

PROPRIEDADES ÓPTICAS E ESTABILIDADE DE COR DOS ALINHADORES DE USO NA ORTODONTIA

Renata Lima Lorusso SAMPAIO, Instituto Militar de Engenharia (IME),
renatallorusso@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4490-826X>

RESUMO

Tratamentos ortodônticos que conciliam estética e conforto são a demanda atual da maioria dos pacientes. Os alinhadores estéticos se tornaram a melhor alternativa em relação aos aparelhos fixos tradicionais. Essa tendência faz com que os fabricantes de materiais odontológicos desenvolvam tecnologias e técnicas cada vez mais aperfeiçoadas e específicas, como os polímeros utilizados na confecção dos alinhadores ortodônticos. A maioria dos alinhadores são confeccionados de poliuretanos (PU), policarbonatos (PC), poliésteres e, mais recentemente de polietileno tereftalato glicol modificado (PETG). De acordo com a indicação do tratamento clínico, os polímeros devem ser criteriosamente selecionados, uma vez que possuem propriedades mecânicas bastante distintas. As propriedades mecânicas dos materiais poliméricos utilizados na confecção dos alinhadores auxiliam na previsão do comportamento do material durante a sua aplicação. Há inúmeros estudos na literatura que analisam tais propriedades e sua correlação com o desempenho clínico. No entanto, poucos trabalhos são encontrados a respeito das propriedades ópticas e estabilidade de cor desses materiais. A estabilidade de cor e a transparência das placas alinhadoras deveriam ser mantidas durante o período de uso recomendado para elas (em torno de duas semanas). No entanto, as propriedades ópticas dos materiais dentários são fortemente influenciadas por inúmeros fatores. A alteração de cor dos materiais é um processo multifatorial decorrente da interação de fatores intrínsecos e extrínsecos. Existe direta correlação entre o consumo de bebidas e alimentos com corantes, uso de exagantes bucais, hábito de fumar e condições de higiene oral na alteração de cor de materiais de uso odontológico. Além disso, uma vez que os materiais poliméricos são biocompatíveis, porém não são inertes, suas características acabam sendo fortemente influenciadas pelo ambiente da cavidade oral, como umidade, temperatura, alterações do biofilme e enzimas salivares. Diante do fato que tais materiais possuem instabilidade dimensional e baixa resistência ao desgaste e ao manchamento, isso pode comprometer de forma considerável sua transparência e fazer com que o tratamento por meio dos alinhadores perca seu efeito estético e com isso, a maior vantagem desse tipo de tratamento estará comprometida. O objetivo deste artigo é revisar a literatura acerca da estabilidade de cor dos alinhadores estéticos usados na Ortodontia, bem como da influência de agentes cromogênicos na estrutura estética dos materiais empregados na confecção das placas.

Palavras-chave: Alinhadores Odontológicos. Estabilidade de Cor. Propriedades Ópticas. Manchamento.

ABSTRACT

Orthodontic treatments that combine aesthetics and comfort are the current demand of most patients. Clear aligners have become the best alternative to traditional fixed appliances. This trend leads manufacturers of dental materials to develop increasingly improved and specific technologies and techniques, such as the polymers used in the manufacture of orthodontic aligners. Most aligners are made of polyurethanes (PU), polycarbonates (PC), polyesters and, more recently, modified polyethylene terephthalate glycol (PETG). According to the indication of clinical treatment, polymers must be carefully selected, since they have quite different mechanical properties. The mechanical properties of the polymeric materials used in the manufacture of the aligners help to predict the performance of the material during its application. There are numerous studies in the literature that analyze such properties and their correlation with clinical performance. However, few works are found regarding the optical properties and color stability of these materials. The color stability and transparency of the aligner plates should be maintained during the period of use recommended for them (approximately two weeks). However, the optical properties of dental materials are strongly influenced by numerous factors. The color change of materials is a multifactorial process resulting from the interaction of intrinsic and extrinsic factors. There is a direct correlation between the consumption of pigmented drinks and foods, using colored mouth rinses, smoking habits and oral hygiene conditions in the change of color of materials for dental use. In addition, since polymeric materials are biocompatible, but not inert, their characteristics end up being strongly influenced by the oral cavity environment, such as humidity, temperature, changes in the biofilm and salivary enzymes. Given the fact that such materials have dimensional instability and low resistance to wear and staining, this can considerably compromise their transparency and cause the treatment with aligners to lose its aesthetic effect and, therefore, the greatest advantage of this type of treatment will be compromised. The aim of this article is to review the literature on the color stability of esthetic aligners used in orthodontics, as well as the influence of chromogenic agents on the esthetic structure of the materials used in the manufacture of plates.

Keywords: Dental Aligners. Color Stability. Optical Properties. Staining.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a demanda por tratamentos estéticos que promovam a movimentação dentária de maneira satisfatória cresceu de maneira considerável na Ortodontia. Nesse contexto, os alinhadores estéticos, formados a partir de materiais poliméricos termoplásticos, tornaram-se a melhor alternativa em relação aos aparelhos ortodônticos fixos convencionais, pois além de serem facilmente utilizados pelos pacientes, não afetam a capacidade de mastigação, facilitam a higienização oral, promovem menor desconforto ao paciente e proporcionam a estética almejada.¹⁻³

Os alinhadores foram inicialmente introduzidos na Ortodontia para o tratamento de pequenas irregularidades dentárias e casos menos complexos, pois muitos sistemas apresentavam grandes limitações na terapia de má-oclusões mais severas.² Na tentativa de aumentar as indicações de tratamento, os sistemas de alinhadores incorporaram tecnologias avançadas pelo uso de *softwares* específicos que permitem ao ortodontista fazer um diagnóstico preciso e avaliar as necessidades individuais de cada paciente.³ Atualmente, a maioria das má-oclusões dentárias, moderadas ou complexas, podem ser tratadas por meio dos alinhadores e tanto os objetivos estéticos quanto os funcionais podem ser alcançados no término do tratamento.^{4,5}

O tratamento por meio dos alinhadores estéticos se baseia no uso sequencial de placas confeccionadas por materiais poliméricos termoplásticos. O esperado é que cada placa alinhadora exerça uma movimentação dentária fisiológica durante o seu uso, que ocorre no tempo aproximado de duas semanas. Nesse período, é fundamental que o material apresente boas propriedades mecânicas e ópticas para que o seu desempenho clínico seja o mais eficiente possível.⁶

As propriedades mecânicas dos materiais poliméricos utilizados na confecção dos alinhadores auxiliam na previsão do comportamento do material durante a sua aplicação. Há inúmeros estudos na literatura que analisam tais propriedades e sua correlação com o desempenho clínico.^{7,8} No entanto, poucos trabalhos são encontrados a respeito das propriedades ópticas e estabilidade de cor desses materiais.

O objetivo deste artigo é revisar a literatura acerca da estabilidade de cor dos alinhadores estéticos usados na Ortodontia, bem como da influência de agentes cromogênicos na estrutura estética dos materiais empregados na confecção das placas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com Ryu *et al.* (2018), as características físicas e químicas dos materiais termoplásticos utilizados na fabricação dos alinhadores ortodônticos influenciam diretamente seu desempenho clínico. Os polímeros mais comumente utilizados para a confecção dos alinhadores são os poliuretanos (TPU), os policarbonatos (PC), os poliésteres e o polietileno tereftalato glicol modificado (PETG).^{5,10} Conforme a indicação do tratamento clínico, os polímeros devem ser criteriosamente selecionados, uma vez que possuem propriedades mecânicas bastante distintas⁹. Segundo Kohda *et al.* (2013) dois processos de termoformação são empregados na confecção das placas: a vácuo ou alta pressão, sendo que esse último libera forças maiores nos dentes pois promove um melhor encaixe nas arcadas dentárias. Quando as placas confeccionadas por esses diferentes materiais são posicionadas no arco, há uma deformação elástica que incidirá uma força sobre o dente ou sobre a arcada dentária como um todo, possibilitando a movimentação. À medida que essa movimentação atinge a posição desejada, a placa recupera sua forma original, gerando um decréscimo na força. Ou seja, por meio desse

limite elástico, a placa libera força proporcional à sua deformação. Espera-se que o alinhador possa exercer um movimento dentário fisiológico, por meio de forças leves e contínuas ao longo do seu uso.¹³

O protocolo clínico estabelece que os alinhadores devem ser usados por aproximadamente 20 (vinte) horas diárias e trocados, em média, a cada 2 (duas) semanas, quando são substituídos pelos alinhadores sequenciais sucessores. Durante o período de uso, cada alinhador promove movimentação dentária em torno de 0,3 mm.³ Uma vez que são removíveis, o tratamento depende diretamente da colaboração e da disciplina do paciente.

A avaliação do desempenho mecânico dos materiais termoplásticos utilizados nos alinhadores é de fundamental importância para a realização da movimentação ortodôntica desejada. Sendo assim, aspectos como espessura, módulo de elasticidade, resistência à fadiga e ao desgaste e estabilidade dimensional são propriedades que precisam ser avaliadas na indicação desses materiais. Além disso, aspectos como biocompatibilidade e propriedades ópticas também devem ser consideradas no uso na Ortodontia.^{7,14}

Os materiais poliméricos possuem a característica de absorção de água e são fortemente influenciados pelo tempo e pelas condições do meio. A água reage quimicamente com as cadeias poliméricas e muitas mudanças físicas e químicas ocorrem no material polimérico, o que resulta em alterações de suas propriedades mecânicas e acelera a degradação do material. Na cavidade oral, alterações dimensionais decorrentes da expansão higroscópica afetam o encaixe das placas e diminuem o desempenho. Por essas razões o material termoplástico ideal para fabricação das placas deveria ter a propriedade de baixa absorção de água.⁶ Ryokawa *et al.* (2006) corroboram tais estudos e acrescentam que a capacidade de absorção de água dos materiais poliméricos ocorre ou através da umidade do ar ou pela imersão direta, o que geralmente resulta em expansão estrutural e alteração de suas propriedades mecânicas. As alterações decorrentes da expansão higroscópica das placas podem afetar o encaixe nas arcadas dentárias e alterar as forças produzidas para a movimentação dentária. Além disso, estudos realizados *in vitro* demonstraram que tais materiais são sensíveis às alterações de temperatura e suas propriedades mecânicas decrescem ao passarem da temperatura ambiente (23°) para a temperatura intraoral (37°). Por isso é de fundamental importância a escolha do material utilizado de acordo com a indicação clínica do tratamento, pois o desempenho do alinhador é fortemente influenciado pelo tipo de material polimérico utilizado na fabricação das placas.

Segundo Bradley *et al.* (2016) e CONDO *et al.* (2018), as modificações no biofilme e nas condições intraorais que ocorrem com o passar do tempo, efeito chamado *aging* ou “envelhecimento” intraoral, também exercem um efeito negativo nas propriedades mecânicas dos materiais, aumentando sua degradação e comprometendo a força liberada na movimentação dentária. Estudos demonstram que a força gerada pelos alinhadores tende a diminuir a partir do segundo dia de uso, por isso a movimentação ortodôntica mais expressiva ocorre nas primeiras 24 (vinte e quatro) horas. Uma vez que o fenômeno de degradação da estrutura molecular dos materiais poliméricos em função da absorção de água é conhecido, as condições de umidade da cavidade oral propiciam um decréscimo da força gerada pelo alinhador com o transcorrer do tempo.¹¹

Ainda que existam inúmeros estudos acerca das propriedades mecânicas dos alinhadores ortodônticos, os trabalhos a respeito de suas propriedades ópticas e estabilidade de cor são limitados.¹⁵⁻¹⁷

2.1 ESTABILIDADE DE COR E PROPRIEDADES ÓPTICAS

A estabilidade de cor pode ser definida como a capacidade de o material manter a sua cor original, por um determinado período de tempo, em resposta a inúmeros fatores, em ambientes específicos. Trata-se de uma importante propriedade dos materiais estéticos usados na Odontologia.^{18,19}

Os materiais termoplásticos usados na confecção dos alinhadores ortodônticos são estruturas compostas por polímeros de estrutura amorfa ou parcialmente cristalina, o que permite que a luz visível penetre na estrutura e forneça o aspecto transparente. A transparência das placas diminui com o aumento de sua espessura.⁹

Sob uma perspectiva estética, a estabilidade de cor e a transparência das placas alinhadoras deveriam ser mantidas durante o período de uso recomendado para elas (em torno de duas semanas). No entanto, as propriedades ópticas dos materiais dentários são fortemente influenciadas por inúmeros fatores, o que pode resultar na degradação do material e alteração de cor.²⁰

Duas propriedades ópticas são essenciais para analisar os materiais transparentes: translucidez e absorção. Translucidez é a fração da luz incidente, em um comprimento de onda estabelecido, que passa através do material; quanto maior a translucidez, mais transparente o material é. Já absorção é o contrário e quanto maior absorção de luz, menos transparente será o material.¹⁰

Nos dias de hoje, os métodos utilizados para avaliar as alterações cromáticas são a colorimetria, fotografia digital ou espectrofotometria infravermelha.²¹ Alguns autores estabelecem que a visão direta pode ser utilizada para avaliação de cor em alguns materiais da Odontologia, como resinas compostas diretas e porcelanas. No entanto, a sensibilidade da visão humana em detectar pequenas diferenças de cor é bastante limitada e a interpretação comparativa pode ser subjetiva.²² Por isso, para avaliações mais precisas, o espectrofotômetro tem sido o equipamento mais utilizado.

Lombardo *et al.* (2015) analisaram as propriedades ópticas de alguns alinhadores estéticos, *in vitro*, com o uso de um espectrofotômetro e concluíram que as propriedades se alteram em função do tempo e das condições próprias da cavidade oral, ou seja, a estabilidade de cor é deteriorada com o processo de envelhecimento das placas.

Arthur *et al.* (2004) afirmam que as alterações nas propriedades ópticas dos polímeros são as responsáveis pela mudança de cor dos materiais. Segundo os autores, a degradação química de materiais poliméricos é atribuída à oxidação da matriz polimérica e as alterações de cor dependem do grau de polarização e composição química do material e da quantidade de absorção de água. Além disso, radiação ultravioleta, alterações na temperatura e umidade e o envelhecimento do material são fatores que podem influenciar na estabilidade de cor dos materiais odontológicos.²⁴

Como são confeccionados a partir de polímeros, os alinhadores ortodônticos são materiais biocompatíveis, porém não são materiais inertes e por isso apresentam algumas limitações intrínsecas, como suscetibilidade a alterações de umidade, forças mastigatórias e contato prolongado com as enzimas salivares do ambiente intraoral.¹⁰ Segundo Daniele *et al.* (2022) esses materiais possuem instabilidade dimensional e baixa resistência ao desgaste e ao manchamento, o que pode comprometer de forma considerável sua transparência, resultando em uma séria desvantagem da expectativa do paciente.

2.2 DESCOLORAÇÃO (STAINING)

A alteração da cor dos materiais odontológicos é um processo multifatorial. A descoloração pode ser resultado de múltiplos fatores intrínsecos e extrínsecos. O consumo de alimentos e bebidas pigmentáveis, uso de colutórios, hábito de fumar, higiene oral deficiente e presença de biofilme ou placa dentária são considerados fatores extrínsecos. A descoloração intrínseca é decorrente do grau de polarização e composição química do material e da taxa de absorção de água do mesmo.^{22,24}

Muitos estudos demonstram direta correlação entre o consumo de bebidas e alimentos com corantes e do hábito de fumar na alteração de cor dos materiais de uso odontológico. Por isso, recomenda-se que os alinhadores sejam removidos durante a alimentação e ingestão de certas bebidas e ao fumar. No entanto os estudos reportam que a maioria dos pacientes não realiza tal procedimento e a exposição dos alinhadores a agentes de manchamento da cavidade oral é inevitável.²⁰ De acordo com o autor, os pacientes que não seguem as instruções de uso dos alinhadores corretamente, sofrerão com a alteração de cor e manchamento de suas placas alinhadoras. E com isso, as placas perderão seu efeito estético e a maior vantagem desse tipo de tratamento estará comprometida.

Daniele *et al.* (2021) realizaram estudos para comparar a estabilidade de cor perante a exposição a diversos agentes cromogênicos, avaliar as propriedades físicas, químicas e ópticas e o índice de absorção de água de alinhadores estéticos, fabricados por meio de materiais poliméricos diferentes. Para análise das propriedades físico-químicas foi feita a difração de raios X com o intuito de analisar o grau de transparência de cada alinhador. As características ópticas foram mensuradas através de um espectrofotômetro para avaliar o grau de absorção da luz pelas placas poliméricas. A capacidade das moléculas de água penetrarem dentro da estrutura do material pode ser a responsável pelo declínio da coesão mecânica das placas. Nesse estudo, os alinhadores foram imersos em soluções aquosas a 37° graus durante 14 dias. A estabilidade de cor dos alinhadores expostos a substâncias externas e à saliva artificial, importante para reproduzir as condições intraorais, foram analisadas. Foram preparadas soluções de vinho tinto, café e nicotina. Após o período de 14 dias, as amostras foram avaliadas e analisadas por meio de microscopia eletrônica. Os estudos concluíram que as placas perdem a transparência devido a deposição de impurezas em suas superfícies. Os manchamentos mais expressivos ocorreram em função do vinho tinto e café. Além disso, o processo de deposição dos agentes nas placas pode ser influenciado pelo processo de fabricação das placas e por sua composição química, o que pode produzir rugosidades e poros nas placas, favorecendo a penetração de agentes externos.

MEME *et al.* (2021) verificaram as modificações na estrutura química da matriz polimérica e as alterações de cor que os alinhadores ortodônticos podem sofrer após a exposição, *in vitro*, a diferentes agentes, como soluções de Coca-cola, café e chá, e também exposição à radiação ultravioleta. As soluções foram mantidas a 37° a fim de simular as condições do ambiente intraoral. Os resultados demonstraram que não houve mudanças significativas na estrutura química das placas termoplásticas após a exposição a substâncias externas, mas ocorrem alterações significativas de cor, principalmente pelo café e chá. Essas alterações devem ocorrer em função da interação das moléculas poliméricas com os grupamentos hidrofílicos dos pigmentos, o que facilitaria o manchamento das placas. Os autores sugerem que os pacientes evitem o consumo de café e chá durante o tratamento com os alinhadores.

Estudos *in vitro* foram realizados para avaliar a estabilidade de cor de diferentes alinhadores estéticos após exposição a soluções com diferentes tipos de pigmentos. A

alteração de cor dos alinhadores após a exposição a agentes exógenos, como café, chá preto e vinho tinto, pode estar associada à absorção ou penetração de pigmentos na superfície do material quando os alinhadores são imersos nas soluções preparadas com os agentes de manchamento. O café parece ser a substância que causa maior manchamento das placas, possivelmente em função do pigmento amarelo.²⁴ E ainda existe profunda variação nos resultados considerando o nível de higiene oral dos pacientes e o acúmulo de placa nos alinhadores.

Além dos agentes cromogênicos, as características físicas e químicas dos materiais também podem estar envolvidas na pigmentação das placas, como a textura superficial e a rugosidade.²⁵ As porosidades nas placas podem acelerar sua degradação. Quando os alinhadores estão em função na cavidade oral, podem surgir em sua superfície microfissuras e abrasões decorrentes da fala, deglutição e até mesmo de hábitos parafuncionais como o bruxismo. Isso pode aumentar a pigmentação das placas e reduzir a transparência do alinhador.²⁰

Fang *et al.* (2020) avaliaram as alterações na estrutura química e na superfície morfológica dos alinhadores de quatro pacientes, em tratamento ativo, na tentativa de buscar correlação com as propriedades mecânicas dos mesmos. Os estudos concluíram que o ambiente intraoral promove algumas modificações na estrutura morfológica das placas após o uso de duas semanas, alterando sua textura superficial e rugosidade. No entanto, tais mudanças não provocam efeitos significativos nas propriedades mecânicas dos alinhadores e não interferem no seu desempenho clínico. Estudos realizados por Bernard *et al.* (2020) associaram a superfície irregular e porosa das placas poliméricas com a penetração de agentes cromogênicos. De acordo com os autores, as ligações hidrofílicas estabelecidas entre a água e a superfície dos materiais poliméricos facilita a absorção e penetração de outros pigmentos na superfície do material.

Na sociedade atual, o alto consumo de alimentos e bebidas repletos de corantes e produtos sintéticos podem resultar na estética insatisfatória e desempenho indesejado dos materiais dentários.²⁴

3. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tratamentos ortodônticos que conciliam estética e conforto são a demanda atual da maioria dos pacientes. Essa tendência faz com que os fabricantes de materiais odontológicos busquem e desenvolvam tecnologias e técnicas cada vez mais aperfeiçoadas e específicas. Nesse contexto estão os polímeros utilizados na confecção dos alinhadores ortodônticos.

Na cavidade oral, os materiais são submetidos a condições muito agressivas que permitem grande degradação de suas propriedades mecânicas e ópticas, o que resulta em um efeito negativo no tratamento.

Os estudos *in vitro* são incapazes de reproduzir as condições normais da cavidade oral, como modificações do biofilme, forças mastigatórias e presença de enzimas salivares.

Os resultados dos estudos são importantes uma vez que os pacientes que buscam o tratamento com alinhadores são bastante críticos em relação à estética e geralmente são os consumidores de alimentos e bebidas que promovem descoloração e manchamento das placas.

As propriedades ópticas dos materiais utilizados na fabricação dos alinhadores estéticos devem ser aprimoradas. Uma vez que a absorção de pigmentos está diretamente relacionada à estrutura molecular e à textura superficial do polímero, tentar diminuir a absorção de água e melhorar a integridade superficial poderia reduzir a penetração e a absorção de pigmentos nas placas. Pesquisas devem ser realizadas a fim de melhorar as propriedades ópticas dos materiais disponíveis no mercado e novos materiais devem ser desenvolvidos para melhorar a estabilidade de cor.

4. REFERÊNCIAS

1. ROSVALL, M. D.; FIELDS, H. W.; ZIUCHKOVSKI, J.; ROSENSTIEL, S. F.; JOHNSTON, W. M. Attractiveness, acceptability, and value of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **2009**, 135, 276-277.
2. ROSSINI, G.; PARRINI, S.; CASTROFLORIO, T.; DEREGIBUS, A.; DEBERNARDI, C. L. Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: a systematic review. *Angle Orthod.* **2015**, 85, 881-889.
3. THUKRAL, R.; GUPTA, A. Invisalign: Invisible Orthodontic Treatment – A Review. *Journal of Advanced Medical and Dental Sciences Research.* **2015**, 3, 42-44.
4. WEIR, T. Clear aligners in orthodontic treatment. *Australian Dental Journal.* **2017**, 62, 58-62.
5. PUTRINO, A.; BARBATO, E.; GALLUCCIO, G. Clear Aligners: Between Evolution and Efficiency – A Scoping Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* **2021**, 18, 1-19.
6. ZHANG, N.; BAI, Y.; DING, X.; ZHANG, Y. Preparation and characterization of thermoplastic materials for invisible orthodontics. *Dental Materials Journal.* **2011**, 30, 954-959.
7. RYOKAWA, H.; MIYAZAKI, Y.; FUJISHIMA, A.; MIYAZAKI, T.; MAKI, K. The mechanical properties of dental thermoplastic materials in a simulated intraoral environment. *Orthodontic Waves.* **2006**, 65, 64-72.
8. FANG, D.; LI, F.; ZHANG, Y.; BAI, Y.; WU, B. M. Changes in mechanical properties, surface morphology, structure, and composition of Invisalign material in the oral environment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **2020**, 157, 745-753.
9. RYU, J. H.; KWON, J. S.; JIANG, H. B.; CHA, J. Y.; KIM, K. M. Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for transparent orthodontic aligners. *The Korean Journal of Orthodontics.* **2018**, 48, 316-325.
10. LOMBARDO, L.; ARREGHINI, A.; MACCARRONE, R.; BIANCHI, A.; SCALIA, S.; SILILIANI, G. Optical properties of orthodontic aligners – spectrophotometry analysis of three types before and after aging. *Progress in Orthodontics.* **2015**, 16, 1-8.
11. KOHDA, N.; IJIMA, M.; MUGURUMA, T.; BRANTLEY, W. A.; AHLUWALIA, K. S.; MIZOGUCHI, I. Effects of mechanical properties of thermoplastic materials on the initial force of thermoplastic appliances. *Angle Orthodontist.* **2013**, 3, 476-480.
12. HO, C., T.; HUANG, Y. T.; CHAO, C., W.; HUANG, T. H.; KAO, C. T. Effects of different aligner materials and attachments on orthodontic behavior. *Journal of Dental Sciences.* **2021**, 16, 1001-1009.
13. BRADLEY, T. G.; TESKE, L.; ELIADES, G.; ZINELIS, S.; ELIADES, T. Do the mechanical and chemical properties of Invisalign appliances change after use? A retrieval analysis. *European Journal of Orthodontics.* **2016**, 38, 27-31.
14. CONDO, R.; PAZZINI, L.; CERRONI, L.; PASQUANTONIO, G.; LAGANA, G.; PECORA, A. Mechanical properties of “two generations” of teeth aligners: change analysis during oral permanence. *Dent Mater J.* **2018**, 37, 35-42.
15. BERNARD, G.; ROMPRE, P.; TAVARES, J. R.; MONTPETIT, A. Colorimetric and spectrophotometric measurements of orthodontic thermoplastic aligners exposed to various staining sources and cleaning methods. *Head and Face Medicine.* **2020**, 16, 1-11.
16. MEME, L.; NOTARSTEFANO, V.; SAMPALMIERI, F.; ORILISI, G.; QUINZI, V. ATR – FTIR Analysis of Orthodontic Invisalign Aligners Subjected to Various In Vitro Aging Treatments. *Materials.* **2021**, 14, 1-10.
17. DANIELE, V.; MACERA, L.; TAGLIERI, G.; SPERA, L.; MARZO, G.; QUINZI, V. Color Stability, Chemico-Physical and Optical Features of the Most Common PETG

- and PU Based Orthodontic Aligners for Clear Aligner Therapy. *Polymers*. **2022**, *14*, 1-18.
18. MUTLU- SAGESEN, L.; ERGUN, G.; OZKAN, Y.; BEK, B. Color stability of different denture teeth materials: An in vitro study. *J Oral Sci*, **2001**, *43*, 193-205.
 19. GULER, S.; UNAL, M. The evaluation of color and surface roughness changes in resin based restorative materials with different contents after waiting in various liquids: An SEM and AFM study. *Microsc Res Tech*, **2018**, *81*, 1422-1433.
 20. LIU, C. L.; SUN, W. T.; LIAO, W.; LU, W. X.; LI, Q. W.; JEONG, Y.; LIU, J.; ZHAO, Z. H. Colour stabilities of three types of orthodontic clear aligners exposed to staining agents. *International Journal of Oral Science*. **2016**, *8*, 246-253.
 21. FERNANDES, A. B. N.; RIBEIRO, A. A.; ARAUJO, M. V. A.; RUELLAS, C. O. Influence of exogenous pigmentation on the optical properties of orthodontic elastic ligatures. *J Appl Oral Sci*. **2011**, 462-466.
 22. FALTERMEIER, A.; ROSENTRITT, M.; REICHENEDER, C. ; BEHR, M. Discolouration of orthodontic adhesives caused by food dyes and ultraviolet light. *European Journal of Orthodontics*. **2008**, *30*, 89-93.
 23. ARTHUR, S. K.; FREDERICK, C. S.; JOHN, C.; TAK, W. C. Color stability of provisional prosthodontics materials. *Journal of Prosthetic Dentistry*, **2004**, *91*, 447-452.
 24. SIMUNOVIC, L.; BLAGEC, T.; VRANKIC, A.; MESTROVIC, S. Color Stability of Orthodontic Ceramic Brackets and Adhesives in Potentially Staining Beverages – In Vitro Study. *Dentistry Journal*. **2022**, *10*, 115-123.
 25. ARDESHNA, A. P.; VAIDYANATHAN, T. K. Colour changes of orthodontic elastomeric module materials exposed to in vitro dietary media. *J Orthod*, **2009**, *36*, 177-185.