

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Leonardo Mello Duarte

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE
NANOTUBOS DE DIÓXIDO DE TITÂNIO E
PENTÓXIDO DE NIÓBIO AO GEL CLAREADOR NA
EFICÁCIA DO CLAREAMENTO DENTAL**

Passo Fundo

2025

Leonardo Mello Duarte

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE NANOTUBOS DE
DIÓXIDO DE TITÂNIO E PENTÓXIDO DE NIÓBIO AO GEL
CLAREADOR NA EFICÁCIA DO CLAREAMENTO DENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da UPF, para obtenção do título de Mestre em Odontologia – Área de Concentração em Clínica Odontológica, sob orientação do prof^ª. Dr^ª. Paula Benetti e coorientação do prof. Dr. João Paulo de Carli.

Passo Fundo

2025

Folha reservada para
Ata de aprovação da Banca Examinadora

Observação:

Mantenha esta página no seu arquivo, imprimindo-a.
Após, faça a substituição pela Ata de aprovação fornecida pela Secretaria
para manter a correta numeração do seu trabalho.

Folha reservada para
Ficha catalográfica

Observação:

Mantenha esta página no seu arquivo, imprimindo-a.
Após, faça a substituição pela Ficha Catalográfica fornecida pela
Secretaria para manter a correta numeração do seu trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Leonardo Mello Duarte, nascido em 11 de agosto de 2000 no município de Passo Fundo – RS. Graduado em Odontologia pela Universidade de Passo Fundo no ano de 2022. Mestrando do Programa de Pós-graduação em Odontologia pelo Curso de Odontologia da Universidade de Passo Fundo e pós graduando em Saúde Pública pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

OFERECIMENTOS E AGRADECIMENTOS

Quero começar expressando minha imensa gratidão à minha família, e especialmente aos meus pais, que sempre deram tudo de si para que eu pudesse alcançar minhas conquistas. O amor e a dedicação de vocês foram fundamentais para que eu chegasse até aqui, e sou eternamente grato por isso. Amo muito vocês. Aos meus amigos, cada um de vocês teve uma contribuição única e essencial para a realização deste trabalho, com apoio incondicional, palavras de incentivo ou simplesmente estando ao meu lado nos bons e maus momentos, vocês fizeram toda a diferença.

Segundamente, agradecer de coração a todos os professores que fizeram parte da minha jornada na odontologia, sem a contribuição de cada um de vocês, eu não estaria aqui hoje. Tenho um carinho imenso por todos e sou muito grato por cada ensinamento e cada momento compartilhado. Especialmente aos meus orientadores, Prof^a. Dr^a. Paula Benetti e Prof. Dr. João Paulo de Carli que tive o prazer de trabalhar desde a graduação. Com a dedicação e sabedoria foram fundamentais para que este trabalho fosse possível, a orientação de vocês foi essencial, e a confiança que depositaram em mim fez toda a diferença.

Por fim, gostaria de agradecer à Universidade de Passo Fundo, ao Curso de Odontologia e ao Programa de Pós-Graduação, que foram minha casa durante esses sete anos de formação acadêmica. Cheguei aqui em 2018 cheio de incertezas sobre a vida e sem saber nada sobre odontologia. Ao longo desses anos, essa instituição se tornou o lugar onde cresci, aprendi e amadureci. Vejo o quanto me transformei, tanto

profissionalmente quanto pessoalmente, essa jornada foi fundamental para a minha trajetória e sou eternamente grato por todas as experiências e aprendizados que vivi neste ambiente que tanto me acolheu. Estendo meus agradecimentos também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Prof^a. Dr^a. Cristiane Pilissão do Departamento de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) que contribuíram ao projeto.

SUMÁRIO

BIOGRAFIA DO AUTOR.....	5
OFERECIMENTOS E AGRADECIMENTOS	6
SUMÁRIO	8
LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE ABREVIATURAS	11
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3. PROPOSIÇÃO	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS	29
5. RESULTADOS	38
6. DISCUSSÃO	41
7. CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS.....	48
APÊNDICES.....	62
ARTIGO SUBMETIDO	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Apresentação dos grupos experimentais.....	29
Tabela 2 – Valores de pH em diferentes tempos.....	38
Tabela 3 – Valores médios e desvio padrão do WID.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Apresentação dos géis clareadores.....	30
Figura 2 – Corpos-de-prova prontos e irradiação com LED.....	33
Figura 3 – Aplicação do géel clareador na superfície vestibular.....	33
Figura 4 – Guias de silicone.....	34
Figura 5 – Diferenças do índice de brancura.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS

H ₂ O ₂	Peróxido de Hidrogênio
TiO ₂	Dióxido de Titânio
Nb ₂ O ₅	Pentóxido de Nióbio
PH	Peroxido de hidrogênio
LED	Light Emitting Diode
UV	Ultra Violeta
pH	Potencial Hidrogeniônico
AT	Limite de Aceitabilidade
PT	Limite de Percepção

RESUMO

Este estudo in vitro tem como objetivo avaliar efeito do gel clareador a base de peróxido de hidrogênio em diferentes concentrações contendo TiO₂ (dióxido de titânio) e Nb₂O₅ (pentóxido de nióbio) na eficácia do clareamento dental. O experimento foi realizado em duas fases: na fase 1 (obtenção das substâncias) nanotubos de Nb₂O₅ e TiO₂ foram sintetizados por processos solvotérmicos, pesados em balança analítica de precisão e incorporados ao espessante do gel clareador, com peróxido de hidrogênio (PH) na concentração de 6% de acordo com os grupos experimentais: 6PH- clareador com 6% PH sem incorporação de nanotubos; 5Ti e 2,5Ti- clareador com 6% PH e incorporação de TiO₂ a 5 e 2,5%; 5Nb e 2,5Nb- clareador com 6% PH e incorporação de Nb₂O₅ a 5 e 2,5%. Além disso, o gel clareador com peróxido de hidrogênio a 35% (Ctrl - 35PH) foi utilizado como controle. As amostras foram analisadas por meio de testes de estabilidade e pH. Na fase 2, dentes bovinos (N = 60) foram divididos aleatoriamente em grupos (n = 10), os mesmos protocolos foram seguidos para os géis clareadores comerciais e experimentais. As amostras foram aplicadas sobre a superfície de esmalte dentário exposto, o procedimento de clareamento consistiu na aplicação única do gel clareador por um período de 30 minutos. Os grupos experimentais foram submetidos a irradiação com luz por 1 minuto, com pausa de 30 segundos, repetindo-se esse ciclo 10 vezes. As coordenadas de cor CIE L*a*b* (L*: eixo da luminosidade; a*: eixo vermelho-verde; b*: eixo amarelo-azul) foram aferidas com espectrofotômetro (VitaEasyshade) antes e após o clareamento. A diferença de cor (ΔE) foi calculada por equações preconizadas por

CIEDE2000 e o índice de brancura (WID) foi utilizado para calcular as diferenças de clareamento (Δ WID). Os dados de Δ E e Δ WID foram comparados com os respectivos limiares de aceitabilidade (AT) e perceptibilidade (PT). As diferenças entre os grupos foram analisadas por ANOVA e Tukey com significância de 5%. Resultados: Os grupos 0,5Nb, 0,25Ti e 0,5Ti demonstraram resultados de clareamento semelhantes ao grupo Ctrl 35%. No entanto, os grupos Ctrl 35% e 0,5Ti apresentaram um efeito clareador mais expressivo, superando o limiar de aceitabilidade, evidenciando um desempenho superior no clareamento dental. Conclusão: A adição de nanotubos de não comprometeu a eficácia clareadora dos géis testados nem alterou sua estabilidade de pH, indicando seu potencial para novas formulações.

Palavras-chave: Clareamento dental · Titânio · Nióbio · Agentes clareadores · Nanopartículas

ABSTRACT¹

This in vitro study aimed to evaluate the effect of hydrogen peroxide-based bleaching gels at different concentrations containing TiO₂ (titanium dioxide) and Nb₂O₅ (niobium pentoxide) on the efficacy of dental bleaching. The experiment was conducted in two phases. In Phase 1, Nb₂O₅ and TiO₂ nanotubes were synthesized via solvothermal processes, accurately weighed using an analytical balance, and incorporated into the thickening agent of the bleaching gel containing 6% hydrogen peroxide (HP) according to the following experimental groups: 6HP (bleaching gel with 6% HP without nanotube incorporation), 5Ti and 2.5Ti (bleaching gel with 6% HP and incorporation of TiO₂ at 5% and 2.5%, respectively), and 5Nb and 2.5Nb (bleaching gel with 6% HP and incorporation of Nb₂O₅ at 5% and 2.5%, respectively). Additionally, a bleaching gel with 35% hydrogen peroxide (Ctrl – 35HP) was used as the control. The samples were evaluated through stability and pH tests. In Phase 2, sixty bovine teeth were randomly divided into groups (n = 10), and the same protocols were applied to both commercial and experimental bleaching gels. The gels were applied to the exposed dental enamel, and the bleaching procedure consisted of a single 30-minute application. The experimental groups were subjected to light irradiation for 1 minute, followed by a 30-second pause, with this cycle repeated 10 times. Color coordinates (CIE Lab*: L* for lightness, a* for the red-green axis, b* for the yellow-blue axis)

¹ Title: Influence of Titanium Dioxide Nanotube and Niobium Pentoxide Incorporation into the Bleaching Gel on the Effectiveness of Tooth Whitening.

were measured using a spectrophotometer (VitaEasysshade) before and after bleaching. The color difference (ΔE) was calculated based on the CIEDE2000 recommendations, and the whiteness index (WID) was used to assess bleaching differences (ΔWID). The ΔE and ΔWID data were compared with the respective acceptability (AT) and perceptibility (PT) thresholds, with group differences analyzed by ANOVA and Tukey's test at a 5% significance level. Results: The groups designated as 0.5Nb, 0.25Ti, and 0.5Ti demonstrated bleaching results comparable to the Ctrl 35HP group. However, the Ctrl 35HP and 0.5Ti groups exhibited a more pronounced bleaching effect, exceeding the acceptability threshold and evidencing superior performance in dental bleaching. Conclusion: The incorporation of nanotubes did not compromise the bleaching efficacy of the tested gels nor alter their pH stability over 60 days, indicating their potential for the development of new bleaching formulations.

Key words: Tooth Whitening · Titanium · Niobium · Whitening Agents · Nanoparticles

1.

INTRODUÇÃO

A estética do sorriso é um fator cada vez mais valorizado por pacientes e profissionais da Odontologia. Para tanto, os procedimentos odontológicos precisam proporcionar as características naturais dos dentes, reproduzindo cor e formato de uma maneira harmoniosa, melhorando assim a qualidade de vida dos pacientes (JUMAR *et al.*, 2024).

O clareamento é um procedimento minimamente invasivo que pode melhorar significativamente a estética do sorriso, deixando os dentes mais claros. A cor dos dentes pode ser alterada por meio da técnica de clareamento caseiro, realizada sob a supervisão do cirurgião-dentista, utilizando moldeiras de acetato contendo gel em baixas concentrações de peróxido de hidrogênio ou peróxido de carbamida. Além do clareamento caseiro, há também a técnica de consultório, realizada pelo cirurgião-dentista com o uso de altas concentrações de peróxido de hidrogênio. Outra abordagem é a técnica combinada, que associa o clareamento caseiro ao de consultório para potencializar os resultados (BORGES *et al.*, 2021). O tempo de uso dos agentes clareadores, a sua concentração, bem como a técnica aplicada são fatores que influenciam diretamente no resultado do tratamento clareador e na sensibilidade relatada pelo paciente durante e após tal procedimento (MUSHASHE *et al.*, 2018).

O uso de catalisadores ou aceleradores pode fornecer um efeito clareador mais pronunciado e em menor tempo, proporcionando resultados de branqueamento mais eficientes, exigindo menor

concentração de peróxido de hidrogênio (BUCHALLA e ATTIN, 2007). O dióxido de titânio (TiO_2) é um fotocatalisador não tóxico e de baixo custo, reativo à luz ultravioleta, luz azul e violeta (CARLOS *et al.*, 2023), que podem acelerar o processo de clareamento (MONTEIRO *et al.*, 2020).

O pentóxido de nióbio é um agente com potencial fotocatalítico semelhante ao dióxido de titânio; contudo, sua eficácia como adjuvante do agente clareador de consultório ainda não foi investigada. Com a redução do tamanho de partículas de dióxido de titânio e pentóxido de nióbio em formato de nanotubos há a possibilidade de aumento da área de contato com o agente clareador e aumento do potencial de formação de radicais livres (MATOS *et al.*, 2023).

Com o objetivo de acelerar a reação de degradação do agente clareador e minimizar o tempo de exposição dos tecidos dentários ao agente clareador, nanotubos de dióxido de titânio (TiO_2) e pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) podem ser incorporados a agentes clareadores para promover excitação de elétrons e geração de íons oxigênio, resultando assim num superóxido que contribui para a quebra de cromóforos presentes na estrutura dentária (BORTOLATTO *et al.*, 2014).

Os óxidos de nióbio e titânio são considerados agentes fotocatalíticos, pois permitem aceleração da taxa de reação quando excitados pela luz. Também atuam como catalisadores e fotocatalisadores semicondutores que reagem à luz azul e violeta (KISHI *et al.*, 2011). Ao usar uma fonte de luz visível na faixa azul-violeta com comprimento de onda de 405 a 480 nm, foi demonstrado que o TiO_2 mostrou reatividade, sugerindo que a luz violeta (na faixa de 405 nm) aumenta a reação catalítica do TiO_2 (ANTUNES *et al.*, 2023).

Embora alguns estudos tenham demonstrado que agentes clareadores à base de peróxido de hidrogênio em altas concentrações

(35% a 40%) são eficazes para clareamentos de consultório, uma alternativa com resultados promissores seria associar dióxido de titânio a concentrações mais baixas de peróxido de hidrogênio, visando reduzir sensibilidade dentária, principalmente quando fotocatalisadores são incorporados aos géis clareadores (ARRUDA *et al.*, 2015).

Tendo em vista o anteriormente exposto, este estudo *in vitro* tem como objetivo avaliar o efeito do gel clareador a base de peróxido de hidrogênio em diferentes concentrações contendo TiO₂ e Nb₂O₅ na eficácia do clareamento dental.

2.

REVISÃO DE LITERATURA

Desde os primórdios da sociedade o ser humano anseia por uma estética aceitável aos padrões do período em que se vive. Um sorriso harmônico, com dentes alinhados e brancos é visto como agradável e, com isso, é almejado (AHMED *et al.*, 2022). Discrepâncias no formato, tamanho, posicionamento e cor dos dentes levam à insatisfação pessoal, baixa autoestima e podem impactar nas relações sociais do indivíduo (TIN-OO *et al.*, 2011).

Estudos revelam que em torno de 55% dos indivíduos de idades, gêneros e culturas diferentes têm avaliado a cor de seus dentes como insatisfatória, com ênfase às mulheres, que acreditam que dentes mais claros são fatores importantes para uma boa aparência (BRENNAN *et al.*, 2014). Dentre as características citadas, a insatisfação com a cor é uma das queixas mais recorrentes nos consultórios dentários (JUM'AH *et al.*, 2024). As alterações de cor podem ser classificadas como intrínsecas e extrínsecas (CAREY, 2014). As extrínsecas são muito frequentes, são resultantes da deposição de substâncias sobre a superfície dos dentes ou de sua penetração através dos defeitos do esmalte. São geralmente associadas ao consumo excessivo de alimentos que liberam corantes, tais como; café, chá, bebidas, fumo e acúmulo de placa e bactérias cromogênicas que produzem pigmentações escurecidas. Mas a intensidade desse tipo de manchamento piora quando houver defeitos no esmalte superficial, quando a dentina se encontra exposta ou quando houver recessão a superfície da raiz (TERÉZHALMY *et al.*, 2016).

As alterações de cor intrínsecas adquiridas são classificadas em pré-eruptivas e pós-eruptivas. As manchas pré-eruptivas são manchas causadas por tetraciclina, fluorose dental, amelogênese e dentinogênese imperfeitas. Sua localização e severidade estão diretamente relacionadas com o tempo em que estas substâncias entraram em contato com os tecidos dentais em formação. Já as pós-eruptivas são manchas causadas por traumatismos, necroses e calcificações pulpare, reabsorção dentina interna ou externa e envelhecimento dental (HAYWOOD e ROBINSON, 1997). Além disso, pigmentações intrínsecas são de difícil remoção, e podem ser decorrentes de fatores congênitos, como as fluoroses e amelogêneses, ou adquiridas como são o caso de dentes tratados endodonticamente ou que sofreram traumatismos (SULIEMAN, 2005; WITKOP, 1988).

Existem diversos tipos de tratamentos que visam contornar a descoloração dentária, sejam de origem intrínseca ou extrínseca. Para maior descoloração, podemos utilizar abordagens mais invasivas como confecção de facetas de resina composta ou laminados cerâmicos, que demandam algum desgaste da superfície dental prévio. Por outro lado, uma abordagem menos invasiva pode ser indicada, como o clareamento dental (RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ *et al.*, 2019).

O clareamento dental consiste no uso de géis compostos, em sua maior parte de peróxidos de hidrogênio ou de carbamida em diferentes concentrações e modalidades de aplicação (MATIS *et al.*, 2007), onde é possível obter um resultado estético significativamente melhor, com baixas probabilidades de causar danos irreversíveis às estruturas dentais e aos tecidos moles bucais (JOINER, 2006). Atualmente, para dentes vitais as técnicas de tratamento clareador são divididas em caseiras, de consultório ou uma combinação de ambos os procedimentos, alternando

o tempo de uso e as concentrações dos produtos clareadores (BERNARDON *et al.*, 2010).

2.1 Agentes clareadores

2.1.1 Peróxido de Carbamida

O peróxido de carbamida é encontrado em concentrações de 10 a 22% para uso na técnica de clareamento caseiro e em 35% para clareamento realizado em consultório (LYNCH *et al.*, 1995). Este componente tem sido amplamente utilizado na técnica de clareamento vital caseiro. Os produtos que contêm peróxido de carbamida em sua composição geralmente incluem glicerol ou propileno glicol, agente aromático, ácido fosfórico ou cítrico, e carbopol, um polímero de carboxipolimetileno. A principal função do carbopol é tornar o material mais espesso e aumentar a aderência do gel aos tecidos dentais. Além disso, os agentes associados ao carbopol liberam oxigênio de forma mais lenta, o que exige um tempo maior de permanência da solução na moldeira, melhorando a eficácia da técnica (MEIRELES *et al.*, 2008). O gel de peróxido de carbamida com carbopol funciona como uma fonte de peróxido de hidrogênio de baixa concentração. Sua aplicação prolongada possibilita uma ação lenta e constante, minimizando as chances de sensibilidade no paciente (MATIS, 2003).

2.1.2 Peróxido de Hidrogênio

O peróxido de hidrogênio é o principal componente químico ativo na maioria dos agentes utilizados em terapias de clareamento dental, devido às suas propriedades reativas. Ele pode ser encontrado tanto na forma líquida quanto em gel, sendo preferível a forma em gel devido ao melhor controle na aplicação, o que reduz a chance de contato indesejado com os tecidos moles (WALSH, 2000).

Na realização do clareamento caseiro o peróxido de hidrogênio é utilizado em concentrações baixas, geralmente até 7,5%, já no clareamento de consultório as concentrações variando de 30 a 38%, sendo a de 35% a mais utilizada (PAPATHANASIOU *et al.*, 2001). O peróxido de hidrogênio, em contato direto com o substrato desejado, libera radicais livres, esses radicais são íons de vida efêmera, instáveis, que rapidamente se ligam a outras substâncias livres ou ligadas ao substrato específico para se estabilizarem novamente (BOWLES e UGWUNERI, 1987; EIMAR *et al.*, 2012).

Segundo Garber (1997) isso ocorre devido à alta eletronegatividade do oxigênio, que confere um grande poder de reação aos íons, os quais buscam constantemente a estabilidade molecular. O oxigênio liberado penetra nos túbulos dentinários e age nos compostos dos anéis de carbono que são altamente pigmentados, transformando-os em compostos mais claros ou sem cor.

2.2 Tipos de clareamento

2.2.1 Clareamento dental caseiro

No clareamento caseiro, o paciente aplica o gel clareador em casa, mas com supervisão do dentista, com a utilização de peróxido de carbamida de 6% a 22% ou peróxido de hidrogênio de 1,5% a 8% (LYNCH *et al.*, 1995). Para esta modalidade de clareamento são confeccionadas placas de acetato/silicone sobre modelos de gesso das arcadas do paciente (individualizadas). O gel clareador é aplicado na porção interna da placa na região correspondente à face vestibular dos dentes, então, a placa é adaptada às arcadas e permanece em posição durante 1 à 2 horas por dia por um período de 15 à 30 dias (HEYMANN, 2005).

A técnica de clareamento caseiro possui como vantagens: menor custo, poucas e rápidas consultas, menor recidiva de cor em longo prazo, menor possibilidade de efeitos adversos, como sensibilidade e irritação gengival quando comparada a técnica de consultório, pois utiliza agentes clareadores em baixas concentrações (HAYVVOOD e HEYMANN, 1989). A técnica é eficaz para clareamento, contudo, a técnica exige colaboração do paciente, requer em média de 3 a 6 semanas para finalização do tratamento, alguns pacientes podem apresentar sensibilidade dental durante o tratamento e não é possível prever com exatidão a longevidade dos resultados (LEONARD JR, 1998).

2.2.2 Clareamento dental de consultório

A técnica de clareamento de consultório consiste na aplicação de gel clareador à base de peróxido de hidrogênio, com concentração de 35% a 38%, ou peróxido de carbamida a 37%, diretamente sobre os dentes pelo cirurgião-dentista no consultório dentário, com uso de afastador intra-bucal e barreira gengival para proteger a mucosa do contato com o gel. As aplicações são feitas em 2 a 3 sessões de aproximadamente 45 minutos (FEINMAN *et al.*, 1991). O clareamento de consultório possui a vantagem da obtenção de resultados mais rápidos e maior controle da aplicação do produto e das áreas expostas ao agente clareador quando comparado ao caseiro (TANAKA *et al.*, 2010). Necessita menor colaboração do paciente, porém pode resultar em maior frequência de sensibilidade dental (CROLL, 2003; KUGEL *et al.*, 2006).

Uma questão que já foi discussão por anos dentro da odontologia é a respeito do uso de luz sobre o gel clareador no aumento da eficácia do resultado final. A utilização da luz não é capaz de acelerar o processo de clareamento na maioria das técnicas de convencionais de clareamento, portanto, as evidências no meio científico apontam que a

fotoativação nos géis clareadores é desnecessária, visto que os dentes clareiam com ou sem luz (MARSON *et al.*, 2008). Além disso, quando utilizado com agentes clareadores de alta concentração, o uso de fonte de luz é prejudicial à estrutura dental, devido à inflamação pulpar e sensibilidade após as sessões de clareamento (MENA-SERRANO *et al.*, 2016).

Os riscos comumente relatados com o clareamento dental incluem aumento da sensibilidade dentária e leve irritação gengival. A sensibilidade dentária geralmente ocorre no momento do tratamento e pode durar vários dias; a irritação gengival começa um dia após o tratamento e também pode durar vários dias. Essa sensibilidade é branda e reversível, na maioria dos casos, somente com a suspensão do tratamento (DAHL e PALLESEN, 2008). Vários fatores podem ser relacionados a ela, como: pH da substância, componentes, tempo e modo de uso, porcentagem do agente clareador, tipo de luz utilizada, presença de recessão gengival com dentina exposta, presença de trincas no esmalte e o grau de permeabilidade dentária. Os tratamentos considerados efetivos são: uso do nitrato de potássio a 5% em moldeiras associado, na maioria das vezes, ao fluoreto de sódio neutro a 2%, aplicação tópica de flúor, utilização de laser de baixa potência e prescrição de analgésicos e/ou anti-inflamatórios, quando houver exacerbação da sensibilidade (DE LIMA *et al.*, 2022).

Apesar de ser um tratamento pouco invasivo, a sensibilidade trans e pós operatória é muito comum, principalmente no protocolo de consultório. Isso se deve a alta concentração do gel utilizado. Para tentar solucionar este problema, tecnologias tem sido estudadas, sendo uma delas a associação do dióxido de titânio, ou, de forma semelhante, o pentóxido de nióbio à agentes clareadores de baixa concentração. Segundo Matos *et al.*, (2023) a associação do DT+N ao espessante do

gel permite o uso de concentrações menores de peróxido de hidrogênio, mantendo a eficácia dos géis tradicionais.

2.3 Estudo da cor na odontologia

A seleção visual de cor na odontologia por meio de escalas de cores é o método mais comum para reproduzir a cor dos dentes naturais, apesar de ser um processo subjetivo e complexo (DELLA BONA *et al.*, 2015). Em pesquisas de cor, o uso de instrumentos como espectrorradiômetros, espectrofotômetros e colorímetros é fundamental para avaliações objetivas. (MEIRELES *et al.*, 2010). Acerca da colorimetria dos materiais odontológicos, a Comissão Internacional de Iluminação (CIE- Commission Internationale de l'Éclairage) introduziu o espaço de cor CIELAB, diferença de cor (ΔE) e padrões de iluminação utilizados na ciência da cor, assim, as cores podem ser quantificadas a partir das coordenadas de cor CIE $L^*a^*b^*$ (L^* : eixo da luminosidade; a^* : eixo vermelho-verde; b^* : eixo amarelo-azul) e as diferenças de cor (ΔE) calculadas com base nas equações preconizadas pela CIE (CIELAB e CIEDE2000). Dessa forma, quanto maior for o valor de ΔE obtido por essas métricas, maior será a percepção da diferença de cor pelo observador (CIE, 2004).

Pesquisas comparando avaliações visual e instrumental de cor, demonstram melhor correspondência para a métrica CIEDE2000 (ΔE_{00}) (PARAVINA *et al.*, 2015; PECHO *et al.*, 2016; PECHO *et al.*, 2017), por diminuir diferenças em luminosidade, saturação e matiz (L^* , C^* e H^* , respectivamente) e correções para fatores não uniformes (SL, SC e SH), conhecidos como fatores de correção, e fatores paramétricos (KL, KC e KH) que consideram a influência da iluminação e as condições de visualização para a avaliação de um objeto.

Pecho et al., (2016) sugeriu em um estudo, modificar um fator paramétrico na equação padrão CIEDE2000 (1:1:1), onde $KL=1$, $KC=1$ e $KH=1$, para CIEDE2000 (2:1:1), com valor de $KL=2$, o que deixou aproximou ainda mais os resultados instrumentais da percepção visual. Os limiares de perceptibilidade (PT- perceptibility threshold) e de aceitabilidade (AT- acceptability threshold) foram inseridos na colorimetria para que essas quantificações possam ser comparadas a limiares pré- definidos e, conseqüentemente, relacionar-se com a avaliação visual (GHINEA *et al.*, 2010). Na odontologia, PT é definido como a diferença de cor perceptível entre duas amostras e AT é se essa diferença é aceitável esteticamente (PARAVINA *et al.*, 2015).

2.4 Avaliação da eficácia do tratamento clareador

Para verificar a eficácia clínica do tratamento clareador, podem ser realizadas duas análises de cor: subjetiva (observação e registro de cor com escalas) e objetiva (espectrofotômetros). A análise subjetiva compara a cor do terço médio da face vestibular dos dentes com escalas de cor ordenadas e numeradas sequencialmente, da cor mais clara para a mais escura. (DE GEUS *et al.*, 2015). A luminosidade do ambiente e a calibração do olho do observador influenciam significativamente os resultados, por isso, recomenda-se realizar a análise da cor dos dentes com luz natural, preferencialmente à tarde, no mesmo horário ou sob condições padronizadas de luminosidade controlada. Além disso, é importante que a calibração e a análise sejam feitas por mais de um avaliador, pois a diferença de cor detectada pode ser melhor comparada com a percepção de alteração de cor do próprio paciente. (BERNARDON *et al.*, 2010).

A análise objetiva da diferença de cor é realizada por meio de espectrofotômetros digitais, colorímetros e espectroradiômetros

(MEIRELES *et al.*, 2010) onde os feixes de luz são incididos na superfície dentária, a sua reflexão é captada pelo equipamento que converte a informação em coordenadas de cor, permitindo o cálculo da diferença de brancura (Δ WID- Whiteness Index for Dentistry) e de alteração de cor (ΔE^*ab - CIELAB e ΔE_{00} - CIEDE 2000) (PECHO *et al.*, 2016; PEREZ *et al.*, 2019). A diferença de cor CIEDE2000 está sendo utilizada em estudos recentes de comparação da diferença de cor em odontologia, sendo baseada nos conceitos de croma e matiz (PECHO *et al.*, 2016; LAGO *et al.*, 2017; DELLA BONA *et al.*, 2019) por representar melhor concordância com a avaliação subjetiva quando comparada ao ΔE^*ab (PARAVINA *et al.*, 2015; PECHO *et al.*, 2016; PEREZ *et al.*, 2019).

O Índice de Brancura para Odontologia (WID) é baseado no espaço de cor CIELAB e é descrito como o "nível de branco" de um material por meio de índices de brancura. Valores maiores de índice indicam amostras mais brancas, enquanto valores menores indicam amostras mais escuras. (PEREZ *et al.*, 2016). Para comparar as diferenças de cor e brancura entre a avaliação objetiva e a subjetiva, foram desenvolvidos os limiares de perceptibilidade (PT - perceptibility threshold) e aceitabilidade (AT - acceptability threshold) como ferramentas de controle de qualidade na seleção de materiais odontológicos, padronização e verificação da efetividade do tratamento clareador. Valores de diferença de cor abaixo do PT indicam que a diferença de cor não é perceptível pelo olho humano; valores entre PT e AT indicam diferenças de cor perceptíveis, mas aceitáveis; e valores acima do AT indicam diferenças de cor não aceitáveis. (PARAVINA *et al.*, 2015; PEREZ *et al.*, 2016).

3.

PROPOSIÇÃO

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência da adição de nanotubos de dióxido de titânio (NTi) e pentóxido de nióbio (NNb) ao gel de peróxido de hidrogênio a 6% na eficácia do clareamento dental. As hipóteses testadas foram: 1) O pH e a estabilidade de géis clareadores de peróxido de hidrogênio a 6% com a incorporação de nanotubos não interferiria nas propriedades do gel clareador; 2) os resultados na alteração da cor dental promovido pelos géis clareadores contendo os óxidos seriam semelhantes ao protocolo convencional que utiliza gel clareador a 35% de peróxido de hidrogênio.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo in vitro foi dividido em duas fases metodológicas: 1) síntese do gel clareador experimental, com incorporação de 2,5 a 5% de nanotubos de TiO₂ e Ni₂O₅ ao peróxido de hidrogênio 6% (Tabela 1); 2) avaliação da eficácia de clareamento utilizando os géis experimentais.

4.1 Fase 1. Obtenção e caracterização dos géis clareadores experimentais

4.1.1 Síntese de agentes clareadores experimentais

Nanopartículas de TiO₂ e Nb₂O₅ foram sintetizadas por processos solvotérmicos no Laboratório de Biomateriais da Universidade Federal do Paraná. O gel clareador experimental foi obtido em farmácia de manipulação. Os NTi e NNb foram pesados em balança analítica de precisão e foram incorporados ao agente espessante nas concentrações relatadas na Tabela 1. O espessante contendo as partículas foi homogeneizado em um misturador específico (Speed Mixer, Dac Iso 1. FVZ, Flack Tech, Inc.). O peróxido de hidrogênio a 6% (seringa de 3g) foi adicionado e homogeneizado com o espessante contendo as partículas na proporção de 3:2.

Tabela 1 – Apresentação dos grupos experimentais com a concentração de peróxido de hidrogênio e nanotubos utilizados.

Grupo	Porcentagem do peróxido de hidrogênio (%)	Tipo de partícula	Porcentagem de nanotubos (%)
2,5Ti	6	TiO ₂	2,5
5Ti	6	TiO ₂	5
2,5Nb	6	Nb ₂ O ₅	2,5
5Nb	6	Nb ₂ O ₅	5
6PH	6	-	-
35PH	35	-	-

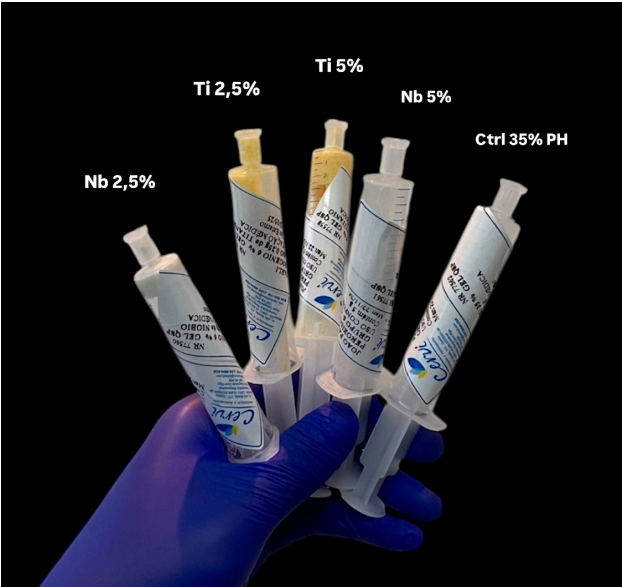


Figura 1 – Apresentação dos géis clareadores com composição variada conforme o grupo experimental.

4.1.2 Determinação do pH

O pH dos géis foi medido em triplicata em pHmetro acoplado a um potenciômetro previamente calibrado com padrões de pH 4,0 e 7,0, misturando 1 g de clareador gel para 10 mL de água deionizada em agitador magnético por 10 min a 20°C. O pH foi avaliado nos tempos 0 min, 15 min, 30 min e 1h, 30 dias e 60 dias denotando o tempo de contato do gel clareador na superfície dentária.

4.1.3 Teste de estabilidade do gel experimental

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) definiu os testes preliminares de estabilidade como a triagem inicial das formulações experimentais. Amostras em triplicata, armazenadas em frascos de vidro transparentes selados, foram submetidas a teste preliminar e teste acelerado de estabilidade. No teste preliminar, as amostras foram submetidas a ciclos de 24 horas em estufa a 37°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) e 24 horas em geladeira a 4°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) durante 4 semanas. Em seguida, foram determinados e descritos os valores de cor, odor e pH dos géis. O teste de estabilidade acelerado determinou a estabilidade da formulação ao longo de 60 dias e previu o prazo de validade estimado. As amostras em triplicata foram armazenadas em frascos de vidro transparentes lacrados e divididas em dois grupos: G1 - armazenadas em estufa a 37°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) e G2 - conservadas em geladeira a 4°C ($\pm 2^\circ\text{C}$).

4.1.4 Análise dos Dados

Supondo igualdade de variâncias e normalidade dos dados (Kolmogorov-Smirnov), o pH dos géis clareadores foram comparados

por ANOVA e Tukey com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), software SigmaPlot.

4.2 Fase 2. Eficácia dos géis clareadores experimentais

O cálculo do tamanho da amostra foi dimensionado considerando o desenho experimental (Concentração de TiO₂, presença de luz e tempo). Sessenta dentes foram distribuídos aleatoriamente entre 6 grupos ($n = 10$), considerando um poder de 0,80 ($\beta = 0,20$) para um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e grande tamanho de efeito para concentração de TiO₂ e presença de luz (tamanho do efeito $> 0,35$) e tamanho médio do efeito (tamanho do efeito $> 0,20$) para tempo e interações entre fatores em estudo. (Antunes et al., 2023).

4.2.1 Preparação e seleção de amostras

Foram selecionados dentes bovinos sem defeitos e devidamente limpos. As coroas foram seccionadas, e as raízes removidas com o auxílio de um disco diamantado, utilizando uma cortadeira de alta precisão (Isomet 1000, Buheler, Illinois, EUA), sob irrigação com água, resultando em blocos de esmalte com dimensões de 5 x 5 x 3mm. A superfície dos blocos foi planificada (utilizando lixas de carboneto de silício #600, 800, 100 e 1200) em uma politriz, garantindo que a espessura de esmalte e dentina fosse padronizada. A superfície de esmalte foi polida com disco de feltro e suspensão de diamante por 1 min.

4.2.2 Coloração artificial do esmalte

Uma fina camada de esmalte para unhas foi aplicada aos corpos-de-prova, exceto o esmalte bucal, que permaneceria exposto. Os corpos-de-prova ficaram imersos em solução tamponada de chá preto

(Dr.Oetker, São Paulo, SP, Brasil, pH = 7,0), preparada com 2g de chá preto diluído em 100mL de água destilada por 5min, durante 24h a 37°C (MATOS *et al.*, 2023). Em seguida, os corpos-de-prova foram limpos com taça de borracha e pó de pedra-pomes para remover as partículas superficiais e permaneceram em água destilada a 37°C por 24h. As amostras foram alocadas aleatoriamente nos grupos experimentais (Tabela 1) (n=10).

4.2.3 Protocolo de clareamento

Para permitir comparações entre grupos, foram adotados os mesmos protocolos para os géis clareadores comerciais e experimentais. Os géis foram pesados (0,1g) e aplicados no esmalte exposto. O clareamento ocorreu com a aplicação do gel clareador por 45 minutos na superfície de esmalte dentário por uma única vez. Devido à característica fotocatalítica das partículas dos óxidos, os grupos designados (2,5 Ti, 5Ti, 2,5Nb e 5Nb) receberam irradiação com luz utilizando a unidade fotoativadora (LED). A luz foi irradiada por 1min, seguida de uma pausa de 30s, e este ciclo se repetiu 10 vezes. Após o procedimento clareador, os espécimes permaneceram em água destilada a 37°C.



Figura 2 – (a) Corpos-de-prova prontos para receberem o gel clareador; (b) Grupos designados receberam irradiação por luz durante 1 min, se repetindo 10 vezes.

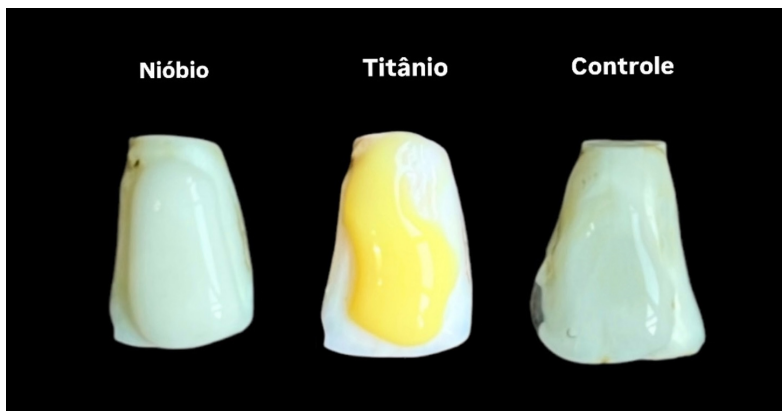


Figura 3 – Aplicação dos géis clareadores na superfície vestibular dos dentes bovinos. Nota-se o aspecto branco-opaco para os géis contendo Nb, amarelado-opaco para o Ti e translúcido para o Controle.

4.2.4 Avaliação de cor

Previamente à análise de cor, guias de silicone de adição denso (Scan Putty, Yller Biomateriais, Pelotas, Brasil) foram fabricadas individualmente para cada corpo-de-prova, com abertura circular de aproximadamente 6 mm (compatível com o diâmetro da ponta ativa do espectrofotômetro), expondo uma área padronizada de esmalte, correspondente à região do terço médio da superfície vestibular.

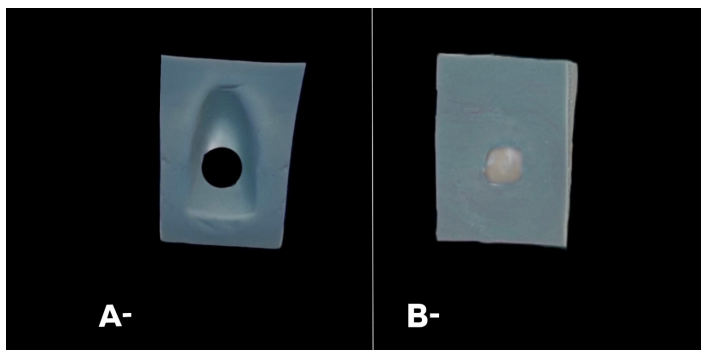


Figura 4 – (a) confecção da guia de silicone individualmente para cada corpo-de-prova, vista por palatina; (b) abertura circular de 6mm com diâmetro compatível com a ponta ativa do espectrofotômetro, garantindo a padronização do teste. A região do terço médio da superfície vestibular, proporcionando uma área uniforme para análise.

As coordenadas de cor foram analisadas por espectrofotômetro digital Vita Easy Shade™ (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Alemanha): após o escurecimento (T0), e após clareamento dental (T1). A calibração do aparelho realizou-se previamente às avaliações, conforme as orientações do fabricante.

Os corpos-de-prova foram preparados e a ponta ativa do equipamento foi posicionada sobre a superfície vestibular através da perfuração da guia de silicone. As coordenadas CIELAB de cor e a cor conforme a escala Vita 3D Master foram registradas em uma tabela do Microsoft Excel. As coordenadas de cor serviram para a avaliação das diferenças de cor (ΔE_{00}) e índice de clareamento (ΔWID).

O cálculo da diferença de cor ΔE_{00} (CIEDE 2000) foi realizada pela Equação 1 (LUO et al., 2001; CIE, 2004).

$$\Delta E_{00} = \left[\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right) \right]^{1/2}$$

Onde $\Delta L'$, $\Delta C'$ e $\Delta H'$ representaram as diferenças de luminosidade, saturação (croma) e matiz (hue) em um par de amostras, e RT foi uma função de rotação que descreveu a interação entre as diferenças de saturação e matiz na região azul. Funções de ponderação (weighting functions), SL, SC, SH, ajustaram a diferença de cor total com base na variação da localização do par de amostras nas coordenadas L' , a' , b' . Os fatores paramétricos KL, KC e KH foram termos de correção que lidaram com as condições experimentais. Para o cálculo da diferença de cor CIEDE2000, foram consideradas as descontinuidades no cálculo da média do matiz e na computação da diferença do matiz (SHARMA et al., 2005). Neste estudo, os fatores paramétricos $KL=1$, $KC=1$ e $KH=1$ (para luminosidade, croma e matiz, respectivamente) foram adotados.

Para ΔE_{00} , considerou-se os limiares de perceptibilidade 50:50% ($PT = 0,8$ unidades) e aceitabilidade 50:50% ($AT = 1,8$ unidades). Os valores dos limiares de aceitabilidade (AT) para ΔE_{00} basearam-se seguindo ISO/ TR 28642:2016 (PARAVINA et al., 2015). Valores de ΔE_{00} abaixo de 0,8 unidades foram identificados como imperceptíveis ao olho humano. Valores entre 0,8 e 1,8 unidades foram reconhecidos como perceptíveis, porém aceitáveis clinicamente. Valores acima de 1,8 unidades foram julgados inaceitáveis clinicamente.

O cálculo do índice de brancura (WID - whiteness index for dentistry) foi realizado pela Equação 2 (PEREZ et al., 2016).

$$WID = 0,511 L^* - 2,324 a^* - 1,100 b^*$$

Onde os valores mais baixos de WID (incluindo valores negativos) significaram amostras mais escuras, enquanto valores de WID

mais altos indicaram amostras mais claras. A variação de WID (Δ WID) foi calculada subtraindo os valores de WID final dos valores de WID inicial de cada grupo. Os valores do Δ WID foram analisados utilizando o limiar de aceitabilidade ($WAT = 2,60$ unidades), obtidos de um estudo preliminar (PEREZ et al., 2019).

Foram considerados diferentes períodos de avaliação (T0 e T1) para comparar a diferença de cor (ΔE_{00}) e de índice de brancura (Δ WID) entre os grupos. O armazenamento das amostras foi realizado em imersão em água destilada a 37°C pelo tempo designado para avaliação.

Supondo igualdade de variâncias e normalidade dos dados (Kolmogorov-Smirnov), a alteração de cor e de clareamento entre os grupos experimentais foram comparadas por ANOVA e Tukey com nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$). As análises foram realizadas no software SigmaPlot.

5. RESULTADOS

5.1 Análise de pH

Tabela 2 – Valores de pH medidos em diferentes tempos de avaliação para os grupos experimentais.

Grupo	0 min	15 min	30 min	60 min	30 dias	60 dias
2,5% Ti	3.5	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5
5% Ti	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
2,5% Nb	5.0	6.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5% Nb	6.0	7.0	6.0	5.0	6.0	5.0
6% HP	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
35% HP	5.0	5.5	5.5	5.0	5.0	5.0

O pH dos géis experimentais mantiveram os valores iniciais, permanecendo sem alterações significativas ao longo do tempo.

5.2 Índice de brancura (Δ WID)

A Tabela 3 mostra que não houve diferença no Índice de Brancura (WID) entre os grupos dentro de um mesmo período de avaliação, mostrando homogeneidade de brancura entre os grupos após o tratamento clareador e aplicação de antioxidante.

Tabela 3 – Valores médios e desvio padrão do Índice de Brancura (WID) entre diferentes grupos experimentais nos respectivos tempos de avaliação.

Tempo b	0,25N	0,5Nb	0,25Ti	0,5Ti	Ctrl6 %	Ctrl35 %
T0	1 , 2 (11,3)A	- 1 0 , 2 (17,7)A	- 4 , 7 (9,8)A	- 1 6 , 9 (13,7)A	- 5 (9,6)A	- 6 , 0 (21,5)A
T1	3 , 5 (11,5)A	- 2 , 3 (13,9)A	2 , 2 (11,1)A	- 3 , 2 (9,7)A	- 1 , 6 (7,5)A	3 (6,8)A

**Letras iguais na mesma linha correspondem à semelhança estatística entre os grupos experimentais em um mesmo período de avaliação.*

Os resultados para as diferenças de índice de brancura (Δ WID) apresentadas pelos grupos experimentais no intervalo de avaliação T1-T0 são apresentadas na Figura 1. Δ WID mostrou que a eficácia do tratamento clareador dos grupos 0,5Nb, 0,25ti e 0,5Ti foi semelhante ao grupo Ctrl35%. Os grupos Ctrl 35% e 0,5Ti excederam o limiar de aceitabilidade, mostrando maior efeito do clareamento.

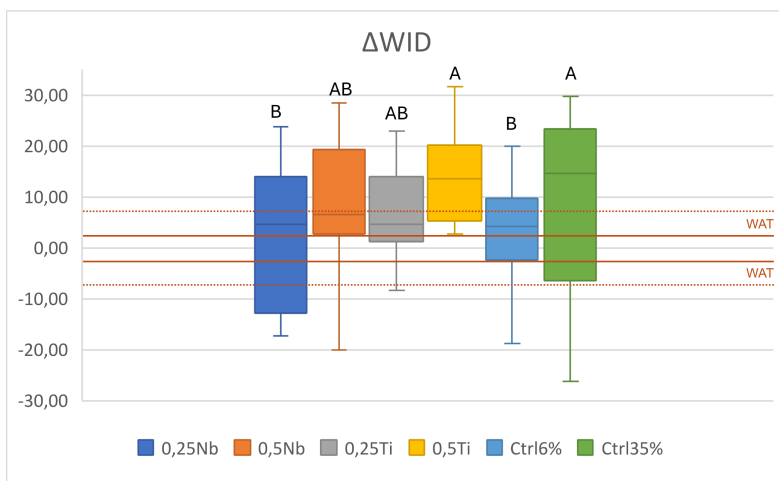


Figura 5 – Diferenças do índice de brancura (ΔWID) dos grupos experimentais no intervalo de avaliação T1-T0. As linhas horizontais vermelhas contínuas representam o limiar de aceitabilidade (WAT) superior e inferior e as linhas pontilhadas são os seus intervalos de confiança, 95%.

6.

DISCUSSÃO

O principal objetivo desta pesquisa foi analisar a eficácia de um gel clareador contendo 6% de peróxido de hidrogênio e nanotubos de dióxido de titânio e pentóxido de nióbio a 2,5% ou 5%, no clareamento de dentes escurecidos. Os resultados mostraram que a incorporação dos óxidos ao gel clareador de baixa concentração (6%), com exceção do 0,25Nb, promoveu um efeito clareador similar ao do grupo controle, contendo peróxido de hidrogênio em alta concentração (35%), ou seja, manteve sua eficácia. Portanto, a hipótese de que a adição de nanotubos de Ti e Nb permite a redução da concentração dos géis clareadores sem comprometer a eficácia do clareamento foi aceita. Pôde-se constatar também a manutenção dos valores de pH dos géis experimentais por períodos de até 60 dias, o que confirma a aceitação da hipótese de estabilidade dos géis experimentais utilizados na presente pesquisa ao longo do tempo.

A incorporação dos nanotubos favoreceu a formação acelerada e a liberação de radicais reativos durante o clareamento, evidenciando seu potencial catalítico (LEE *et al.*, 2005). As formulações contendo peróxido de hidrogênio a 6% com adição de TiO₂ a 5% quando ativadas por luz mostrou clareamento (WID) acima do limiar de aceitabilidade, mostrando maior efeito clareador do que os demais grupos experimentais e semelhante ao grupo controle, mostrando um maior poder fotocatalítico (SUYAMA *et al.*, 2009).

Komatsu *et al.*, 2014 afirmam que a ação catalítica do TiO₂ é caracterizada por seu potente poder oxidativo e alta estabilidade química,

sendo influenciada por reações que ocorrem com as moléculas em sua superfície. O TiO_2 , em sua forma cristalina pode ser encontrado em três fases, uma das fases é a anatase que pode ser transformada em nanotubos, o que é significativo como agente catalítico, fotocatalisador e tornando a partícula estável (ABIODUN-SOLANKE *et al.*, 2014; ARRUDA *et al.*, 2015; HUA *et al.*, 2015). O formato nanotubular aumenta sua área superficial, o que resulta em uma maior produção de radicais superóxidos. Em escala nanométrica o TiO_2 tem o potencial reativo mesmo sem a presença de fontes de ativação, especialmente quando associadas ao peróxido de hidrogênio a 40% (CUPPINI *et al.*, 2019).

Contudo, neste estudo, os óxidos foram incorporados com o objetivo de permitir a redução da concentração de peróxido de hidrogênio, por isso, a fotoativação dos géis foi incorporada ao protocolo clareador. Ao contrário destes resultados, Carlos *et al.*, (2023) investigaram as propriedades físico-químicas de géis de peróxido de hidrogênio, com adição de menor concentração de nanotubos de dióxido de titânio, com ou sem o uso de luz LED violeta, e relataram que os nanotubos não aumentaram a eficácia na mudança de cor dos dentes tratados com géis contendo TiO_2 , tiveram resultados semelhantes aos grupos sem o composto, tanto com ou sem o uso de LED.

Além disso, como esperado, o PH35 foi mais eficaz do que PH7 em todos os casos, independentemente da presença de TiO_2 ou LED. Uma possível explicação para isso é que a concentração utilizada (1%) pode não ter sido suficiente para intensificar a reação química, ou que a estrutura dos nanotubos não favoreceu a liberação adicional de radicais livres. Nosso estudo que utilizou concentrações maiores (2,5 e 5%) podem ter um impacto melhor no clareamento e na mudança de cor.

Esses resultados mostram que o efeito do clareamento é dependente da concentração de nanotubos incorporados aos géis, portanto, um efeito potencializador do clareamento é esperado com maior concentração dos nanotubos.

As avaliações de estabilidade e pH mostraram comportamento homogêneo entre as formulações, evidenciando a ausência de aglomeração de partículas e mantendo as propriedades dos géis experimentais ao longo do tempo, mantendo sua consistência adequada para aplicação. Este resultado está de acordo com Monteiro *et al.* (2020), que, por meio de análises de polidispersão e potencial zeta, demonstraram que a incorporação de TiO₂ não modificou as propriedades físico-químicas dos géis clareadores.

Um pH mais elevado favorece a dissociação do peróxido de hidrogênio, resultando em uma maior formação de radicais livres reativos e, consequentemente, em um aumento da eficácia do clareamento (ACUÑA *et al.*, 2022). Por outro lado, um pH mais ácido contribui para a estabilidade do peróxido de hidrogênio, retardando sua decomposição e prolongando a vida útil do agente clareador durante o armazenamento. Embora a redução do pH possa aumentar a difusão dos peróxidos na estrutura dentária, esse efeito também está associado a um maior risco e intensidade de sensibilidade dentária (LOGUERCIO *et al.*, 2017). Manzoli *et al.*, (2022) investigaram o pH de géis de peróxido de hidrogênio de alta concentração, com ou sem exposição à luz LED, e constataram que, embora tenha ocorrido uma redução no pH ao longo do tempo, os valores mantiveram-se próximos aos registrados no início. O pH é estável em meios ácidos, o que explica o aumento da vida útil do gel. No presente estudo, os géis clareadores apresentaram um pH ácido, com os grupos contendo TiO₂ apresentando os menores valores. Isso pode ter contribuído para a estabilidade do gel clareador, contudo,

poderia estar associado à maior sensibilidade dental quando aplicado clinicamente. Por isso, próximos estudos serão conduzidos a fim de neutralizar o pH dos géis experimentais.

Carlos *et al.*, (2023) avaliaram géis de peróxido de hidrogênio em diferentes concentrações de 7% e 35% com a adição de nanotubos de TiO₂, observando um aumento considerável no pH dos géis que continham o óxido, com valores próximos a 6. Mesmo com as diferenças nas estruturas dos nanotubos, podem gerar comportamentos variados, deve-se ressaltar que os valores médios de pH permaneceram semelhantes, apesar das variações nas características dos nanotubos. O estudo testou oito grupos experimentais, variando a concentração do peróxido de hidrogênio, a presença ou ausência de óxidos e o uso ou não de LED violeta. Os géis clareadores de PH35% e PH7,5% apresentaram um pH mais neutro após a adição de espessantes, atingindo valores médios de 6,3 para o de 35% e 5,4 para o de 7%. Essa neutralização foi importante para garantir maior segurança clínica.

No presente estudo, alguns grupos apresentaram um pH de 5, enquanto outros foram mais ácidos (pH de 3,5), o que pode levar à desmineralização do esmalte e aumentar a sensibilidade dentária. Essa diferença pode ser explicada pela formulação do gel, que pode conter estabilizadores ácidos ou ter sofrido degradação do peróxido durante o armazenamento. Além disso, os nanotubos de TiO₂ podem ter interagido com os componentes do gel, alterando o pH final. Comparando os estudos, a neutralização do pH antes da aplicação clínica seria necessária para evitar efeitos adversos ao esmalte dental. A adição de agentes tamponantes, poderiam ser uma alternativa para tornar o gel mais seguro sem comprometer sua eficácia clareadora.

Caneschi *et al.*, (2023) relataram que os géis clareadores de baixa concentração (3% de peróxido de hidrogênio) contendo Nb, mesmo sem

a exposição à luz, resultaram em mudanças de cor comparáveis às observadas com o peróxido de hidrogênio à 35%. Esse bom desempenho do Nb foi atribuído à modulação das partículas de Nb em interação com os íons H⁺, o que aumentou os locais de oxidação e potencializou a capacidade oxidante dos géis, favorecendo a quebra dos cromóforos. Esses achados são semelhantes aos encontrados no presente estudo: na concentração de 5%, a incorporação de nanotubos de Nb ao gel clareador de peróxido de carbamida a 6%, utilizando ativação com LED, resultou em clareamento semelhante ao grupo de PH35%.

A realização de uma única aplicação de 30 minutos, em substituição a três aplicações de 15 minutos, reduz a concentração de peróxido de hidrogênio na câmara pulpar, minimizando, assim, o risco clínico de aumento da sensibilidade do paciente durante o clareamento (KURY *et al.*, 2020). Embora alguns fabricantes sugiram a reaplicação do gel durante a mesma sessão, verificou-se que uma única aplicação é capaz de proporcionar um clareamento eficaz, sem exigir aplicações adicionais na mesma sessão (BORGES *et al.*, 2021).

O presente sugere que a incorporação de nanotubos apresenta-se promissor em tratamentos de clareamento dental, especialmente os realizados em consultório, possibilitando eficácia de gel clareador com 6%PH semelhante ao 35%PH. No entanto, é necessário investigar a possibilidade de neutralização do pH para manter a eficácia e reduzir a possibilidade de efeitos adversos como a sensibilidade dentária e preservar a integridade estrutural dos esmalte da superfície dental.

O presente estudo é laboratorial, realizado em dentes bovinos, que possuem características estruturais semelhantes aos dentes humanos, como composição da matriz inorgânica e permeabilidade de esmalte. Contudo, como estudo laboratorial, as condições experimentais controladas não refletem completamente a complexidade do ambiente

bucal, onde fatores como a presença de saliva, biofilme e variações de temperatura podem influenciar a eficácia e a estabilidade dos géis clareadores. Outro ponto a ser considerado é que a avaliação da sensibilidade dentinária e dos efeitos do tratamento sobre os tecidos moles não foi abordada, o que limita a aplicação clínica direta dos achados.

Estudos futuros são necessários para confirmar a eficácia e a segurança das formulações em pacientes. Esses avanços contribuirão significativamente para o desenvolvimento de agentes clareadores mais eficazes e seguros, permitindo a otimização das formulações e ampliando suas possibilidades de aplicação na prática odontológica.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que a incorporação de nanotubos de dióxido de titânio (TiO_2) e pentóxido de nióbio (Nb_2O_5) aos géis clareadores de baixa concentração de peróxido de hidrogênio (PH 6%) tem potencial clareador semelhante à formulação comercial de alta concentração de PH (35%). Além disso, a análise da estabilidade química ao longo de 60 dias demonstrou que os géis experimentais mantiveram o pH durante todo o período de observação, sugerindo que a adição desses nanotubos não compromete a estabilidade do gel. Dessa forma, os achados deste estudo contribuem para a compreensão dos efeitos da modificação da composição dos agentes clareadores, que pode ser uma estratégia viável para o aprimoramento de suas propriedades, especialmente redução da concentração de agente clareador, sem prejuízo à sua eficácia e nos fornecem subsídios para investigações futuras voltadas ao desenvolvimento de formulações otimizadas para a odontologia.

REFERÊNCIAS

ABIODUN-SOLANKE, I.; AJAYI, D.; ARIGBEDE, A. Nanotechnology and its application in dentistry. *Annals of Medical and Health Sciences Research*, v. 4, supl. 3, p. S171-7, set. 2014.

ACUÑA, E. D.; PARREIRAS, S. O.; FAVORETO, M. W.; CRUZ, G. P.; GOMES, A.; BORGES, C. P. F.; LOGUERCIO, A. D.; REIS, A. In-office bleaching with a commercial 40% hydrogen peroxide gel modified to have different pHs: color change, surface morphology, and penetration of hydrogen peroxide into the pulp chamber. *J Esthet Restor Dent.*, v. 34, n. 2, p. 322-327, 2022.

AHMED, M. A.; JOUHAR, R.; KHURSHID, Z. Smart Monochromatic Composite: A Literature Review. *International Journal of Dentistry*, v. 2022, p. 2445394, 2022.

ALTMANN, A. S. P.; COLLARES, F. M.; BALBINOT, G. S.; LEITUNE, V. C. B.; TAKIMI, A. S.; SAMUEL, S. M. W. Niobium pentoxide phosphate invert glass as a mineralizing agent in an experimental orthodontic adhesive. *Angle Orthodontist*, v. 87, n. 5, p. 759-765, 2017.

ANTUNES, E. V. G.; BASTING, R. T.; DO AMARAL, F. L. B.; FRANÇA, F. M. G.; TURSSI, C. P.; KANTOVITZ, K. R.; BRONZE-UHLE, E. S.; FILHO, P. N. L.; BASTING, R. T. Titanium dioxide

nanotubes in a hydrogen peroxide-based bleaching agent: physicochemical properties and effectiveness of dental bleaching under the influence of a poliwave led light activation. *Clinical Oral Investigations*, v. 27, n. 4, p. 1745-1755, 2023.

ARRUDA, L.; SANTOS, C.; ORLANDI, M.; SCHREINER, W.; LISBOA-FILHO, P. Formation and evolution of TiO₂ nanotubes in alkaline synthesis. *Ceramics International*, v. 41, p. 2884-2891, 2015.

BASTING, R. T.; AMARAL, F. L.; FRANÇA, F. M.; FLÓRIO, F. M. Clinical comparative study of the effectiveness of and tooth sensitivity to 10% and 20% carbamide peroxide home-use and 35% and 38% hydrogen peroxide in-office bleaching materials containing desensitizing agents. *Operative Dentistry*, v. 37, n. 5, p. 464-473, 2012.

BERNARDON, J. K.; SARTORI, N.; BALLARIN, A.; PERDIGÃO, J.; LOPES, G. C.; BARATIERI, L. N. Clinical performance of vital bleaching techniques. *Operative Dentistry*, v. 35, n. 1, p. 3-10, 2010.

BORGES, A. B.; ABREU, F. S. de; MAILART, M. C.; ZANATTA, R. F.; TORRES, C. Efficacy and safety of bleaching gels according to application protocol. *Operative Dentistry*, v. 46, n. 2, p. E105-E116, 2021.

BORTOLATTO, J. F.; PRETEL, H.; FLOROS, M. C.; LUIZZI, A. C.; DANTAS, A. A.; FERNANDEZ, E.; MONCADA, G.; DE OLIVEIRA, O. B. JR. Low Concentration H₂O₂/TiO₂ in Office Bleaching: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Dental Research*, v. 93, n. 7 Suppl, p. 66S-71S, 2014.

BOWLES, W. H.; UGWUNERI, Z. Pulp chamber penetration by hydrogen peroxide following vital bleaching procedures. *Journal of Endodontics*, v. 13, n. 8, p. 375-377, 1987.

BRENNAN, M. M.; HALLAS, D.; JACOBS, S. K.; ROBBINS, M.; NORTHRIDGE, M. Home-use whitening toothpastes for whitening teeth in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 1, 2014.

BORGES, A. B.; ABREU, F. S. de; MAILART, M. C.; ZANATTA, R. F.; TORRES, C. Efficacy and safety of bleaching gels according to application protocol. *Operative Dentistry*, v. 46, n. 2, p. E105-E116, 2021.

BUCHALLA, W.; ATTIN, T. External bleaching therapy with activation by heat, light or laser--a systematic review. *Dental Materials*, v. 23, n. 5, p. 586-596, 2007.

CANESCHI, C. S.; BENETTI, F.; DE OLIVEIRA, L. C. A.; BELCHIOR, J. C.; FERREIRA, R. C.; MOREIRA, A. N.; DOS SANTOS ALVES MORGAN, L. F. Bleaching effectiveness and cytotoxicity of new experimental formulation of niobium-based bleaching gel. *Clinical Oral Investigations*, v. 27, n. 4, p. 1613-1621, abr. 2023.

CAREY, C. M. Tooth whitening: what we now know. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, v. 14, Suppl, p. 70-76, 2014.

CARLOS, N. R.; BASTING, R. T.; AMARAL, F. L. B. D.; FRANÇA, F. M. G.; TURSSI, C. P.; KANTOVITZ, K. R.; BRONZE-

UHLE, E. S.; LISBOA-FILHO, P. N.; CAVALLI, V.; BASTING, R. T. Physicochemical evaluation of hydrogen peroxide bleaching gels containing titanium dioxide catalytic agent, and their influence on dental color change associated with violet LED. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 2023.

COSTA, C. A.; RIEHL, H.; KINA, J. F.; SACONO, N. T.; HEBLING, J. Human pulp responses to in-office tooth bleaching. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, v. 109, n. 4, p. e59-e64, 2010.

CROLL, T. P. Bleaching sensitivity. *J Am Dent Assoc*, v. 134, n. 9, p. 1172, 2003.

CUPPINI, M.; LEITUNE, V. C. B.; SOUZA, M.; ALVES, A. K.; SAMUEL, S. M. W.; COLLARES, F. M. In vitro evaluation of visible light-activated titanium dioxide photocatalysis for in-office dental bleaching. *Dental Materials Journal*, v. 38, n. 1, p. 68-74, 2019.

DAHL, J. E.; PALLESEN, U. Tooth bleaching--a critical review of the biological aspects. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, v. 14, n. 4, p. 292-304, 2003.

DE GEUS, J. L.; REZENDE, M.; MARGRAF, L. S.; BORTOLUZZI, M. C.; FERNANDEZ, E.; LOGUERCIO, A. D.; REIS, A.; KOSSATZ, S. Evaluation of genotoxicity and efficacy of at-home bleaching in smokers: a single-blind controlled clinical trial. *Oper Dent*, v. 40, n. 2, p. E47-55, 2015.

DE LIMA, T. M.; FRANÇA, F. M. G.; DO AMARAL, F. L. B.; TURSSI, C. P.; BASTING, R. T. The use of desensitizing agents during in-office bleaching might not decrease tooth bleaching sensitivity: a randomized clinical trial. *International Journal of Esthetic Dentistry*, 2022.

DELLA BONA, A.; PECHO, O. E.; GHINEA, R.; CARDONA, J. C.; PEREZ, M. M. Colour parameters and shade correspondence of CAD-CAM ceramic systems. *J Dent*, v. 43, n. 6, p. 726-734, 2015.

DELLA BONA, A.; PECHO, O. E.; GHINEA, R.; CARDONA, J. C.; PARAVINA, R. D.; PEREZ, M. M. Influence of Bleaching and Aging Procedures on Color and Whiteness of Dental Composites. *Oper Dent*, v. 44, n. 6, p. 648-658, 2019.

EIMAR, H.; SICILIANO, R.; ABDALLAH, M. N.; NADER, S. A.; AMIN, W. M.; MARTINEZ, P. P.; CELEMIN, A.; CERRUTI, M.; TAMIMI, F. Hydrogen peroxide whitens teeth by oxidizing the organic structure. *Journal of Dentistry*, v. 40, Suppl 2, p. e25-e33, 2012.

FEINMAN, R. A.; MADRAY, G.; YARBOROUGH, D. Chemical, optical, and physiologic mechanisms of bleaching products: a review. *Practical Periodontics and Aesthetic Dentistry*, v. 3, n. 2, p. 32-36, 1991.

FUJISHIMA, A.; RAO, T. N.; TRYK, D. A. Titanium dioxide photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, v. 1, n. 1, p. 1-21, 2000.

GARBER, D. A. Dentist-monitored bleaching: a discussion of combination and laser bleaching. *Journal of the American Dental Association*, v. 128, Suppl, p. 26S-30S, 1997.

GARCIA, I. M.; LEITUNE, V. C. B.; BALBINOT, G. S.; SAMUEL, S. M. W.; COLLARES, F. M. Influence of niobium pentoxide addition on the properties of glass ionomer cements. *Acta Biomaterialia Odontologica Scandinavica*, v. 2, n. 1, p. 138-143, 2016.

GHINEA, R.; PEREZ, M. M.; HERRERA, L. J.; RIVAS, M. J.; YEBRA, A.; PARAVINA, R. D. Color difference thresholds in dental ceramics. *J Dent*, v. 38 Suppl 2, n., p. e57-64, 2010.

GUEDES, R. A.; CARLOS, N. R.; TURSSI, C. P.; FRANÇA, F. M. G.; VIEIRA-JUNIOR, W. F.; KANTOVITZ, K. R.; BRONZE-UHLE, E. S.; LISBOA-FILHO, P. N.; BASTING, R. T. Hybrid light applied with 37% carbamide peroxide bleaching agent with or without titanium dioxide potentializes color change effectiveness. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, v. 44, p. 103762, 2023.

HAYWOOD, V. B., History, safety and effectiveness of current bleaching techniques and application of the nightguard vital bleaching technique. *Quintessence Int.*, Berlin, v. 23, n. 7, p. 471-485, 1992.

HAYWOOD, V. B.; HEYMANN, H. Nightguard vital bleaching. *Quintessence Int.*, v. 20, n. 3, p. 173-176, 1989.

HAYWOOD, V. B.; ROBINSON, F. G. Vital tooth bleaching with Nightguard vital bleaching. *Current Opinion in Cosmetic Dentistry*, v. 4, p. 45-52, 1997.

HEYMANN, H. O. Tooth whitening: facts and fallacies. *British Dental Journal*, v. 198, p. 514, 2005.

HEYMANN, H. O. The artistry of conservative esthetic dentistry. *J. Am. Dent. Assoc.*, Chicago, p. 15E-23E, 1987.

HUA, X.; LIU, Z.; BRUCE, P. G.; GREY, C. P. The morphology of TiO₂ (B) nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, v. 137, n. 42, p. 13612-13623, 2015.

JOINER, A. The bleaching of teeth: A review of the literature. *Journal of Dentistry*, v. 34, n. 7, p. 412-419, 2006.

JUM'AH, A.; KOTHARI, S.; GRAY, A. R.; RATNAYAKE, J.; LEOV, F.; LYONS, K.; BRUNTON, P. A. A randomized clinical trial investigating the effect of three vital tooth bleaching protocols on oral health-related quality of life. *Saudi Dental Journal*, v. 36, n. 1, p. 77-83, 2024.

KISHI, A.; OTSUKI, M.; SADR, A.; IKEDA, M.; TAGAMI, J. Effect of light units on tooth bleaching with visible-light activating titanium dioxide photocatalyst. *Dental Materials Journal*, v. 30, n. 5, p. 723-729, 2011.

KOMATSU, O.; NISHIDA, H.; SEKINO, T.; YAMAMOTO, K. Application of Titanium Dioxide Nanotubes to Tooth Whitening. *Nano Biomedicine*, v. 6, n. 2, p. 63-72, 2014.

KUGEL, G.; PAPATHANASIOU, A.; WILLIAMS, A. J. 3rd; ANDERSON, C.; FERREIRA, S. Clinical evaluation of chemical and

light-activated tooth whitening systems. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, v. 27, n. 1, p. 54-62, 2006.

KURY, M.; HIERS, R. D.; ZHAO, Y. D.; PICOLO, M. Z. D.; HSIEH, J.; KHAJOTIA, S. S.; ESTEBAN FLOREZ, F. L.; CAVALLI, V. Novel Experimental In-Office Bleaching Gels Containing Co-Doped Titanium Dioxide Nanoparticles. *Nanomaterials (Basel)*, v. 12, n. 17, p. 2995, 2022.

KURY, M.; WADA, E. E.; SILVA, D. P. D.; TABCHOURY, C. P. M.; GIANNINI, M.; CAVALLI, V. Effect of violet LED light on in-office bleaching protocols: a randomized controlled clinical trial. *Journal of Applied Oral Science*, v. 28, p. e20190720, 2020.

LAGO, M.; MOZZAQUATRO, L. R.; RODRIGUES, C.; KAIZER, M. R.; MALLMANN, A.; JACQUES, L. B. Influence of Bleaching Agents on Color and Translucency of Aged Resin Composites. *J Esthet Restor Dent*, v. 29, n. 5, p. 368-377, 2017.

LEE, M. C.; YOSHINO, F.; SHOJI, H.; TAKAHASHI, S.; TODOKI, K.; SHIMADA, S.; KUSE-BAROUCHE, K. Characterization by electron spin resonance spectroscopy of reactive oxygen species generated by titanium dioxide and hydrogen peroxide. *Journal of Dental Research*, v. 84, n. 2, p. 178-182, 2005.

LEONARD JR, R. H. Efficacy, longevity, side effects, and patient perceptions of nightguard vital bleaching. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, Jamesburg, v. 19, n. 4, p. 766-781, 1998.

LOGUERCIO, A. D.; SERVAT, F.; STANISLAWCZUK, R.; MENA-SERRANO, A.; REZENDE, M.; PRIETO, M. V.; CERENO, V.; ROJAS, M. F.; ORTEGA, K.; FERNANDEZ, E.; REIS, A. Effect of acidity of in-office bleaching gels on tooth sensitivity and whitening: a two-center double-blind randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.*, v. 21, n. 9, p. 2811-2818, 2017.

LYNCH, E.; SHEERIN, A.; SAMARAWICKRAMA, D. Y.; ATHERTON, M. A.; CLAXSON, A. W.; HAWKES, J.; HAYCOCK, P.; NAUGHTON, D.; SEYMOUR, K. G.; BURKE, F. M.; GROOTVELD, M. C. Molecular mechanisms of the bleaching actions associated with commercially-available whitening oral health care products. *Journal of the Irish Dental Association*, v. 41, n. 4, p. 94-102, 1995.

MANZOLI, T. M.; COSTA, J. L. S. G.; BESEGATO, J. F.; GELIO, M. B.; GALVANI, L. D.; BORDINI, E. A. F.; KUGA, M. C.; DANTAS, A. A. R. Violet LED associated with high concentration hydrogen peroxide: Effects on bleaching efficacy, pH, and temperature. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, v. 40, p. 103133, 2022.

MARSON, F. C.; SENSI, L. G.; VIEIRA, L. C.; ARAÚJO, E. Clinical evaluation of in-office dental bleaching treatments with and without the use of light-activation sources. *Operative Dentistry*, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2008.

MATIS, B. A.; COCHRAN, M. A.; FRANCO, M.; AL-AMMAR, W.; ECKERT, G. J.; STROPES, M. Eight in-office tooth whitening systems evaluated in vivo: a pilot study. *Operative Dentistry*, v. 32, p. 322-327, 2007.

MATIS, B. A. Tray whitening: what the evidence shows. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, v. 24, n. 4A, p. 354-362, 2003.

MATOS, I. C. R. T.; KURY, M.; DE MELO, P. B. G.; DE SOUZA, L. V. S.; ESTEBAN FLOREZ, F. L.; CAVALLI, V. Effects of experimental bleaching gels containing co-doped titanium dioxide and niobium pentoxide combined with violet light. *Clinical Oral Investigations*, v. 27, n. 8, p. 4827-4841, 2023.

MEIRELES, S. S.; HECKMANN, S. S.; SANTOS, I. S.; DELLA BONA, A.; DEMARCO, F. F. A double blind randomized clinical trial of at-home tooth bleaching using two carbamide peroxide concentrations: 6-month follow-up. *Journal of Dentistry*, v. 36, n. 11, p. 878-884, 2008.

MEIRELES, S. S.; SANTOS, I. S.; BONA, A. D.; DEMARCO, F. F. A double-blind randomized clinical trial of two carbamide peroxide tooth bleaching agents: 2-year follow-up. *J Dent*, v. 38, n. 12, p. 956-963, 2010.

MENA-SERRANO, A. P.; GARCIA, E.; LUQUE-MARTINEZ, I.; GRANDE, R.; LOGUERCIO, A. D.; REIS, A. A Single-Blind Randomized Trial About the Effect of Hydrogen Peroxide Concentration on Light-Activated Bleaching. *Oper Dent*, v. 41, n. 5, p. 455-464, 2016.

MONTEIRO, N. R.; BASTING, R. T.; AMARAL, F. L. B. D.; FRANÇA, F. M. G.; TURSSI, C. P.; GOMES, O. P.; LISBOA-FILHO, P. N.; KANTOVITZ, K. R.; BASTING, R. T. Titanium dioxide nanotubes incorporated into bleaching agents: physicochemical characterization

and enamel color change. *Journal of Applied Oral Science*, v. 28, e20190771, 2020.

PAPATHANASIOU, A.; BARDWELL, D.; KUGEL, G. A clinical study evaluating a new chairside and take-home whitening system. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, v. 22, n. 4, p. 289-294, 296, 298, 2001.

PARAVINA, R. D.; GHINEA, R.; HERRERA, L. J.; BONA, A. D.; IGIEL, C.; LINNINGER, M.; SAKAI, M.; TAKAHASHI, H.; TASHKANDI, E.; PEREZ MDEL, M. Color difference thresholds in dentistry. *J Esthet Restor Dent*, v. 27 Suppl 1, n., p. S1-9, 2015.

PECHO, O. E.; GHINEA, R.; IONESCU, A. M.; CARDONA JDE, L.; PARAVINA, R. D.; PEREZ MDEL, M. Color and translucency of zirconia ceramics, human dentine and bovine dentine. *J Dent*, v. 40 Suppl 2, n., p. e34-40, 2012.

PECHO, O. E.; GHINEA, R.; ALESSANDRETTI, R.; PEREZ, M. M.; DELLA BONA, A. Visual and instrumental shade matching using CIELAB and CIEDE2000 color difference formulas. *Dent Mater*, v. 32, n. 1, p. 82-92, 2016.

PECHO, O. E.; GHINEA, R.; PEREZ, M. M.; DELLA BONA, A. Influence of Gender on Visual Shade Matching in Dentistry. *J Esthet Restor Dent*, v. 29, n. 2, p. E15-E23, 2017.

PEREZ, M. del M.; GHINEA, R.; RIVAS, M. J.; YEBRA, A.; IONESCU, A. M.; PARAVINA, R. D.; HERRERA, L. J. Development

of a customized whiteness index for dentistry based on CIELAB color space. *Dental Materials*, v. 32, n. 3, p. 461-467, 2016.

PEREZ, M. M.; HERRERA, L. J.; CARRILLO, F.; PECHO, O. E.; DUDEA, D.; GASPARIK, C.; GHINEA, R.; BONA, A. D. Whiteness difference thresholds in dentistry. *Dent Mater*, v. 35, n. 2, p. 292-297, 2019.

PEREZ, M. M.; PECHO, O. E.; GHINEA, R.; PULGAR, R.; DELLA BONA, A.; Recent advances in color and whiteness evaluation in dentistry. *Current Dentistry* v.1; n.1, p.23-29, 2019b.

RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, J.; VALIENTE, M.; SÁNCHEZ-MARTÍN, M. J. Tooth whitening: From the established treatments to novel approaches to prevent side effects. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, v. 31, n. 5, p. 431-440, 2019.

RUEGGEBERG, F. A.; GIANNINI, M.; ARRAIS, C. A. G.; PRICE, R. B. T. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Brazilian Oral Research*, v. 31, supl. 1, e61, 2017.

SAITA, M.; KOBAYASHI, K.; YOSHINO, F.; HASE, H.; NONAMI, T.; KIMOTO, K.; LEE, M. C. ESR investigation of ROS generated by H₂O₂ bleaching with TiO₂ coated HAp. *Dental Materials Journal*, v. 31, n. 3, p. 458-464, 2012.

SAKAI, K.; KATO, J.; NAKAZAWA, T.; HIRAI, Y. Bleaching effect of a 405-nm diode laser irradiation used with titanium dioxide and 3.5% hydrogen peroxide. *Laser Physics*, v. 17, p. 1166-1170, 2007.

SULIEMAN, M. An overview of tooth discoloration: extrinsic, intrinsic and internalized stains. *Dental Update*, v. 32, n. 8, p. 463-4, 466-8, 471, 2005.

SUYAMA, Y.; OTSUKI, M.; OGISU, S.; KISHIKAWA, R.; TAGAMI, J.; IKEDA, M.; KURATA, H.; CHO, T. Effects of light sources and visible light-activated titanium dioxide photocatalyst on bleaching. *Dental Materials Journal*, v. 28, n. 6, p. 693-699, 2009.

TANAKA, R.; SHIBATA, Y.; MANABE, A.; MIYAZAKI, T. Micro-structural integrity of dental enamel subjected to two tooth whitening regimes. *Archives of Oral Biology*, v. 55, n. 4, p. 300-308, 2010.

TERÉZHALMY, G.; HE, T.; ANASTASIA, M. K.; EUSEBIO, R. A Randomized Controlled Clinical Trial to Evaluate Extrinsic Stain Removal of a Whitening Dentifrice. *Journal of Clinical Dentistry*, v. 27, n. 4, p. 114-117, 2016.

TIN-OO, M. M.; SADDKI, N.; HASSAN, N. Factors influencing patient satisfaction with dental appearance and treatments they desire to improve aesthetics. *BMC Oral Health*, v. 11, p. 6, 23, 2011.

WALSH, L. J. Safety issues relating to the use of hydrogen peroxide in dentistry. *Australian Dental Journal*, v. 45, n. 4, p. 257-269, 2000.

WINKLER, H. C.; NOTTER, T.; MEYER, U.; NAEGELI, H. Critical review of the safety assessment of titanium dioxide additives in food. *Journal of Nanobiotechnology*, v. 16, p. 51, 2018.

WITKOP, C. J. Jr. Amelogenesis imperfecta, dentinogenesis imperfecta and dentin dysplasia revisited: problems in classification. *Journal of Oral Pathology*, v. 17, n. 9-10, p. 547-553, 1988.

APÊNDICES

**APÊNDICE 1 – Análise de variância do efeito sobre a incidência e
severidade de .**

**INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE
NANOTUBOS DE DIÓXIDO DE TITÂNIO E
PENTÓXIDO DE NIÓBIO AO GEL CLAREADOR NA
EFICÁCIA DO CLAREAMENTO DENTAL²**

Resumo: Este estudo in vitro tem como objetivo avaliar efeito do gel clareador a base de peróxido de hidrogênio em diferentes concentrações contendo TiO₂ (dióxido de titânio) e Nb₂O₅ (pentóxido de nióbio) na eficácia do clareamento dental. O experimento foi realizado em duas fases: na fase 1 (obtenção das substâncias) nanotubos de Nb₂O₅ e TiO₂ foram sintetizados por processos solvotérmicos, pesados em balança analítica de precisão e incorporados ao espessante do gel clareador, com peróxido de hidrogênio (PH) na concentração de 6% de acordo com os grupos experimentais: 6PH- clareador com 6% PH sem incorporação de nanotubos; 5Ti e 2,5Ti- clareador com 6% PH e incorporação de TiO₂ a 5 e 2,5%; 5Nb e 2,5Nb- clareador com 6% PH e incorporação de Nb₂O₅ a 5 e 2,5%. Além disso, o gel clareador com peróxido de hidrogênio a 35% (Ctrl - 35PH) foi utilizado como controle. As amostras foram analisadas por meio de testes de estabilidade e pH. Na fase 2, dentes bovinos (N = 60) foram divididos aleatoriamente em grupos (n = 10), os mesmos protocolos foram seguidos para os géis clareadores comerciais e experimentais. As amostras foram aplicadas sobre a superfície de esmalte dentário exposto, o procedimento de clareamento consistiu na

² Leonardo Mello Duarte, Paula Benetti, João Paulo de Carli.

aplicação única do gel clareador por um período de 30 minutos. Os grupos experimentais foram submetidos a irradiação com luz por 1 minuto, com pausa de 30 segundos, repetindo-se esse ciclo 10 vezes. As coordenadas de cor CIE $L^*a^*b^*$ (L^* : eixo da luminosidade; a^* : eixo vermelho-verde; b^* : eixo amarelo-azul) foram aferidas com espectrofotômetro (VitaEasyshade) antes e após o clareamento. A diferença de cor (ΔE) foi calculada por equações preconizadas por CIEDE2000 e o índice de brancura (WID) foi utilizado para calcular as diferenças de clareamento (ΔWID). Os dados de ΔE e ΔWID foram comparados com os respectivos limiares de aceitabilidade (AT) e perceptibilidade (PT). As diferenças entre os grupos foram analisadas por ANOVA e Tukey com significância de 5%. Resultados: Os grupos 0,5Nb, 0,25Ti e 0,5Ti demonstraram resultados de clareamento semelhantes ao grupo Ctrl 35%. No entanto, os grupos Ctrl 35% e 0,5Ti apresentaram um efeito clareador mais expressivo, superando o limiar de aceitabilidade, evidenciando um desempenho superior no clareamento dental. Conclusão: A adição de nanotubos de não comprometeu a eficácia clareadora dos géis testados nem alterou sua estabilidade de pH, indicando seu potencial para novas formulações.

Palavras-chave: Clareamento dental · Titânio · Nióbio · Agentes clareadores · Nanopartículas

1. Introdução

A estética do sorriso é um fator cada vez mais valorizado por pacientes e profissionais da Odontologia. Para tanto, os procedimentos odontológicos precisam proporcionar as características naturais dos dentes, reproduzindo cor e formato de uma maneira harmoniosa,

melhorando assim a qualidade de vida dos pacientes (JUMAR *et al.*, 2024).

O clareamento é um procedimento minimamente invasivo que pode melhorar significativamente a estética do sorriso, deixando os dentes mais claros. A cor dos dentes pode ser alterada por meio da técnica de clareamento caseiro, realizada sob a supervisão do cirurgião-dentista, utilizando moldeiras de acetato contendo gel em baixas concentrações de peróxido de hidrogênio ou peróxido de carbamida. Além do clareamento caseiro, há também a técnica de consultório, realizada pelo cirurgião-dentista com o uso de altas concentrações de peróxido de hidrogênio. Outra abordagem é a técnica combinada, que associa o clareamento caseiro ao de consultório para potencializar os resultados (BORGES *et al.*, 2021). O tempo de uso dos agentes clareadores, a sua concentração, bem como a técnica aplicada são fatores que influenciam diretamente no resultado do tratamento clareador e na sensibilidade relatada pelo paciente durante e após tal procedimento (MUSHASHE *et al.*, 2018).

O uso de catalisadores ou aceleradores pode fornecer um efeito clareador mais pronunciado e em menor tempo, proporcionando resultados de branqueamento mais eficientes, exigindo menor concentração de peróxido de hidrogênio (BUCHALLA e ATTIN, 2007). O dióxido de titânio (TiO₂) é um fotocatalisador não tóxico e de baixo custo, reativo à luz ultravioleta, luz azul e violeta (CARLOS *et al.*, 2023), que podem acelerar o processo de clareamento (MONTEIRO *et al.*, 2020).

O pentóxido de nióbio é um agente com potencial fotocatalítico semelhante ao dióxido de titânio; contudo, sua eficácia como adjuvante do agente clareador de consultório ainda não foi investigada. Com a redução do tamanho de partículas de dióxido de titânio e pentóxido de

nióbio em formato de nanotubos há a possibilidade de aumento da área de contato com o agente clareador e aumento do potencial de formação de radicais livres (MATOS *et al.*, 2023).

Com o objetivo de acelerar a reação de degradação do agente clareador e minimizar o tempo de exposição dos tecidos dentários ao agente clareador, nanotubos de dióxido de titânio (TiO₂) e pentóxido de nióbio (Nb₂O₅) podem ser incorporados a agentes clareadores para promover excitação de elétrons e geração de íons oxigênio, resultando assim num superóxido que contribui para a quebra de cromóforos presentes na estrutura dentária (BORTOLATTO *et al.*, 2014).

Os óxidos de nióbio e titânio são considerados agentes fotocatalíticos, pois permitem aceleração da taxa de reação quando excitados pela luz. Também atuam como catalisadores e fotocatalisadores semicondutores que reagem à luz azul e violeta (KISHI *et al.*, 2011). Ao usar uma fonte de luz visível na faixa azul-violeta com comprimento de onda de 405 a 480 nm, foi demonstrado que o TiO₂ mostrou reatividade, sugerindo que a luz violeta (na faixa de 405 nm) aumenta a reação catalítica do TiO₂ (ANTUNES *et al.*, 2023).

Embora alguns estudos tenham demonstrado que agentes clareadores à base de peróxido de hidrogênio em altas concentrações (35% a 40%) são eficazes para clareamentos de consultório, uma alternativa com resultados promissores seria associar dióxido de titânio a concentrações mais baixas de peróxido de hidrogênio, visando reduzir sensibilidade dentária, principalmente quando fotocatalisadores são incorporados aos géis clareadores (ARRUDA *et al.*, 2015).

Tendo em vista o anteriormente exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da adição de nanotubos de dióxido de titânio (NTi) e pentóxido de nióbio (NNb) ao gel de peróxido de hidrogênio a 6% na eficácia do clareamento dental. As hipóteses testadas foram: 1) O

pH e a estabilidade de géis clareadores de peróxido de hidrogênio a 6% com a incorporação de nanotubos não interferiria nas propriedades do gel clareador; 2) os resultados na alteração da cor dental promovido pelos géis clareadores contendo os óxidos seriam semelhantes ao protocolo convencional.

2. Materiais e métodos

Este estudo in vitro foi dividido em duas fases metodológicas:

1) síntese do gel clareador experimental, com incorporação de 2,5 a 5% de nanotubos de TiO₂ e Ni₂O₅ ao peróxido de hidrogênio 6% (Tabela 1); 2) avaliação da eficácia de clareamento utilizando os géis experimentais.

2.1 Fase 1. Obtenção e caracterização dos géis clareadores experimentais

2.1.1 Síntese de agentes clareadores experimentais

Nanopartículas de TiO₂ e Nb₂O₅ foram sintetizadas por processos solvotérmicos no Laboratório de Biomateriais da Universidade Federal do Paraná. O gel clareador experimental foi obtido em farmácia de manipulação. Os NTi e NNb foram pesados em balança analítica de precisão e foram incorporados ao agente espessante nas concentrações relatadas na Tabela 1. O espessante contendo as partículas foi homogeneizado em um misturador específico (Speed Mixer, Dac Iso 1. FVZ, Flack Tech, Inc.). O peróxido de hidrogênio a 6% (seringa de 3g) foi adicionado e homogeneizado com o espessante contendo as partículas na proporção de 3:2.

Tabela 1 – Apresentação dos grupos experimentais com a concentração de peróxido de hidrogênio e nanotubos utilizados.

Grupo	Porcentagem do peróxido de hidrogênio (%)	Tipo de partícula	Porcentagem de nanotubos (%)
2,5Ti	6	TiO ₂	2,5
5Ti	6	TiO ₂	5
2,5Nb	6	Nb ₂ O ₅	2,5
5Nb	6	Nb ₂ O ₅	5
6PH	6	-	-
35PH	35	-	-

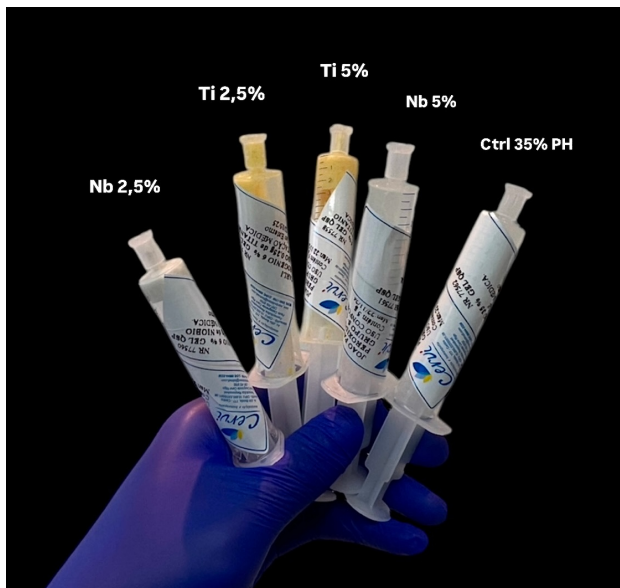


Figura 1 – Apresentação dos géis clareadores com composição variada conforme o grupo experimental.

2.1.2 Determinação do pH

O pH dos géis foi medido em triplicata em pHmetro acoplado a um potenciômetro previamente calibrado com padrões de pH 4,0 e 7,0, misturando 1 g de clareador gel para 10 mL de água deionizada em agitador magnético por 10 min a 20°C. O pH foi avaliado nos tempos 0 min, 15 min, 30 min e 1h, 30 dias e 60 dias denotando o tempo de contato do gel clareador na superfície dentária.

2.1.3 Teste de estabilidade do gel experimental

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) definiu os testes preliminares de estabilidade como a triagem inicial das formulações experimentais. Amostras em triplicata, armazenadas em frascos de vidro transparentes selados, foram submetidas a teste

preliminar e teste acelerado de estabilidade. No teste preliminar, as amostras foram submetidas a ciclos de 24 horas em estufa a 37°C ($\pm$ 2°C) e 24 horas em geladeira a 4°C ($\pm$ 2°C) durante 4 semanas. Em seguida, foram determinados e descritos os valores de cor, odor e pH dos géis. O teste de estabilidade acelerado determinou a estabilidade da formulação ao longo de 60 dias e previu o prazo de validade estimado. As amostras em triplicata foram armazenadas em frascos de vidro transparentes lacrados e divididas em dois grupos: G1 - armazenadas em estufa a 37°C ($\pm$ 2°C) e G2 - conservadas em geladeira a 4°C ($\pm$ 2°C).

2.1.4 Análise dos Dados

Supondo igualdade de variâncias e normalidade dos dados (Kolmogorov-Smirnov), o pH dos géis clareadores foram comparados por ANOVA e Tukey com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), software SigmaPlot.

2.2 Fase 2. Eficácia dos géis clareadores experimentais

O cálculo do tamanho da amostra foi dimensionado considerando o desenho experimental (Concentração de TiO₂, presença de luz e tempo). Sessenta dentes foram distribuídos aleatoriamente entre 6 grupos ($n = 10$), considerando um poder de 0,80 ($\beta = 0,20$) para um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e grande tamanho de efeito para concentração de TiO₂ e presença de luz (tamanho do efeito $> 0,35$) e tamanho médio do efeito (tamanho do efeito $> 0,20$) para tempo e interações entre fatores em estudo. (Antunes et al., 2023).

2.2.1 Preparação e seleção de amostras

Foram selecionados dentes bovinos sem defeitos e devidamente limpos. As coroas foram seccionadas, e as raízes removidas com o

auxílio de um disco diamantado, utilizando uma cortadeira de alta precisão (Isomet 1000, Buheler, Illinois, EUA), sob irrigação com água, resultando em blocos de esmalte com dimensões de 5 x 5 x 3mm. A superfície dos blocos foi planificada (utilizando lixas de carboneto de silício #600, 800, 100 e 1200) em uma politriz, garantindo que a espessura de esmalte e dentina fosse padronizada. A superfície de esmalte foi polida com disco de feltro e suspensão de diamante por 1 min.

2.2.2 Coloração artificial do esmalte

Uma fina camada de esmalte para unhas foi aplicada aos corpos-de-prova, exceto o esmalte bucal, que permaneceria exposto. Os corpos-de-prova ficaram imersos em solução tamponada de chá preto (Dr.Oetker, São Paulo, SP, Brasil, pH = 7,0), preparada com 2g de chá preto diluído em 100mL de água destilada por 5min, durante 24h a 37°C (MATOS *et al.*, 2023). Em seguida, os corpos-de-prova foram limpos com taça de borracha e pó de pedra-pomes para remover as partículas superficiais e permaneceram em água destilada a 37°C por 24h. As amostras foram alocadas aleatoriamente nos grupos experimentais (Tabela 1) (n=10).

2.2.3 Protocolo de clareamento

Para permitir comparações entre grupos, foram adotados os mesmos protocolos para os géis clareadores comerciais e experimentais. Os géis foram pesados (0,1g) e aplicados no esmalte exposto. O clareamento ocorreu com a aplicação do gel clareador por 45 minutos na superfície de esmalte dentário por uma única vez. Devido à característica fotocatalítica das partículas dos óxidos, os grupos designados (2,5 Ti, 5Ti, 2,5Nb e 5Nb) receberam irradiação com luz utilizando a unidade

fotoativadora (LED). A luz foi irradiada por 1 min, seguida de uma pausa de 30s, e este ciclo se repetiu 10 vezes. Após o procedimento clareador, os espécimes permaneceram em água destilada a 37°C.



Figura 2 – (a) Corpos-de-prova prontos para receberem o gel clareador; (b) Grupos designados receberam irradiação por luz durante 1 min, se repetindo 10 vezes.

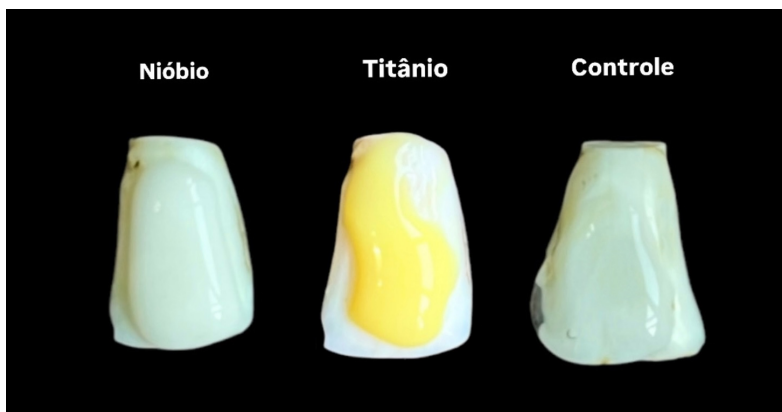


Figura 3 – Aplicação dos géis clareadores na superfície vestibular dos dentes bovinos. Nota-se o aspecto branco-opaco para os géis contendo Nb, amarelado-opaco para o Ti e translúcido para o Controle.

2.2.4 Avaliação de cor

Previamente à análise de cor, guias de silicone de adição denso (Scan Putty, Yllor Biomateriais, Pelotas, Brasil) foram fabricadas individualmente para cada corpo-de-prova, com abertura circular de aproximadamente 6 mm (compatível com o diâmetro da ponta ativa do espectrofotômetro), expondo uma área padronizada de esmalte, correspondente à região do terço médio da superfície vestibular.

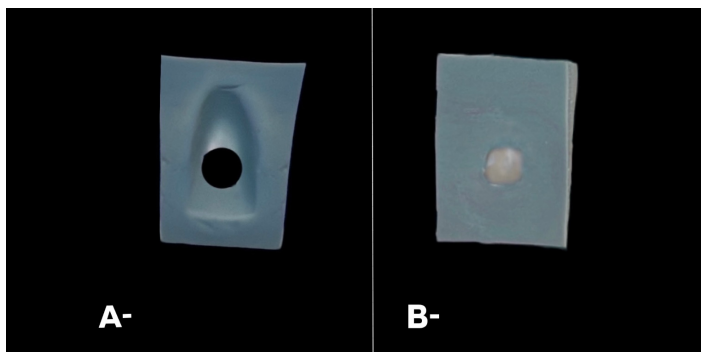


Figura 4 – (a) confecção da guia de silicone individualmente para cada corpo-de-prova, vista por palatina; (b) abertura circular de 6mm com diâmetro compatível com a ponta ativa do espectrofotômetro, garantindo a padronização do teste. A região do terço médio da superfície vestibular, proporcionando uma área uniforme para análise.

As coordenadas de cor foram analisadas por espectrofotômetro digital Vita Easy Shade™ (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Alemanha): após o escurecimento (T0), e após clareamento dental (T1). A calibração do aparelho realizou-se previamente às avaliações, conforme as orientações do fabricante.

Os corpos-de-prova foram preparados e a ponta ativa do equipamento foi posicionada sobre a superfície vestibular através da perfuração da guia de silicone. As coordenadas CIELAB de cor e a cor

conforme a escala Vita 3D Master foram registradas em uma tabela do Microsoft Excel. As coordenadas de cor serviram para a avaliação das diferenças de cor (ΔE_{00}) e índice de clareamento (ΔWID).

O cálculo da diferença de cor ΔE_{00} (CIEDE 2000) foi realizada pela Equação 1 (LUO et al., 2001; CIE, 2004).

$$\Delta E_{00} = \left[\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right) \right]^{1/2}$$

Onde $\Delta L'$, $\Delta C'$ e $\Delta H'$ representaram as diferenças de luminosidade, saturação (croma) e matiz (hue) em um par de amostras, e R_T foi uma função de rotação que descreveu a interação entre as diferenças de saturação e matiz na região azul. Funções de ponderação (weighting functions), S_L , S_C , S_H , ajustaram a diferença de cor total com base na variação da localização do par de amostras nas coordenadas L' , a' , b' . Os fatores paramétricos K_L , K_C e K_H foram termos de correção que lidaram com as condições experimentais. Para o cálculo da diferença de cor CIEDE2000, foram consideradas as descontinuidades no cálculo da média do matiz e na computação da diferença do matiz (SHARMA et al., 2005). Neste estudo, os fatores paramétricos $K_L=1$, $K_C=1$ e $K_H=1$ (para luminosidade, croma e matiz, respectivamente) foram adotados.

Para ΔE_{00} , considerou-se os limiares de perceptibilidade 50:50% ($PT = 0,8$ unidades) e aceitabilidade 50:50% ($AT = 1,8$ unidades). Os valores dos limiares de aceitabilidade (AT) para ΔE_{00} basearam-se seguindo ISO/ TR 28642:2016 (PARAVINA et al., 2015). Valores de ΔE_{00} abaixo de 0,8 unidades foram identificados como imperceptíveis ao olho humano. Valores entre 0,8 e 1,8 unidades foram

reconhecidos como perceptíveis, porém aceitáveis clinicamente. Valores acima de 1,8 unidades foram julgados inaceitáveis clinicamente.

O cálculo do índice de brancura (WID - whiteness index for dentistry) foi realizado pela Equação 2 (PEREZ et al., 2016).

$$WID = 0,511 L^* - 2,324 a^* - 1,100 b^*$$

Onde os valores mais baixos de WID (incluindo valores negativos) significaram amostras mais escuras, enquanto valores de WID mais altos indicaram amostras mais claras. A variação de WID (ΔWID) foi calculada subtraindo os valores de WID final dos valores de WID inicial de cada grupo. Os valores do ΔWID foram analisados utilizando o limiar de aceitabilidade ($WAT = 2,60$ unidades), obtidos de um estudo preliminar (PEREZ et al., 2019).

Foram considerados diferentes períodos de avaliação (T0 e T1) para comparar a diferença de cor (ΔE_{00}) e de índice de brancura (ΔWID) entre os grupos. O armazenamento das amostras foi realizado em imersão em água destilada a 37°C pelo tempo designado para avaliação.

Supondo igualdade de variâncias e normalidade dos dados (Kolmogorov-Smirnov), a alteração de cor e de clareamento entre os grupos experimentais foram comparadas por ANOVA e Tukey com nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$). As análises foram realizadas no software SigmaPlot.

3. Resultados

3.1 Análise de pH

Tabela 2 – Valores de pH medidos em diferentes tempos de avaliação para os grupos experimentais.

Grupo	0 min	15 min	30 min	60 min	30 dias	60 dias
2,5% Ti	3.5	3.0	3.5	3.5	3.5	3.5
5% Ti	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
2,5% Nb	5.0	6.0	5.0	5.0	5.0	5.0
5% Nb	6.0	7.0	6.0	5.0	6.0	5.0
6% HP	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
35% HP	5.0	5.5	5.5	5.0	5.0	5.0

O pH dos géis experimentais mantiveram os valores iniciais, permanecendo sem alterações significativas ao longo do tempo.

3.2 Índice de brancura (Δ WID)

A Tabela 3 mostra que não houve diferença no Índice de Brancura (WID) entre os grupos dentro de um mesmo período de avaliação, mostrando homogeneidade de brancura entre os grupos após o tratamento clareador e aplicação de antioxidante.

Tabela 3 – Valores médios e desvio padrão do Índice de Brancura (WID) entre diferentes grupos experimentais nos respectivos tempos de avaliação.

Tempo b	0,25N	0,5Nb	0,25Ti	0,5Ti	Ctrl6 %	Ctrl35 %
T0	1 , 2 (11,3)A	-10,2 (17,7)A	-4 , 7 (9,8)A	-16,9 (13,7)A	-5 (9,6)A	-6 , 0 (21,5)A
T1	3 , 5 (11,5)A	-2 , 3 (13,9)A	2 , 2 (11,1)A	-3 , 2 (9,7)A	-1 , 6 (7,5)A	3 (6,8)A

**Letras iguais na mesma linha correspondem à semelhança estatística entre os grupos experimentais em um mesmo período de avaliação.*

Os resultados para as diferenças de índice de brancura (Δ WID) apresentadas pelos grupos experimentais no intervalo de avaliação T1-T0 são apresentadas na Figura 1. Δ WID mostrou que a eficácia do tratamento clareador dos grupos 0,5Nb, 0,25ti e 0,5Ti foi semelhante ao grupo Ctrl35%. Os grupos Ctrl 35% e 0,5Ti excederam o limiar de aceitabilidade, mostrando maior efeito do clareamento.

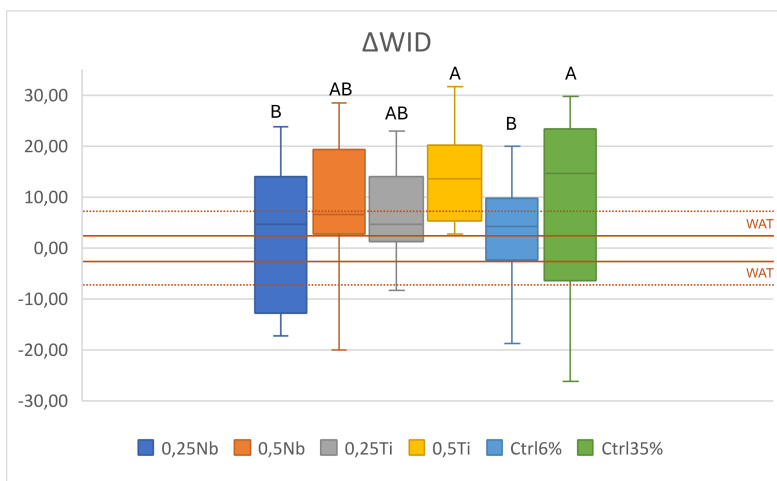


Figura 5 – Diferenças do índice de brancura (ΔWID) dos grupos experimentais no intervalo de avaliação T1-T0. As linhas horizontais vermelhas contínuas representam o limiar de aceitabilidade (WAT) superior e inferior e as linhas pontilhadas são os seus intervalos de confiança, 95%.

4. Discussão

O principal objetivo desta pesquisa foi analisar a eficácia de um gel clareador contendo 6% de peróxido de hidrogênio e nanotubos de dióxido de titânio e pentóxido de nióbio a 2,5% ou 5%, no clareamento de dentes escurecidos. Os resultados mostraram que a incorporação dos óxidos ao gel clareador de baixa concentração (6%), com exceção do 0,25Nb, promoveu um efeito clareador similar ao do grupo controle, contendo peróxido de hidrogênio em alta concentração (35%), ou seja, manteve sua eficácia. Portanto, a hipótese de que a adição de nanotubos de Ti e Nb permite a redução da concentração dos géis clareadores sem

comprometer a eficácia do clareamento foi aceita. Pôde-se constatar também a manutenção dos valores de pH dos géis experimentais por períodos de até 60 dias, o que confirma a aceitação da hipótese de estabilidade dos géis experimentais utilizados na presente pesquisa ao longo do tempo.

A incorporação dos nanotubos favoreceu a formação acelerada e a liberação de radicais reativos durante o clareamento, evidenciando seu potencial catalítico (LEE *et al.*, 2005). As formulações contendo peróxido de hidrogênio a 6% com adição de TiO₂ a 5% quando ativadas por luz mostrou clareamento (WID) acima do limiar de aceitabilidade, mostrando maior efeito clareador do que os demais grupos experimentais e semelhante ao grupo controle, mostrando um maior poder fotocatalítico (SUYAMA *et al.*, 2009).

Komatsu *et al.*, 2014 afirmam que a ação catalítica do TiO₂ é caracterizada por seu potente poder oxidativo e alta estabilidade química, sendo influenciada por reações que ocorrem com as moléculas em sua superfície. O TiO₂, em sua forma cristalina pode ser encontrado em três fases, uma das fases é a anatase que pode ser transformada em nanotubos, o que é significativo como agente catalítico, fotocatalisador e tornando a partícula estável (ABIODUN-SOLANKE *et al.*, 2014; ARRUDA *et al.*, 2015; HUA *et al.*, 2015). O formato nanotubular aumenta sua área superficial, o que resulta em uma maior produção de radicais superóxidos. Em escala nanométrica o TiO₂ tem o potencial reativo mesmo sem a presença de fontes de ativação, especialmente quando associadas ao peróxido de hidrogênio a 40% (CUPPINI *et al.*, 2019).

Contudo, neste estudo, os óxidos foram incorporados com o objetivo de permitir a redução da concentração de peróxido de hidrogênio, por isso, a fotoativação dos géis foi incorporada ao protocolo

clareador. Ao contrário destes resultados, Carlos *et al.*, (2023) investigaram as propriedades físico-químicas de géis de peróxido de hidrogênio, com adição de menor concentração de nanotubos de dióxido de titânio, com ou sem o uso de luz LED violeta, e relataram que os nanotubos não aumentaram a eficácia na mudança de cor dos dentes tratados com géis contendo TiO₂, tiveram resultados semelhantes aos grupos sem o composto, tanto com ou sem o uso de LED.

Além disso, como esperado, o PH35 foi mais eficaz do que PH7 em todos os casos, independentemente da presença de TiO₂ ou LED. Uma possível explicação para isso é que a concentração utilizada (1%) pode não ter sido suficiente para intensificar a reação química, ou que a estrutura dos nanotubos não favoreceu a liberação adicional de radicais livres. Nosso estudo que utilizou concentrações maiores (2,5 e 5%) podem ter um impacto melhor no clareamento e na mudança de cor.

Esses resultados mostram que o efeito do clareamento é dependente da concentração de nanotubos incorporados aos géis, portanto, um efeito potencializador do clareamento é esperado com maior concentração dos nanotubos.

As avaliações de estabilidade e pH mostraram comportamento homogêneo entre as formulações, evidenciando a ausência de aglomeração de partículas e mantendo as propriedades dos géis experimentais ao longo do tempo, mantendo sua consistência adequada para aplicação. Este resultado está de acordo com Monteiro *et al.* (2020), que, por meio de análises de polidispersão e potencial zeta, demonstraram que a incorporação de TiO₂ não modificou as propriedades físico-químicas dos géis clareadores.

Um pH mais elevado favorece a dissociação do peróxido de hidrogênio, resultando em uma maior formação de radicais livres reativos e, consequentemente, em um aumento da eficácia do

clareamento (ACUÑA *et al.*, 2022). Por outro lado, um pH mais ácido contribui para a estabilidade do peróxido de hidrogênio, retardando sua decomposição e prolongando a vida útil do agente clareador durante o armazenamento. Embora a redução do pH possa aumentar a difusão dos peróxidos na estrutura dentária, esse efeito também está associado a um maior risco e intensidade de sensibilidade dentária (LOGUERCIO *et al.*, 2017). Manzoli *et al.*, (2022) investigaram o pH de géis de peróxido de hidrogênio de alta concentração, com ou sem exposição à luz LED, e constataram que, embora tenha ocorrido uma redução no pH ao longo do tempo, os valores mantiveram-se próximos aos registrados no início. O pH é estável em meios ácidos, o que explica o aumento da vida útil do gel. No presente estudo, os géis clareadores apresentaram um pH ácido, com os grupos contendo TiO₂ apresentando os menores valores. Isso pode ter contribuído para a estabilidade do gel clareador, contudo, poderia estar associado à maior sensibilidade dental quando aplicado clinicamente. Por isso, próximos estudos serão conduzidos a fim de neutralizar o pH dos géis experimentais.

Carlos *et al.*, (2023) avaliaram géis de peróxido de hidrogênio em diferentes concentrações de 7% e 35% com a adição de nanotubos de TiO₂, observando um aumento considerável no pH dos géis que continham o óxido, com valores próximos a 6. Mesmo com as diferenças nas estruturas dos nanotubos, podem gerar comportamentos variados, deve-se ressaltar que os valores médios de pH permaneceram semelhantes, apesar das variações nas características dos nanotubos. O estudo testou oito grupos experimentais, variando a concentração do peróxido de hidrogênio, a presença ou ausência de óxidos e o uso ou não de LED violeta. Os géis clareadores de PH35% e PH7,5% apresentaram um pH mais neutro após a adição de espessantes, atingindo valores

médios de 6,3 para o de 35% e 5,4 para o de 7%. Essa neutralização foi importante para garantir maior segurança clínica.

No presente estudo, alguns grupos apresentaram um pH de 5, enquanto outros foram mais ácidos (pH de 3,5), o que pode levar à desmineralização do esmalte e aumentar a sensibilidade dentária. Essa diferença pode ser explicada pela formulação do gel, que pode conter estabilizadores ácidos ou ter sofrido degradação do peróxido durante o armazenamento. Além disso, os nanotubos de TiO₂ podem ter interagido com os componentes do gel, alterando o pH final. Comparando os estudos, a neutralização do pH antes da aplicação clínica seria necessária para evitar efeitos adversos ao esmalte dental. A adição de agentes tamponantes, poderiam ser uma alternativa para tornar o gel mais seguro sem comprometer sua eficácia clareadora.

Caneschi *et al.*, (2023) relataram que os géis clareadores de baixa concentração (3% de peróxido de hidrogênio) contendo Nb, mesmo sem a exposição à luz, resultaram em mudanças de cor comparáveis às observadas com o peróxido de hidrogênio à 35%. Esse bom desempenho do Nb foi atribuído à modulação das partículas de Nb em interação com os íons H⁺, o que aumentou os locais de oxidação e potencializou a capacidade oxidante dos géis, favorecendo a quebra dos cromóforos. Esses achados são semelhantes aos encontrados no presente estudo: na concentração de 5%, a incorporação de nanotubos de Nb ao gel clareador de peróxido de carbamida a 6%, utilizando ativação com LED, resultou em clareamento semelhante ao grupo de PH35%.

A realização de uma única aplicação de 30 minutos, em substituição a três aplicações de 15 minutos, reduz a concentração de peróxido de hidrogênio na câmara pulpar, minimizando, assim, o risco clínico de aumento da sensibilidade do paciente durante o clareamento (KURY *et al.*, 2020). Embora alguns fabricantes sugiram a reaplicação

do gel durante a mesma sessão, verificou-se que uma única aplicação é capaz de proporcionar um clareamento eficaz, sem exigir aplicações adicionais na mesma sessão (BORGES *et al.*, 2021).

O presente sugere que a incorporação de nanotubos apresenta-se promissor em tratamentos de clareamento dental, especialmente os realizados em consultório, possibilitando eficácia de gel clareador com 6%PH semelhante ao 35%PH. No entanto, é necessário investigar a possibilidade de neutralização do pH para manter a eficácia e reduzir a possibilidade de efeitos adversos como a sensibilidade dentária e preservar a integridade estrutural dos esmalte da superfície dental.

O presente estudo é laboratorial, realizado em dentes bovinos, que possuem características estruturais semelhantes aos dentes humanos, como composição da matriz inorgânica e permeabilidade de esmalte. Contudo, como estudo laboratorial, as condições experimentais controladas não refletem completamente a complexidade do ambiente bucal, onde fatores como a presença de saliva, biofilme e variações de temperatura podem influenciar a eficácia e a estabilidade dos géis clareadores. Outro ponto a ser considerado é que a avaliação da sensibilidade dentinária e dos efeitos do tratamento sobre os tecidos moles não foi abordada, o que limita a aplicação clínica direta dos achados.

Estudos futuros são necessários para confirmar a eficácia e a segurança das formulações em pacientes. Esses avanços contribuirão significativamente para o desenvolvimento de agentes clareadores mais eficazes e seguros, permitindo a otimização das formulações e ampliando suas possibilidades de aplicação na prática odontológica.

5. Conclusão

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que a incorporação de nanotubos de dióxido de titânio (TiO₂) e pentóxido de nióbio (Nb₂O₅) aos géis clareadores de baixa concentração de peróxido de hidrogênio (PH 6%) tem potencial clareador semelhante à formulação comercial de alta concentração de PH (35%). Além disso, a análise da estabilidade química ao longo de 60 dias demonstrou que os géis experimentais mantiveram o pH durante todo o período de observação, sugerindo que a adição desses nanotubos não compromete a estabilidade do gel. Dessa forma, os achados deste estudo contribuem para a compreensão dos efeitos da modificação da composição dos agentes clareadores, que pode ser uma estratégia viável para o aprimoramento de suas propriedades, especialmente redução da concentração de agente clareador, sem prejuízo à sua eficácia e nos fornecem subsídios para investigações futuras voltadas ao desenvolvimento de formulações otimizadas para a odontologia.

6. Referências

ABIODUN-SOLANKE, I.; AJAYI, D.; ARIGBEDE, A. Nanotechnology and its application in dentistry. *Annals of Medical and Health Sciences Research*, v. 4, supl. 3, p. S171-7, set. 2014.

ACUÑA, E. D.; PARREIRAS, S. O.; FAVORETO, M. W.; CRUZ, G. P.; GOMES, A.; BORGES, C. P. F.; LOGUERCIO, A. D.; REIS, A. In-office bleaching with a commercial 40% hydrogen peroxide gel modified to have different pHs: color change, surface morphology, and penetration of hydrogen peroxide into the pulp chamber. *J Esthet Restor Dent.*, v. 34, n. 2, p. 322-327, 2022.

AHMED, M. A.; JOUHAR, R.; KHURSHID, Z. Smart Monochromatic Composite: A Literature Review. *International Journal of Dentistry*, v. 2022, p. 2445394, 2022.

ALTMANN, A. S. P.; COLLARES, F. M.; BALBINOT, G. S.; LEITUNE, V. C. B.; TAKIMI, A. S.; SAMUEL, S. M. W. Niobium pentoxide phosphate invert glass as a mineralizing agent in an experimental orthodontic adhesive. *Angle Orthodontist*, v. 87, n. 5, p. 759-765, 2017.

ANTUNES, E. V. G.; BASTING, R. T.; DO AMARAL, F. L. B.; FRANÇA, F. M. G.; TURSSI, C. P.; KANTOVITZ, K. R.; BRONZE-UHLE, E. S.; FILHO, P. N. L.; BASTING, R. T. Titanium dioxide nanotubes in a hydrogen peroxide-based bleaching agent: physicochemical properties and effectiveness of dental bleaching under the influence of a poliwave led light activation. *Clinical Oral Investigations*, v. 27, n. 4, p. 1745-1755, 2023.

ARRUDA, L.; SANTOS, C.; ORLANDI, M.; SCHREINER, W.; LISBOA-FILHO, P. Formation and evolution of TiO₂ nanotubes in alkaline synthesis. *Ceramics International*, v. 41, p. 2884-2891, 2015.

BASTING, R. T.; AMARAL, F. L.; FRANÇA, F. M.; FLÓRIO, F. M. Clinical comparative study of the effectiveness of and tooth sensitivity to 10% and 20% carbamide peroxide home-use and 35% and 38% hydrogen peroxide in-office bleaching materials containing desensitizing agents. *Operative Dentistry*, v. 37, n. 5, p. 464-473, 2012.

BERNARDON, J. K.; SARTORI, N.; BALLARIN, A.; PERDIGÃO, J.; LOPES, G. C.; BARATIERI, L. N. Clinical performance of vital bleaching techniques. *Operative Dentistry*, v. 35, n. 1, p. 3-10, 2010.

BORGES, A. B.; ABREU, F. S. de; MAILART, M. C.; ZANATTA, R. F.; TORRES, C. Efficacy and safety of bleaching gels according to application protocol. *Operative Dentistry*, v. 46, n. 2, p. E105-E116, 2021.

BORTOLATTO, J. F.; PRETEL, H.; FLOROS, M. C.; LUIZZI, A. C.; DANTAS, A. A.; FERNANDEZ, E.; MONCADA, G.; DE OLIVEIRA, O. B. JR. Low Concentration H₂O(2)/TiO₂ in Office Bleaching: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Dental Research*, v. 93, n. 7 Suppl, p. 66S-71S, 2014.

BOWLES, W. H.; UGWUNERI, Z. Pulp chamber penetration by hydrogen peroxide following vital bleaching procedures. *Journal of Endodontics*, v. 13, n. 8, p. 375-377, 1987.

BRENNAN, M. M.; HALLAS, D.; JACOBS, S. K.; ROBBINS, M.; NORTHRIDGE, M. Home-use whitening toothpastes for whitening teeth in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 1, 2014.

BORGES, A. B.; ABREU, F. S. de; MAILART, M. C.; ZANATTA, R. F.; TORRES, C. Efficacy and safety of bleaching gels according to application protocol. *Operative Dentistry*, v. 46, n. 2, p. E105-E116, 2021.

BUCHALLA, W.; ATTIN, T. External bleaching therapy with activation by heat, light or laser--a systematic review. *Dental Materials*, v. 23, n. 5, p. 586-596, 2007.

CANESCHI, C. S.; BENETTI, F.; DE OLIVEIRA, L. C. A.; BELCHIOR, J. C.; FERREIRA, R. C.; MOREIRA, A. N.; DOS SANTOS ALVES MORGAN, L. F. Bleaching effectiveness and cytotoxicity of new experimental formulation of niobium-based bleaching gel. *Clinical Oral Investigations*, v. 27, n. 4, p. 1613-1621, abr. 2023.

CAREY, C. M. Tooth whitening: what we now know. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, v. 14, Suppl, p. 70-76, 2014.

CARLOS, N. R.; BASTING, R. T.; AMARAL, F. L. B. D.; FRANÇA, F. M. G.; TURSSI, C. P.; KANTOVITZ, K. R.; BRONZE-UHLE, E. S.; LISBOA-FILHO, P. N.; CAVALLI, V.; BASTING, R. T. Physicochemical evaluation of hydrogen peroxide bleaching gels containing titanium dioxide catalytic agent, and their influence on dental color change associated with violet LED. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, 2023.

COSTA, C. A.; RIEHL, H.; KINA, J. F.; SACONO, N. T.; HEBLING, J. Human pulp responses to in-office tooth bleaching. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, v. 109, n. 4, p. e59-e64, 2010.

CROLL, T. P. Bleaching sensitivity. *J Am Dent Assoc*, v. 134, n. 9, p. 1172, 2003.

CUPPINI, M.; LEITUNE, V. C. B.; SOUZA, M.; ALVES, A. K.; SAMUEL, S. M. W.; COLLARES, F. M. In vitro evaluation of visible light-activated titanium dioxide photocatalysis for in-office dental bleaching. *Dental Materials Journal*, v. 38, n. 1, p. 68-74, 2019.

DAHL, J. E.; PALLESEN, U. Tooth bleaching--a critical review of the biological aspects. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, v. 14, n. 4, p. 292-304, 2003.

DE GEUS, J. L.; REZENDE, M.; MARGRAF, L. S.; BORTOLUZZI, M. C.; FERNANDEZ, E.; LOGUERCIO, A. D.; REIS, A.; KOSSATZ, S. Evaluation of genotoxicity and efficacy of at-home bleaching in smokers: a single-blind controlled clinical trial. *Oper Dent*, v. 40, n. 2, p. E47-55, 2015.

DE LIMA, T. M.; FRANÇA, F. M. G.; DO AMARAL, F. L. B.; TURSSI, C. P.; BASTING, R. T. The use of desensitizing agents during in-office bleaching might not decrease tooth bleaching sensitivity: a randomized clinical trial. *International Journal of Esthetic Dentistry*, 2022.

DELLA BONA, A.; PECHO, O. E.; GHINEA, R.; CARDONA, J. C.; PEREZ, M. M. Colour parameters and shade correspondence of CAD-CAM ceramic systems. *J Dent*, v. 43, n. 6, p. 726-734, 2015.

DELLA BONA, A.; PECHO, O. E.; GHINEA, R.; CARDONA, J. C.; PARAVINA, R. D.; PEREZ, M. M. Influence of Bleaching and Aging Procedures on Color and Whiteness of Dental Composites. *Oper Dent*, v. 44, n. 6, p. 648-658, 2019.

EIMAR, H.; SICILIANO, R.; ABDALLAH, M. N.; NADER, S. A.; AMIN, W. M.; MARTINEZ, P. P.; CELEMIN, A.; CERRUTI, M.; TAMIMI, F. Hydrogen peroxide whitens teeth by oxidizing the organic structure. *Journal of Dentistry*, v. 40, Suppl 2, p. e25-e33, 2012.

FEINMAN, R. A.; MADRAY, G.; YARBOROUGH, D. Chemical, optical, and physiologic mechanisms of bleaching products: a

review. *Practical Periodontics and Aesthetic Dentistry*, v. 3, n. 2, p. 32-36, 1991.

FUJISHIMA, A.; RAO, T. N.; TRYK, D. A. Titanium dioxide photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, v. 1, n. 1, p. 1-21, 2000.

GARBER, D. A. Dentist-monitored bleaching: a discussion of combination and laser bleaching. *Journal of the American Dental Association*, v. 128, Suppl, p. 26S-30S, 1997.

GARCIA, I. M.; LEITUNE, V. C. B.; BALBINOT, G. S.; SAMUEL, S. M. W.; COLLARES, F. M. Influence of niobium pentoxide addition on the properties of glass ionomer cements. *Acta Biomaterialia Odontologica Scandinavica*, v. 2, n. 1, p. 138-143, 2016.

GHINEA, R.; PEREZ, M. M.; HERRERA, L. J.; RIVAS, M. J.; YEBRA, A.; PARAVINA, R. D. Color difference thresholds in dental ceramics. *J Dent*, v. 38 Suppl 2, n., p. e57-64, 2010.

GUEDES, R. A.; CARLOS, N. R.; TURSSI, C. P.; FRANÇA, F. M. G.; VIEIRA-JUNIOR, W. F.; KANTOVITZ, K. R.; BRONZE-UHLE, E. S.; LISBOA-FILHO, P. N.; BASTING, R. T. Hybrid light applied with 37% carbamide peroxide bleaching agent with or without titanium dioxide potentializes color change effectiveness. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, v. 44, p. 103762, 2023.

HAYWOOD, V. B., History, safety and effectiveness of current bleaching techniques and application of the nightguard vital bleaching technique. *Quintessence Int.*, Berlin, v. 23, n. 7, p. 471-485, 1992.

HAYWOOD, V. B.; HEYMANN, H. Nightguard vital bleaching. *Quintessence Int.*, v. 20, n. 3, p. 173-176, 1989.

HAYWOOD, V. B.; ROBINSON, F. G. Vital tooth bleaching with Nightguard vital bleaching. *Current Opinion in Cosmetic Dentistry*, v. 4, p. 45-52, 1997.

HEYMANN, H. O. Tooth whitening: facts and fallacies. *British Dental Journal*, v. 198, p. 514, 2005.

HEYMANN, H. O. The artistry of conservative esthetic dentistry. *J. Am. Dent. Assoc.*, Chicago, p. 15E-23E, 1987.

HUA, X.; LIU, Z.; BRUCE, P. G.; GREY, C. P. The morphology of TiO₂ (B) nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, v. 137, n. 42, p. 13612-13623, 2015.

JOINER, A. The bleaching of teeth: A review of the literature. *Journal of Dentistry*, v. 34, n. 7, p. 412-419, 2006.

JUM'AH, A.; KOTHARI, S.; GRAY, A. R.; RATNAYAKE, J.; LEOV, F.; LYONS, K.; BRUNTON, P. A. A randomized clinical trial investigating the effect of three vital tooth bleaching protocols on oral health-related quality of life. *Saudi Dental Journal*, v. 36, n. 1, p. 77-83, 2024.

KISHI, A.; OTSUKI, M.; SADR, A.; IKEDA, M.; TAGAMI, J. Effect of light units on tooth bleaching with visible-light activating titanium dioxide photocatalyst. *Dental Materials Journal*, v. 30, n. 5, p. 723-729, 2011.

KOMATSU, O.; NISHIDA, H.; SEKINO, T.; YAMAMOTO, K. Application of Titanium Dioxide Nanotubes to Tooth Whitening. *Nano Biomedicine*, v. 6, n. 2, p. 63-72, 2014.

KUGEL, G.; PAPATHANASIOU, A.; WILLIAMS, A. J. 3rd; ANDERSON, C.; FERREIRA, S. Clinical evaluation of chemical and light-activated tooth whitening systems. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, v. 27, n. 1, p. 54-62, 2006.

KURY, M.; HIERS, R. D.; ZHAO, Y. D.; PICOLO, M. Z. D.; HSIEH, J.; KHAJOTIA, S. S.; ESTEBAN FLOREZ, F. L.; CAVALLI, V. Novel Experimental In-Office Bleaching Gels Containing Co-Doped Titanium Dioxide Nanoparticles. *Nanomaterials (Basel)*, v. 12, n. 17, p. 2995, 2022.

KURY, M.; WADA, E. E.; SILVA, D. P. D.; TABCHOURY, C. P. M.; GIANNINI, M.; CAVALLI, V. Effect of violet LED light on in-office bleaching protocols: a randomized controlled clinical trial. *Journal of Applied Oral Science*, v. 28, p. e20190720, 2020.

LAGO, M.; MOZZAQUATRO, L. R.; RODRIGUES, C.; KAIZER, M. R.; MALLMANN, A.; JACQUES, L. B. Influence of Bleaching Agents on Color and Translucency of Aged Resin Composites. *J Esthet Restor Dent*, v. 29, n. 5, p. 368-377, 2017.

LEE, M. C.; YOSHINO, F.; SHOJI, H.; TAKAHASHI, S.; TODOKI, K.; SHIMADA, S.; KUSE-BAROUCHE, K. Characterization by electron spin resonance spectroscopy of reactive oxygen species generated by titanium dioxide and hydrogen peroxide. *Journal of Dental Research*, v. 84, n. 2, p. 178-182, 2005.

LEONARD JR, R. H. Efficacy, longevity, side effects, and patient perceptions of nightguard vital bleaching. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, Jamesburg, v. 19, n. 4, p. 766-781, 1998.

LOGUERCIO, A. D.; SERVAT, F.; STANISLAWCZUK, R.; MENA-SERRANO, A.; REZENDE, M.; PRIETO, M. V.; CERENO, V.; ROJAS, M. F.; ORTEGA, K.; FERNANDEZ, E.; REIS, A. Effect of acidity of in-office bleaching gels on tooth sensitivity and whitening: a two-center double-blind randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.*, v. 21, n. 9, p. 2811-2818, 2017.

LYNCH, E.; SHEERIN, A.; SAMARAWICKRAMA, D. Y.; ATHERTON, M. A.; CLAXSON, A. W.; HAWKES, J.; HAYCOCK, P.; NAUGHTON, D.; SEYMOUR, K. G.; BURKE, F. M.; GROOTVELD, M. C. Molecular mechanisms of the bleaching actions associated with commercially-available whitening oral health care products. *Journal of the Irish Dental Association*, v. 41, n. 4, p. 94-102, 1995.

MANZOLI, T. M.; COSTA, J. L. S. G.; BESEGATO, J. F.; GELIO, M. B.; GALVANI, L. D.; BORDINI, E. A. F.; KUGA, M. C.; DANTAS, A. A. R. Violet LED associated with high concentration hydrogen peroxide: Effects on bleaching efficacy, pH, and temperature. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, v. 40, p. 103133, 2022.

MARSON, F. C.; SENSI, L. G.; VIEIRA, L. C.; ARAÚJO, E. Clinical evaluation of in-office dental bleaching treatments with and without the use of light-activation sources. *Operative Dentistry*, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2008.

MATIS, B. A.; COCHRAN, M. A.; FRANCO, M.; AL-AMMAR, W.; ECKERT, G. J.; STROPES, M. Eight in-office tooth whitening systems evaluated in vivo: a pilot study. *Operative Dentistry*, v. 32, p. 322-327, 2007.

MATIS, B. A. Tray whitening: what the evidence shows. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, v. 24, n. 4A, p. 354-362, 2003.

MATOS, I. C. R. T.; KURY, M.; DE MELO, P. B. G.; DE SOUZA, L. V. S.; ESTEBAN FLOREZ, F. L.; CAVALLI, V. Effects of experimental bleaching gels containing co-doped titanium dioxide and niobium pentoxide combined with violet light. *Clinical Oral Investigations*, v. 27, n. 8, p. 4827-4841, 2023.

MEIRELES, S. S.; HECKMANN, S. S.; SANTOS, I. S.; DELLA BONA, A.; DEMARCO, F. F. A double blind randomized clinical trial of at-home tooth bleaching using two carbamide peroxide concentrations: 6-month follow-up. *Journal of Dentistry*, v. 36, n. 11, p. 878-884, 2008.

MEIRELES, S. S.; SANTOS, I. S.; BONA, A. D.; DEMARCO, F. F. A double-blind randomized clinical trial of two carbamide peroxide tooth bleaching agents: 2-year follow-up. *J Dent*, v. 38, n. 12, p. 956-963, 2010.

MENA-SERRANO, A. P.; GARCIA, E.; LUQUE-MARTINEZ, I.; GRANDE, R.; LOGUERCIO, A. D.; REIS, A. A Single-Blind Randomized Trial About the Effect of Hydrogen Peroxide Concentration on Light-Activated Bleaching. *Oper Dent*, v. 41, n. 5, p. 455-464, 2016.

MONTEIRO, N. R.; BASTING, R. T.; AMARAL, F. L. B. D.; FRANÇA, F. M. G.; TURSSI, C. P.; GOMES, O. P.; LISBOA-FILHO, P. N.; KANTOVITZ, K. R.; BASTING, R. T. Titanium dioxide nanotubes incorporated into bleaching agents: physicochemical characterization and enamel color change. *Journal of Applied Oral Science*, v. 28, e20190771, 2020.

PAPATHANASIOU, A.; BARDWELL, D.; KUGEL, G. A clinical study evaluating a new chairside and take-home whitening system. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, v. 22, n. 4, p. 289-294, 296, 298, 2001.

PARAVINA, R. D.; GHINEA, R.; HERRERA, L. J.; BONA, A. D.; IGIEL, C.; LINNINGER, M.; SAKAI, M.; TAKAHASHI, H.; TASHKANDI, E.; PEREZ MDEL, M. Color difference thresholds in dentistry. *J Esthet Restor Dent*, v. 27 Suppl 1, n., p. S1-9, 2015.

PECHO, O. E.; GHINEA, R.; IONESCU, A. M.; CARDONA JDE, L.; PARAVINA, R. D.; PEREZ MDEL, M. Color and translucency of zirconia ceramics, human dentine and bovine dentine. *J Dent*, v. 40 Suppl 2, n., p. e34-40, 2012.

PECHO, O. E.; GHINEA, R.; ALESSANDRETTI, R.; PEREZ, M. M.; DELLA BONA, A. Visual and instrumental shade matching using CIELAB and CIEDE2000 color difference formulas. *Dent Mater*, v. 32, n. 1, p. 82-92, 2016.

PECHO, O. E.; GHINEA, R.; PEREZ, M. M.; DELLA BONA, A. Influence of Gender on Visual Shade Matching in Dentistry. *J Esthet Restor Dent*, v. 29, n. 2, p. E15-E23, 2017.

PEREZ, M. del M.; GHINEA, R.; RIVAS, M. J.; YEBRA, A.; IONESCU, A. M.; PARAVINA, R. D.; HERRERA, L. J. Development of a customized whiteness index for dentistry based on CIELAB color space. *Dental Materials*, v. 32, n. 3, p. 461-467, 2016.

PEREZ, M. M.; HERRERA, L. J.; CARRILLO, F.; PECHO, O. E.; DUDEA, D.; GASPARIK, C.; GHINEA, R.; BONA, A. D. Whiteness difference thresholds in dentistry. *Dent Mater*, v. 35, n. 2, p. 292-297, 2019.

PEREZ, M. M.; PECHO, O. E.; GHINEA, R.; PULGAR, R.; DELLA BONA, A.; Recent advances in color and whiteness evaluation in dentistry. *Current Dentistry* v.1; n.1, p.23-29, 2019b.

RODRÍGUEZ-MARTÍNEZ, J.; VALIENTE, M.; SÁNCHEZ-MARTÍN, M. J. Tooth whitening: From the established treatments to novel approaches to prevent side effects. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, v. 31, n. 5, p. 431-440, 2019.

RUEGGEBERG, F. A.; GIANNINI, M.; ARRAIS, C. A. G.; PRICE, R. B. T. Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Brazilian Oral Research*, v. 31, supl. 1, e61, 2017.

SAITA, M.; KOBAYASHI, K.; YOSHINO, F.; HASE, H.; NONAMI, T.; KIMOTO, K.; LEE, M. C. ESR investigation of ROS generated by H₂O₂ bleaching with TiO₂ coated HAP. *Dental Materials Journal*, v. 31, n. 3, p. 458-464, 2012.

SAKAI, K.; KATO, J.; NAKAZAWA, T.; HIRAI, Y. Bleaching effect of a 405-nm diode laser irradiation used with titanium dioxide and 3.5% hydrogen peroxide. *Laser Physics*, v. 17, p. 1166-1170, 2007.

SULIEMAN, M. An overview of tooth discoloration: extrinsic, intrinsic and internalized stains. *Dental Update*, v. 32, n. 8, p. 463-4, 466-8, 471, 2005.

SUYAMA, Y.; OTSUKI, M.; OGISU, S.; KISHIKAWA, R.; TAGAMI, J.; IKEDA, M.; KURATA, H.; CHO, T. Effects of light sources and visible light-activated titanium dioxide photocatalyst on bleaching. *Dental Materials Journal*, v. 28, n. 6, p. 693-699, 2009.

TANAKA, R.; SHIBATA, Y.; MANABE, A.; MIYAZAKI, T. Micro-structural integrity of dental enamel subjected to two tooth whitening regimes. *Archives of Oral Biology*, v. 55, n. 4, p. 300-308, 2010.

TERÉZHALMY, G.; HE, T.; ANASTASIA, M. K.; EUSEBIO, R. A Randomized Controlled Clinical Trial to Evaluate Extrinsic Stain Removal of a Whitening Dentifrice. *Journal of Clinical Dentistry*, v. 27, n. 4, p. 114-117, 2016.

TIN-OO, M. M.; SADDKI, N.; HASSAN, N. Factors influencing patient satisfaction with dental appearance and treatments they desire to improve aesthetics. *BMC Oral Health*, v. 11, p. 6, 23, 2011.

WALSH, L. J. Safety issues relating to the use of hydrogen peroxide in dentistry. *Australian Dental Journal*, v. 45, n. 4, p. 257-269, 2000.

WINKLER, H. C.; NOTTER, T.; MEYER, U.; NAEGELI, H. Critical review of the safety assessment of titanium dioxide additives in food. *Journal of Nanobiotechnology*, v. 16, p. 51, 2018.