alinhador removível para movimentar e corrigir o posicionamento dos dentes foi introduzido pela primeira vez por Harold D. Kesling em 1946. A realização de *set-up* era um pré-requisito para cada estágio de movimentação dentária, exigindo, assim, uma nova moldagem a cada consulta, aumentando, conseqüentemente, o tempo de laboratório. Os avanços tecnológicos tornaram possível facilitar o trabalho do laboratório, por meio de um *set-up* digital. Em 1971, Ponitz recomendou o uso de uma contenção transparente removível, baseando-se na ideia de Kesling (1946) de criar um dispositivo de movimentação dentária, obtido a partir de um modelo de gesso, para a finalização de casos de pacientes ortodônticos, servindo, também, de contenção ortodôntica.

Em 1993, Sheridan, Ledoux e McMinn introduziram o conceito de combinar redução interproximal (IPR) de dentes com a utilização de alinhadores transparentes removíveis para facilitar o alinhamento, especialmente na ausência de espaço suficiente. O conceito de usar o design moderno auxiliado por computador (CAD) e a fabricação auxiliada por computador (CAM) para um sistema de alinhador transparente foi criado por Zia Chishti, estudante de Mestrado em Administração de Empresas da Universidade de Stanford.

A *Align Technology* desenvolveu e introduziu o sistema *Invisalign*® (*Align Technology*) em 1998, sendo o primeiro aparelho ortodôntico projetado e fabricado com tecnologia CAD/CAM (HARTSHORNE; WERTHEIMER, 2022).

A terapia ortodôntica, utilizando alinhadores transparentes removíveis, teve início somente em 1999, quando o *Invisalign* se tornou comercialmente disponível. O número de empresas produzindo alinhadores tem aumentado anualmente. Assim como cirurgiões-dentistas têm implementado alinhadores feitos no próprio consultório (GIERIE, 2018).

As exigências dos pacientes são, principalmente, relacionadas à aparência, conforto, conveniência e controle de higiene bucal menos complicado (HARTSHORNE; WERTHEIMER, 2022). A demanda e a ampla divulgação dos alinhadores transparentes removíveis têm motivado pessoas de todas as idades, inclusive idosos, a buscarem essa modalidade de tratamento ortodôntico (TARTAGLIA et al., 2021).

A Invisalign® evoluiu rapidamente e, desde 2008, introduziu tecnologias aprimoradas, incluindo recursos *SmartForce* (acessórios otimizados, zonas de pressão e estágio personalizado), material de alinhador multicamadas *SmartTract* (melhor ajuste e alcance de entrega de força) e tecnologia *SmartStage* (determina o melhor caminho para o movimento dentário e a forma do alinhador) (KASPER, 2020).

As propriedades biomecânicas dos materiais termoplásticos utilizados na fabricação de alinhadores ortodônticos transparentes desempenham um papel fundamental em sua eficácia e na obtenção da movimentação dentária ortodôntica desejada (KOHDA et al., 2021). Tais características incluem elasticidade, dureza, resiliência, estabilidade dimensional, transparência, biocompatibilidade, resistência ao efeito da saliva e da temperatura no meio bucal (TAMBURRINO et al, 2020). A espessura do material termoplástico, do qual são confeccionados os alinhadores, geralmente é de 0,75 mm (GIERIE, 2018).

O polietileno tereftalato glicol modificado (PET-G) continua sendo o principal material empregado na confecção dos alinhadores ortodônticos removíveis. No entanto, outros materiais também podem ser utilizados na sua confecção, tais como polipropileno, policarbonato, poliuretanos termoplásticos e etileno vinil acetato (DUPAIX; BOYCE, 2005).

A movimentação dentária, obtida a partir do uso de alinhadores ortodônticos, é estimada por meio de um *software* específico. Posteriormente ao planejamento virtual da movimentação dentária, são impressos modelos em 3D, sobre os quais são produzidos os alinhadores transparentes (GIERIE, 2018).

Gerenciar movimentos dentários complexos durante o tratamento com alinhadores ortodônticos requer recursos auxiliares, prever sobrecorreções e incluir refinamentos para melhorar a previsibilidade, eficácia e estabilidade dos resultados do tratamento. Os principais preditores de resultado e, conseqüentemente, sucesso no tratamento ortodôntico utilizando alinhadores ortodônticos são a seleção adequada do paciente, a complexidade do caso, o adequado planejamento do tratamento, a adesão do paciente, a experiência do cirurgião-dentista com a técnica e o acompanhamento regular do tratamento (HARTSHORNE; WERTHEIMER, 2022).

Inicialmente, as indicações para tratamento com alinhadores ortodônticos removíveis, limitavam-se à correção do alinhamento dentário em más oclusões leves a moderadas com discreto apinhamento. Atualmente, o tratamento ortodôntico de

casos moderados a extremamente complexos é realizado com algum grau de sucesso (PUTRINO; BARBATO; GALLUCCIO, 2021).

A movimentação dentária é estipulada por meio de movimentos sequenciais em direção ao posicionamento desejado, resultando na geração de modelos sequenciais em 3D para cada estágio de movimentação (TAMBURRINO et al, 2020).

A biomecânica dos alinhadores ortodônticos está vinculada ao movimento de empurrar o dente, contrariamente ao princípio da ortodontia fixa. Movimentos dentários simples, como inclinação, são bastante previsíveis, enquanto movimentos complexos como extrusão, intrusão, torque radicular, translação e expansão requerem planejamento cuidadoso, além da necessidade de uso eventual de recursos auxiliares. Uma ampla variedade de conceitos e recursos auxiliares, incluindo *attachments*, redução interproximal (IPR), alinhadores individualizados, *power ridges* para otimizar forças, além de dispositivos auxiliares como, por exemplo, bráquetes, botões ou dispositivos temporários de ancoragem esquelética (TADs) combinados com o uso de elásticos intramurais, foram associados ao uso dos alinhadores removíveis, com o intuito de melhorar a eficácia e eficiência dessa modalidade de tratamento ortodôntico (BOWMAN, 2021; ROSSINI et al., 2015; KADUSKAR; KANADE, 2020).

A incorporação de *attachments* de resina composta, confeccionados sobre os dentes, serve para melhorar o contato da superfície do alinhador ou a área de retenção, aumentando a eficácia dos alinhadores (BOWMAN, 2021).

A extrusão dos dentes anteriores, bem como a rotação dos caninos e pré-molares são considerados os movimentos dentários mais difíceis de realizá-los com previsibilidade (PAPADIMITRIOU et. al., 2018). Em geral, os alinhadores são considerados indicados para o tratamento da mordida aberta anterior, visto que a cobertura oclusão tende a realizar, espontaneamente, a intrusão dos molares, resultando na redução da dimensão vertical posterior (BLUNDELL et. al., 2021).

Os alinhadores ortodônticos removíveis possuem como vantagens: estética, conforto, permite melhor higiene oral, maior previsibilidade de tempo de tratamento e menor possibilidade de intercorrências. As limitações dessa técnica incluem: colaboração do paciente, extensão limitada de movimentos dentários, perda/extravio do aparelho, desadaptação por conta de defeitos de fabricação dos alinhadores e custo elevado (KUNDAL; SHOKEEN, 2020).

Embora os aparelhos ortodônticos fixos causem reabsorção radicular como efeito colateral de forças ortodônticas pesadas, não há um consenso sobre a

reabsorção radicular com alinhadores ortodônticos. Uma menor incidência e gravidade de reabsorção radicular tem sido relatada quando do uso de alinhadores ortodônticos, sendo, neste caso, os incisivos os dentes mais afetados (GAY et al., 2017).

#### **4 MATERIAL E MÉTODO**

A pesquisa bibliográfica foi realizada na base de dados Pubmed (Medline), LILACS e Google Scholar utilizando as palavras-chave: Ortodontia, Aparelhos Ortodônticos Removíveis, Reabsorção da raiz. MeSH terms "root resorption" e "clear aligner".

Foram utilizados artigos científicos de revisão bibliográfica, revisão sistemática, meta-análises, estudos observacionais, dissertações, em língua inglesa ou portuguesa no período de 1998 a 2022.

Os critérios de inclusão utilizados foram de artigos que apresentavam clareza e objetividade acerca do assunto.

Houve exclusão dos artigos que não possuíam texto completo ou não eram em língua inglesa ou portuguesa.

## 5 DISCUSSÃO

Embora os alinhadores ortodônticos transparentes devam teoricamente resultar em menos reabsorção radicular, dada sua suposta capacidade de minimizar a força e obter movimentos dentários mais específicos, os dados publicados, ainda que limitados sobre essa modalidade de tratamento ortodôntico, sugerem que os pacientes submetidos ao tratamento com alinhadores transparentes podem ser suscetíveis à OIIRR (AMAN et al, 2018).

A revisão sistemática de Elhaddaoui e colaboradores (2017) avaliou a incidência e gravidade da reabsorção radicular após o tratamento ortodôntico com alinhadores e fatores associados. Analisou comparativamente os tratamentos com aparelhos corretivos fixos. Observaram que a incidência de reabsorção radicular, após tratamento ortodôntico com alinhadores, varia de 0 a 46%, dos quais 6% apresentam as mesmas más oclusões, a incidência de reabsorção variou entre 2% e 50%, sendo 22% casos graves. Em ambas as técnicas, a incidência de reabsorção foi maior para os incisivos superiores e não foi influenciada pela idade ou gênero. Nos casos de má oclusão que não necessitam de extrações, o tratamento com alinhadores ortodônticos possivelmente está associado a uma menor incidência de reabsorção radicular quando comparado ao uso de aparelho fixo.

A reabsorção radicular média para os incisivos centrais superiores permanentes (21, 11) e incisivos laterais superiores permanentes (22, 12) foi inferior a 1 mm em revisão sistemática com meta-análise. A diferença média de reabsorção radicular entre o tratamento com alinhador removível e aparelho fixo pré-ajustado foi estatisticamente significativa ( $P < 0,05$ ) para o dente 12 (alinhador: 0,36 mm, IC 95% = 0,26 a 0,47 mm; e aparelho fixo: 0,74 mm, IC 95% = 0,51 a 0,97 mm), mas não para os dentes 21, 11 ou 22. Na comparação entre o volume TCFC e radiografia panorâmica bidimensional (2D), verificou-se que a quantidade de reabsorção radicular para todos os incisivos superiores permanentes foi menor quando medido com TCFC do que com radiografia panorâmica 2D, particularmente, para o dente 12. Isso pode ser devido à dificuldade em identificar a ponta do incisivo e o ápice da raiz do incisivo nas radiografias 2D por causa de estruturas sobrejacentes ou devido a erros de ampliação em comparação com o volume da TCFC. Assim, os métodos 2D (radiografias periapicais e panorâmicas) podem superestimar a quantidade de reabsorção radicular (GANDHI et al, 2021). Como a RRIIO é tridimensional (3D),

medições quantitativas mais precisas podem ser obtidas com técnicas 3D, incluindo medições com microscopia eletrônica de varredura (MEV) e de microtomografia de raios X (micro-CT).

De acordo com Costello e colaboradores (2020), à medida que as técnicas de investigação da reabsorção radicular evoluíram, também evoluíram os métodos de tratamento das más oclusões. Nesse estudo, os pacientes selecionados não tinham história prévia de traumatismo dentário, ortodontia ou endodontia; não havia necessidade de correção anteroposterior da má oclusão (movimentos dentários significativos provavelmente afetariam o nível de reabsorção); resolução de aglomeração por expansão; se tinha acesso a registros de tratamento e TCFC pré e pós-tratamento de qualidade diagnóstica.

Os comprimentos lineares dos dentes superiores e inferiores do segundo molar ao segundo molar foram medidos a partir de exames de TCFC, pré e pós-tratamento, de 25 pacientes que foram tratados por um sistema de alinhadores transparentes. O tratamento ortodôntico com alinhadores resultou em reabsorção radicular que foi clinicamente insignificante. Os incisivos centrais superiores sofreram a maior redução média no comprimento de  $0,5 \pm 0,41$  mm ( $p < 0,0001$ ). Embora o nível de reabsorção identificado neste estudo tenha sido menor do que o relatado para aparelhos fixos, no geral, as tendências foram semelhantes sem possibilidade de comparação direta devido às diferenças amostrais.

No estudo de Li et al. (2020), a prevalência de REAIO no grupo de alinhadores transparentes (56,30%) foi significativamente menor do que no grupo de aparelhos fixos (82,11%) ( $P < 0,001$ ). A maior prevalência de REAIO foi encontrada nos incisivos laterais em pacientes com aparelhos fixos (maxilar 88,52%, mandibular 88,33%), e a menor foi encontrada nos caninos em pacientes com alinhadores transparentes (maxilar 45,00%, mandibular 35,38%). A gravidade da REAIO, no grupo de alinhadores transparentes ( $0,13 \pm 0,47$  mm em média), foi significativamente menor do que no grupo de aparelhos fixos ( $1,12 \pm 1,34$  mm em média), bem como para cada dente individual incluído no estudo (todos  $P < 0,001$ ). A REAIO mais grave foi encontrada no canino superior ( $1,53 \pm 1,92$  mm) e incisivo lateral ( $1,31 \pm 1,33$  mm) no grupo de aparelhos fixos.

Estudo do tipo avaliação de hemiarcada foi realizado com primeiros pré-molares de casos clínicos com indicação de exodontia para tratamento da má oclusão. Um dos grupos da pesquisa sofreu movimento vestibular de 0,5 mm a cada duas semanas. Já

os dentes contralaterais não foram movimentados, servindo de controle. O segundo grupo teve o mesmo movimento de 0,5 mm a cada duas semanas. Do lado contralateral uma força vestibular de 225g por meio de cantilever de liga de beta-titânio (força pesada) foi usada. Já o terceiro grupo teve o mesmo movimento vestibular de 0,5 mm a cada duas semanas, enquanto o lado contralateral sofreu força palatina de 25 g (força leve) de uma mola cantilever. Não houve reativação dos cantilevers. Após o uso de 4 aparelhos, sendo as trocas realizadas a cada 14 dias, os dentes foram extraídos com muita cautela para evitar danos às raízes. Foi feita análise da quantidade, localização e distribuição das crateras de reabsorção radicular através de microtomógrafo de raios-X (1072, SkyScan, Aartselaar, Bélgica). Os dentes de força pesada tiveram a maior reabsorção, cerca de 9 vezes maior que os controles. Os aparelhos alinhadores ortodônticos transparentes têm efeitos reabsortivos semelhantes no cemento radicular como forças ortodônticas leves (25 g) com aparelhos fixos. Verificou-se também que o uso de elásticos de Classe II pode ser um fator de risco para reabsorção radicular (BARBAGALLO et al, 2008).

Forças ortodônticas contínuas leves são percebidas como intermitentes pelo periodonto, devido à natureza viscoelástica do ligamento periodontal e das forças verticais liberadas durante a função e parafunção. Esse achado poderia explicar os resultados semelhantes entre o grupo de alinhadores e o grupo de forças leves (CATTANEO; DALSTRA, MELSEN, 2009).

Segundo Aras e colaboradores (2012) as forças intermitentes resultam em menor reabsorção radicular do que forças contínuas. E o momento da reativação pode ter importância crítica nas aplicações de força contínua, uma vez que 2 reativações semanais no estudo deles produziram movimento dentário mais rápido com reabsorção radicular semelhante quando comparada com força intermitente, referente à terapia corretiva fixa.

Tem sido alegado que forças intermitentes, causadas pelos alinhadores removíveis, podem permitir a cicatrização do cemento na raiz e, assim, evitar reabsorção adicional durante a ruptura da camada cementoblástica (BALLARD et al, 2009; CHENG et al, 2010). Os atuais protocolos de tratamento de alinhadores sugerem um uso quase de dia inteiro, o que significa que eles podem ser considerados quase um tipo de força contínua com reativação (troca de alinhador) em um período de tempo mais curto (geralmente 15 dias, embora vários dentistas sugiram trocá-los em menos de uma semana). Podemos esperar que as diferenças na magnitude e nos

níveis de força expliquem as diferenças na expressão de RRIIO. No entanto, os protocolos atuais para aparelhos fixos geralmente envolvem o uso sequencial de forças leves em cada etapa, o que pode ser a razão pela qual a predisposição à RRIIO com aparelhos fixos é semelhante à dos alinhadores removíveis (IGLESIAS-LINARES et al, 2017).

Os ortodontistas podem ter mais certeza sobre o baixo risco de OIIRR associado aos alinhadores transparentes em comparação com outras modalidades de tratamento ortodôntico e cabe à avaliação do profissional selecionar o tratamento mais adequado para cada caso (ALDEERI et al, 2018).

Yi e colaboradores (2018) relataram que o tratamento com um alinhador transparente resultou em significativamente menos RRAE que o tratamento ortodôntico fixo. Já o estudo de Iglesias-Linares et al. (2017) mostrou grau semelhante de reabsorção radicular utilizando alinhadores removíveis ou aparelhos fixos.

O tratamento ortodôntico com alinhadores Invisalign® pode levar a reabsorção radicular nos casos em que a intrusão dos incisivos inferiores é planejada. No entanto, a incidência de reabsorção radicular é comparável aos dados descritos no caso de aplicação de forças leves com aparelhos fixos e consideravelmente menor do que o descrito para tratamentos ortodônticos abrangentes tradicionais (GAY et al, 2017).

Apesar das limitações, tendo alto nível de evidência, o estudo de corte retrospectivo publicado por Metcalf (2016), quantificou a quantidade de reabsorção radicular em alinhadores transparentes (Invisalign®, Align Technology Inc., San Jose, CA, EUA) e comparou com aparelhos fixos convencionais usando TCFC. Os participantes do grupo do alinhador transparente experimentaram menos reabsorção radicular do que os participantes do grupo do aparelho fixo.

Segundo Le Norcy, Lautrou e Le Golf (2005), os alinhadores ortodônticos fornecem forças relativamente leves que ajudam a restaurar a circulação sanguínea e promovem a geração de osteoblastos e progenitores de osteoblastos, reduzindo assim o risco de hialinização, fator que contribui para o fenômeno de reabsorção radicular.

A maioria das áreas de reabsorção em dentes vitais foi observada no terço cervical, enquanto o terço apical é afetado principalmente em dentes tratados endodonticamente (ALSHAMMERY et al, 2021). O tratamento ortodôntico com alinhadores transparentes mostrou RRAE significativa, conforme indicado pela diferença pré/pós nos comprimentos radiculares. Provavelmente porque as forças

contínuas leves são percebidas como intermitentes pelo periodonto devido à natureza viscoelástica do ligamento periodontal e à aplicação de forças verticais durante a função e parafunção que resulta em reabsorção radicular (KOLCUOĞLU; OZ, 2020).

A análise de distribuição de reabsorção de seis superfícies dos dentes nas forças leves e pesadas, os alinhadores removíveis demonstraram maiores distribuições de reabsorção nos sentidos vestibulo-cervical e lingual-apical. Isso corresponde à pressão nessas duas regiões geradas pelos movimentos de inclinação dos dentes (BARBAGALLO et al, 2008).

Embora o número e a complexidade dos casos tratados com alinhadores ortodônticos continuam a aumentar, é impossível tratar todos os tipos de más oclusões com este sistema. Os alinhadores transparentes são convenientes nos casos de apinhamento leve a moderado, diastema, expansão posterior, intrusão de um ou dois dentes, casos de extração de incisivos inferiores e inclinação distal dos molares. Movimentos como extrusão, correção de rotações severas, verticalização de molares e fechamento de espaços residuais de extrações são conhecidos por serem mais desafiadores para realizar com alinhadores ortodônticos (TAMER; ÖZTAŞ; MARŞAN, 2019).

Segundo Li et al (2020) o problema potencial é que os alinhadores transparentes são geralmente usados em casos relativamente mais simples, no qual a reabsorção radicular pode ser menor. Portanto, seria indicado que os pacientes tratados com qualquer uma das técnicas apresentassem a mesma severidade de má oclusão, quantidade de movimentação dentária necessária e qualidade do resultado para tratamento, permitindo, assim, uma comparação mais fidedigna dos resultados.

A movimentação ortodôntica com alinhadores ortodônticos é normalmente limitada a leve inclinação, logo, um menor deslocamento apical (LAGRAVÈRE; FLORES-MIR, 2005; KRAVITZ et al, 2009; BARBAGALLO et al, 2008).

Gandhi et al (2021) em sua revisão sistemática, abordam que não há estudos avaliando reabsorção apical externa em casos de extração com alinhador removível. Baldwin e colaboradores (2008) justificam essa falta desse tipo de casos em tratamento com alinhadores porque esses ainda não são vistos como uma técnica totalmente madura para casos de extração.

O ensaio clínico randomizado paralelo feito por Toyokawa-Sperandio e colaboradores (2021) incluiu 40 pacientes com má oclusão Classe I de Angle e apinhamento moderado, randomizados em dois grupos: grupo de alinhadores

ortodônticos (n = 20, 160 incisivos) e grupo de aparelhos fixos (n = 20, 160 incisivos). Para avaliação do comprimento dentário, radiografias periapicais e medidas lineares padronizadas dos incisivos superiores e inferiores foram adquiridas antes (T0) e 6 meses após o início do tratamento (T1). A EARR foi calculada pela diferença de comprimento entre os dois momentos (T1-T0).

O tratamento com alinhadores ortodônticos e aparelhos fixos resultou em um grau semelhante de EARR nos incisivos superiores e inferiores aos 6 meses após o início do tratamento. No entanto, a quantidade de reabsorção foi pequena e não prejudica a longevidade do dente. As comparações intragrupo da EARR entre os dois momentos revelaram uma diferença significativa, com (T1-T0) variando de -0,52 a -0,88 mm no grupo aparelho fixo e de -0,52 a -0,85 mm no grupo alinhador ortodôntico. Nenhum dos grupos apresentou dentes com reabsorção maior ou igual a 1 mm. Esses resultados confirmaram os estudos de Iglesias-Linares et al. (2017) e Barbagallo et al (2008), os quais observaram que o tratamento com aparelho fixo e o tratamento com alinhador ortodôntico foram associados ao mesmo risco de desenvolvimento de EARR quando forças baixas foram aplicadas.

A maioria dos estudos foi limitada por fatores como a falta de um grupo controle, um desenho de estudo retrospectivo e resultados inteiramente baseados em radiografias panorâmicas. Conseqüentemente, as diferenças na EARR entre o tratamento com alinhadores ortodônticos e o tratamento com aparelhos fixos permanecem obscuras (TOYOKAWA-SPERANDIO et al, 2021).

Aman e colaboradores (2018) sugerem que estudos futuros avaliando a reabsorção radicular resultante da terapia com alinhadores transparentes devem avaliar a dentição completa. Seria prudente avaliar o tipo de acessórios usados, bem como os movimentos dentários específicos, como rotação, intrusão, extrusão, translação e torque para descobrir se algum desses fatores influencia a quantidade de reabsorção radicular. A quantidade de deslocamento apical que ocorre durante o tratamento pode estar associada à RRIIO, e seria útil estabelecer um método para quantificar de forma confiável o movimento dentário usando TCFC para que os efeitos do deslocamento apical possam ser analisados.

Um outro tópico de interesse para estudos futuros é se o tipo de alinhador tem uma influência variável na incidência e gravidade da reabsorção radicular. Existem vários fabricantes de alinhadores transparentes e as propriedades físicas dos materiais dos alinhadores variam de um fabricante para outro (AMAN et al, 2018).

## 6 CONCLUSÃO

A movimentação dentária induzida promove discreta reabsorção radicular, a qual cessa automaticamente quando da remoção da força aplicada. A morfologia radicular, especialmente do ápice, além da proporção coroa-raiz e forma da crista óssea alveolar, são fatores predisponentes de RRIIO. Logo, raízes dilaceradas ou em forma de pipeta são mais suscetíveis à reabsorção apical. A duração do tratamento ortodôntico, magnitude e tipo de força, bem como o tipo de aparelho também influenciam no grau de reabsorção radicular apical externa.

Nos pontos de concentração das forças ortodônticas aplicadas, observa-se maior propensão ao desenvolvimento de um processo de reabsorção radicular. Quando se aplica uma força de intrusão, praticamente toda pressão se concentrará no ápice radicular, favorecendo a ocorrência de reabsorção nesse local, a qual será mais acentuada conforme a anatomia radicular. Em comparação com a intrusão, o movimento extrusivo pode ser obtido mais facilmente, contudo pode gerar discreta reabsorção no terço cervical da raiz.

O tratamento ortodôntico realizado com alinhadores transparentes removíveis, conforme a maioria dos estudos sugerem, apresenta uma menor incidência de reabsorção radicular quando comparado ao tratamento convencional, o qual utiliza aparelho fixo, para a correção de más oclusões sem a necessidade de exodontias.

Mais pesquisas são necessárias para melhor avaliar a incidência e gravidade da reabsorção radicular após o uso desses aparelhos removíveis. Há falta de estudos prospectivos de qualidade, como ensaio clínico randomizado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUABARA, A. Biomechanical aspects of external root resorption in orthodontic therapy. **Med Oral Patol Oral Cir Bucal**, v. 12, n. 8, p. 610-613, 2007.
- ALDEERI, A. et al. Association of Orthodontic Clear Aligners with Root Resorption Using Three-dimension Measurements: A systematic review. **J Contemp Dent Pract**, v. 19, n. 12, p. 1559-1565, 2018.
- AL-QAWASMI, R.A. et al. Genetic predisposition to external apical root resorption. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 123, n. 3, p. 242-252, 2003.
- ALSHAMMERY, D.A. et al. Comparison of apical resorption of endodontically treated teeth before and after orthodontic movement with clear aligner: A preliminary radiometric study. **Saudi J Oral Sci**, v. 8, n. 3, p. 157-62, 2021.
- AMAN, C. et al. Apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners: A retrospective study using cone-beam computed tomography. **American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics**, v. 153, n. 6, p. 842-851, 2018.
- ARAS, B. et al. Physical properties of root cementum: part 23. Effects of 2 or 3 weekly reactivated continuous or intermittent orthodontic forces on root resorption and tooth movement: a microcomputed tomography study. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 141, n. 2, p. 29-37, 2012.
- BALDWIN, D.K. et al. Activation time and material stiffness of sequential removable orthodontic appliances. Part 3: premolar extraction patients. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 133, n. 6, p. 837–845, 2008.
- BALLARD, D.J. et al. Physical properties of root cementum: part 11. Continuous vs intermittent controlled orthodontic forces on root resorption. A microcomputed-tomography study. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 136, n. 1, p. 1-8; discussion 8-9, jul. 2009.
- BARBAGALLO, L.J. et al. Physical properties of root cementum: part 10. Comparison of the effects of invisible removable thermoplastic appliances with light and heavy orthodontic forces on premolar cementum. A microcomputed-tomography study. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 133, n. 2, p. 218-227, 2008.
- BECK, B.W.; HARRIS, E. F. Apical root resorption in orthodontically treated subjects: analysis of edgewise and light wire mechanics. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 105, n. 4, p. 350-361, 1994.
- BLUNDELL, H. L. et al. Predictability of overbite control with the Invisalign appliance. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 160, n. 5, p. 725-731, Nov 2021.

BOWMAN, S.J. Drastic plastic: enhancing the predict-ability of clear aligners editors. In: BERMAN, H.K.; SHROFF, B. (Eds). **Controversial Topics in Orthodontics: Can we reach consensus?** Michigan: University of Michigan, 2021. p. 219–249.

BREZNIAK, N.; WASSERSTEIN, A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part 1: The basic science aspects. **Angle Orthod**, v. 72, n. 2, p. 180-184, 2002a.

BREZNIAK, N.; WASSERSTEIN, A. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part 2: The clinical aspects. **Angle Orthod**, v. 72, n. 2, p. 175-179, 2002b.

BREZNIAK, N.; WASSERSTEIN, A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 1. Literature review. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 103, n. 1, p. 62-66, 1993a.

BREZNIAK, N.; WASSERSTEIN, A. Root resorption after orthodontic treatment: Part 2. Literature review. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 103, n. 2, p. 138-146, 1993b.

BRUDVIK, P.; RYGH, P. Root resorption beneath the main hyalinized zone. **Eur J Orthod**, v. 16, n. 4, p. 249–263, 1994.

CATTANEO, P.M.; DALSTRA, M.; MELSEN, B. Strains in periodontal ligament and alveolar bone associated with orthodontic tooth movement analyzed by finite element. **Orthod Craniofac Res**, v. 12, n. 2, p. 120-128, 2009.

CHENG, L.L. et al. Repair of root resorption 4 and 8 weeks after application of continuous light and heavy forces on premolars for 4 weeks: a histology study. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 138, n. 6, p. 727-734, dec. 2010.

CONSOLARO, A. O conceito de Reabsorções Dentárias ou as Reabsorções Dentárias não são multifatoriais, nem complexas, controvertidas ou polêmicas! **Dental Press J Orthod**, v. 16, n. 4, p. 19-24, 2011.

CONSOLARO, A. **Reabsorções dentárias: nas especialidades clínicas.** Maringá: Dental Press International, 2002.

CONSOLARO, A.; CONSOLARO, M.F.M-O. A reabsorção radicular ortodôntica é inflamatória, os fenômenos geneticamente gerenciados, mas não é hereditariamente transmitida. Sobre a identificação dos receptores P2X7 e CP-23. **R Dental Press Ortodon Ortop Facial**, v. 14, n. 4, p. 25-32, jul-ago. 2009.

CONSOLARO, A.; FRANSCISCHONE, T.R.G.; FURQUIM, L.Z. As reabsorções radiculares múltiplas ou severas não estão relacionadas a fatores sistêmicos, suscetibilidade individual, tendência familiar e predisposição individual. **Dental Press J Orthod**, v. 16, n. 1, p. 17-21, 2011.

CONSOLARO, A; MARTINS-ORTIZ, M. F. Hereditariedade e suscetibilidade à reabsorção radicular em Ortodontia não se fundamentam: erros metodológicos e interpretativos repetidamente publicados podem gerar falsas verdades. Análise crítica do trabalho de Al-Qawasmi et al.2 sobre a predisposição genética à reabsorção radicular de natureza ortodôntica. **R Dental Press Ortodon Ortop Facial**, v. 9, n. 2, p. 146-157, mar./abr. 2004.

COSTELLO, C.J. et al. The incidence and severity of root resorption following orthodontic treatment using clear aligners. **Australasian Orthodontic Journal**, v. 36, n. 2, p. 130-137, 2020.

DESHIELDS, R. A study of root resorption in treated Class II division I malocclusions. **Angle Orthod**, v. 39, p. 231-245, 1969.

DINDAROĞLU, F.; DOĞAN, S. Root Resorption in Orthodontics. **Turk J Orthod**, v. 29, n. 4, p. 103-108, 2016.

DUPAIX, R.B.; BOYCE, M.C. Finite strain behavior of poly(ethylene terephthalate) (PET) and poly(ethylene terephthalate)-glycol (PETG). **Journal Polymer**, v. 46, p. 4827-4838, 2005.

ELHADDAOUI, R. et al. Orthodontic aligners and root resorption: A systematic review. **International orthodontics**, v. 15, n. 1, p. 1–12, 2017.

ENGLISH, H. External apical root resorption as a consequence of orthodontic treatment. **J N Z Soc Periodontol**, v. 86, p. 17-23, 2001.

FANG, X; QI, R; LIU, C. Root resorption in orthodontic treatment with clear aligners: A systematic review and meta-analysis. **Orthod Craniofac Res**, n. 22, p. 4, p. 259-269, nov. 2019.

FRANSCISCHONE, T.R.C.G. **Reabsorção dentária: determinação de sua frequência em pacientes com endocrinopatias**. [Tese de Doutorado]. Bauru: USP, Faculdade de Odontologia; 2002.

FREITAS, J.C. et al. Long-term evaluation of apical root resorption after orthodontic treatment using peri-apical radiography and cone beam computed tomography. **Dental Press J Orthod**, v. 18, n. 4, p. 104-112, July-Aug. 2013.

FURQUIM, L.Z. **Perfil endocrinológico de pacientes ortodônticos com e sem reabsorções dentárias: correlação com a morfologia radicular e da crista óssea alveolar** [Tese de Doutorado]. Bauru: USP, Faculdade de Odontologia; 2002. 122p.

GANDHI, V. et al. Comparison of external apical root resorption with clear aligners and pre-adjusted edgewise appliances in non-extraction cases: a systematic review and meta-analysis. **European Journal of orthodontics**, v. 43, n. 1, p. 15-24, 2021.

GAY, G. et al. Root resorption in mandibular incisors during orthodontic treatment with Invisalign®: A Radiometric Study. **Iran J Ortho**, v. 12, n. 1, p. 1-6, Mar. 2017.

GIERIE, W.V. Clear aligner therapy: an overview. **Journal of Clinical Orthodontics**, v. 52, n. 12, p. 665-674, 2018.

HAN, G. et al. Root resorption after orthodontic intrusion and extrusion: an intra-individual study. **Angle Orthod**, 2005, v. 75, n. 6, p. 912-918, 2005.

HARRY, M.R.; SIMS, M.R. Root resorption in bicuspid intrusion. A scanning electron microscope study. **Angle Orthod**, v. 52, n. 3, p. 235-358, Jul. 1982.

HARTSHORNE, J.; WERTHEIMER, M.B. Emerging insights and new developments in clear aligner therapy: a review of the literature. **AJO-DO Clinical Companion**, 2022.

HELLSING, E.; HAMMARSTROM, L. The hyaline zone and associated root surface changes in experimental orthodontics in rats: a light and scanning electron microscope study. **European Journal of Orthodontics**, v. 18, n. 1, p. 11-18, 1996.

HORIUCHI, K.; HOTOKEZAKA, H.; KOBAYASHI, K. Correlation between cortical plate proximity and apical root resorption. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 114, n. 3 p. 311-318, 1998.

IGLESIAS-LINARES, A. et al. Orthodontically induced external apical root resorption in patients treated with fixed appliances vs removable aligners. **Angle Orthod**, v. 87, n. 1, p. 3-10, jan. 2017.

JÄGER, A. et al. Soluble cytokine receptor treatment in experimental orthodontic tooth movement in the rat. **Eur J Orthod**, v. 27, n. 1, p. 1-11, 2005.

KADUSKAR, A.; KANADE, A. Evolution of the efficiency and predictability of clear aligner therapy: a narrative review. **International Journal of Current Research**, v. 12, Issue 08, p.13074-13079, 2020.

KASPER, F.K. 3D printing applications in clear aligner fabrication editor. In: BAYIRLI, B. (Ed.). **Embracing Novel Technologies in Dentistry and Orthodontics**. Ann Arbor: Deep Blue, University of Michigan, 2020. p.7-21.

KESLING, H D. Coordinating the predetermined pattern and tooth positioner with conventional treatment. **American journal of orthodontics and oral surgery**, v. 32, p. 285-293, 1946.

KILLIANY, D.M. Root resorption caused by orthodontic treatment: review of literature from 1998 to 2001 for evidence. **Progress in Orthodontics**, v.3, n. 1, p. 2-5, jan. 2002.

KOHDA, N. et al. Effects of mechanical properties of thermoplastic on the initial force of thermoplastic appliances. **Angle Orthod**, v. 83, n. 3, p. 476-483, 2013.

KOLCUOĞLU, K.; OZ, A.Z. Comparison of orthodontic root resorption of root-filled and vital teeth using micro-computed tomography. **The Angle orthodontist**, v. 90, n. 1, p. 56-62, 2020.

- KRAVITZ, N.D. et al. How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 135, n. 1, p. 27-35, 2009.
- KRISHNAN, V.; DAVIDOVITCH, Z. On a path to unfolding the biological mechanisms of orthodontic tooth movement. **J Dent Res**, v. 88, n. 7, p. 597-608, 2009.
- KUNDAL, S.; SHOKEEN, T. Aligners: the science of clear orthodontics. **International Journal of Dental and Medical Specialty**, v. 7, Issue 1, p. 38-42, Jan-Jun 2020.
- LAGRAVÈRE, M.O; FLORES-MIR, C. The treatment effects of Invisalign orthodontic aligners: a systematic review. **J Am Dent Assoc**, v. 136, n. 12, p. 1724-1729, 2005.
- LE NORCY, E; LAUTROU, A; LE GOLF, C. Orthodontically-induced root resorption factors; review of the literature. **Int Orthod**, v. 3, p. 129-40, 2005.
- LEVANDER, E.; MALMGREN, O. Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment: a study of upper incisors. **European journal of Orthodontics**, v. 10, n. 1, p. 30-38, 1988.
- LEVANDER, E.; MALMGREN, O.; STENBACK, K. Apical root resorption during orthodontic treatment of patients with multiple aplasia: a study of maxillary incisors. **European Journal of Orthodontics**, v. 20, n. 4, p. 427-434, Aug. 1998.
- LI, Y. et al. Prevalence and severity of apical root resorption during orthodontic treatment with clear aligners and fixed appliances: a cone beam computed tomography study. **Progress in Orthodontics**, v. 21, n. 1, p. 1, Jan. 2020.
- LOWNEY, J.J. et al. Orthodontic forces increase tumor necrosis factor alpha in the human gingival sulcus. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 108, n. 5, p. 519-524, Nov. 1995.
- LUND, H. et al. Apical root resorption during orthodontic treatment. A prospective study using cone beam CT. **Angle Orthod**, v. 82, n. 3, p. 480-487, 2012.
- MALMGREN, O. et al. Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth. **Am J Orthod**, v. 82, n. 6, p. 487-491, Dec. 1982.
- METCALF, Taylor. **Comparison of external apical root resorption in Class I subjects treated with Invisalign and conventional orthodontics A CBCT analysis**. [A Thesis Presented to the Faculty of Graduate Education of Saint Louis University]. Saint Louis: Saint Louis University, 2016.
- MOTOKAWA, M. et al. Association between root resorption incident to orthodontic treatment and treatment factors. **European Journal of Orthodontics**, v. 34, n. 3, p. 350-356, Jun. 2012.
- NAKAGAWA, N. et al. Rank is the essential signaling receptor for osteoclast differentiation factor in osteoclastogenesis. **Biochem Biophys Res Commun**, v. 253, n. 2, p. 395-400, Dec. 1998.

NEWMAN, W.G. Possible etiologic factors in external root resorption during orthodontic treatment. **European Journal of Orthodontics**, v. 5, n. 3, p. 195-198, 1983.

OWMAN-MOLL, P. Orthodontic tooth movement and root resorption with special reference to force magnitude and duration. A clinical and histological investigation in adolescents. Review. **Swedish Dental Journal**, Suppl., v. 105, p. 1-45, 1995.

OWMAN-MOLL, P.; KUROL, J. The early reparative process of orthodontically induced root resorption in adolescents - location and type of tissue. **European Journal of Orthodontics**, v. 20, n. 6, p. 727-732, 1998.

OWMAN-MOLL, P.; KUROL, J.; LUNDGREN, D. Time-related root resorption after application of a controlled continuous orthodontic force. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 110, n. 3, p. 303-310, 1996.

PAPADIMITRIOU, A. et al. Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: a systematic review. **Progress in orthodontics**, v. 19, n. 37, p. 1-24, 2018.

PARKER, R.J.; HARRIS, E.F. Directions of orthodontic tooth movements associated with external apical root resorption of the maxillary central incisor. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 114, n. 6, p. 677-683, 1998.

POCIOT, F. et al. A TaqI polymorphism in the human interleukin-1 beta (IL-1 beta) gene correlates with IL-1 beta secretion in vitro. **Eur J Clin Invest**, v. 22, n. 6, p. 396-402, 1992.

PONITZ, R. J. Invisible retainers. **American journal of orthodontics**, v. 59, n. 3, p. 266-272, 1971.

PUTRINO, A.; BARBATO, E.; GALLUCCIO, G. Clear aligners: between evolution and efficiency-a scoping review. **Int J Environ Res Public Health**, v. 18, n. 6, p. 2870, 2021.

REGO, M.V.N. et al. Reabsorção radicular e tratamento ortodôntico: mitos e evidências científicas. **J Bras Ortodon Ortop Facial**, v. 9, n. 51, p. 292-309, 2004.

REITAN, K. Some factors determining the evaluation of forces in orthodontics. **Am J Orthod**, v. 43, n. 1, p. 32-45, 1957.

ROSSINI, G. et al. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. **Angle Orthod**, v. 85, n. 5, p. 881-889, Sep. 2015.

SAMESHIMA, G.T.; ASGARIFAR, K.O. Assessment of root resorption and root shape: periapical vs panoramic films. **Angle Orthod**, v. 71, n. 3, p. 185-189, jul. 2001.

SAMESHIMA, G.T.; SINCLAIR, P.M. Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 119, n. 5, p. 505-510, 2001.

SHERIDAN, J.J.; LEDOUX, W.; MCMINN, R. Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. **Journal of clinical orthodontics**, v. 27, n. 1, p. 37-45, 1993.

SILVA FILHO, O.G.; BERRETA, E.C.; CAVASSAN, A.O. Estimativa da reabsorção radicular em 50 casos ortodônticos bem finalizados. **Ortodontia**, v. 26, n. 1, p. 24-37, 1993.

SMALE, I. et al. Apical root resorption 6 months after initiation of fixed orthodontic appliance therapy. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v 128, n. 1, p. 57-67, 2005.

TAMBURRINO, F. et al. Mechanical properties of thermoplastic polymers for aligner manufacturing: in vitro study. **Dentistry Journal**, v. 8, n. 2, p. 47, 2020.

TAMER, İ; ÖZTAŞ, E.; MARŞAN, G. Orthodontic Treatment with Clear Aligners and The Scientific Reality Behind Their Marketing: A Literature Review. **Turk J Orthod.** v. 32, n. 4, p. 241-246, 2019.

TARTAGLIA, G.M. et al. Direct 3D Printing of Clear Orthodontic Aligners: Current State and Future Possibilities. **Materials (Basel)**, v. 4, n.7, p. 1799, 2021.

TOYOKAWA-SPERANDIO, K.C. et al. External apical root resorption 6 months after initiation of orthodontic treatment: A randomized clinical trial comparing fixed appliances and orthodontic aligners. **Korean J Orthod**, v. 51, n. 5, p. 329-336, 2021.

WELTMAN, B. et al. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. **Am J Orthod Dentofacial Orthop**, v. 137, n. 4, p. 462-476, discussion 12A, 2010.

YI, J. et al. External apical root resorption in non-extraction cases after clear aligner therapy or fixed orthodontic treatment. **J Dent Sci**, v. 13, n. 1, p. 48-53, mar. 2018.