

CÉSAR HENRIQUE FUKUJI FUZIY

**Estudo comparativo da força produzida por deflexão
em placas de alinhadores.**

Araçatuba – SP

2024

CÉSAR HENRIQUE FUKUJI FUZIY

**Estudo comparativo da força produzida por deflexão
em placas de alinhadores.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Faculdade de Odontologia de Araçatuba da Universidade Estadual Paulista (UNESP), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Cirurgião-Dentista.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Rogério de Mendonça

Araçatuba – SP

2024

*A Evelyn Fukuji Fuziy, minha mãe,
ao Acácio Fuziy, meu pai, ao Gabriel
Fukuji Fuziy, meu irmão, e a Mileni
Buzo Souza, minha namorada, as
pessoas que sempre me apoiaram e que
representam o meu porto seguro e a
razão da minha felicidade, dedico este
trabalho, o qual tanto me esforcei, a
vocês, com muito carinho.*

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, que enriqueceu e abençoou meu entorno com uma família e amigos incríveis, que me forneceu todas as ferramentas para tornar este sonho possível e que nunca me abandonou, quer seja nos momentos de tristeza ou de felicidade. Sou eternamente grato.

À **minha mãe**, Evelyn Fukuji Fuziy, a mulher mais gentil, esforçada e forte que eu já conheci. Com você eu aprendi os primeiros passos da vida e, posteriormente, aprendi a ser uma pessoa melhor. Aprendi a ter mais paciência, a ser mais grato, a amar mais e me esforçar mais em relação aos meus objetivos. A senhora é um exemplo para mim e para o Gabriel, não poderíamos ter uma mãe melhor. Mãe, você é um presente de Deus na minha vida, o qual serei eternamente grato. Te amo, mãe.

Ao **meu pai**, Acácio Fuziy, o meu maior exemplo e o meu herói. Pai, agradeço por tudo o que o senhor já fez por mim, pela minha mãe e pelo meu irmão, pela nossa família. Agradeço por toda paciência, por todo esforço e por todo ensinamento que o senhor deu na minha criação. Desde pequeno quis ser igual ao senhor e seguir o seu caminho, em 2019 dei meu primeiro passo e hoje dou mais um em sua direção. Prometo que deixarei você, a mãe e o Gabi muito orgulhosos. Pai, você é um presente de Deus na minha vida, o qual serei eternamente grato. Te amo, pai.

Ao **Gabriel Fukuji Fuziy**, meu irmãozinho e meu melhor amigo. Gabi, agradeço pelo companheirismo de sempre, pelos momentos compartilhados e, acima de tudo, por sempre estar ao meu lado quando eu precisei. Agradeço a Deus por ter me dado um irmão tão bondoso, inteligente, esforçado e são paulino, com quem sempre dividi momentos de felicidade e tristeza. Saiba que em mim, você sempre terá um ombro amigo. Te amo, Gabi.

À **minha namorada**, Mileni Buzo Souza, a pessoa com o coração mais puro que eu já conheci. Mileni, te agradeço por ser a minha companheira, por cuidar tão bem de mim e por sempre estar ao meu lado, nos momentos de felicidade e de tristeza, independentemente. Hoje, na data que estou escrevendo, faz dois anos que você transformou a minha vida para melhor, através de muito amor e carinho. A cada dia que passa agradeço a Deus por ter

cruzado os nossos caminhos e a cada dia passado meu amor por você cresce. Te amo muito, Mi.

A **minha família**, que sempre me apoiou e incentivou a buscar o melhor e o sucesso, que nunca mediu esforços para me ver feliz, continuarei dando o meu melhor, por vocês. Agradeço e dedico a vocês este trabalho.

Ao **Professor Doutor Marcos Rogério de Mendonça**, meu orientador de Iniciação Científica e Treinamento Técnico. Eu me recordo, em 2019, o senhor foi o primeiro professor da FOA com quem tive contato, já no final de 2021, o senhor me acolheu no departamento de Ortodontia. Desde então, agradeço por todo ensinamento e oportunidades que o senhor me deu, sempre levarei isto no coração. Eu sou grato por ter tido um orientador tão profissional, paciente, sábio e, acima de tudo, tão humano. Professor, com o senhor aprendi muito sobre a Ortodontia e sobre a Odontologia em geral, além disso, aprendi com o senhor lições que levarei para toda a minha vida. Professor Rogério, hoje, o senhor representa para mim não somente um orientador e professor, mas também um amigo. Seja qual for o futuro reservado para mim, sempre me recordarei do senhor com muito carinho. Dedico a você, este trabalho, o qual coloquei muito esforço.

A **“Prof. Dani”**, Professora Doutora Daniela Micheline dos Santos, minha professora de Prótese Parcial Fixa e integrante da banca avaliadora. Professora Dani, agradeço a senhora por todo ensinamento e oportunidade que a senhora já me ofereceu. Sou grato por ter feito parte da sua ala na disciplina de Protése Parcial Fixa em 2023, penso que 99% do fato de eu ter gostado das disciplinas de prótese foi por influência sua, afinal, a senhora possui o dom de inspirar nós, alunos. Admiro a profissional que a senhora é e também a pessoa que a senhora é, eu a tenho como um dos maiores exemplos profissional e pessoal. Muito obrigado!

Ao **Professor Celso Koogi Sonoda**, meu professor de Clínica Integrada e integrante da banca avaliadora. Professor Celso, agradeço ao senhor por toda paciência, conversas e conselhos e ensinamentos que o senhor me proporcionou nas clínicas da disciplina de Clínica Integrada. Gostaria de agradecer, em nome dos alunos da FOA, por todos esses anos de profissão, o qual o senhor executa com extrema excelência. Penso que todo aluno deveria passar um período em sua ala da clínica, pois eu aprendi muito com a sua

experiência, tanto em relação a vida clínica, mas, também, em relação a vida pessoal. É um prazer imenso ser seu aluno, professor.

Aos **meus amigos “Biscoito”, “Cain”, “Pedro FOA”, “Rod”, “Vector” e “Yas”**, agradeço pela amizade, companheirismo e irmandade. Com vocês, vivi muitos momentos felizes durante o nosso tempo de graduação e alguns momentos tristes também, porém, independentemente da situação, vocês sempre estiveram comigo, ao meu lado. E, por isso, serei extremamente grato. Dedico a vocês, este trabalho, o qual me esforcei muito.

Aos **meus amigos de Araçatuba**, carrego cada um de vocês no coração. Com vocês, aprendi muita coisa, amadureci e vivi momentos que estão guardados no meu coração. Viver longe de casa é difícil, há momentos que você se sente sozinho, mas vocês nunca me deixaram eu me sentir assim, sempre me completaram. Amo vocês e sempre os levarei comigo, a cada lugar que eu for.

Aos **meus amigos de Marília**, que desde pequenos estamos juntos. Agradeço pela amizade e irmandade de todos estes anos. Agradeço por sempre me receberem de braços abertos quando voltava para Marília. Prezo muito pela nossa amizade e fico extremamente feliz que não perdemos contatos, somente aumentamos nossos laços. Dedico este trabalho a vocês,

Às **minhas duplas da faculdade**, Vinicius, Mileni, Caio, Pedro, Guilherme e Rodrigo. Agradeço pela paciência, respeito e parceria que todos tiveram comigo e também agradeço pelos ensinamentos, pois por cada dupla que passei, levei muito aprendizado comigo. Vocês foram extremamente importantes para mim. Foi um prazer dividir momentos de felicidade e aprendizado com vocês.

À **minha sogra e cunhado**, Cirley e Higor. Agradeço por todo amor e carinho, sempre me tratando muito bem quando visitava Santa Salete e fazendo questão de sempre ver a Mileni e eu felizes. Tenham certeza que vocês foram extremamente importantes durante o meu período da graduação. Agradeço também por todos os momentos divertidos e engraçados em Santa Salete. Muito obrigado!

À **Faculdade de Odontologia De Araçatuba**, FOA-UNESP. Aqui aprendi os valores profissionais e pessoais que me acompanharão pelo resto da minha vida. Aqui eu conheci o amor da minha vida. Aqui eu fiz grandes amizades. Eu

devo tudo à FOA e é o meu maior orgulho ter o meu nome na sua história. Muito obrigado FOA, muito obrigado UNESP, espero futuramente me qualificar para retribuir pelo menos um pouco de tudo o que me foi proporcionado.

À empresa Orthometric, por ceder o laboratório de engenharia para a realização dos ensaios. Em especial, a Taisa e Renan, que acompanharam a realização do experimento.

RESUMO

Fuziy, C.H.F. **Estudo comparativo da força produzida por deflexão em placas de alinhadores.** 2024. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2024.

A estética é um fator determinante no cenário atual da Ortodontia, implicando em uma grande preocupação dos pacientes em relação ao tratamento ortodôntico de escolha. Embora os alinhadores apresentem uma grande adesão, a literatura ainda se mostra escassa em relação às respostas mecânicas destes aparelhos. Logo, o objetivo deste trabalho foi avaliar a força produzida após a deflexão das placas de alinhadores. A amostra foi constituída por 30 corpos de provas de placas de alinhadores, de 35,0 mm comprimento, 6,0mm de largura e espessura variando entre 0,6 mm e 0,8 mm. Para o teste de deflexão foram utilizados 6 grupos (n=30), divididos em: Grupo 1 - Biotrack; Grupo 2 - Great Lakes; Grupo 3 - Ortho Mundi; Grupo 4 - Forestadent; Grupo 5 – Zendura Flx; Grupo 6 - Bioart. O Teste de Curvatura de Três Pontos foi realizado com uma máquina de ensaio universal para medir a força produzida em grama-força por deflexão. A curva de força-ativação foi medida a partir da posição passiva para uma ativação de deflexão de 0,25mm até 1,4 mm. Os dados obtidos foram submetidos a teste de normalidade para o estabelecimento da melhor análise estatística, considerando-se $p < 0,05$. Para análise estatística, os resultados foram submetidos ao teste ANOVA e, complementar a ele, submetidos ao Teste de Tukey. Considerando-se a força produzida, os grupos 3, 4 e 6 resultaram em forças leves em deflexões de 0,25 mm e 0,5mm. Os grupos 1, 2 e 5 evidenciaram as maiores magnitudes de forças nas deflexões de 0,25mm e 0,5 mm. Concluiu-se que a magnitude de força produzida aumenta com a deflexão realizada, independentemente do tipo de placa e deve ser considerada nos movimentos dentários.

Palavras-chave: Aparelhos Ortodônticos Removíveis, Ortodontia, Materiais Dentários, Ortodontia Corretiva.

ABSTRACT

Fuziy, C.H.F. **Comparative study of the force produced by deflection in aligner plates.** 2024. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade de Odontologia de Araçatuba, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2024.

Aesthetics is a determining factor in the current orthodontic scenario, implying that patients are very concerned about the orthodontic treatment of choice. Although aligners are widely used, the literature is still scarce on the mechanical responses of these appliances. Therefore, the aim of this study was to evaluate the force produced after aligner deflection. For standardization purposes, the sample consisted of 30 test specimens of aligner plates, 35.0 mm long, 6.0 mm wide and varying in thickness between 0.6mm and 0.8mm. Six groups (n=30) will be used for the deflection test: Group 1 - Biotrack; Group 2 - Great Lakes; Group 3 - Ortho Mundi; Group 4 - Forestadent; Group 5 – Zendura Flx; Group 6 - Bioart. The Three-Point Bend Test was carried out using a universal testing machine to measure the force produced in gram-force by deflection. The force-activation curve was measured from the passive position for a deflection activation of 0.25 mm to 1.4 mm. The data obtained was subjected to a normality test to establish the best statistical analysis, considering $p < 0.05$. For statistical analysis, the results were subjected to the ANOVA test and, in addition, Tukey's test. Considering the force produced, groups 3, 4 and 6 resulted in slight forces at deflections of 0.25 mm and 0.5 mm. Groups 1, 2 and 5 showed the highest magnitudes of force at deflections of 0.25 mm and 0.5 mm. It was concluded that the force level produced increases with the deflection performed, regardless of the type of the aligner plate and must be considered in tooth movement.

Keyword: Orthodontic Appliances, Removable, Orthodontics, Dental Materials, Orthodontics, Corrective.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 - **A** Paquímetro Digimess utilizado para mensurar a espessura das placas de alinhadores. **B** Conferência da espessura da placa de alinhador com paquímetro de precisão. 23
- FIGURA 2 - Máquina de corte e gravação a laser CO2, modelo L1210. 24
- FIGURA 3 - **A** Placa de alinhador e corpo de prova. **B** Comprimento de 35,0 mm do corpo de prova. **C** Largura de 6,0mm do corpo de prova. 25 e 26
- FIGURA 4 – Conferência da planicidade da placa após recorte. 26
- FIGURA 5 - Plataforma de apoio para ensaio de curvatura de 3 pontos segundo normativa ISO. 27
- FIGURA 6 - Corpo de prova adaptado na plataforma de apoio para iniciar ensaio. 28
- FIGURA 7 - Cuba contendo água a 37° C para a realização do ensaio de curvatura de 3 pontos. A plataforma de apoio encontra-se inserida na cuba. 29
- FIGURA 8 - Máquina de ensaio universal EMIC empregada nos ensaios de deflexão das placas. 30

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Medidas das forças (gf) produzidas pela deflexão de 0,25mm. DP (Desvio Padrão).	32
TABELA 2 - Medidas das forças (gf) produzidas pela deflexão de 0,50mm. DP (Desvio Padrão).	32
TABELA 3 - Medidas das forças (gf) produzidas pela deflexão de 1,0mm. DP (Desvio Padrão).	32
TABELA 4 - Medidas das forças (gf) produzidas pela deflexão de 1,4mm. DP (Desvio Padrão).	33
TABELA 5 - Resumo dos resultados (força em gf) dos modelos de ANOVA para a deflexão de 0,25mm.	36
TABELA 6 - Resumo dos resultados (força em gf) dos modelos de ANOVA para a deflexão de 0,5mm.	36
TABELA 7 - Resumo dos resultados (força em gf) dos modelos de ANOVA para deflexão de 1,0mm.	37
TABELA 8 - Resumo dos resultados (força em gf) dos modelos de ANOVA para a deflexão de 1,4mm.	37

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - Média e desvio padrão dos grupos submetidos à deflexão de 0,25mm.	33
GRÁFICO 2 - Média e desvio padrão dos grupos submetidos à deflexão de 0,5mm.	34
GRÁFICO 3 - Média e desvio padrão dos grupos submetidos à deflexão de 1,0mm.	34
GRÁFICO 4 - Média e desvio padrão dos grupos submetidos à deflexão de 1,5mm.	35

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Descrição das placas utilizadas.

22

LISTA DE ABREVIATURAS

CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
GF	Grama-Força
PC	Policarbonato
PET-G	Polietileno Tereftalato Glicol
TPU	Poliuretanos Termoplásticos

SUMÁRIO

1. Introdução.....	16
2. Objetivo	20
3. Materiais e Métodos	21
3.1 Material.....	21
3.2 Formação dos grupos de estudo	21
3.3 Conferência da espessura das placas.....	22
3.4 Corpos de provas.....	24
3.5 Teste de deflexão	26
3.6 Calibração do examinador	30
3.7 Análise estatística.....	30
4. Resultados.....	32
5. Discussão.....	38
6. Conclusão.....	43

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A movimentação dentária induzida para correção de más oclusões pode ser realizada por vários métodos terapêuticos: aparelhos fixos metálicos ou estéticos, aparelhos removíveis com grampos de retenção e alinhadores. Os fatores fundamentais para o sucesso do tratamento ortodôntico são resultados da combinação entre o diagnóstico correto, a elaboração de um plano de tratamento exequível e o uso de aparelhos eficientes que permitam ao ortodontista alcançar os resultados almejados.

No contexto da Ortodontia, os pilares fundamentais para um tratamento bem sucedido são o diagnóstico correto e preciso, a elaboração de um plano de tratamento racional e a escolha do método para executar este plano de tratamento, ou seja, o tipo de aparelho. Desta forma, este trabalho tem sua atenção voltada para o terceiro item dos pilares.

Em relação aos aparelhos, todos devem respeitar os princípios biológicos e mecânicos, entretanto, a evolução tecnológica e o desenvolvimento de novos materiais provocaram grandes transformações no cenário ortodôntico. Segundo Ziuchkovski et al. (2008), os métodos convencionais de tratamento ortodôntico têm sido relacionados com o comprometimento da aparência facial relacionada aos tipos de aparelho utilizados [1] e, conseqüentemente, levando à uma grande preocupação entre os pacientes, a procura de tratamento ortodôntico com aparelhos mais discretos [2]. Portanto, novos materiais ortodônticos como bráquetes estéticos e linguais, juntamente aos “alinhadores invisíveis” foram introduzidos no mercado, buscando alternativas aos materiais ortodônticos convencionais [3]. Neste contexto, os alinhadores têm apresentado uma crescente demanda na esfera ortodôntica e entre os pacientes, devido às suas propriedades estéticas e à melhoria na sua eficácia clínica [4].

Os alinhadores são aparelhos ortodônticos termoplásticos removíveis que permitem o alinhamento dentário por meio do planejamento realizado por um ortodontista, utilizando como ferramenta o planejamento digital efetuado com o emprego de *softwares* específicos para cada marca comercial de alinhador [5]. Este tipo de método ortodôntico é caracterizado por uma série de etapas, objetivando a correção da má oclusão dentária.

Para o tratamento com alinhadores, os pacientes recebem das mãos do ortodontista uma série de placas que foram confeccionadas de acordo com o planejamento digital. Em média, essas placas devem ser utilizadas no mínimo 20 horas por dia e as trocas são programadas em média a cada 15 dias. A cada substituição de placas, o ortodontista realiza os ajustes necessários segundo o planejamento e na dependência da colaboração do paciente.

A força ortodôntica é aplicada nos dentes sequencialmente, até a movimentação dentária para a posição esperada [6,7]. Os alinhadores aplicam forças sobre os dentes induzidas pela deformação elástica do material do alinhador, mediante a diferença existente entre o formato do alinhador e a posição dentária (coroa dentária), promovendo, assim, a movimentação dos dentes para a posição desejada [8]. Entretanto, esta força ortodôntica aplicada pelos alinhadores sofre uma diminuição gradual ou até mesmo fica nula dentro de um período médio de 14 dias, o que leva à necessidade de uma tecnologia eficaz para a avaliação das forças, com o intuito de detectar as alterações de sua magnitude [9].

A primeira ideia em relação ao tratamento ortodôntico por meio de alinhadores foi creditada a Kesling (1946), que empregou um aparelho de posicionamento dentário para aperfeiçoar as fases finais de tratamento ortodôntico. Este dispositivo permitiu a correção de más oclusões suaves por meio de pequenas movimentações dentárias localizadas, ao passo que o restante do arco dentário permanecia alinhado [10,11]. Posteriormente, Nahoum [12], Ponitz [13], McNamara [14] e Sheridan [15] escreveram acerca de diferentes tipos de aparelhos precursores aos alinhadores, denominados posicionadores.

Em 1998, uma empresa americana denominada *Align Technology* apresentou ao mercado ortodôntico o sistema com nome comercial *Invisalign®* [16]. Este foi o marco inicial da produção comercial e prescrição dos alinhadores em larga escala, devido a introdução do sistema *computer-aided design* (CAD) e *computer-aided manufacturing* (CAM) na Ortodontia [4,17]. Isto contribuiu para reduzir a complexidade técnica para a confecção analógica e manual de outros sistemas de alinhadores e para evoluir o planejamento do tratamento utilizando tal aparelho [4].

A partir da introdução do *Invisalign*®, outras marcas surgiram no mercado ortodôntico, expandindo a opção de escolha de tratamento para os pacientes e, por conseguinte, aumentando a acessibilidade do tratamento com os alinhadores invisíveis.

Atualmente, os sistemas de alinhadores evoluíram em relação aos sistemas pioneiros. Diferentemente dos sistemas convencionais de bráquetes, o desempenho biomecânico dos alinhadores é influenciado por vários fatores: 1) propriedades do material [18], 2) ativação [19], 3) espessura [20], 4) formato [21], 5) grau de cooperação do paciente, 6) atuação de métodos auxiliares [22], 7) diferentes *designs* de *attachments* e novos materiais, proporcionando aos aparelhos alinhadores a produção de movimentos planejados em menor tempo e com maior eficácia, beneficiando assim o planejamento, o tratamento, os resultados com sistemas alinhadores e satisfação dos pacientes [23, 24]. Posto isto, pode-se afirmar que os aparelhos alinhadores, na atualidade, têm sido utilizados para o tratamento de diversas más oclusões [11, 25, 26].

Os aparelhos alinhadores são fabricados por intermédio de materiais termoplásticos, entre eles: polipropileno, policarbonato (PC), poliuretanos termoplásticos (TPU), acetato de vinil etileno e o Polietileno Tereftalato Glicol (PET-G) [27]. O PET-G é utilizado em diversos produtos, cujas características estéticas, excelente flexibilidade, formabilidade, alta força mecânica e resistência ao impacto, associado à sua característica de transparência, o tornaram o material ideal para a produção de aparelhos alinhadores [5, 28, 29, 30, 31]. O PET-G possui características mecânicas viscoelásticas [23,32]. Isto implica que, diferentemente dos materiais elásticos, deforma quando submetido à tensão e, conseqüentemente, perde a sua característica mecânica com o tempo de uso. Este fenômeno é conhecido como relaxamento da tensão, e tem como resultante a perda da capacidade de movimentar o dente com o passar do tempo, causando uma imprevisibilidade na quantificação de forças ortodônticas que o material produz [33]. Logo, é imprescindível que o alinhador, durante o seu tempo de trabalho, não sofra deformações excessivas e permanentes, visto que a força que o material exerce é diretamente relacionada com o seu formato particular [5]. Portanto, é fundamental que o alinhador seja trocado em média a cada 14 dias, resultando em um tratamento mais efetivo [9, 34].

Como todo aparelho ortodôntico, é um requisito conhecer as propriedades mecânicas relacionadas aos sistemas usados. Uma das características é a força exercida em resposta à quantidade de ativação, e no caso específico dos alinhadores a força exercida em resposta da deformação que as placas são submetidas. Em 2021, Ranjan et al. [33] realizaram um trabalho, cujo objetivo foi estudar a liberação de tensão e as propriedades mecânicas dos alinhadores. Neste estudo, foram utilizadas três marcas de materiais diferentes com dez corpos de provas cada uma, e foram submetidas a uma carga de deflexão, possibilitando realizar a análise dos fatores estudados. Contudo, as dúvidas sobre a força produzida não foram totalmente esclarecidas.

Considerando a importância dos alinhadores na Ortodontia contemporânea, a literatura ainda se mostra escassa em relação às respostas mecânicas destes aparelhos, motivo pelo qual justifica-se a realização deste trabalho de pesquisa. Desta forma, a hipótese nula a ser testada é que as forças produzidas pelas placas de alinhadores de diferentes marcas e espessuras não são diferentes.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo foi avaliar a força produzida pelos alinhadores em relação a sua deflexão em ensaio laboratorial.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os ensaios de deflexão foram realizados no laboratório de Engenharia da empresa Orthometric, Marília, São Paulo, Brasil. Neste estudo, 6 marcas de materiais alinhadores termoplásticos disponíveis comercialmente foram escolhidos.

As marcas comerciais das placas dos alinhadores termoplásticos, bem como suas espessuras foram: Biotrack 0,75mm (Ortho E-motion Indústria e Comércio de Produtos Médicos Odontológicos Ltda), Great Lakes 0,75mm (Great Lakes Dental Technologies), Ortho Mundi 0,75mm (Ortho Mundi), Forestadent 0,6mm (FORESTADENT- Bernhard Foerster Gmb), Zendura Flx 0,75mm (Bay Materials LLC) e Bioart 0,8mm (Bio-art Equipamentos Odontológicos Ltda). Todas as placas apresentavam o PET-G como material de composição.

3.2 Formação dos grupos de estudo

Para o teste de deflexão utilizaram-se 6 grupos (n=30): Grupo 1- Biotrack; Grupo 2 - Great Lakes; Grupo 3 - Ortho Mundi; Grupo 4 - Forestadent; Grupo 5 - Zendura Flex; Grupo 6 - Bioart. As especificações em relação aos fabricantes e dimensões são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Descrição das placas utilizadas.

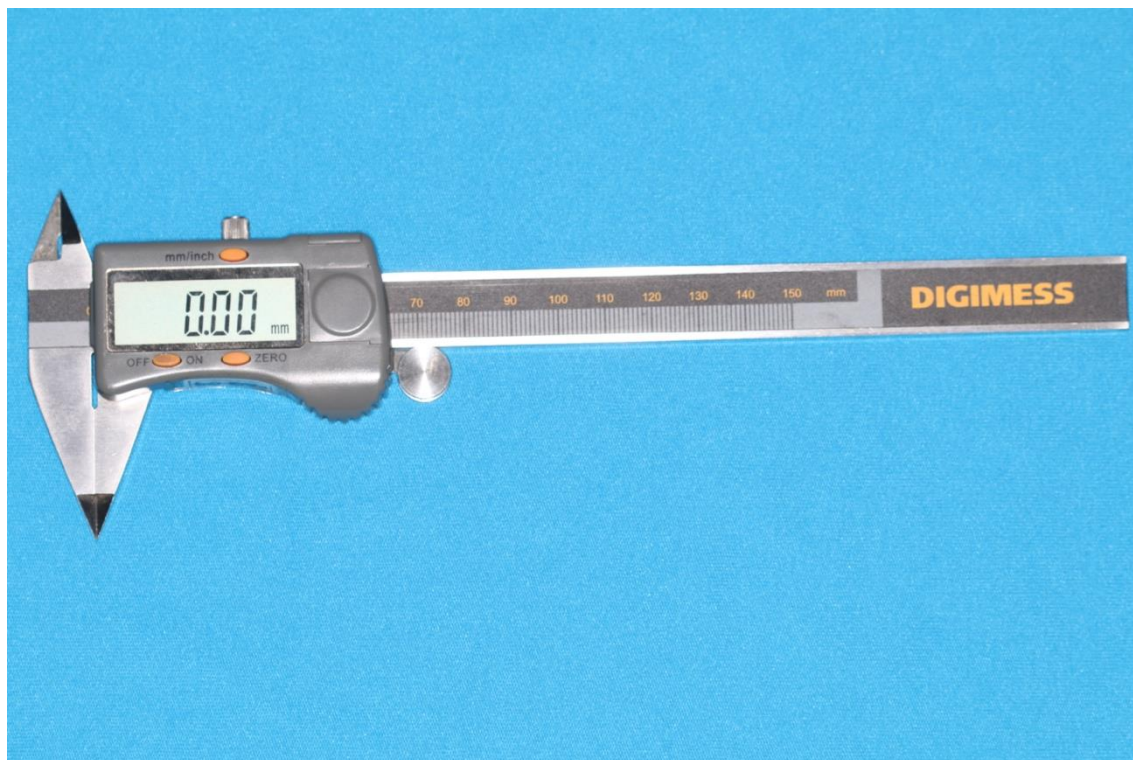
Grupo	Marca	Espessura	Empresa	Local de fabricação
1	Biotrack	0,75 mm	Ortho E-motion Indústria e Comércio de Produtos Médicos Odontológicos Ltda	Marília – São Paulo – Brasil
2	Great Lakes	0,75 mm	Great Lakes Dental Technologies	Tonawanda - Nova Iorque- EUA
3	Ortho Mundi	0,75 mm	Ortho Mundi	Porto Alegre – Rio Grande do Sul – Brasil
4	Forestadent	0,60 mm	FORESTADENT- Bernhard Foerster Gmb	Pforzheim - Baden-Württemberg – Germany
5	Zendura Flx	0,75 mm	Bay Materials LLC	Fremont – Califórnia – EUA
6	Bioart	0,80 mm	Bio-art Equipamentos Odontológicos Ltda	São Carlos – São Paulo – Brasil

Fonte: Autor, 2024

3.3 Conferência da espessura das placas

As placas foram conferidas com um paquímetro digital modelo Digimes (Z Measure Soluções Metrológicas- Marília, São Paulo, Brasil), calibrado quanto a sua precisão em 19/12/2022. Desse modo, todos os 6 grupos foram testados e calibrados com relação a espessura. (Figuras 1A e 1B).

Figura 1 A - Paquímetro Digimesse utilizado para mensurar a espessura das placas de alinhadores.



Fonte: Autor, 2024

Figura 1 B - Conferência da espessura da placa de alinhador com paquímetro de precisão.



Fonte: Autor, 2024

3.4 Corpos de provas

Para a realização dos ensaios, inicialmente as placas foram posicionadas na mesa da máquina de corte e gravação a laser de CO₂- potência 90-130W, modelo L1210, (ECNC Máquinas CNC Laser e Router, Garça, São Paulo, Brasil).

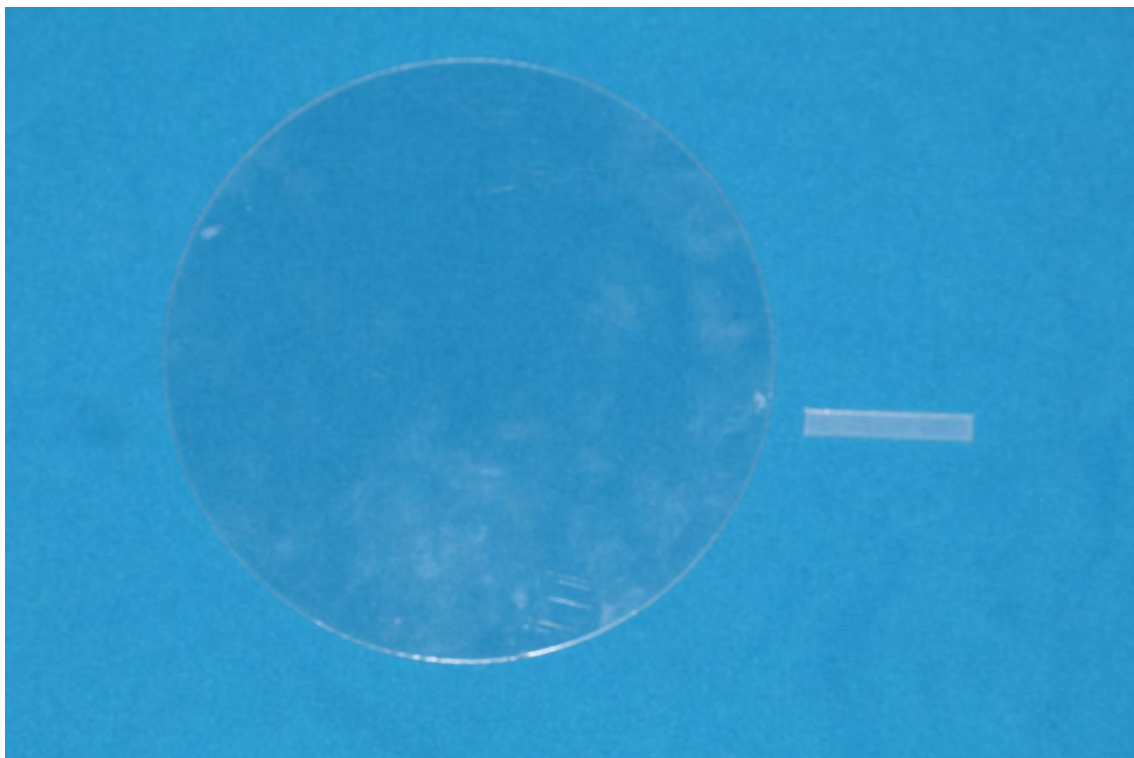
Figura 2 - Máquina de corte e gravação a laser CO₂, modelo L1210.



Fonte: Autor, 2024

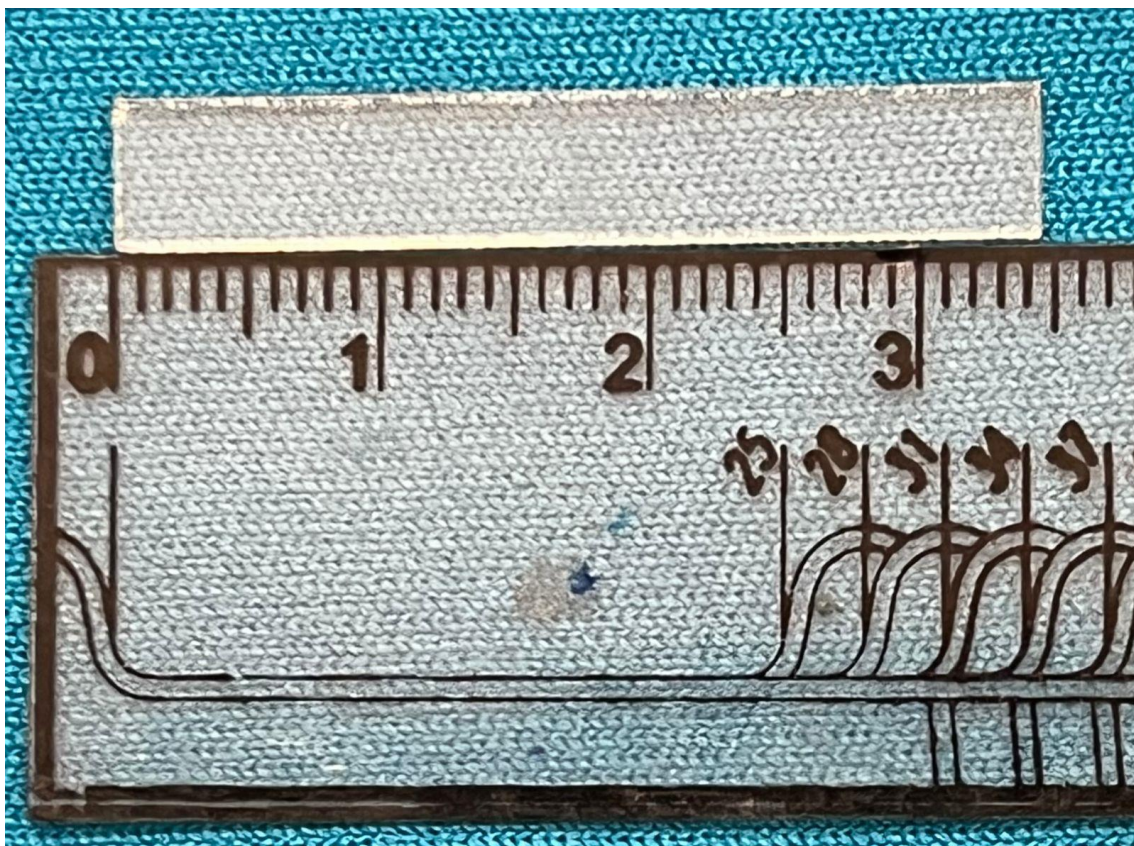
Os parâmetros de comprimento e largura foram estabelecidos e a máquina realizou o corte na dimensão planejada de 35,0 mm de comprimento e 6,0 mm de largura (Figuras 3A, 3B e 3C) e as espessuras analisadas foram: 0,6mm, 0,75mm e 0,8mm. Após o corte em dimensão estabelecida, a planicidade dos corpos foi avaliada, colocando-os sobre uma placa de vidro (Figura 4). Os corpos de provas foram separados e dispostos em embalagens por um operador não participante da pesquisa e identificados apenas por números de 1 a 6.

Figura 3 A - Placa de alinhador e corpo de prova.



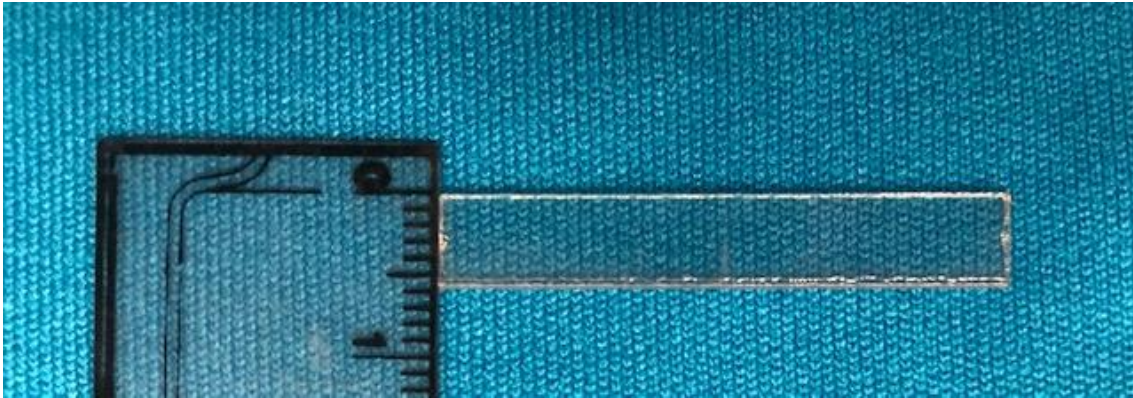
Fonte: Autor, 2024

Figura 3B- Comprimento de 35,0 mm do corpo de prova.



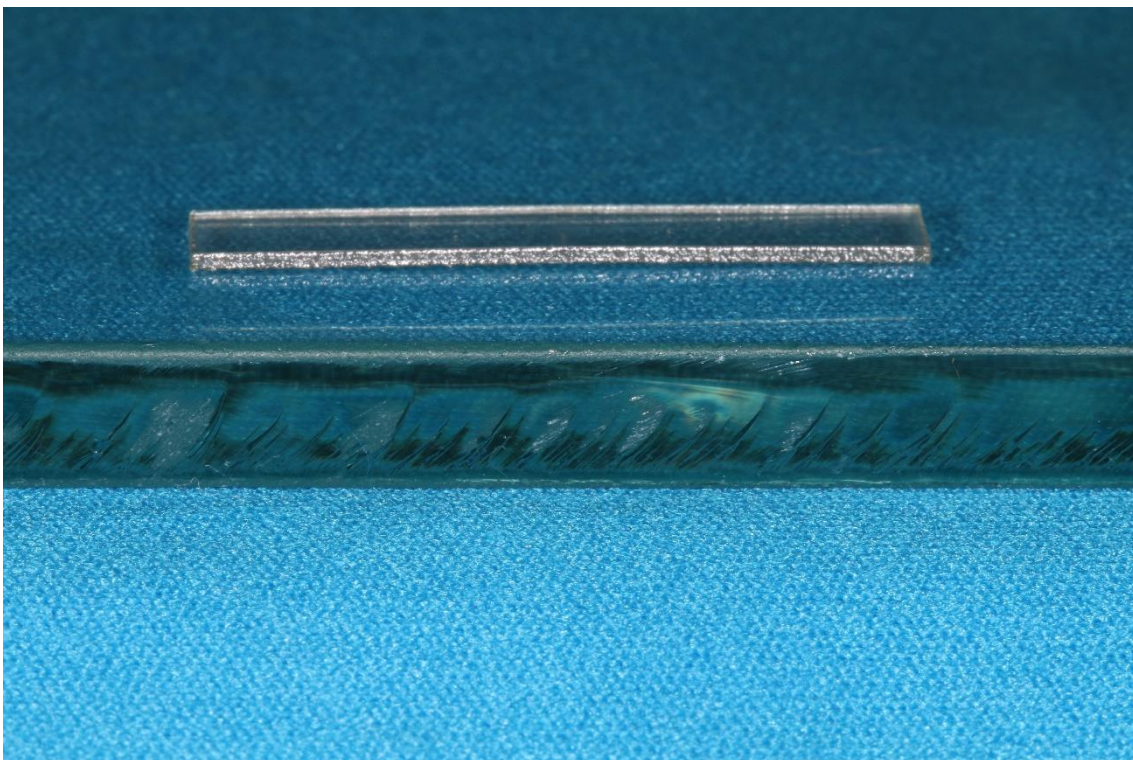
Fonte: Autor, 2024

Figura 3C- Largura de 6,0mm do corpo de prova.



Fonte: Autor, 2024

Figura 4 – Conferência da planicidade da placa após recorte.



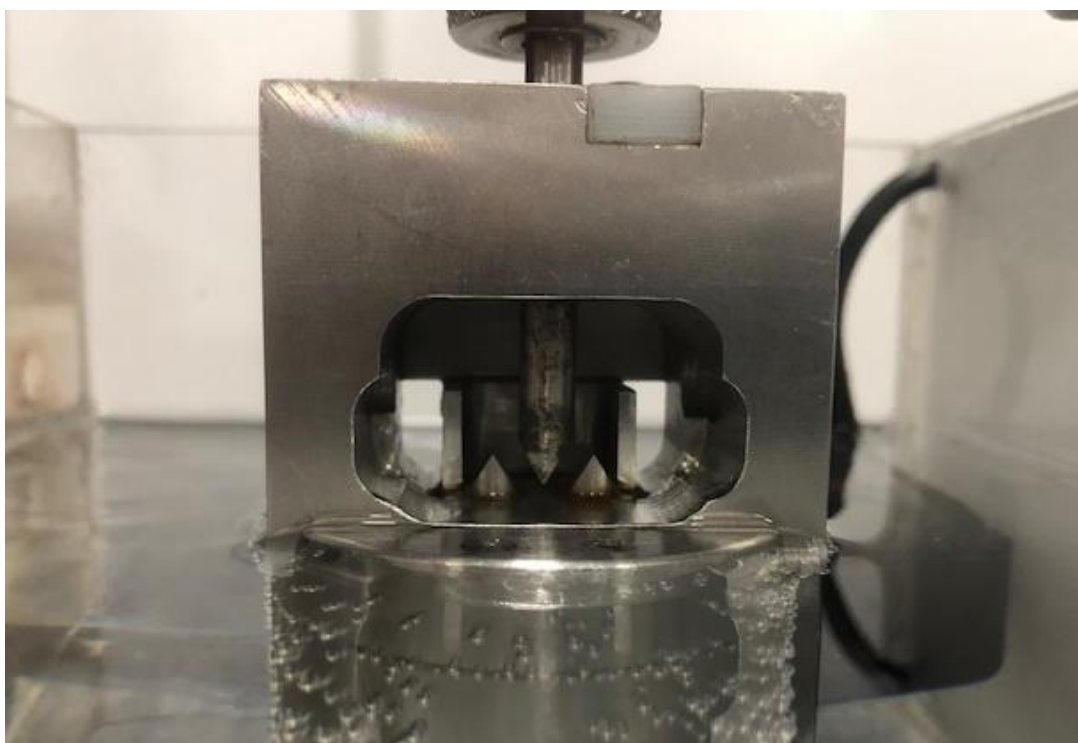
Fonte: Autor, 2024

3.5 Teste de Deflexão

O teste de deflexão seguiu a norma ISO 15.841:2006 - Dentistry Wires for use in Orthodontics (International Organization for Standardization), normativa que padroniza a condução de testes laboratoriais para fios ortodônticos, segundo o Teste de Curvatura de 3 Pontos.

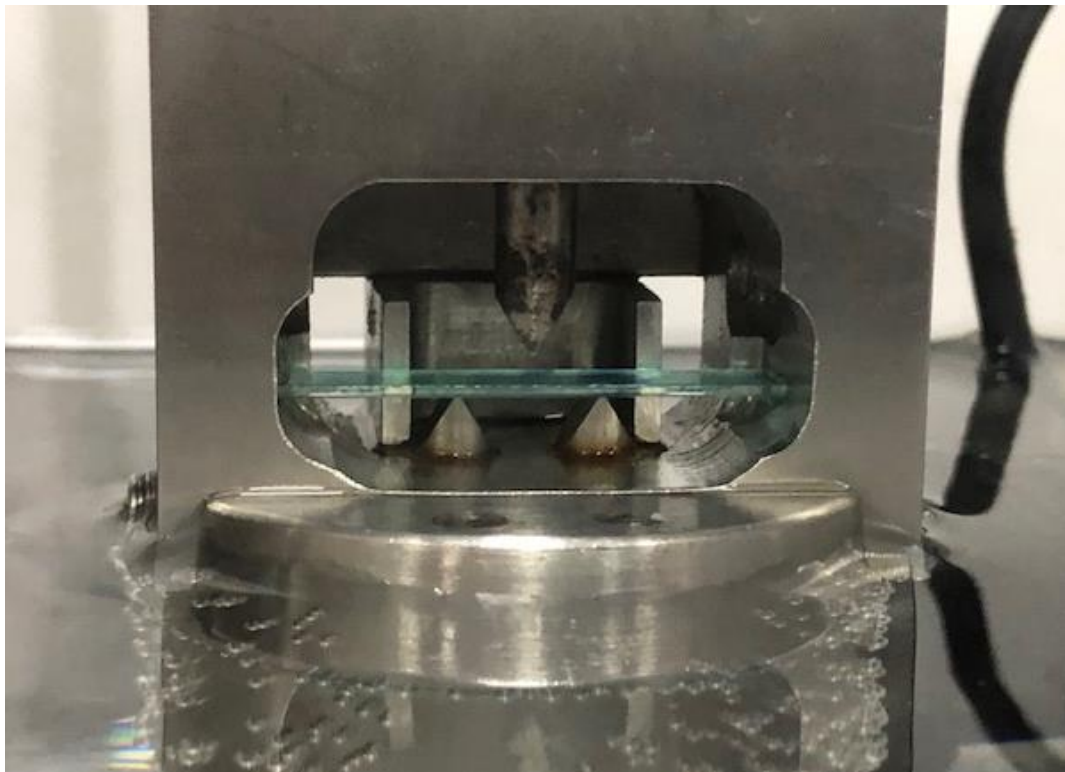
Para o teste de deflexão foi utilizado um dispositivo fabricado em aço inoxidável com 40mm de comprimento e 20mm de altura, fixado a uma plataforma transversal, contendo duas hastes verticais distantes 10mm entre si, que constitui em uma plataforma de apoio para o corpo de prova para incidência da célula de carga (Figuras 5 e 6).

Figura 5 - Plataforma de apoio para ensaio de curvatura de 3 pontos segundo normativa IOS.



Fonte: Autor, 2024

Figura 6 - Corpo de prova adaptado na plataforma de apoio para iniciar ensaio.



Fonte: Autor, 2024

O ensaio foi realizado em uma cuba contendo água e em temperatura controlada de 37°C (Figura 7), na qual foi inserida a plataforma de apoio de corpo de prova. O dispositivo apresentava um orifício central por onde deslizava a ponta do cinzel da máquina de ensaio e que incidia verticalmente sobre a placa de alinhador para a execução do teste de curvatura de 3 pontos.

Figura 7- Cuba contendo água a 37° C para a realização do ensaio de 3 pontos. A plataforma de apoio encontra-se inserida na cuba.



Fonte: Autor, 2024

Para a deflexão do corpo de prova, utilizou-se a máquina de ensaio universal EMIC DL 2000 (Equipamentos e Sistemas de Ensaios Ltda, São José dos Pinhais, PR) (Figura 8), com uma carga de 20 N e velocidade de 0,5 mm/min. A curva de força-ativação foi medida a partir da posição passiva para uma ativação de deflexão de 0,25mm, 0,5mm, 1,0mm e 1,4 mm, e na sequência retornando à posição inicial de descarregamento. Os valores em grama-força foram registrados e armazenados no software da máquina de ensaio.

Figura 8- Máquina de ensaio universal EMIC empregada nos ensaios de deflexão das placas.



Fonte: Autor, 2024

As curvas de carga-deflexão com os valores convertidos em N foram criadas e comparadas em programa de Excel (Microsoft Corporation, Redmond Wash).

3.6 Calibração do examinador

O operador da máquina de ensaio universal foi previamente calibrado para realização do experimento.

3.7 Análise Estatística

Foi realizada análise exploratória de dados por meio de medidas resumo (média, desvio padrão, mínimo, mediana e máximo) e construção de gráficos (gráficos 1, 2, 3 e 4). Os dados obtidos foram submetidos a um teste para avaliação da distribuição da normalidade, sendo esta considerada adequada.

Em seguida, foram desenhados modelos de ANOVA, seguidos do teste de comparações múltiplas de Tukey, foram usados para comparar as forças resultantes das deflexões das placas de alinhadores. O nível de significância adotado foi de 5%. O software empregado na realização da análise estatística foi o programa Prism (GraphPad, Boston, EUA).

4 RESULTADOS

As tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentam os valores encontrados para as médias, desvios padrões, mínimos, medianas e máximas das forças produzidas pelos seis grupos de placas de alinhadores submetidos à deflexão de 0,25mm, 0,5mm, 1,0mm e 1,4mm, respectivamente.

Tabela 1 – Medidas das forças (gf) produzidas pela deflexão de 0,25mm. DP (Desvio Padrão).

	GRUPO	N	MÉDIA	DP	MÍNIMO	MEDIANA	MÁXIMA
Força 0,25mm	Grupo 1	5	1.134	0.437	0.678	0.9369	1.685
	Grupo 2	5	14.42	0.5035	13.97	14.37	15.26
	Grupo 3	5	17.64	7.798	5.723	19.41	26.08
	Grupo 4	5	20.27	6.995	14.46	18.64	31.48
	Grupo 5	5	74.72	28.37	38.57	81.56	112.1
	Grupo 6	5	15.91	1.899	12.72	16.60	17.72

Fonte: Autor, 2024

Tabela 2 – Medidas das forças (gf) produzidas pela deflexão de 0,50mm. DP (Desvio Padrão).

	GRUPO	N	MÉDIA	DP	MÍNIMO	MEDIANA	MÁXIMA
Força 0,5mm	Grupo 1	5	185.2	4.463	179.5	184	191.2
	Grupo 2	5	166.6	32.69	127.6	152.5	204.1
	Grupo 3	5	199.9	21.63	161.4	208.1	213.4
	Grupo 4	5	213.8	17.02	190.2	221.1	232.7
	Grupo 5	5	313.3	18.02	293.7	313.6	331.8
	Grupo 6	5	38.47	14.73	27.01	33.34	63.77

Fonte: Autor, 2024

Tabela 3 – Medidas das forças (gf) produzidas pela deflexão de 1,0mm. DP (Desvio Padrão).

	GRUPO	N	MÉDIA	DP	MÍNIMO	MEDIANA	MÁXIMA
Força 1,0mm	Grupo 1	5	760.1	34.65	722.9	752.6	803.8
	Grupo 2	5	615.4	17.46	597.3	608.9	642.9
	Grupo 3	5	680.9	19.75	656.3	691.4	697.5
	Grupo 4	5	694.3	25.05	654.2	706.3	717.5
	Grupo 5	5	752	15.18	731.2	752	772.1
	Grupo 6	5	866.8	137.6	649.7	880.9	1032

Fonte: Autor, 2024

Tabela 4 – Medidas das forças (gf) produzidas pela deflexão de 1,4mm. DP (Desvio Padrão).

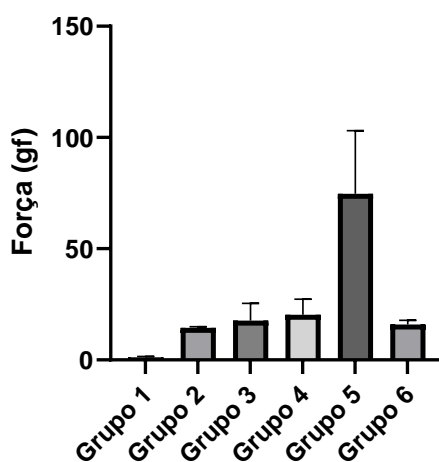
	GRUPO	N	MÉDIA	DP	MÍNIMO	MEDIANA	MÁXIMA
Força 1,4mm	Grupo 1	5	1273	57.03	1217	1264	1345
	Grupo 2	5	1011	22.04	991	1009	1047
	Grupo 3	5	1099	24.27	1072	1108	1124
	Grupo 4	5	1114	27.19	1070	1125	1138
	Grupo 5	5	1203	24.18	1175	1199	1242
	Grupo 6	5	1561	214.9	1222	1588	1810

Fonte: Autor, 2024

Os gráficos 1, 2, 3 e 4 apresentam médias das forças e desvio padrão produzidas pelos seis grupos de placas de alinhadores submetidos à deflexão de 0,25mm, 0,5mm, 1,0mm e 1,4mm, respectivamente.

Gráfico 1 – Média e desvio padrão dos grupos submetidos à deflexão de 0,25mm.

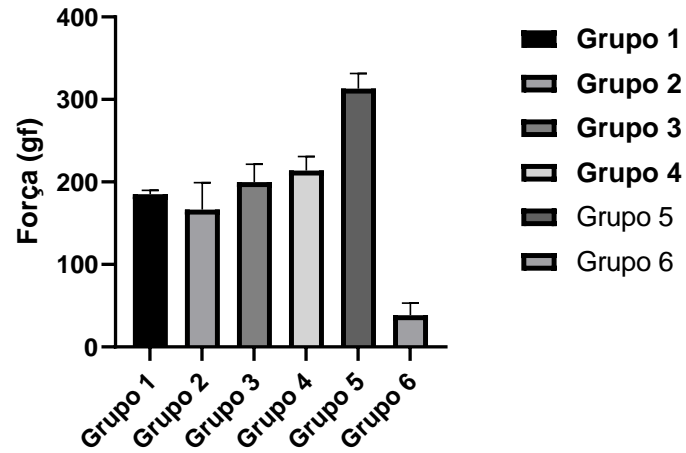
Média e Desvio Padrão dos Grupos Submetidos à Deflexão de 0,25mm



Fonte: Autor, 2024

Gráfico 2 – Média e desvio padrão dos grupos submetidos à deflexão de 0,5mm.

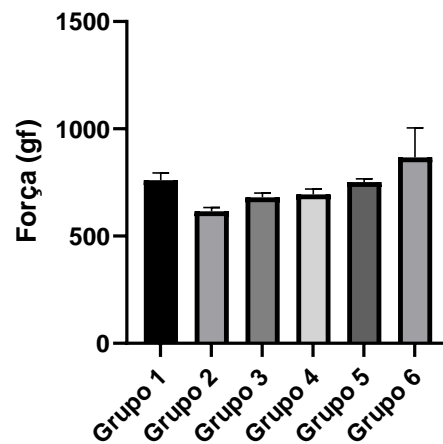
Média e Desvio Padrão dos Grupos Submetidos à Deflexão de 0,5mm



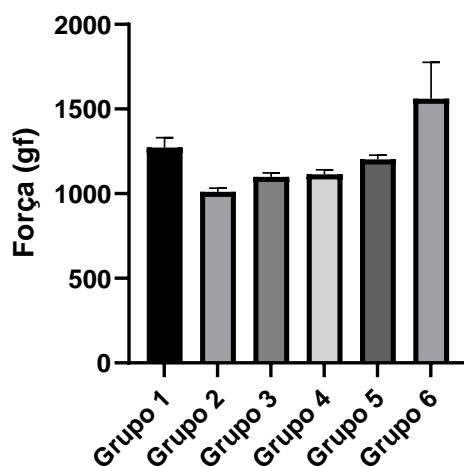
Fonte: Autor, 2024

Gráfico 3 – Média e desvio padrão dos grupos submetidos à deflexão de 1,0mm.

Média e Desvio Padrão dos Grupos Submetidos à Deflexão de 1,0mm



Fonte: Autor, 2024

Gráfico 4 – Média e desvio padrão dos grupos submetidos à deflexão de 1,4mm.**Média e Desvio Padrão dos Grupos Submetidos à Deflexão de 1,4mm**

Fonte: Autor, 2024

Para avaliar a força resultante da deflexão das placas de alinhadores foi usado um modelo de ANOVA, sendo observada a existência de diferenças nos valores de força mensurados, em nível de significância de $p < 0,05\%$.

As Tabelas 5, 6, 7 e 8 evidenciam o resumo dos resultados encontrados pela deflexão de 0,25mm, 0,5mm, 1,0mm e 1,4mm respectivamente, por meio do teste estatístico ANOVA. Em cada tabela, apresenta-se o resultado da comparação entre as forças resultantes das deflexões de diferentes placas de alinhadores. Para facilitar a visualização das diferenças entre as distintas placas de alinhadores, as médias foram colocadas em ordem decrescente e, ao lado, foram colocadas letras para identificar as diferenças, as médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, em nível de 5% de significância por meio do teste de Tukey.

Considerando a Tabela 5, tem-se um resumo das médias de forças encontradas como consequência da força de deflexão de 0,25mm. Observa-se que as placas do grupo 5 diferiram estatisticamente dos demais grupos, sendo o grupo que resultou em maiores forças obtidas. As placas dos grupos 4, 3, 6, 2 e 1 não diferiram estatisticamente entre si, sendo as que apresentaram na sequência menor magnitude da força, representando os grupos com menores forças observadas, em ordem decrescente.

Tabela 5 – Resumo dos resultados (força em gf) dos modelos de ANOVA para a deflexão de 0,25 mm.

Grupos	Média	Resultado
Grupo 5	74.72	A
Grupo 4	20.27	B
Grupo 3	17.64	Bc
Grupo 6	15.91	Bcd
Grupo 2	14.42	Bcde
Grupo 1	1.136	Bcdef

Fonte: Autor, 2024

A Tabela 6 evidencia um resumo dos resultados encontrados como consequência da força de deflexão de 0,5mm. Nota-se que as placas do grupo 5 diferiram estatisticamente dos demais grupos, sendo o grupo que resultou em maior força obtida. As placas dos grupos 4, 3 e 1 não diferiram estatisticamente entre si, sendo as que apresentaram na sequência maior magnitude da força. Os grupos 3 e 1 não diferiram estatisticamente na força resultante comparado aos grupos 2. O grupo 6 diferiu estatisticamente dos demais grupos, representando o grupo com menor força observada.

Tabela 6 – Resumo dos resultados (força em gf) dos modelos de ANOVA para a deflexão de 0,5 mm.

Grupos	Média	Resultado
Grupo 5	313.3	A
Grupo 4	213.8	B
Grupo 3	199.9	Bc
Grupo 1	185.2	Bcd
Grupo 2	166.6	Cde
Grupo 6	38.47	F

Fonte: Autor, 2024

A tabela 7 evidencia um resumo dos resultados encontrados como consequência da força de deflexão de 1,0mm. Portanto, as placas do grupo 6 são as que resultaram em maiores forças obtidas e diferiram estatisticamente dos demais grupos. As placas dos grupos 1, 5, 4 e 3 não diferiram estatisticamente entre si. Já o grupo 2 não diferiu estatisticamente dos grupos 4 e 3, representando os grupos com menores forças observadas.

Tabela 7 – Resumo dos resultados (força em gf) dos modelos de ANOVA para a deflexão de 1,0 mm.

Grupos	Média	Resultado
Grupo 6	866.8	A
Grupo 1	760.1	B
Grupo 5	752	Bc
Grupo 4	694.3	Bcd
Grupo 3	680.9	Bcde
Grupo 2	615.4	Def

Fonte: Autor, 2024

Analisando a Tabela 8, tem-se as médias das forças produzidas pela deflexão das placas de alinhadores em 1,4mm. Observa-se que as placas do grupo 6 são as que resultaram em maiores forças observadas e diferiram estatisticamente quando comparadas as placas dos outros grupos. As placas do grupo 1, 5 e 4 não diferiram estatisticamente entre si. Os grupos 5, 4, 3 e 2 não diferiram estatisticamente na força resultante, representando os grupos com menores forças obtidas.

Tabela 8 – Resumo dos resultados (força em gf) dos modelos de ANOVA para a deflexão de 1,4 mm.

Grupos	Média	Resultado
Grupo 6	1561	A
Grupo 1	1273	B
Grupo 5	1203	Bc
Grupo 4	1114	Bcd
Grupo 3	1099	Cde
Grupo 2	1011	Cdef

Fonte: Autor, 2024

5 DISCUSSÃO

A movimentação dentária é um processo complexo que envolve a aplicação de forças prolongadas aos dentes, com o intuito de induzir sua mobilidade, que ocorrerá conforme o osso, ao redor do dente, se remodela [35]. Assim sendo, compreender de forma precisa os mecanismos associados a este fenômeno é fundamental para o êxito nos tratamentos ortodônticos [36] e para reduzir ao mínimo os efeitos colaterais indesejados [37,38]. É indiscutível que as forças ortodônticas desempenham um papel crucial na movimentação dentária, portanto diversos estudos científicos têm se dedicado a investigar os princípios biomecânicos envolvidos nesse processo [35-43].

As forças ortodônticas são aplicadas aos dentes por meio de aparelhos ortodônticos, e a magnitude dessas forças são essenciais e cuidadosamente planejadas para alcançar os objetivos do tratamento [35]. Atualmente, é notória a grande aceitação do uso dos aparelhos alinhadores pelos ortodontistas, sendo empregados no tratamento ortodôntico de diversos tipos de má oclusão [16, 44, 45]. No entanto, destoando da evolução e ascensão dos alinhadores no cenário atual da Ortodontia, existe uma escassez de trabalhos científicos em relação ao estudo da força produzida pelos alinhadores resultante da força de deflexão, o que justificou a realização do presente estudo laboratorial.

A observação de que tanto a magnitude de força quanto a sua distribuição no ligamento periodontal nos diferentes tipos de movimentos pode ser respaldada pela literatura [35]. Os movimentos de inclinação, mostram que a aplicação da força é alta no ligamento e, portanto, exigem forças leves 35-60gf. Na translação, o limite ideal de força deve ser 70-120gf. Para a rotação, verifica-se que a inclinação ocorre conjuntamente, sendo que a magnitude de força deve ser de 35-60gf. Nos movimentos verticais de extrusão e intrusão, aplica-se, respectivamente, forças de 35-60 gf e 10-20 gf [35]. Assim sendo, é de fundamental importância conhecer a magnitude da força produzida pela deflexão de placas de alinhadores e se a mesma é adequada aos movimentos dentários.

No presente estudo, com o intuito de avaliar as propriedades mecânicas dos alinhadores, foi empregado o teste de carga-deflexão, que fornece

informação referente as forças produzidas pelos alinhadores quando submetidos às forças de deflexões. Para tal, foi utilizado o teste de curvatura de 3 pontos, que segue a ISO 15.841:2006, que é o modelo de ensaio amplamente utilizado para estudar as propriedades mecânicas observadas na deflexão em fios ortodônticos [46, 47, 48]. Buscando uma melhor análise acerca da força produzida pelos alinhadores, foram propostas quatro deflexões, sendo elas: 0,25mm, 0,5mm, 1,0mm e 1,4mm. As deflexões foram analisadas levando-se em conta a fase do tratamento nas quais estão indicadas, sua eficiência e riscos biológicos para o osso alveolar, ligamento periodontal e raízes.

Para a deflexão de 0,25mm, o maior nível de força foi verificado no grupo 5, sendo ela 74.72 grama-força (gf), com diferença estatisticamente significativa em relação aos demais grupos. Os grupos que apresentaram os menores valores de força foram os grupos 4, 3, 6, 2 e 1, apresentando 20.27, 17.64, 15.91, 14.42 e 1.136 gf, respectivamente, não havendo diferença estatística entre os grupos. Esta deflexão tem sua aplicação em situações nas quais necessitam de pequenos deslocamentos dentários, como por exemplo re-tratamentos ou correção de menores problemas de alinhamento e nivelamento [49-52]. Do ponto de vista clínico são situações que requerem forças suaves para o equilíbrio entre o deslocamento dentário e baixo risco biológico [41-43]. Desta forma considera-se que as forças geradas pelo grupo 5 são excessivas, e por outro lado as forças geradas pelo grupo 1, apesar de suaves, não são eficientes. De acordo com Proffitt, não atingem o mínimo necessário para os objetivos desta fase [35]. Neste contexto, pode-se especular que o grupo 1 apresenta força aquém do desejado, o grupo 5 muito intensa e os grupos 2, 3, 4 e 6 forças muito próximo do ideal.

Analisando o grupo de deflexão 0,5mm, observou-se diferença estatisticamente significativa para o grupo 5, sendo o que apresentou a maior magnitude de força, 313.3 gf. Os grupos 4, 3 e 1 mostraram forças de 213.8, 199.9 e 185.2 gf, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. Os grupos 3, 1 e 2 (com força de 166.6 gf) não evidenciaram diferenças estatísticas. Em relação ao menor nível de força, foi creditado ao grupo 6, apresentando 38.47 gf. Esta deflexão tem sua aplicação na fase de alinhamento e nivelamento,

onde há necessidade do equilíbrio da magnitude da força, a flexibilidade do aparelho e o risco biológico [49-51]. Desta forma, considera-se que as forças geradas pelos grupos 5, 4, 3, 1 e 2 são excessivas, e por outro lado a força produzida pelo grupo 6 é mais adequada. De acordo com Proffitt, os movimentos de translação e correção radicular exigem a aplicação de magnitudes de força mais elevadas, respectivamente de 70-120gf e 50-100 gf [35], portanto, os grupos 5, 4, 3, 1 e 2 são consideradas excessivas e o grupo 6 com magnitude aquém ao requerido para os tipos de movimento.

Em relação ao grupo de deflexão 1,0mm, o grupo que mostrou a maior magnitude de força foi o grupo 6, com 866.8 gf, sendo estatisticamente diferente aos demais. Os grupos 1 (760.1 gf), 5 (752 gf), 4 (694.3 gf) e 3 (680.9 gf), não diferiram entre si. Os grupos 4, 3 e 2 (615.4 gf) não evidenciaram diferenças estatisticamente significantes e apresentaram as menores magnitudes de forças. Considerando-se os tipos de movimentos dentários e as magnitudes de forças ideais para a sua realização, a deflexão de 1,0mm para todas as placas resultaram em forças excessivas e, portanto, inadequadas [35,41-43, 53-54].

No que concerne o grupo de deflexão 1,4mm, o grupo 6 evidenciou a maior magnitude de força, de 1561 gf, sendo estatisticamente diferente dos demais grupos. Os grupos 1, 5 e 4 apresentaram, respectivamente, 1273, 1203 e 1114 gf foram considerados estatisticamente iguais. Complementando, os grupos 5, 4, 3 (1099 gf) e 2 (1011 gf) não diferiram entre si. Os níveis de força observados na deflexão de 1,4mm em todos os grupos podem ser considerados como excessivos para todos os tipos de movimentos dentários e, por conseguinte, não devem ser empregados clinicamente [35,41-43, 53-54].

Compete ressaltar que o tempo sugerido para as trocas dos alinhadores é de 15 dias, pode-se se determinar que as magnitudes de forças leves de 10, 25 e 50 gf acarretam movimento expressivamente superior ao que é determinado por 100gf [55]. Decorrido 28 dias, a magnitude de força de 10 gf resulta em quantidade de movimento maior e que forças pesadas provocam reabsorções radiculares [55]. A aplicação de magnitude de força de 300gf pode produzir o efeito indesejável de perda de ancoragem em mecânicas de retração de canino [56], o que justifica que forças leves são mais apropriadas para o controle dos

movimentos dentários induzidos, pois implica em resposta biológica adequada com alterações sutis de distribuição de tensão e deformação no ligamento periodontal e diminui o risco de reabsorções [40,41,57,58]. Isto implica que níveis mais elevados de força produzidos pelas deflexões de 1,0mm e 1,4 mm não podem ser empregados em tratamentos ortodônticos e que não necessariamente aprimoram a movimentação dentária.

Observa-se que a magnitude de força aumenta com a intensidade de deflexão realizada nas placas de alinhadores, sendo este comportamento observado também em testes de curvaturas de três pontos em fios ortodônticos [46, 47, 48]. O que deve ser analisado com atenção especial, pois o aumento da magnitude de força pode não representar que o movimento dentário almejado seja alcançado de forma mais rápida [59]. Pelo contrário, as forças de magnitudes mais elevadas podem acarretar danos teciduais [39-43].

Considerando-se a premissa de que forças leves e constantes são mais adequadas aos movimentos de intrusão de molares (50g) e de incisivo central superior (15g), as placas dos grupos 4 e 3 em deflexão de 0,25mm e a do grupo 6 em deflexão de 0,5mm são mais apropriadas, por apresentarem magnitudes de forças, respectivamente de 20,27gf, 17,64gf e 38,47gf.

Tendo em vista que os alinhadores são empregados para resultar em movimentos de 0,25mm, por placa utilizada, para não se ultrapassar os limites biológicos do ligamento periodontal [49-52], parece ser mais conveniente a observação dos valores produzidos pelas deflexões de 0,25mm (grupos 2, 3, 4 e 6) e 0,5mm (grupo 6), por apresentarem menor magnitude de força. Entretanto, o grupo 5 evidenciou níveis de força mais elevados para os diferentes tipos de movimentos em ambas as deflexões. Compete ressaltar que as forças leves possuem compatibilidade com a sobrevivência das células presentes dentro do ligamento periodontal e relacionadas ao remodelamento do alvéolo dentário por meio da reabsorção direta ou frontal, sem produzir sensação dolorosa ao paciente [35,53,54].

Portanto, recomenda-se a realização de estudo clínico com o emprego das placas que apresentaram melhor comportamento para a avaliação da existência

ou não de diferenças nos movimentos dentários desejados, em quantidade e controle.

6 CONCLUSÃO

Fundamentado na metodologia adotada no presente estudo, conclui-se que:

- 1- A hipótese nula não foi comprovada, pois existem diferenças significantes nas magnitudes de forças produzidas pelas deflexões em diferentes placas;
- 2- A magnitude de força produzida aumenta consideravelmente com a deflexão realizada, independentemente do tipo de placa e deve ser considerada nos movimentos dentários;

REFERÊNCIAS

- [1] Ziuchkovski JP, Fields HW, Johnston WM, Lindsey DT. Assessment of perceived orthodontic appliance attractiveness. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008 Apr;133(4 Suppl):S68-78.
- [2] Rosvall MD, Fields HW, Ziuchkovski J, Rosenstiel SF, Johnston WM. Attractiveness, acceptability, and value of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 Mar;135(3):276.e1-12; discussion 276-7.
- [3] Alexandropoulos A, Al Jabbari YS, Zinelis S, Eliades T. Chemical and mechanical characteristics of contemporary thermoplastic orthodontic materials. *Aust Orthod J.* 2015 Nov;31(2):165.
- [4] Lombardo L, Arreghini A, Ramina F, Huanca Ghislanzoni LT, Siciliani G. Predictability of orthodontic movement with orthodontic aligners: a retrospective study. *Prog Orthod.* 2017 Nov 13;18(1):35.
- [5] Cianci C, Pappalettera G, Renna G, Casavola C, Laurenziello M, Battista G, Pappalettere C, Ciavarella D. Mechanical Behavior of PET-G Tooth Aligners Under Cyclic Loading. *Front. Mater.* 7:104.
- [6] Shimada Y, Yoshida Y, Isogai R, Maki K. Visualization of orthodontic forces generated by aligner-type appliances. *Dent Mater J.* 2022 Jul 30;41(4):608-615.
- [7] Elkholy F, Schmidt S, Amirkhani M, Schmidt F, Lapatki BG. Mechanical Characterization of Thermoplastic Aligner Materials: Recommendations for Test Parameter Standardization. *J Healthc Eng.* 2019 May 29;2019:8074827.
- [8] Barone S, Paoli A, Razionale AV, Savignano R. Computational design and engineering of polymeric orthodontic aligners, *Int. J. Num. Methods Biomed. Eng.* 33 (2017) e2839.
- [9] Zhang Y, Ning Y, Liu D. "Orthodontic force measurement methods for clear aligners—A review" in *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Elsevier B.V., vol. 216, Jul. 2023.
- [10] Kesling HD. Coordinating the predetermined pattern and tooth positioner with conventional treatment. *Am J Orthod Oral Surg.* 1946 May;32:285-93.
- [11] Hennessy J, Al-Awadhi EA. Clear aligners generations and orthodontic tooth movement. *J Orthod.* 2016 Mar;43(1):68-76.
- [12] Nahoum HI. The vacuum formed dental contour appliance. *N Y State Dent J* 1964;9:385-90.
- [13] Pontiz RJ. Invisible retainers. *Am J Orthod* 1971;59:266-71.
- [14] McNamara JA Jr, Kramer KL, Juenker JP. Invisible retainers. *J Clin Orthod* 1985;19:570-8.
- [15] Sheridan JJ, LeDoux W, McMinn R. Essix retainers: fabrication and supervision for permanent retention. *J Clin Orthod* 1993;27: 37-45.
- [16] Weir T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Aust Dent J.* 2017 Mar;62 Suppl 1:58-62.
- [17] Hajeer MY, Millett DT, Ayoub AF, Siebert JP. Applications of 3D imaging in orthodontics: Part II. *J Orthod* 2004; 31: 154–162.

- [18] Tamburrino F, D'Anto V, Bucci R, Alessandri-Bonetti G, Barone S, Razionale AV. Mechanical Properties of Thermoplastic Polymers for Aligner Manufacturing: In Vitro Study, *Dent J (Basel)*, 8 (2020).
- [19] Zhu Y, Hu W, Li S. Force changes associated with differential activation of enmasse retraction and/or intrusion with clear aligners, *Korean J. Orthodont.* 51 (2021) 32–42.
- [20] Lombardo L, Palone M, Longo M, Arveda N, Nacucchi M, De Pascalis F, Spedicato GA, Siciliani G. MicroCT X-ray comparison of aligner gap and thickness of six brands of aligners: an in-vitro study, *Prog. Orthod.* 21 (2020) 12.
- [21] R. Nucera, C. Dolci, A.M. Bellocchio, S. Costa, S. Barbera, L. Rustico, M. Farronato, A. Militi, M. Portelli, Effects of Composite Attachments on Orthodontic Clear Aligners Therapy: A Systematic Review, *Materials (Basel, Switzerland)*, 15 (2022).
- [22] L.H. Timm, G. Farrag, M. Baxmann, F. Schwendicke, Factors influencing patient compliance during clear aligner therapy: a retrospective cohort study, *J. Clin. Med.* 10 (2021).
- [23] Upadhyay M, Arqub SA. Biomechanics of clear aligners: hidden truths & first principles. *J World Fed Orthod.* 2022 Feb;11(1):12-21.
- [24] Papadimitriou A, Mousoulea S, Gkantidis N, Kloukos D. Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: a systematic review. *Prog Orthod.* 2018 Sep 28;19(1):37.
- [25] S.J. Bowman, F. Celenza, J. Sparaga, M.A. Papadopoulos, K. Ojima, J.C. Lin, Creative adjuncts for clear aligners, part 2: intrusion, rotation, and extrusion, *J. Clin. Orthod.* 49 (2015) 162–172.
- [26] R. Khosravi, B. Cohanim, P. Hujoel, S. Daher, M. Neal, W. Liu, G. Huang, Management of overbite with the Invisalign appliance, *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 151 (2017) 691-699.e692.
- [27] Lombardo L, Martines E, Mazzanti V, Arreghini A, Mollica M, Siciliani S. Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: a 24-hour in vitro study. *Angle Orthod.* 2017;87(1):11-8.
- [28] Sheridan, J. J., Ledoux, W., McMinn, R., and Essix, R. (1994). Technology for the fabrication of temporary anterior bridges. *J. Clin. Orthod.* 28, 482–486.
- [29] Sheridan, J. J., and Armbruster, P. (1999). Bleaching teeth during supervised retention. *J. Clin. Orthod.* 33, 339–344.
- [30] Oh, W. S., and Wang, C. (2007). Use of thermoplastic vacuum-formed matrix for emergency management of crown-root fracture. *J. Prosthet. Dent.* 98, 335–336.
- [31] Lloyd, T., Nightingale, C., and Edler, R. (2001). The use of vacuum formed splints for temporary intermaxillary fixation in the management of unilateral condylar fractures. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 39, 301–303.
- [32] Ho C-T, Chao CW, Kao CT. Clinical use of contemporary clear aligner therapy. *Taiwanese J Orthod* 2020;30:4.

- [33] Ranjan A, Biradar A, Patel A, Varghese V, Pawar A, Kulshrestha R. Assessment of the Mechanical Properties of Three Commercially Available Thermoplastic Aligner Materials Used for Orthodontic Treatment. *Iran J Ortho*. 2020 September; 15(2):e116573.
- [34] Pratto I, Busato MCA, Bittencourt PRS. Thermal and mechanical characterization of thermoplastic orthodontic aligners discs after molding process. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2022 Feb;126:104991.
- [35] PROFFIT, William R; FIELDS, Henry W; SARVER, David M. . *Ortodontia contemporânea*. 4. ed. Rio de Janeiro (RJ): ELSEVIER, 2007. xvi,701p.
- [36] Cardaropoli D, Gaveglio L. The influence of orthodontic movement on periodontal tissues level. *Semin Orthod*. 2007;13:234-245
- [37] Weltman B, Vig KW, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010 Apr;137(4):462-76; discussion 12A.
- [38] C. J. Burstone, J. J. Baldwin, D. T. Lawless; *The Application Of Continuous Forces To Orthodontics*. *Angle Orthod* 1 January 1961; 31 (1): 1–14.
- [39] Krishnan, V., & Davidovitch, Z. (2006). *Cellular, molecular, and tissue-level reactions to orthodontic force*. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 129(4), 469.e1–469.e32.
- [40] Roberts, W. E., Huja, S., & Roberts, J. A. (2004). *Bone modeling: biomechanics, molecular mechanisms, and clinical perspectives*. *Seminars in Orthodontics*, 10(2), 123–161.
- [41] Oppenheim, Albin. "Human tissue response to orthodontic intervention of short and long duration." *American Journal of Orthodontics and Oral Surgery* 28 (1942): 263-301.
- [42] Melsen B. Tissue reaction to orthodontic tooth movement--a new paradigm. *Eur J Orthod*. 2001 Dec;23(6):671-81.
- [43] Marotti G. The structure of bone tissues and the cellular control of their deposition. *Ital J Anat Embryol*. 1996 Oct-Dec;101(4):25-79.
- [44] Rossini G, Parrini S, Castroflorio T, Deregibus A, Debernardi CL. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod*. 2015 Sep;85(5):881-9.
- [45] Robertson L, Kaur H, Fagundes NCF, Romanyk D, Major P, Flores Mir C. Effectiveness of clear aligner therapy for orthodontic treatment: A systematic review. *Orthod Craniofac Res*. 2020 May;23(2):133-142.
- [46] Ballard RW, Sarkar NK, Irby MC, Armbruster PC, Berzins DW. Three-point bending test comparison of fiber-reinforced composite archwires to nickel-titanium archwires. *Orthodontics (Chic.)*. 2012;13(1):46-51.
- [47] Spendlove J, Berzins DW, Pruszynski JE, Ballard RW. Investigation of force decay in aesthetic, fibre-reinforced composite orthodontic archwires. *Eur J Orthod*. 2015 Feb;37(1):43-8.
- [48] Tanimoto Y, Inami T, Yamaguchi M, Nishiyama N, Kasai K. Preparation, mechanical, and in vitro properties of glass fiber-reinforced polycarbonate

composites for orthodontic application. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2015 May;103(4):743-50.

[49] Wong BH. Invisalign A to Z. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002 May;121(5):540-1.

[50] Drake CT, McGorray SP, Dolce C, Nair M, Wheeler TT. Orthodontic tooth movement with clear aligners. *ISRN Dent.* 2012;2012:657973

[51] Wang Y, Chen J, Qin S, Han X, Liao L, Sima X, Guo W. An in vivo evaluation of clear aligners for optimal orthodontic force and movement to determine high-efficacy and periodontal-friendly aligner staging. *Heliyon.* 2023 Apr 11;9(4):e15317.

[52] Rodrigues GG, Azevedo GM, Aquino LB, Rocha BL, Neves LS, França EC. Differentiated staging protocol for Invisalign® aligners. *Clin Orthod.* 2020 Aug-Sept;19(4):94-102.

[53] Melsen B. Biological reaction of alveolar bone to orthodontic tooth movement. *Angle Orthod.* 1999 Apr;69(2):151-8.

[54] Von Bohl M, Maltha J, Von Den Hoff JW, KuijpersJagtman AM. Focal hyalinization during experimental tooth movement in beagle dogs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;125:615-23.

[55] Gonzales C, Hotokezaka H, Yoshimatsu M, Yozgatian JH, Darendeliler MA, Yoshida N. Force magnitude and duration effects on amount of tooth movement and root resorption in the rat molar. *Angle Orthod* 2008;78:502-9.

[56] Yee JA, Türk T, Elekdağ-Türk S, Cheng LL, Darendeliler MA. Rate of tooth movement under heavy and light continuous orthodontic forces. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 Aug;136(2):150.e1-9; discussion 150-1.

[57] Reitan, K. Effects of force magnitude and direction of tooth movement on different alveolar bone types, *Angle Orthod.* 34: 244-255, 1964.

[58] Reitan K. Clinical and histologic observations on tooth movement during and after orthodontic treatment. *Am J Orthod* 53:721-745, 1967

[59] Van Leeuwen EJ, Kuijpers-Jagtman AM, Van den Hoff JW, Wagener FADTG, Maltha JC. Rate of orthodontic tooth movement after changing the force magnitude: an experimental study in beagle dogs. *Orthod Craniofac Res.* 2010 Nov; 13(4): 238-45.