

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

LETÍCIA CAROLINE CONDOLO

EFEITO DO MÉTODO DE APLICAÇÃO EM GÉIS CLAREADORES DE ALTA
CONCENTRAÇÃO EM DOIS FRASCOS: PENETRAÇÃO DE PERÓXIDO DE
HIDROGÊNIO, QUANTIDADE DE GEL UTILIZADA E EFICÁCIA DO
CLAREAMENTO

PONTA GROSSA
2025

LETÍCIA CAROLINE CONDOLO

EFEITO DO MÉTODO DE APLICAÇÃO EM GÉIS CLAREADORES DE ALTA
CONCENTRAÇÃO EM DOIS FRASCOS: PENETRAÇÃO DE PERÓXIDO DE
HIDROGÊNIO, QUANTIDADE DE GEL UTILIZADA E EFICÁCIA DO
CLAREAMENTO

Dissertação apresentada como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Odontologia na Universidade Estadual de Ponta Grossa, no curso de Mestrado em Odontologia – Área de Concentração em Dentística Restauradora. Linha de Pesquisa: Propriedades Físico-Químicas e Biológica dos Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Dourado Loguercio.
Coorientador: Prof. Dr. Michael Willian Favoreto.

PONTA GROSSA
2025

C746 Condolo, Letícia Caroline

 Efeito do método de aplicação em géis clareadores de alta concentração em dois frascos: penetração de peróxido de hidrogênio, quantidade de gel utilizada e eficácia do clareamento / Letícia Caroline Condolo. Ponta Grossa, 2025. 80 f.

 Dissertação (Mestrado em Odontologia - Área de Concentração: Dentística Restauradora), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

 Orientador: Prof. Dr. Alessandro Dourado Loguercio.
 Coorientador: Prof. Dr. Michael Willian Favoreto.

 1. Clareamento dental. 2. Peróxido de hidrogênio. 3. Permeabilidade dentinária. I. Loguercio, Alessandro Dourado. II. Favoreto, Michael Willian. III. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Dentística Restauradora. IV.T.

CDD: 617.6

Letícia Caroline Condolo

Efeito do método de aplicação em géis clareadores de alta concentração em dois frascos: penetração de peróxido de hidrogênio, quantidade de gel utilizada e eficácia do clareamento

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação Stricto sensu em Odontologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Odontologia, área de concentração em Dentística Restauradora, linha de pesquisa de Propriedades Físico-Químicas e Biológicas de Materiais.

Ponta Grossa, 04 de Dezembro de 2025.

Documento assinado digitalmente
 ALESSANDRO DOURADO LOGUERCIO
Data: 10/12/2025 22:06:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alessandro Dourado Loguercio
Universidade Estadual de Ponta Grossa

FUENTES
FUENTES
MARIA
VICTORIA -
25177727H

Firmado
digitalmente por
FUENTES FUENTES
MARIA VICTORIA -
25177727H
Fecha: 2025.12.10
12:56:53 +01'00'

Prof^a. Dr^a. Maria Victória Fuentes
Universidad Rey Juan Carlos

Documento assinado digitalmente
 ERIC MAYER DOS SANTOS
Data: 08/12/2025 10:51:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Eric Mayer dos Santos
Universidade de São Paulo

AGRADECIMENTOS

À **Deus**, por ter me guiado a este momento e ter me possibilitado realizar tantos sonhos.

Ao meu marido, **Guilherme Gizzi Akutsu**, pelo apoio incondicional em cada etapa desta jornada. Agradeço por ter compreendido e apoiado minha decisão de afastar-me das nossas clínicas para dedicar-me integralmente aos estudos e à realização deste sonho que é o mestrado. Sua presença constante, incentivo e confiança foram fundamentais para que eu não desistisse, mesmo diante das dificuldades. A serenidade com que sempre me lembrava de que tudo daria certo foi essencial para que este trabalho se concretizasse.

Aos meus pais, **Marcos Lins Condolo** e **Bernadete Condolo**, por todo o apoio, incentivo e amor incondicional ao longo da minha vida. Agradeço por terem me apoiado desde o início desta jornada, possibilitando minha mudança e oferecendo toda a ajuda necessária para que eu pudesse me dedicar aos estudos. Como pais e como sócios, sempre acreditaram em mim e me ensinaram, pelo exemplo, a buscar constantemente o melhor, incentivando-me a ir além e a ser sempre melhor do que eles mesmos. Tudo o que conquistei até aqui é reflexo dos valores e da dedicação que me transmitiram.

À toda minha **família**, que sempre me apoiou e incentivou nas minhas decisões, meu coração sempre estará com vocês.

A meu orientador, **Prof. Dr. Alessandro Dourado Loguercio**, pela orientação exemplar, pela confiança em ter me escolhido como orientanda e por toda a dedicação e presença ao longo desta trajetória. Sua contribuição foi fundamental para a realização deste trabalho, sempre conduzindo o processo com sabedoria, paciência e excelência. Agradeço pelo cuidado e generosidade na transmissão do conhecimento sinto-me verdadeiramente grata por conviver com alguém com um estofo intelectual e científico admirável.

A meu co-orientador e amigo, **Prof. Dr. Michael Willian Favoreto**, pela oportunidade de integrar este grupo de pesquisa e por ter aberto as portas que tornaram possível esta conquista. Agradeço por todo o incentivo, por acreditar em mim mesmo quando eu duvidava das minhas próprias capacidades, e por ser um exemplo de professor e ser humano. Sua confiança, orientação e constante estímulo foram essenciais para o meu crescimento pessoal e acadêmico. Sou profundamente grata por todas as oportunidades e aprendizados que me proporcionou.

À minha amiga, **Gabrielle Gomes Centenaro**, pela orientação, paciência e generosidade compartilhadas ao longo desta jornada. Agradeço por todo o conhecimento transmitido, pelo auxílio constante no ambiente acadêmico e pelo apoio também em momentos pessoais. A amizade que construímos durante este período foi muito especial para mim e certamente marcou de forma positiva esta etapa da minha trajetória.

À **Laryssa Mylenna Madruga Barbosa** e à **Daisy Cristina Ferreira Cordeiro**, pela ajuda, paciência e orientação ao longo desses dois anos, fundamentais para a realização deste trabalho. Sou grata pelo apoio constante, pelo compartilhamento de conhecimento e pela dedicação em me guiar durante esta etapa da minha trajetória acadêmica.

Aos meus **colegas de mestrado**, pela amizade construída ao longo desses dois anos e pelo apoio compartilhado, mesmo nas pequenas interações do dia a dia. Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta jornada fosse mais rica, colaborativa e significativa.

Aos meus amigos, em especial a **Nathasja Jaeckel Rotter**, por estar presente em todas as etapas da minha vida, oferecendo apoio incondicional e constante. Agradeço por nunca me abandonar, por sempre me proporcionar suporte emocional e por se fazer presente de todas as formas possíveis, tornando esta jornada mais leve e significativa.

À minha **equipe**, pela administração e condução de todos os processos durante minha ausência, permitindo que eu me dedicasse integralmente aos estudos. Agradeço, em especial, à minha gerente **Josiane Terezinha Boleck**, pelo comprometimento, dedicação e profissionalismo, que foram fundamentais para que esta etapa fosse possível.

À todo grupo **Bleaching&Bond**, pela troca mútua de conhecimento e por sempre proporcionarem momentos de aprendizado e descontração, vocês são fundamentais nesta caminhada.

À **Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Odontologia UEPG** e todos os **funcionários da UEPG**, por toda dedicação e suporte nos momentos necessários.

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES)** pelo incentivo a pesquisa e pela bolsa de estudos durante estes dois anos de mestrado.

À **todos** que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho

DADOS CURRICULARES

LETÍCIA CAROLINE CONDOLO

NASCIMENTO 03.01.1997	Ponta Grossa, Paraná - Brasil
FILIAÇÃO	Marcos Lins Condolo Bernadete Condolo
2015 - 2019	Graduação em Odontologia Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa - PR, Brasil.
2024 – Em andamento	Curso de Pós-Graduação em Odontologia. Área de Concentração em Dentística Restauradora. Nível Mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa – PR, Brasil.
2020 – 2022	Curso de Especialização em Prótese Dental. Instituto Orofacial das Américas (IOA). Joinville, SC – Brasil.

RESUMO

Condolo, L. **Efeito da ponteira de aplicação em géis clareadores de alta concentração em dois frascos: penetração de peróxido de hidrogênio, quantidade de gel utilizada e eficácia do clareamento.** Orientador: Alessandro D. Loguercio Ponta Grossa, 2025. Dissertação (Mestrado em Odontologia – Área de Concentração - Dentística Restauradora) – Departamento de Odontologia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2025.

Objetivo: Avaliar a penetração do peróxido de hidrogênio (PH) na câmara pulpar, a quantidade de gel utilizada e a eficácia clareadora durante o clareamento de consultório utilizando pincel *versus* espátula convencional com diferentes géis de clareamento de consultório de dois frascos. **Materiais e Métodos:** Cento e dez pré-molares humanos extraídos foram distribuídos aleatoriamente em onze grupos ($n = 10$) de acordo com: 1) Método de aplicação: pincel ou espátula convencional; e 2) géis de clareamento de consultório: DSP White Clinic 35% H₂O₂ (WC); Pola Office 35% (PO); Potenza Bianco PRO 35% (PB); Whiteness HP 35% (WH) ou Whiteness HP Maxx 35% (WM). Um grupo não exposto aos agentes clareadores foi utilizado como controle negativo. A concentração ($\mu\text{g mL}^{-1}$) de PH na câmara pulpar foi medida por espectrofotometria UV-Vis. O gasto de gel foi avaliado com balança digital analítica de precisão. A eficácia do clareamento (ΔE_{ab} , ΔE_{00} e ΔWIP) foi avaliada com espectrofotômetro digital. A concentração inicial de PH (%) e o pH foram medidos, respectivamente, por titulação e medidor digital de pH. ANOVA dois fatores, testes de Tukey e Dunnett foram utilizados para analisar pH, penetração e concentração de PH, quantidade de gel utilizada e eficácia do clareamento. **Resultados:** A concentração de peróxido de hidrogênio nos géis manteve-se estável antes e após a aplicação ($p > 0,05$). Os valores iniciais variaram entre $30,5 \pm 0,2\%$ e $34,5 \pm 0,5\%$, enquanto, após 15 minutos, permaneceram entre $30,5 \pm 0,9\%$ e $34,3 \pm 0,4\%$, sem diferenças significativas entre os tempos, mesmo para agentes com concentrações inferiores às recomendadas pelo fabricante. O pH dos agentes clareadores foi ácido ($2,60 \pm 0,012$ e $6,62 \pm 0,035$) e instável ($2,63 \pm 0,015$ e $5,27 \pm 0,021$) durante a aplicação ($p < 0,05$), exceto para o PO, que permaneceu altamente ácido durante todo o período de aplicação ($p > 0,05$), resultando em maior penetração na polpa, independentemente do método de aplicação ($p < 0,05$). Os demais agentes apresentaram penetração similar, independentemente do método utilizado ($p > 0,05$). A aplicação com pincel resultou em um gasto de gel significativamente menor para todos os géis de clareamento ($p < 0,05$). Todos os géis demonstraram eficácia clareadora semelhante, independentemente do método de aplicação ($p > 0,05$). **Conclusão:** Não foram encontradas diferenças significativas na penetração de PH na câmara pulpar entre pincel e espátula. No entanto, a aplicação com pincel reduziu significativamente o consumo de gel sem comprometer a eficácia do clareamento. **Relevância clínica:** O uso do pincel na aplicação de géis de clareamento em dois frascos reduz o desperdício de material mantendo a eficácia do clareamento, oferecendo assim um protocolo clínico mais rentável para os profissionais.

Palavras-chave: Clareamento Dental. Peróxido de Hidrogênio. Permeabilidade do esmalte dental. Permeabilidade dentinária

ABSTRACT

Condolo, L. **Effect of the application tip on two-bottle in-office bleaching gels: Hydrogen peroxide penetration, amount of gel expended and bleaching efficacy.**

Orientador: Alessandro D. Loguercio Ponta Grossa, 2025. Dissertação (Mestrado em Odontologia – Área de Concentração - Dentística Restauradora) – Departamento de Odontologia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2025.

Objective: Evaluate the penetration of hydrogen peroxide (HP) into the pulp chamber, amount of gel expended and bleaching efficacy during in-office bleaching using brush vs. conventional spatula with different two-bottle in-office bleaching gels. **Materials and Methods:** One hundred and ten extracted human premolars were randomly distributed into eleven groups ($n = 10$) according to the application method: 1) Method of application: Brush or conventional spatula; and 2) in-office bleaching gels: DSP White Clinic 35% H₂O₂ (WC); Pola Office 35% (PO); Potenza Bianco PRO 35% (PB); Whiteness HP 35% (WH) or Whiteness HP Maxx 35% (WM). A group not exposed to bleaching agents was the negative control. The concentration ($\mu\text{g mL}^{-1}$) of HP into the pulp chamber was measured using UV-Vis spectrophotometry. The bleaching gel expended was evaluated with a precision analytical digital balance. The bleaching efficacy (ΔE_{ab} , ΔE_{00} , and ΔW_{ID}) was assessed with a digital spectrophotometer. The initial HP concentration (%) and pH were measured, respectively via titration and digital pH meter. Two-way ANOVA, Tukey's, and Dunnett' test were used to analyze pH, HP penetration and concentration, amount of gel expended and bleaching efficacy. **Results:** The hydrogen peroxide concentration in the bleaching gels remained stable before and after application ($p > 0.05$). Initial values ranged from $30.5 \pm 0.2\%$ to $34.5 \pm 0.5\%$, and after 15 minutes they remained between $30.5 \pm 0.9\%$ and $34.3 \pm 0.4\%$, with no significant differences between time points, even for agents containing concentrations lower than those recommended by the manufacturer. The pH of the agents was acidic (2.60 ± 0.012 e 6.62 ± 0.035) and unstable (2.63 ± 0.015 e 5.27 ± 0.021) during application ($p < 0.05$), except for PO, which remained highly acidic throughout the application period ($p > 0.05$), resulting in greater penetration into the pulp, regardless of the application method ($p < 0.05$). The other agents showed similar penetration, regardless of the method used ($p > 0.05$). Brush application resulted in significantly lower gel consumption across all bleaching gels ($p < 0.05$). All bleaching gels demonstrated similar bleaching efficacy regardless of the application method ($p > 0.05$). **Conclusion:** No significant differences were found in HP penetration into the pulp chamber between brush and spatula. However, brush application significantly reduced bleaching gel consumption without compromising bleaching efficacy. **Clinical relevance:** The use of brush application in two-bottle bleaching gels reduces material waste while maintaining bleaching effectiveness, thus offering a more profitable clinical protocol for professionals.

Keywords: Tooth bleaching; Hydrogen peroxide; Dental enamel permeability; Tooth permeability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Sequência do material e métodos.....	30
Figura 2	– Titulação para obtenção da concentração de Peróxido de Hidrogênio.....	31
Figura 3	– Medição do potencial hidrogênio (pH).....	31
Figura 4	– Concentração de peróxido de hidrogênio (%) no tempo imediato e após 15 minutos de manipulação dos diferentes grupos.....	34
Figura 5	– Medidas de pH no tempo imediato e após 15 minutos da manipulação para os diferentes grupos.....	34
Figura 6	– Concentração de peróxido de hidrogênio ($\mu\text{g/mL}$) dentro da câmara pulpar nas diferentes formas de aplicação dos géis.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Médias e desvios padrão da espessura esmalte-dentina vestibular (mm) e <i>baseline</i> do WID dos diferentes grupos.....	35
Tabela 2	– Médias e desvios padrão da quantidade de gel gasto (mg) para os diferentes grupos.....	
Tabela 3	– Médias e desvios-padrão obtidos a partir da alteração de cor após 2 semanas para os diferentes grupos.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a*	Eixo vermelho-verde
b*	Eixo azul-amarelo
IC	Intervalo de confiança
DP	Desvio Padrão
CEP	Comissão de Ética em Pesquisa
ΔE	Variação de cor
ΔE_{ab}	Variação de cor CIEL _{ab}
ΔE_{00}	Variação de cor CIEDE ₀₀
cm	Centímetro
g	Gramma
L*	Luminosidade
min	Minuto
mm	Milímetro
mL	Mililitro
n	Número amostral
PH	Peróxido de hidrogênio
pH	Potencial hidrogeniônico
SD	Sensibilidade Dental
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa
$\Delta W I_D$	Variação de cor em <i>Whiteness Index for Dentistry</i> (Índice de Brancura para Odontologia)
vs	<i>Versus</i>
μg	Microgramas

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Alfa
Δ	Delta
=	Igual
$\pm$	Mais ou menos
<	Menor
>	Maior
%	Porcentagem
p	Significância estatística
®	Marca Registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	CLAREAMENTO DE DENTES VITAIS.....	16
2.2	MECANISMO DE AÇÃO DOS AGENTES CLAREADORES.....	16
2.3	TÉCNICAS DE CLAREAMENTO DE DENTES VITAIS.....	17
2.4	EFEITOS ADVERSOS.....	19
3	PROPOSIÇÃO.....	22
3.1	PROPOSIÇÃO GERAL.....	22
3.2	PROPOSIÇÕES ESPECÍFICAS.....	22
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1	APROVAÇÃO ÉTICA E PROTOCOLO DE REGISTRO.....	23
4.2	CALIBRAÇÃO DO OPERADOR.....	23
4.3	SELEÇÃO DOS DENTES E CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO.....	23
4.4	CÁLCULO DO TAMANHO DA AMOSTRA.....	23
4.5	GRUPOS EXPERIMENTAIS.....	24
4.6	CONCENTRAÇÕES DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NOS AGENTES CLAREADORES.....	24
4.7	AVALIAÇÃO DO pH DOS AGENTES CLAREADORES.....	25
4.8	PREPARO DAS AMOSTRAS.....	25
4.9	ESPESSURA DAS AMOSTRAS.....	25
4.10	AVALIAÇÃO DA COR INICIAL.....	25
4.11	OBTENÇÃO DA CURVA ANALÍTICA.....	26
4.12	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA CLAREAMENTO.....	27
4.13	PROTOCOLO DE CLAREAMENTO.....	27
4.14	QUANTIDADE DE GEL GASTO.....	28
4.15	PERMEABILIDADE DO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO.....	28
4.16	AVALIAÇÃO DA MUDANÇA DE COR.....	28
4.17	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	29
5	RESULTADOS.....	32
5.1	CONCENTRAÇÕES DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NOS AGENTES CLAREADORES E pHs.....	32
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS ESÉCIMES DENTÁRIOS.....	32
5.3	CONCENTRAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA CÂMARA PULPAR.....	32
5.4	5.1 QUANTIDADE DE GEL UTILIZADA PARA O CLAREAMENTO	33
5.5	EFICÁCIA CLAREADORA.....	33

6	DISCUSSÃO.....	37
7	CONCLUSÃO.....	41
	REFERÊNCIAS.....	42
	ANEXO A – APROVAÇÃO DO PROJETO PELA COMISSÃO DE ÉTICA EM PESQUISA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA.....	49
	ANEXO B – ARTIGO SUBMETIDO A REVISTA ODONTOLOGY.....	53

1 INTRODUÇÃO

O clareamento dental é um procedimento amplamente procurado por diversos motivos estéticos e psicológicos (Bonafé et al. ¹ 2021). Esse tratamento pode ser realizado de duas maneiras: caseiro e em consultório. Ambas as técnicas apresentam vantagens e desvantagens, contudo o método em consultório tende a ser mais popular entre os pacientes, pois oferece resultados satisfatórios já após a primeira sessão (Reis et al. ² 2018).

O clareamento ocorre pela permeabilidade do peróxido de hidrogênio (PH) através dos tecidos duros. Devido ao seu baixo peso molecular, o PH é capaz de difundir-se pela estrutura do esmalte e da dentina, penetrando nos túbulos dentinários, onde se decompõe em radicais livres e oxigênio reativo. Esses produtos oxidantes interagem com as cadeias duplas de compostos orgânicos e inorgânicos pigmentados, promovendo sua quebra e, conseqüentemente, a alteração das propriedades ópticas do dente, resultando em uma aparência mais clara (Klaric Sever et al. ³ 2018; Kwon e Wertz ⁴ 2015). Segundo a segunda lei de Fick, o processo de difusão é diretamente influenciado pela duração da aplicação do gel, pela extensão da área de contato entre o gel e a superfície do dente, e pela quantidade de produto utilizada (de Oliveira Duque et al. ⁵ 2017; Balladares et al. ⁶ 2019; Centenaro et al. ⁷ 2024; Carneiro et al. ⁸ 2023; Alcântara et al. ⁹ 2023).

O clareamento em consultório pode ser oferecido em diferentes formas de apresentação, incluindo: sistemas em dois frascos, seringas acopláveis e sistemas de auto mistura (Centenaro et al. ⁷ 2024; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Carneiro et al. ¹¹ 2024; Martins et al. ¹² 2018). Tipicamente, concentrações elevadas de PH (30% a 40%) são utilizadas para essa técnica (Piknjač e Zlatarić ¹³ 2021; Pereira et al. ¹⁴ 2022; Alkahtani et al. ¹⁵ 2020), entretanto, tais concentrações elevadas permitem que o PH alcance a polpa com mais facilidade, podendo induzir respostas inflamatórias (Kwon e Wertz ⁴ 2015) e levar a efeitos adversos, como a sensibilidade dentária (Machado et al. ¹⁶ 2016).

Diversas técnicas têm sido propostas para reduzir a sensibilidade dentária durante o tratamento clareador (Wang et al. ¹⁷ 2015; Parreiras et al. ¹⁸ 2020). Entre elas, destaca-se o uso de pincéis aplicadores para géis de auto mistura e seringas acopláveis (Carneiro et al. ⁸ 2023; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Favoreto et al. ¹⁹ 2024; Bernardi et al. ²⁰ 2022). Esses métodos visam minimizar a espessura do gel sobre a superfície do dente, reduzindo o consumo do produto (Carneiro et al. ⁸ 2023; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Favoreto et al. ¹⁹ 2024; Bernardi et al. ²⁰ 2022; Esteves et

al.²¹ 2022). Estudos anteriores demonstraram que essas abordagens diminuem a permeabilidade do PH na polpa sem interferir na eficácia do clareamento (Carneiro et al.⁸ 2023; Centenaro et al.¹⁰ 2024; Favoreto et al.¹⁹ 2024; Bernardi et al.²² 2022).

Apesar do desenvolvimento de formas comerciais modernas, como seringas de auto mistura e seringas acopláveis, esses produtos são significativamente mais caros do que os géis convencionais de dois frascos. Como resultado, a adaptação da técnica de aplicação com pincel, originalmente projetada para esses sistemas modernos, poderia oferecer uma alternativa mais acessível e econômica. Os géis de dois frascos são mais baratos, sendo possível manipular a quantidade desejada para cada caso individualmente, o que pode explicar sua popularidade entre os clínicos. Além disso, ao possibilitar a padronização e o uso racional do material, a técnica com pincel contribui para a redução do desperdício de gel clareador, alinhando-se aos princípios contemporâneos da odontologia sustentável, que preconizam o uso responsável de recursos e a minimização de resíduos clínicos (Saxena et al.²³ 2025). Combinar esses géis com um pincel aplicador pode representar uma alternativa prática e mais econômica, mantendo a eficácia clínica, ao mesmo tempo que pode reduzir tanto a penetração do PH quanto o desperdício de material.

No entanto, a redução do volume de gel e o aumento da área de contato por meio de pincéis foram testados apenas com géis de auto mistura e seringas acopláveis, não sendo ainda avaliados em combinação com géis de dois frascos. Portanto, o objetivo deste estudo *in vitro* foi avaliar a penetração do PH na câmara pulpar, a quantidade de gel utilizada e a eficácia do clareamento comparando o uso de pincel aplicador com espátula convencional em diferentes sistemas comerciais de clareamento de consultório de dois frascos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CLAREAMENTO DE DENTES VITAIS

A cor dos dentes é amplamente reconhecida como um fator significativo relacionado à autoestima dos pacientes (Campos et al. ²⁴ 2020). Além disso, desempenha um papel importante nas interações sociais, uma vez que dentes mais brancos tendem a transmitir uma aparência mais jovial (Newton et al. ²⁵ 2021), o que resulta em uma facilidade nas relações interpessoais (Joiner e Luo ²⁶ 2017). Sendo influência potente na autoconfiança e satisfação do paciente com sua aparência (Bonafé et al. ¹ 2021; Kihn ²⁷ 2007).

Dentes mais escuros ou amarelados podem ocorrer por fatores extrínsecos ou intrínsecos. Quando causados por fatores extrínsecos, a profilaxia profissional é a abordagem recomendada. Nesse caso, o escurecimento dental pode estar relacionado ao consumo de tabaco, pigmentos presentes em alimentos e bebidas, principalmente as industrializadas, acúmulo de biofilme, uso de medicamentos e enxaguantes a base de clorexidina (Joiner e Luo ²⁶ 2017; de Geus et al. ²⁸ 2017). Quando o escurecimento é causado por fatores intrínsecos, que podem ocorrer por traumas, tratamentos endodônticos insatisfatórios, materiais obturadores que se depositam nos túbulos dentinários (Krastl et al. ²⁹ 2013; Tour Savadkouhi e Fazlyab ³⁰ 2016), os pigmentos estão localizados no interior da estrutura dental, portanto o tratamento de eleição na maioria dos casos é o clareamento dental, sendo uma opção acessível, simples e conservadora (Joiner e Luo ²⁶ 2017; Sulieman ³¹ 2005).

A técnica de clareamento dental surgiu, originalmente, a partir do uso de peróxido de carbamida em um posicionador ortodôntico em 1968, onde, durante experimentos iniciais com agentes químicos ou tentativas de higiene, foi observado de forma acidental o clareamento dos dentes dos pacientes, sem que houvesse uma intenção estética inicial (Kwon e Wertz ⁴ 2015; Kihn ²⁷ 2007). No entanto, só se tornou popular em 1989 com a publicação de Haywood e Heymann, descrevendo o "Nightguard vital bleaching", um método de clareamento durante a noite (Haywood e Robinson ³² 1997). Desde então, novas pesquisas foram conduzidas para aprimorar a técnica, baseada nas descobertas iniciais e no estudo clínico bem-sucedido de Haywood (Haywood e Robinson ³² 1997).

2.2 MECANISMO DE AÇÃO E AGENTES CLAREADORES

O clareamento dental é uma técnica que utiliza um gel clareador à base de peróxido de hidrogênio, apresentados em forma de seringas acopláveis, de auto

mistura ou dois frascos. Quando aplicados na superfície dental, esse material penetra o esmalte e interage com o tecido dentinário. Ao penetrar na estrutura dental, ele gera radicais livres, que quebram as longas cadeias carbônicas, reduzindo-os a moléculas menores que, por difusão, são eliminadas mais facilmente da estrutura dental (Alqahtani ³³ 2014). Também é notado que o pH do gel clareador oxida o conteúdo orgânico da dentina, entre eles o colágeno. Apesar de ser incolor antes da oxidação, o colágeno se torna mais opaco e branco após a oxidação, esses dois fatores contribuem para o clareamento dental (Eimar et al. ³⁴ 2012; Kawamoto e Tsujimoto ³⁵ 2004). No entanto, pesquisas recentes sugerem que o clareamento dental envolve não apenas esse mecanismo, mas também um processo dinâmico de interação de moléculas cromóforas, alterações micro morfológicas na superfície dental e interações químicas por afinidade, afetando as propriedades ópticas dos dentes (Kwon e Wertz ⁴ 2015).

Comercialmente, pode ser encontrado como Peróxido de Hidrogênio ou Peróxido de Carbamida (o qual dissocia-se, formando peróxido de hidrogênio e ureia). As concentrações variam dependendo da forma de apresentação e indicação de técnica do material, sendo de 3,5% a 40% para o Peróxido de Hidrogênio e 10% a 38% para Peróxido de Carbamida. O Peróxido de Hidrogênio é um líquido incolor que atua como agente oxidante (Tredwin et al. ³⁶ 2006), pode estar sozinho ou associado a outros componentes, tais como nos géis de Peróxido de Carbamida (Kwon e Wertz ⁴ 2015; Carey ³⁷ 2014). O peróxido de carbamida, um sólido branco e cristalino, tornou-se o agente clareador preferencial para o clareamento caseiro. Sua eficácia se deve à menor energia necessária para formar radicais livres, resultante da dissociação da ureia em amônia e dióxido de carbono. Esse processo eleva o pH do meio, favorecendo a ação do peróxido de hidrogênio sobre as moléculas orgânicas em que o peróxido atua (Kwon e Wertz ⁴ 2015).

A comparação entre o uso de Peróxido de Hidrogênio e o Peróxido de Carbamida geralmente têm resultados semelhantes, permitindo que os profissionais escolham o agente clareador com base na técnica mais apropriada para a rotina e as características do paciente (Alonso de la Peña e Balboa Cabrita ³⁸ 2006; Luque-Martinez et al. ³⁹ 2016).

2.3 TÉCNICAS DE CLAREAMENTO DE DENTES VITAIS

Uma variedade de produtos para o clareamento dental é disponibilizada pelos fabricantes, podendo variar em forma de apresentação e concentração. Para o

clareamento em dentes vitais, temos duas técnicas de clareamento bem descritas na literatura e utilizadas pelos cirurgiões-dentistas, o clareamento caseiro e o clareamento de consultório (de Geus et al. ⁴⁰ 2016). Para ambas, os agentes clareadores utilizados são o Peróxido de Hidrogênio e o Peróxido de Carbamida.

Na técnica de clareamento de consultório, o paciente deve dispor de tempo para ficar na cadeira do cirurgião-dentista, necessitando de 2-4 sessões para alcançar o resultado adequado (Alqahtani ³³ 2014) e o agente clareador utilizado nesses casos é o Peróxido de Hidrogênio, o qual pode variar a concentração entre 20% a 40% e o Peróxido de Carbamida 37-38% (de Geus et al. ⁴⁰ 2016). O clareamento dental realizado no consultório odontológico oferece uma supervisão mais rigorosa por parte do cirurgião-dentista, que é responsável pela aplicação adequada do gel clareador (Tay et al. ⁴¹ 2009). Além disso, esse método proporciona resultados mais rápidos devido à maior concentração de peróxido utilizada (He et al. ⁴² 2012). No entanto, essa técnica apresenta algumas desvantagens, como o aumento dos custos tanto para o profissional quanto para o paciente, devido ao maior tempo clínico necessário para o tratamento, e um maior risco de sensibilidade dental e irritação gengival após o clareamento (Reis et al. ² 2018).

Diversas estratégias têm sido propostas para mitigar a sensibilidade dentária associada ao clareamento, uma vez que esse desconforto permanece um dos principais efeitos adversos relatados pelos pacientes (Wang et al. ¹⁷ 2015; Parreiras et al. ¹⁸ 2020). Entre essas abordagens, destaca-se o uso de pincéis aplicadores para géis de automistura e dispositivos acopláveis em seringas, que têm recebido crescente atenção na literatura (Carneiro et al. ⁸ 2023; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Favoreto et al. ¹⁹ 2024; Bernardi et al. ²⁰ 2022). A utilização desses pincéis permite maior controle sobre a quantidade de gel aplicada à superfície dental, resultando em uma camada mais fina e uniforme. Essa redução de espessura contribui para menor consumo de produto e melhor padronização da aplicação (Carneiro et al. ⁸ 2023; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Favoreto et al. ¹⁹ 2024; Bernardi et al. ²⁰ 2022; Esteves et al. ²¹ 2022). Além disso, evidências indicam que essa técnica diminui a permeabilidade do peróxido de hidrogênio em direção à câmara pulpar, reduzindo o risco de sensibilidade sem comprometer a eficácia do clareamento (Carneiro et al. ⁸ 2023; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Favoreto et al. ¹⁹ 2024; Bernardi et al. ²⁰ 2022).

O clareamento dentário caseiro supervisionado envolve a aplicação de agentes clareadores em concentrações mais baixas, usando moldeiras individualizadas, que são fornecidas ao paciente para uso fora do consultório (Luque-Martinez et al.³⁹ 2016; de Geus et al.⁴⁰ 2016; Martini et al.⁴³ 2020). A concentração dos géis pode variar de 4% a 10% de Peróxido de Hidrogênio ou de 10% a 22% de Peróxido de Carbamida, e o tempo de uso depende do tipo de gel e da sua concentração, variando de 30 minutos a 8 horas por dia (Luque-Martinez et al.³⁹ 2016; Terra et al.⁴⁴ 2025). Essa abordagem reduz o tempo de contato do paciente no ambiente clínico, o que leva a uma diminuição nos custos (Meireles et al.⁴⁵ 2009; Meireles et al.⁴⁶ 2008). É considerada a técnica mais segura em comparação com o clareamento dentário realizado no consultório, principalmente devido ao uso de concentrações mais baixas de gel clareador (Reis et al.² 2018; Zekonis et al.⁴⁷ 2003). No entanto, uma das desvantagens dessa técnica está relacionada à cooperação do paciente, que deve seguir rigorosamente o protocolo de tratamento em casa para obter os resultados desejados (Luque-Martinez et al.³⁹ 2016; Bernardon et al.⁴⁸ 2010).

Ambas as técnicas de clareamento dental são eficazes, mas a escolha entre elas deve ser baseada em uma avaliação clínica individual (Herrera et al.⁴⁹ 2016). Estudos mostraram que o clareamento em consultório pode levar a uma sensibilidade dentária mais elevada (Mounika et al.⁵⁰ 2018; Tay et al.⁵¹ 2012) enquanto uma revisão sistemática com metanálise não encontrou diferenças significativas na eficácia ou sensibilidade dentária (de Geus et al.⁴⁰ 2016).

2.4 EFEITOS ADVERSOS

No clareamento dental, a sensibilidade dentária e a irritação gengival são efeitos adversos comuns (Cordeiro et al.⁵² 2019; Dourado Pinto et al.⁵³ 2019). A irritação gengival pode resultar do contato direto entre o gel clareador e os tecidos moles. Fatores como a concentração do gel e o tempo de contato influenciam a irritação gengival (Basting et al.⁵⁴ 2012; Li⁵⁵ 2011). A adaptação inadequada da moldeira e o uso de modelos de gesso deficientes também podem contribuir para a irritação gengival, quando o clareamento caseiro é a opção de escolha (Briso et al.⁵⁶ 2016). Cirurgiões-dentistas devem identificar áreas de compressão para evitar lesões (Matis⁵⁷ 2003), e pacientes devem seguir as orientações de uso para minimizar o risco de irritação gengival (Briso et al.⁵⁶ 2016).

No clareamento dental realizado em consultório, a irritação gengival pode ocorrer quando o gel clareador entra em contato com os tecidos moles. Um fator importante é a execução inadequada da barreira de proteção gengival, que pode resultar em uma menor conversão do polímero fotopolimerizável, definida como a proporção de ligações duplas de carbono insaturadas transformadas em ligações simples covalentes. Distâncias inadequadas entre a unidade de fotopolimerização e a superfície da barreira podem reduzir a irradiância, comprometendo a polimerização. Essa cura insuficiente pode gerar um selamento ineficaz, permitindo que o gel clareador atinja a gengiva, causando irritação e desconforto local (Santana et al.⁵⁸ 2024).

Já a sensibilidade dental ocorre devido à capacidade do peróxido de hidrogênio de penetrar na estrutura dental, causando uma resposta inflamatória na polpa (Kwon e Wertz⁴ 2015). A difusão do peróxido através dos túbulos dentinários pode causar alterações na pressão intrapulpar, despolarização das terminações nervosas e liberação de mediadores inflamatórios, como prostaglandinas e bradicinina, responsáveis pela dor relatada durante e após o procedimento (Alcântara et al.⁹ 2023). Tratamentos em consultório com concentrações mais altas de peróxido de hidrogênio geralmente resultam em níveis mais elevados de sensibilidade dental (Mounika et al.⁵⁰ 2018; Tay et al.⁵¹ 2012), especialmente quando associados a baixos valores de pH e longos tempos de contato, que favorecem maior permeabilidade e reatividade do agente clareador (Alqahtani³³ 2014).

Felizmente, os sintomas de sensibilidade dental costumam desaparecer em alguns dias ou horas após o tratamento, sendo um efeito temporário e subjetivo (Alonso de la Peña e Balboa Cabrita³⁸ 2006; Chemin et al.⁵⁹ 2018). Diversos protocolos clínicos têm sido estudados para prevenir ou reduzir a sensibilidade em pacientes, incluindo o uso de agentes dessensibilizantes, géis clareadores com pH neutro ou alcalino, bem como a prescrição de medicamentos analgésicos e anti-inflamatórios, além de mudanças na forma e tempo de aplicação do gel (Centenaro et al.¹⁰ 2024; Martini et al.⁴³ 2020; Favoreto et al.⁶⁰ 2021; Coppla et al.⁶¹ 2018; Loguercio et al.⁶² 2017; Kwon⁶³ 2011; Centenaro et al.⁶⁴ 2025).

A literatura recente destaca que a sensibilidade dental continua sendo o principal fator limitante para o clareamento em consultório, interferindo na satisfação e na adesão do paciente ao tratamento (Maran et al.⁶⁵ 2018; de Geus et al.⁶⁶ 2018).

Nesse sentido, diversas alternativas têm sido exploradas para controlar a sensibilidade dental. Isso inclui o uso de agentes dessensibilizantes tópicos, a administração de medicamentos analgésicos, modificação dos protocolos de clareamento e mudança na forma de aplicação dos géis (Centenaro et al. ⁷ 2024; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Martini et al. ⁴³ 2020; Coppla et al. ⁶¹ 2018; Centenaro et al. ⁶⁴ 2025; Maran et al. ⁶⁵ 2018; de Geus et al. ⁶⁷ 2018; Bonafé et al. ⁶⁸ 2014; Loguercio et al. ⁶⁹ 2015; Parreiras et al. ⁷⁰ 2018; Rezende et al. ⁷¹ 2018; Carneiro et al. ⁷² 2023). No entanto, a abordagem mais promissora até o momento para controlar a sensibilidade dental envolve a adoção de protocolos de clareamento modificados, com o objetivo de reduzir o tempo de contato do gel clareador com os dentes, volume de gel e diminuir a concentração do peróxido utilizado (Centenaro et al. ⁷ 2024; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Centenaro et al. ⁶⁴ 2025; Carneiro et al. ⁷² 2023). Isso resulta em eficácia semelhante, no entanto, essa abordagem contribui para a preservação da saúde pulpar (Centenaro et al. ⁷ 2024; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Terra et al. ⁴⁴ 2025; Centenaro et al. ⁶⁴ 2025; de Geus et al. ⁶⁷ 2018; Carneiro et al. ⁷² 2023; Kose et al. ⁷³ 2016; Terra et al. ⁷⁴ 2021).

3 PROPOSIÇÃO

3.1 PROPOSIÇÃO GERAL

Avaliar *in vitro* a penetração do PH na câmara pulpar, a quantidade de gel utilizada e a eficácia do clareamento em dentes humanos extraídos comparando o uso de pincel aplicador com espátula convencional submetidos ao clareamento de consultório com géis de dois frascos em diferentes sistemas comerciais.

3.2 PROPOSIÇÕES ESPECÍFICAS

- Avaliar *in vitro* a concentração ($\mu\text{g/mL}$) de PH na câmara pulpar de dentes humanos extraídos comparando o uso de pincel aplicador com espátula convencional submetidos ao clareamento de consultório com géis de dois frascos em diferentes sistemas comerciais, utilizando espectrofotômetro UV-VIS;
- Avaliar a quantidade de gel utilizada (g) no clareamento de dentes humanos extraídos comparando o uso de pincel aplicador com espátula convencional submetidos ao clareamento de consultório com géis de dois frascos em diferentes sistemas comerciais, utilizando uma balança digital de precisão;
- Avaliar a eficácia do clareamento *in vitro* de dentes humanos extraídos comparando o uso de pincel aplicador com espátula convencional submetidos ao clareamento de consultório com géis de dois frascos em diferentes sistemas comerciais, na *baseline*, 7 e 14 dias após o início do clareamento, utilizando espectrofotômetro digital (ΔE_{ab} , ΔE_{00} e ΔWI_D).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 APROVAÇÃO ÉTICA E PROTOCOLO DE REGISTRO

Este estudo foi aprovado pela Comissão de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP) da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), por meio do parecer nº 7.043.764 (Anexo A).

4.2 CALIBRAÇÃO DO OPERADOR

Antes do início da fase experimental, foi realizada uma etapa de calibração com o objetivo de padronizar a quantidade de gel aplicada em cada espécime, tanto com o uso do pincel aplicador quanto da espátula convencional. Para isso, foram conduzidos testes preliminares nos quais cada recipiente contendo o agente clareador foi pesado antes e imediatamente após a aplicação, utilizando uma balança analítica de precisão (AUX220, SHIMADZU, Kyoto, Japão), a fim de determinar a quantidade de gel utilizada em cada método (Centenaro et al. ⁷ 2024; Bernardi et al. ²⁰ 2022). O procedimento foi repetido em duas ocasiões distintas para verificar a reprodutibilidade e assegurar que volumes semelhantes fossem aplicados em todas as amostras durante a fase experimental.

4.3 SELEÇÃO DOS DENTES E CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Cento e dez primeiros e segundos pré-molares hígidos foram obtidos no Banco de Dentes Humanos da Universidade Estadual de Ponta Grossa (Figura 1a). A seleção dos dentes foi realizada em microscópio com aumento de 10x (Lambda LEB-3, instrumentos ATTO, Hong Kong, China), e apenas aqueles sem alterações morfológicas superficiais ou fissuras no esmalte foram incluídos. Os dentes deviam apresentar o *Whiteness Index* (WI_D) (Pérez Mdel et al. ⁷⁵ 2016), determinado pelo espectrofotômetro digital (Vita Easyshade, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen®, Alemanha), menor que 20. Mais detalhes sobre o cálculo do WI_D são fornecidos posteriormente no texto. Além disso, os dentes deveriam ter espessura vestibular de dentina e esmalte entre 2,5 a 3,5 mm em uma imagem radiográfica de mesial a distal, conforme relatado posteriormente neste trabalho.

4.4 CÁLCULO DO TAMANHO DA AMOSTRA

O desfecho primário deste estudo foi a permeabilidade do PH ($\mu\text{g/mL}$) utilizando géis clareadores de consultório de dois frascos. Com base em estudos anteriores (Balladares et al. ⁶ 2019; Parreiras et al. ¹⁸ 2020), uma concentração média de PH de $0,28 \pm 0,09 \mu\text{g mL}^{-1}$ foi quantificada na câmara pulpar de dentes submetidos ao clareamento de consultório com Whiteness HP Maxx 35% PH. Foi realizado um teste

bicaudal com nível de significância de 5% e poder do estudo de 80%, baseado em um teste de superioridade entre os métodos de aplicação, considerando como hipótese que o uso do pincel aplicador resultaria em menor permeabilidade de PH na câmara pulpar quando comparado à aplicação com espátula convencional. Aceitando uma diferença de 50% ($0,14 \mu\text{g mL}^{-1}$). Este cálculo exigiu sete dentes por grupo. Para compensar possíveis perdas durante o estudo, foram adicionados três dentes adicionais por grupo, resultando em um total de 10 dentes por grupo.

O delineamento experimental e a condução deste estudo seguiram as recomendações do RoBEMAT (Delgado et al. ⁷⁶ 2022), visando garantir padronização metodológica, transparência na execução e redução do risco de viés em estudos laboratoriais in vitro.

4.5 GRUPOS EXPERIMENTAIS

Os dentes selecionados foram distribuídos aleatoriamente em onze grupos ($n = 10$), sendo que um grupo serviu como controle negativo e não foi exposto aos agentes clareadores. Os demais grupos foram divididos de acordo com dois fatores: o tipo de aplicador, que podia ser o pincel aplicador MK Life Brush (MK Life, Porto Alegre, Brasil) ou a espátula convencional do kit do sistema de clareamento (Figura 1n-o); e os produtos de géis de clareamento de consultório em dois frascos (Figura 1 m), que incluíam: DSP White Clinic 35% H_2O_2 (WC, DSP Biomedical Group, Campo Largo, PR, Brasil), Potenza Bianco PRO 35% H_2O_2 (PB, PHS Group, Joinville, SC, Brasil), Pola Office 35% (PO, SDI, Victoria, Austrália), Whiteness HP 35% (WH, FGM Dental Group, Joinville, SC, Brasil) e Whiteness HP Maxx 35% (WM, FGM Dental Group, Joinville, SC, Brasil).

4.6 CONCENTRAÇÕES DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NOS AGENTES CLAREADORES

Os géis clareadores utilizados no estudo foram titulados com uma solução padronizada de permanganato de potássio antes do início na intervenção, seguindo o procedimento descrito na literatura (Figura 2 a-c) (Favoreto et al. ⁶⁰ 2021; Mena-Serrano et al. ⁷⁷ 2015; Parreiras et al. ⁷⁸ 2020). Esta titulação foi realizada para determinar as concentrações iniciais dentro gel de clareamento e comparando assim com as informações fornecidas pelo fabricante. As análises foram realizadas em triplicata para garantir precisão e consistência. Foram considerados limites de variação aceitáveis, permitindo uma faixa de até -30% e +10% da concentração

originalmente declarada pelo fabricante (ISO: 28399:2021). As medidas foram realizadas no tempo imediato e após 15 minutos.

4.7 AVALIAÇÃO DO pH DOS AGENTES CLAREADORES

O pH de cada agente clareador foi medido usando um medidor de pH digital (Extech pH100, Extech Instruments®, Nashua, NH, EUA) colocado diretamente em contato com o gel clareador em um dente (Figura 3 a-b) (Favoreto et al. ⁶⁰ 2021), foi também medido seus frascos de forma separada antes da mistura. As medidas foram realizadas no tempo imediato e após 15 minutos.

4.8 PREPARO DAS AMOSTRAS

Os dentes foram numerados e uma randomização simples foi realizada em planilha Excel. Suas raízes foram removidas aproximadamente três milímetros de distância da junção esmalte-cimento em direção apical (Figura 1b), com ajuda de um disco diamantado de baixa velocidade (Isomet 1000, Buehler Ltd., Lake Bluff, EUA). Posteriormente, o tecido pulpar foi removido meticulosamente e o acesso à cavidade pulpar foi levemente alargado com broca esférica (Figura 1c). Foi tomado um cuidado especial para evitar contato com a região vestibular interna. Esta ampliação é necessária para acomodar aproximadamente 25 µL de solução tampão de acetato, introduzida na câmara pulpar através de uma micropipeta durante a avaliação da permeabilidade.

4.9 ESPESSURA DAS AMOSTRAS

Após o preparo das amostras, foram realizadas radiografias (Timex 70C, Gnatus®, Ribeirão Preto, SP, Brasil) (Mena-Serrano et al. ⁷⁷ 2015). Para capturar essas radiografias, a face mesial do dente foi colocada em contato com o filme radiográfico (Figura 1d). Cada radiografia foi realizada com tempo de exposição de 0,5 segundos e distância foco-objeto de 30 cm (70 kVp-7 mA). O feixe central de raios X foi focado em um ângulo de 90° em relação à superfície distal do dente. Após a exposição, as imagens foram obtidas digitalmente com o software New IDA (Dabi Atlante®, Ribeirão Preto, SP, Brasil) e os dentes deveriam apresentar dentina e espessura de esmalte entre 2,5 a 3,5 mm para serem incluídos na amostra (Figura 1e).

4.10 AVALIAÇÃO DE COR INICIAL

Para padronizar a posição do espectrofotômetro, foram feitas impressões individuais com pasta de silicone verde densa (Figura 1f) (Kit Coltoflax e Perfil Cub, Vigodent, Rio de Janeiro, RJ, Brasil) (Santana et al. ⁷⁹ 2024). Um orifício de 6 mm de

diâmetro foi cortado no terço médio da superfície vestibular de cada guia de silicone para permitir a inserção da ponta do espectrofotômetro (Figura 1g), com o auxílio de um bisturi circular (Biopsy Punch, Miltex, York, Pensilvânia, EUA) (Favoreto et al. ⁶⁰ 2021). Todos os dentes foram imersos em saliva artificial (Farmácia Eficácia, Ponta Grossa, PR, Brasil), a fim de garantir adequada hidratação antes da avaliação inicial, e imediatamente antes das medições, os espécimes eram removidos da saliva e suavemente secos com gaze.

Antes do início dos tratamentos, os parâmetros iniciais de cor (L^* , a^* e b^*) foram registrados utilizando um espectrofotômetro digital (Figura 1h-1j) (VITA Easyshade Advance 4.0, VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Alemanha). O valor L^* significa luminosidade, variando de 0 para preto a 100 para branco. O valor a^* indica a cor ao longo do eixo vermelho-verde, enquanto o valor b^* representa a cor ao longo do eixo amarelo-azul. Calculamos o Wl_D usando a fórmula: $Wl_D = 0,551 \times L - 2,324 \times a - 1,1 \times b$ (Pérez Mdel et al. ⁷⁵ 2016).

4.11 OBTENÇÃO DA CURVA ANALÍTICA

O estudo utilizou produtos analíticos (peróxido de hidrogênio) diretamente, sem purificação prévia, e todas as soluções foram preparadas com água deionizada. Inicialmente, uma curva analítica padrão de concentrações de peróxido de hidrogênio foi estabelecida a partir de uma solução estoque de 5.000 $\mu\text{g/mL}$ de peróxido de hidrogênio. Essa solução estoque foi preparada a partir de uma solução concentrada obtida em farmácia local (Farmácia Eficácia, Ponta Grossa, PR, Brasil), que foi então diluída em solução tampão acetato ($\text{pH} = 4$) e titulada por métodos convencionais. A solução foi titulada com uma solução de permanganato de potássio para determinar seu grau analítico e a concentração real de peróxido de hidrogênio (Mena-Serrano et al. ⁷⁷ 2015). Com base nessa concentração inicial do peróxido de hidrogênio, foram realizadas diluições volumétricas seriadas variando de 0,000 a 0,445 $\mu\text{g/mL}$ para construir a curva analítica do peróxido de hidrogênio, as concentrações de peróxido de hidrogênio foram medidas usando um espectrofotômetro Cary UV-Vis 100 (Palo Alto, CA, EUA). Este processo de obtenção da curva analítica das concentrações de peróxido de hidrogênio estabeleceu uma linha de referência padrão, utilizada para extrapolar os resultados das amostras do estudo, com excelente coeficiente de correlação de $R = 0,997$.

4.12 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA CLAREAMENTO

Uma alíquota de 25 µL de tampão acetato (pH = 4) foi inserida na câmara pulpar de cada dente para absorver e preservar qualquer peróxido de hidrogênio que pudesse permear a câmara pulpar durante o procedimento de clareamento (Figura 1l). Um único operador calibrado e experiente foi responsável pela aplicação dos materiais. Para evitar a evaporação da solução tampão, as amostras foram armazenadas em ambiente úmido, utilizando recipiente hermético com água. Esta precaução é tomada porque a evaporação pode levar ao aumento da concentração da solução, afetando negativamente a quantificação do peróxido de hidrogênio na câmara pulpar.

4.13 PROTOCOLO DE CLAREAMENTO

Um único operador calibrado e experiente foi o responsável pela aplicação dos materiais no estudo. As amostras foram posicionadas com a superfície oclusal em contato com uma placa de cera, permitindo o acesso à câmara pulpar (Figura 1k). A área vestibular de cada dente foi isolada pela aplicação de uma barreira de resina fotopolimerizável (Top Dam, FGM Dental Group, Joinville, SC, Brasil) para padronizar uma área de 6 mm² (Figura 1k). O limite de 6 mm² foi guiado por um compasso seco, com a medida previamente padronizada no instrumento. A unidade fotopolimerizadora (Quazar, FGM Dental Group, Joinville, SC, Brasil) foi posicionada a uma distância de 1 mm da superfície da amostra, fornecendo uma irradiância de aproximadamente 900 mW/cm² (Favoreto et al. ⁸⁰ 2025).

O procedimento clareador foi realizado de acordo com as instruções do fabricante (Figura 1m), com o gel de clareamento aplicado na superfície de esmalte vestibular utilizando os diferentes tipos de pincéis aplicadores. O gel clareador foi aplicado até cobrir completamente a área dos dentes a serem clareados (Figura 1n-o). Para todos os géis clareadores, o protocolo padronizado consistiu em três aplicações de 15 minutos por sessão, realizadas em duas sessões, com intervalo de uma semana entre elas. Após cada aplicação, o gel clareador foi removido com gaze e cuidadosamente enxaguado com água deionizada apenas na superfície vestibular.

Durante todo o período de clareamento, os espécimes foram imersos em saliva artificial (Farmácia Eficácia, Ponta Grossa, PR, Brasil) composta por carboximetilcelulose, cloreto de sódio, cloreto de potássio, cloreto de magnésio,

fosfato de cálcio dibásico, glicerina, xilitol e água destilada, com trocas diárias, mantido a uma temperatura controlada de 37°C (Figura 1t).

4.14 QUANTIDADE DE GEL GASTO

Para avaliar a quantidade de gel utilizada durante a aplicação com base no método empregado (pincel aplicador e espátula convencional), cada recipiente foi pesado antes e imediatamente após a aplicação dos diferentes agentes clareadores usando uma balança digital analítica de precisão (AUX220, SHIMADZU, Kyoto, Japão) para determinar a quantidade de gel clareador restante (Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Bernardi et al. ²⁰ 2022).

4.15 PERMEABILIDADE DO PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA CÂMARA PULPAR

Após o procedimento clareador, a solução tampão acetato foi removida e transferida para um tubo de vidro (Figura 1p-q). Para isso, a câmara pulpar de cada dente foi lavada quatro vezes com 25 µL de tampão acetato, e essa solução foi então transferida para o mesmo tubo de vidro (Figura 1p-q). Em seguida, etapas adicionais envolveram a adição de 2,725 µL de água destilada, 100 µL de leucocristal violeta 0,5 mg/mL (Sigma Chemical Co, St Louis, MO, EUA) e 50 µL de enzima peroxidase de rábano 1 mg/mL (Peroxidase Tipo VIA, Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, EUA) ao tubo de vidro (Figura 1q). Todo esse processo foi repetido para cada amostra separadamente. A solução resultante exibiu tonalidade violeta com pico máximo de absorbância de 591 nm (Figura 1r), que foi medido utilizando um espectrofotômetro Cary 100 UV-Vis (Varian, Palo Alto, CA, EUA) (Figura 1s). A absorbância foi determinada com base no pico de absorção mais proeminente gerado a partir da reação entre peróxido de hidrogênio e leucocristal violeta (Crystal Violet - 591 nm). Utilizando a Lei de Beer, a absorbância está diretamente correlacionada com a concentração. Assim, a concentração de peróxido de hidrogênio (µg/mL) foi aferida referenciando-a com a curva de calibração pré-estabelecida.

4.16 AVALIAÇÃO DA MUDANÇA DE COR

As coordenadas L*, a* e b* foram medidas após o 1º, 7º e 14º dias após o início do procedimento clareador utilizando o espectrofotômetro digital (Figura 1u-1z) (VITA Easyshade Advance 4.0, VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Alemanha), conforme detalhado na seção de medição de cor na *baseline*.

Determinamos a mudança de cor entre a cor da *baseline* e cada período de avaliação com a fórmula CIELab: $\Delta E_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$, que é predominantemente usada na literatura. Além disso, calculamos a mudança de cor

usando a fórmula CIEDE 2000 (Luo et al. ⁷⁹ 2001): $\Delta E_{00} = [(\Delta L/kLSL)^2 + (\Delta C/kCSC)^2 + (\Delta H/kHSH)^2 + RT (\Delta C * \Delta H/SC*SH)]^{1/2}$. A fórmula CIEDE é considerada mais específica e melhor desenhada para avaliar alterações de cor a partir do protocolo de clareamento (Luo et al. ⁸¹ 2001; Paravina et al. ⁸² 2015). Também determinamos a eficácia do clareamento usando a fórmula do índice de clareamento (WI_D): $WI_D = 0,551 \times L - 2,324 \times a - 1,1 \times b$ (Pérez Mdel et al. ⁷⁵ 2016).

As alterações perceptivas foram consideradas relevantes quando a mudança de cor foi superior ao limite de aceitabilidade de 50:50% para cada instrumento (2,7 para ΔE_{ab} , 1,8 para ΔE_{00} e 2,6 para WI_D) (Pérez Mdel et al. ⁷⁵ 2016; Paravina et al. ⁸² 2015).

4.17 ANÁLISE ESTATÍSTICA

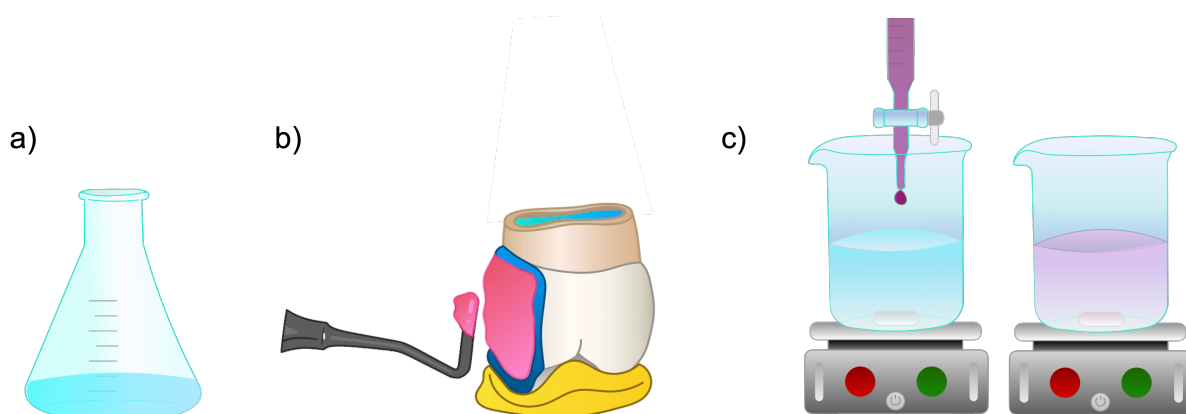
Os dados foram submetidos a análises iniciais incluindo o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a distribuição normal e o teste de Barlett para avaliar a homogeneidade das variâncias. Esses testes foram realizados para confirmar suposições sobre distribuição de dados e igualdade de variância (dados não reportados). Dada a distribuição normal dos dados, a ANOVA unidirecional foi utilizada para examinar a espessura do dente e a cor da *baseline*. Para espessura esmalte-dentina, alterações de cor (ΔE_{ab} , ΔE_{00} e ΔWI_D) e concentração de peróxido de hidrogênio na câmara pulpar ($\mu g/mL$), foi empregada ANOVA de medidas repetidas de dois fatores. O teste post-hoc de Tukey utilizou comparações entre várias técnicas de clareamento ($\alpha = 0,05$).

Figura 1 – Sequência do material e métodos.



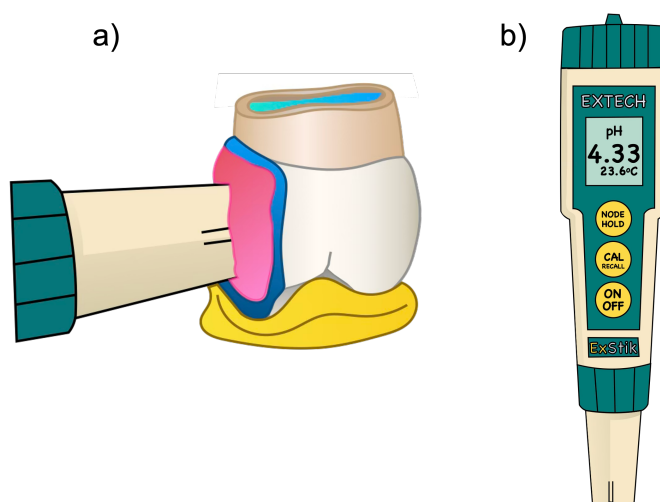
Fonte: O autor.

Figura 2 – Titulação para obtenção da concentração de Peróxido de Hidrogênio.



Fonte: O autor.

Figura 3 – Medição do potencial hidrogênio (pH).



Fonte: O autor.

5 RESULTADOS

5.1 CONCENTRAÇÕES DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NOS AGENTES CLAREADORES E pHs

A Figura 4 mostra as concentrações iniciais de peróxido de hidrogênio dos agentes clareadores e após 15 minutos da manipulação. Todos os géis estão dentro dos limites estabelecidos pela ISO: 28399:2021. Estas concentrações revistas foram mantidas consistentemente nos tempos imediatos e após 15 minutos.

Os géis clareadores exibiram um pH ácido durante todo o período experimental. Entre eles, o Whiteness HP Maxx exibiu os valores mais elevados, com pH de $6,62 \pm 0,03$ no tempo imediato e $4,86 \pm 0,04$ após 15 minutos. Em contraste, o Pola Office apresentou valores mais baixos, registrando $2,60 \pm 0,01$ no tempo imediato e $2,63 \pm 0,01$ após 15 minutos (Figura 5).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ESPÉCIMES DENTÁRIOS

As médias e desvios-padrão da espessura do esmalte-dentina bucal dos espécimes foram semelhantes entre os grupos (Tabela 1, $p > 0,05$) e exibiram espessuras dentárias entre 3,28 e 3,32 mm. A cor na *baseline* no WID também foi semelhante entre os grupos e não foi observada diferença entre os grupos (Tabela 2, $p > 0,05$).

5.3 CONCENTRAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO NA CÂMARA PULPAR

A interação entre os fatores “géis clareadores” e “método de aplicação” não foi estatisticamente significativa, assim como o efeito principal de “método de aplicação” ($p > 0,05$; Figura 6). No entanto, o efeito principal de “gel clareador” foi estatisticamente significativo ($p < 0,00001$; Figura 6). O Pola Office apresentou quantidade de peróxido de hidrogênio na câmara pulpar significativamente maior em comparação com todos os demais géis clareadores ($p < 0,00001$; Figura 6). Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os outros géis clareadores em relação à quantidade de peróxido de hidrogênio detectada na câmara pulpar ($p > 0,05$; Figura 6).

Com relação ao “método de aplicação”, tanto a espátula quanto o pincel resultaram em níveis semelhantes de penetração de peróxido de hidrogênio dentro de cada grupo de gel clareador ($p > 0,05$; Figura 6). O grupo controle apresentou valores de peróxido de hidrogênio significativamente menores em comparação com todos os grupos experimentais ($p < 0,00001$; Figura 6).

5.4 QUANTIDADE DE GEL GASTO PARA O CLAREAMENTO

A interação entre os fatores “tipo de gel clareador” e “método de aplicação” foi estatisticamente significativa, assim como os efeitos principais de “gel clareador” e “método de aplicação” ($p < 0,00001$; Tabela 2). A aplicação do gel com espátula resultou em consumo de material significativamente maior em comparação à aplicação com pincel, para todos os géis clareadores ($p < 0,00001$; Tabela 2).

Quando aplicados com espátula, os géis DSP White Clinic, Pola Office e Potenza Bianco PRO apresentaram consumo significativamente maior de gel em comparação aos géis Whiteness HP e Whiteness HP Maxx ($p < 0,00001$; Tabela 2). Em contraste, quando aplicados com pincel, todos os géis clareadores apresentaram níveis de consumo de gel semelhantes e reduzidos, sem diferenças estatisticamente significativas entre eles ($p > 0,05$; Tabela 2).

5.5 EFICÁCIA CLAREADORA

A interação entre os fatores “gel clareador” e “método de aplicação” não foi estatisticamente significativa para nenhum dos parâmetros de alteração de cor (ΔE_{ab} , ΔE_{00} e ΔWI_D), assim como o efeito principal de “método de aplicação” ($p > 0,05$; Tabela 3). No entanto, o efeito principal de “gel clareador” foi estatisticamente significativo para todos os parâmetros de cor ($p < 0,00001$; Tabela 3).

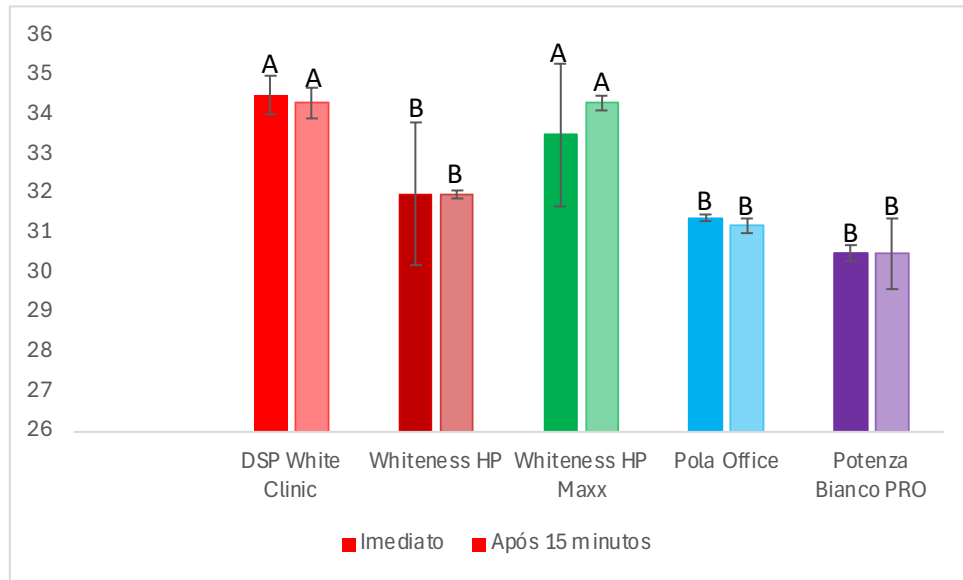
Para o ΔE_{ab} , todos os géis clareadores promoveram valores de alteração de cor significativamente maiores em comparação ao grupo controle ($\Delta E_{ab} \approx 2,2 \pm 1,1$), independentemente do método de aplicação (espátula ou pincel) ($p < 0,00001$). Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os géis clareadores, independentemente do método de aplicação ($p > 0,05$).

De forma semelhante, para o ΔE_{00} , todos os géis clareadores apresentaram alterações de cor significativamente maiores que o grupo controle ($\Delta E_{00} \approx 1,5 \pm 0,8$), sem diferenças significativas entre os géis, seja com aplicação por espátula ou por pincel ($p > 0,05$; Tabela 3). Os valores de ΔE_{00} permaneceram relativamente consistentes entre os diferentes géis clareadores, variando aproximadamente entre 7,8 e 9,7, independentemente da técnica de aplicação.

Para o ΔWI_D , o grupo controle apresentou valores significativamente menores em relação a todos os grupos experimentais ($p < 0,00001$; Tabela 3). Entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre os géis clareadores, independentemente do método de aplicação (espátula ou pincel). Os valores de ΔWI_D

dos grupos experimentais permaneceram consistentes, variando aproximadamente entre 19,3 e 21,8.

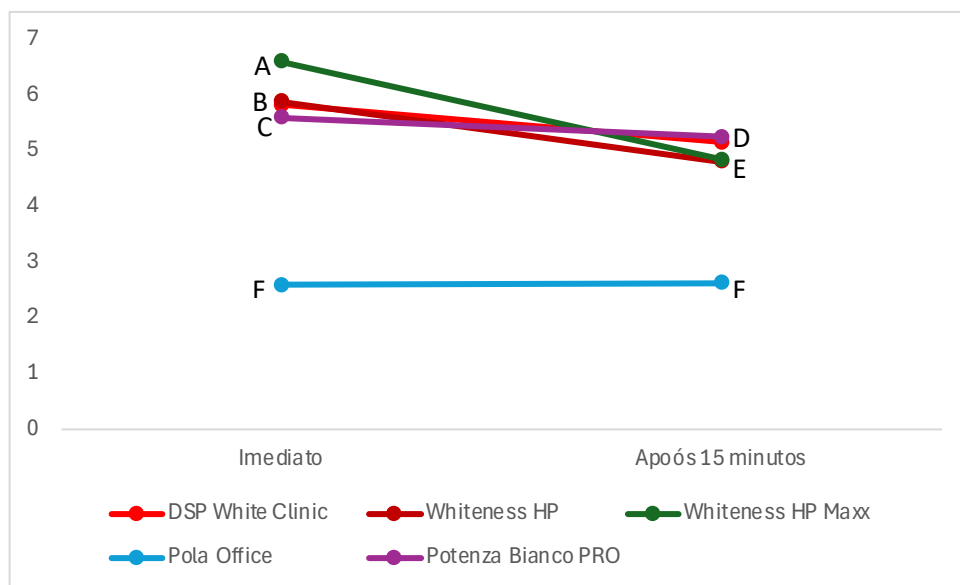
Figura 4. Concentração de peróxido de hidrogênio (%) no tempo imediato e após 15 minutos de manipulação dos diferentes grupos.



* Letras idênticas indicam médias estatisticamente semelhantes (ANOVA dois fatores e teste de Tukey $p > 0.05$).

Fonte: O autor.

Figura 5 – Medidas de pH no tempo imediato e após 15 minutos da manipulação para os diferentes grupos.



* Letras idênticas indicam médias estatisticamente semelhantes (ANOVA dois fatores e teste de Tukey $p > 0.05$).

Fonte: O autor.

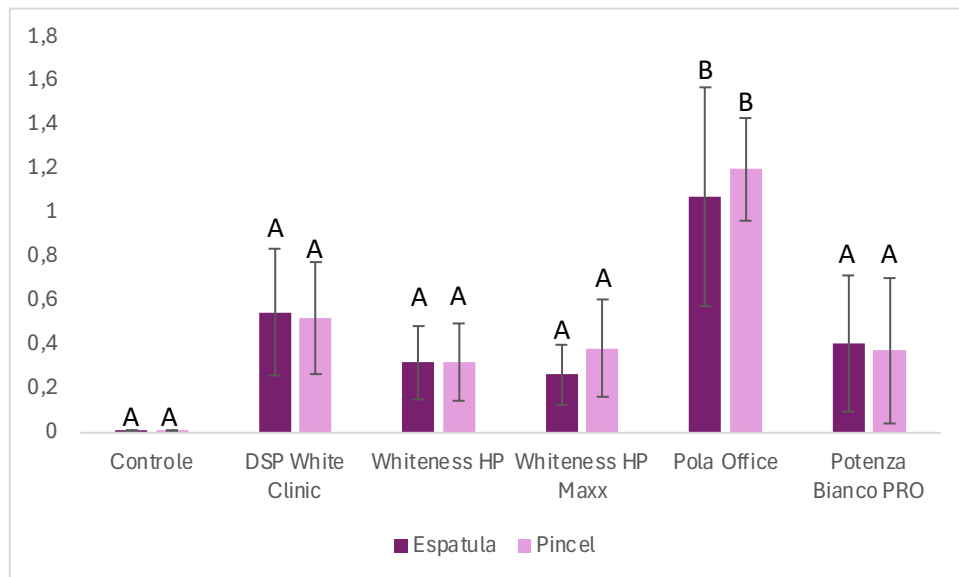
Tabela 1 – Médias e desvios padrão da espessura esmalte-dentina vestibular (mm) e *baseline* do Wl_b dos diferentes grupos.

	Espessura (mm)	Baseline Wl_b
DSP White Clinic	3.28 ± 0.18 A	16.9 ± 5.5 a
Whiteness HP	3.28 ± 0.18 A	16.8 ± 5.1 a
Whiteness HP Maxx	3.28 ± 0.18 A	16.9 ± 5.0 a
Pola Office	3.32 ± 0.19 A	16.6 ± 4.1 a
Potenza Bianco PRO	3.28 ± 0.18 A	16.7 ± 5.6 a

Letras maiúsculas ou minúsculas idênticas indicam médias estatisticamente semelhantes para cada característica (ANOVA um fator e teste de Tukey; $p > 0.05$).

Fonte: O autor.

Figura 6 – Concentração de peróxido de hidrogênio (µg/mL) dentro da câmara pulpar nas diferentes formas de aplicação dos géis.



* *Letras idênticas indicam médias estatisticamente semelhantes (ANOVA dois fatores e teste de Tukey $p > 0.05$).*

Fonte: O autor.

Tabela 2 – Médias e desvios padrão da quantidade de gel gasto (mg) para os diferentes grupos.

Grupos	Gel gasto (g)	
	Espátula	Pincel
DSP White Clinic	0.04 ± 0.01 ^C	0.01 ± 0.00 ^A
Whiteness HP	0.02 ± 0.01 ^B	0.01 ± 0.00 ^A
Whiteness HP Maxx	0.03 ± 0.01 ^B	0.01 ± 0.00 ^A
Pola Office	0.04 ± 0.02 ^C	0.02 ± 0.01 ^A
Potenza Bianco PRO	0.04 ± 0.01 ^C	0.01 ± 0.00 ^A

Letras maiúsculas ou minúsculas, sobrescritas ou não, indicam semelhança estatística entre os grupos para cada característica avaliada (ANOVA de dois fatores; teste de Tukey, $p > 0,05$).

Fonte: O autor.

Tabela 3 – Médias e desvios-padrão obtidos a partir da alteração de cor após 2 semanas para os diferentes grupos.

Parâmetros	Grupo	DSP White Clinic	Whiteness HP	Whiteness HP Maxx	Pola Office	Potenza Bianco PRO
ΔE_{ab}	<i>Espátula</i>	14.2 ± 3.7 A	13.0 ± 4.7 A	14.1 ± 3.6 A	13.3 ± 4.1 A	15.5 ± 5.3 A
	<i>Pincel</i>	14.9 ± 5.1 A	14.6 ± 3.5 A	16.6 ± 3.6 A	13.8 ± 4.6 A	14.1 ± 5.3 A
ΔE_{00}	<i>Espátula</i>	8.8 ± 2.7 a	8.3 ± 3.4 a	8.7 ± 2.1 a	7.8 ± 1.8 a	9.7 ± 3.7 a
	<i>Pincel</i>	9.1 ± 3.4 a	8.2 ± 2.1 a	9.5 ± 2.2 a	8.8 ± 3.0 a	8.7 ± 2.7 a
ΔW_{ID}	<i>Espátula</i>	21.8 ± 10.7 ^A	19.8 ± 10.1 ^A	20.5 ± 5.8 ^A	19.3 ± 4.2 ^A	20.5 ± 11.8 ^A
	<i>Pincel</i>	21.4 ± 10.2 ^A	19.3 ± 7.3 ^A	19.5 ± 5.4 ^A	20.7 ± 11.0 ^A	19.3 ± 4.4 ^A

* Letras maiúsculas idênticas indicam médias estatisticamente semelhantes (Teste de Tukey; $p > 0.05$).

Fonte: O autor.

6 DISCUSSÃO

Os géis clareadores de dois frascos são amplamente utilizados na prática clínica devido à sua popularidade, pois permitem uma dosagem individualizada para cada paciente e são mais econômicos do que os sistemas de automistura ou seringas acopláveis. Embora diferentes métodos de aplicação em consultório tenham sido sugeridos para melhorar o manuseio do gel e reduzir o desperdício (Carneiro et al.⁸ 2023; Centenaro et al.¹⁰ 2024; Favoreto et al.¹⁹ 2024; Bernardi et al.²⁰ 2022), nenhum deles havia sido avaliado em formulações de dois frascos. Considerando sua ampla adesão clínica, investigar estratégias alternativas, como a aplicação com pincel, é relevante, uma vez que essa abordagem pode representar uma opção prática e acessível sem comprometer o desempenho clínico.

Nesse contexto, o principal objetivo do presente estudo foi avaliar a possível influência do método de aplicação (pincel vs. espátula) na permeabilidade do PH na câmara pulpar. Os resultados não revelaram diferenças significativas entre as técnicas de aplicação, essa ausência de diferença pode estar relacionada às propriedades físico-químicas dos géis clareadores testados, que apresentaram valores de pH mais baixos, sendo mais ácidos em comparação com os géis fornecidos em seringas acopláveis ou de auto mistura (Carneiro et al.⁸ 2023; Centenaro et al.¹⁰ 2024; Favoreto et al.¹⁹ 2024; Bernardi et al.²⁰ 2022). Um ambiente ácido favorece a dissociação de radicais livres, como H^+ e HO_2^- , aumentando a permeabilidade do esmalte e facilitando a difusão mais profunda do PH (Torres et al.⁸³ 2014). Esse comportamento é consistente com estudos anteriores que utilizaram formulações ácidas semelhantes e relataram penetração significativa na câmara pulpar (Balladares et al.⁶ 2019; Mena-Serrano et al.⁷⁷ 2015; Marson et al.⁸⁴ 2015). Do ponto de vista clínico, os géis utilizados neste estudo apresentam consistência mais fluida do que aqueles fornecidos em seringas de auto mistura ou acopláveis, característica que pode favorecer a espalhabilidade e a penetração. No entanto, essa hipótese precisa ser confirmada em estudos futuros.

Estudos anteriores que relataram redução da permeabilidade do PH com a aplicação por pincel utilizaram géis clareadores com pH mais elevados (~6 a 8) e maior estabilidade química (Carneiro et al.⁸ 2023; Centenaro et al.¹⁰ 2024; Favoreto et al.¹⁹ 2024; Bernardi et al.²⁰ 2022). Essas formulações permitem uma dissociação mais controlada das espécies reativas, ajudando a preservar a integridade do esmalte e a limitar a difusão do PH (Torres et al.⁸³ 2014). No presente estudo, entretanto, os géis

clareadores apresentaram valores ácidos e instáveis, e esse efeito na permeabilidade do PH não foi observado. Esses achados provavelmente refletem as características químicas específicas dos produtos testados, que podem ter minimizado a influência do método de aplicação sobre a penetração do peróxido.

Entre os géis avaliados, o Pola Office apresentou a maior concentração de PH na câmara pulpar. Curiosamente, esse gel também exibiu os valores de pH mais baixos (ácidos) em ambos os tempos de avaliação e foi a única formulação que manteve um pH estável ao longo de 15 minutos ($\text{pH} \approx 2,6$). Embora essa estabilidade possa indicar maior controle químico, o pH persistentemente baixo provavelmente aumentou a permeabilidade do esmalte, facilitando a difusão mais profunda do PH (Torres et al.⁸³ 2014). Em contraste, os demais géis clareadores apresentaram uma diminuição progressiva do pH ao longo do tempo, refletindo instabilidade química. Essa acidificação gradual também pode ter contribuído para a penetração do PH, possivelmente em maior grau do que o observado anteriormente em géis alcalinos de alta concentração (Balladares et al.⁶ 2019; Centenaro et al.¹⁰ 2024; Mena-Serrano et al.⁷⁷ 2015; Acuña et al.⁸⁵ 2022). Esses achados destacam que tanto os valores absolutos de pH quanto sua estabilidade temporal são determinantes críticos da penetração do peróxido durante os procedimentos de clareamento (Torres et al.⁸³ 2014).

Além da permeabilidade ao peróxido, outro aspecto importante avaliado neste estudo foi o consumo de gel. A aplicação com pincel reduziu a quantidade de gel utilizada em aproximadamente 65% em comparação à aplicação com espátula, redução observada de forma consistente em todos os produtos testados. Esse controle sobre o volume depositado pode representar uma vantagem relevante em termos de custo-benefício (Carneiro et al.⁸ 2023; Centenaro et al.¹⁰ 2024; Favoreto et al.¹⁹ 2024; Bernardi et al.²⁰ 2022). Considerando que os géis de dois frascos já são mais econômicos do que outros sistemas de aplicação, a redução adicional do consumo reforça sua viabilidade financeira. Notavelmente, a redução observada com a aplicação por pincel neste estudo superou a diminuição de 33% relatada por Centenaro et al. (2024) (Centenaro et al.¹⁰ 2024), que utilizaram pontas com pincel em seringas acopláveis. De modo semelhante, Carneiro et al. (2023) (Carneiro et al.⁷² 2023) observaram uma redução de aproximadamente 50% quando a ponta com pincel foi acoplada a uma seringa de automistura, em comparação à aplicação

sem pincel. Embora os métodos de aplicação sejam diferentes, esses resultados reforçam o potencial da aplicação com pincel para otimizar o uso do gel e minimizar o desperdício clínico durante os procedimentos de clareamento de consultório.

Com relação à eficácia do clareamento, não foram encontradas diferenças significativas entre os géis clareadores em nenhum dos parâmetros de alteração de cor (ΔE_{ab} , ΔE_{00} e ΔWID), independentemente do método de aplicação. Embora a aplicação com pincel tenha resultado em uma quantidade significativamente menor de gel utilizado, essa redução não comprometeu os resultados de alteração de cor. Todos os parâmetros de cor (ΔE_{ab} , ΔE_{00} e ΔWID), em ambos os métodos de aplicação, excederam os limiares estabelecidos de aceitabilidade clínica (Pérez Mdel et al. ⁷⁵ 2016; Paravina et al. ⁸² 2015), confirmando que os efeitos clareadores foram perceptíveis e clinicamente relevantes. Esses achados sugerem que o volume de gel aplicado pode não ser um determinante crítico da eficácia do clareamento, desde que haja quantidade suficiente de PH disponível na superfície do esmalte (Gumy et al. ⁸⁶ 2024). Mesmo volumes reduzidos de gel podem liberar quantidade adequada de PH para promover uma alteração de cor efetiva. Além disso, as concentrações consistentemente elevadas de PH detectadas após 15 minutos indicam que apenas uma fração do peróxido disponível é consumida durante a sessão clínica, o que está de acordo com relatos recentes mostrando que 73% a 86% do PH inicialmente disponível permanece ativo ao longo do período de aplicação (Gumy et al. ⁸⁶ 2024).

Embora tenham sido observadas variações de pH e concentração de PH entre os géis clareadores, essas diferenças não foram suficientes para gerar alterações significativas no desempenho clareador entre os grupos (Gumy et al. ⁸⁶ 2024). Os valores de ΔE_{00} permaneceram em uma faixa comparável, e todos os grupos experimentais apresentaram clareamento significativamente superior ao controle. Esses resultados sustentam a premissa de que a aplicação com pincel mantém a eficácia do clareamento em relação à aplicação convencional com espátula (Carneiro et al. ⁸ 2023; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Favoreto et al. ¹⁹ 2024; Bernardi et al. ²⁰ 2022), e que nem o método de aplicação nem a variação do pH influenciaram o resultado clínico em termos de alteração de cor.

Os géis clareadores avaliados neste estudo demonstraram comportamentos físico-químicos distintos ao longo do tempo, tanto em relação à concentração de PH quanto ao pH. Embora todos os produtos fossem comercializados como

contendo 35% de PH, as concentrações medidas, tanto no tempo imediato quanto após 15 minutos, foram consistentemente menores. No entanto, esses valores permaneceram dentro da faixa aceitável estabelecida pelas normas ISO: 28399:2021. Entre os produtos testados, Whiteness HP Maxx e DSP White Clinic mantiveram concentrações de PH significativamente mais altas em ambos os tempos, indicando maior estabilidade química. O Whiteness HP Maxx também apresentou os valores de pH mais elevados, sugerindo uma formulação comparativamente menos ácida. Em contrapartida, o Pola Office combinou as menores concentrações de PH com um pH baixo e estável ($\sim 2,6$), o que pode refletir uma degradação mais rápida do peróxido em ambiente ácido. Além disso, as variações de concentração podem ter sido influenciadas por fatores dependentes do operador durante a manipulação do gel, bem como pela possível formação de bolhas de ar, que podem interferir na distribuição uniforme do PH.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se o fato de que a viscosidade dos géis clareadores não foi avaliada. Essa propriedade pode influenciar a permeabilidade do PH, já que diferentes viscosidades podem afetar a capacidade de penetração do gel nos tecidos dentários (Kwon et al. ⁸⁷ 2018). Além disso, a pressão intrapulpar não foi simulada, o que representa uma barreira fisiológica à difusão do peróxido e pode afetar os resultados *in vitro*. O estudo também utilizou apenas um tipo de pincel, e nenhum dos géis de dois frascos testados, exceto o Pola Office, inclui aplicador em pincel em seus kits originais.

Outra limitação é que os tempos de aplicação foram padronizados para todos os produtos, embora um dos fabricantes não recomende a duração adotada neste estudo. Pesquisas futuras devem avaliar a viscosidade dos géis, estratégias alternativas de aplicação com pincel e a simulação da pressão intrapulpar, a fim de compreender melhor as variáveis que influenciam o comportamento do peróxido durante o clareamento. Também seria interessante investigar protocolos de aplicação contínua, nos quais o gel permanece sobre a superfície dental por períodos mais longos dentro da mesma sessão, em vez de ser reaplicado várias vezes. Por fim, ensaios clínicos randomizados bem delineados são necessários para testar as hipóteses sustentadas por estes achados e validar os resultados *in vitro* em condições clínicas reais.

7 CONCLUSÃO

A aplicação do gel clareador com pincel apresentou desempenho semelhante à aplicação com espátula quanto à permeabilidade do peróxido de hidrogênio e à eficácia do clareamento. No entanto, o método com pincel possibilitou uma redução significativa no volume de gel utilizado, representando uma alternativa mais econômica e alinhada aos princípios da odontologia sustentável. Dessa forma, o presente estudo reforça a viabilidade do uso de géis clareadores de dois frascos associados à aplicação com pincel como um protocolo clínico eficiente, de menor desperdício e potencialmente mais sustentável.

REFERÊNCIAS

1. Bonafé E, Rezende M, Machado MM, Lima SNL, Fernandez E, Baldani MMP, et al. Personality traits, psychosocial effects and quality of life of patients submitted to dental bleaching. *BMC Oral Health*. 2021; Jan 6;21(1):7.
2. Reis A, Mendonça da Silva L, Martins L, Loguercio A. In-office tooth whitening. *Clinical Dentistry Reviewed*. 2018; 2018/03/01;2(1):10.
3. Klaric Sever E, Budimir Z, Cerovac M, Stambuk M, Par M, Negovetic Vranic D, et al. Clinical and patient reported outcomes of bleaching effectiveness. *Acta Odontol Scand*. 2018; Jan;76(1):30-8.
4. Kwon SR, Wertz PW. Review of the Mechanism of Tooth Whitening. *J Esthet Restor Dent*. 2015; Sep-Oct;27(5):240-57.
5. de Oliveira Duque CC, Soares DG, Basso FG, Hebling J, de Souza Costa CA. Influence of enamel/dentin thickness on the toxic and esthetic effects of experimental in-office bleaching protocols. *Clin Oral Investig*. 2017; Nov;21(8):2509-20.
6. Balladares L, Alegría-Acevedo LF, Montenegro-Arana A, Arana-Gordillo LA, Pulido C, Salazar-Gracez MT, et al. Effects of pH and Application Technique of In-office Bleaching Gels on Hydrogen Peroxide Penetration into the Pulp Chamber. *Oper Dent*. 2019; Nov/Dec;44(6):659-67.
7. Centenaro GG, Favoreto MW, Cordeiro DCF, Gummy FN, Machado AG, Cochinski GD, et al. Effect of the type of application tip for 35% hydrogen peroxide on bleaching efficacy and tooth sensitivity: A randomized clinical trial. *J Esthet Restor Dent*. 2024; Jul;36(7):1029-37.
8. Carneiro TS, Favoreto MW, Bernardi LG, Bandeca MC, Borges C, Reis A, et al. Application Tip and Concentration of a Self-mixing Bleach: Hydrogen Peroxide Inside the Pulp Chamber, Color Change, and Amount of Bleaching Gel Used. *Oper Dent*. 2023; Mar 1;48(2):146-54.
9. Alcântara S, Benetti F, Silva L, Machado N, Silva IJP, Esteves LMB, et al. Bleaching gel volume influences hydrogen peroxide diffusion, inflammation, and the presence of nitric oxide in the pulp tissue: in vitro and in vivo model. *J Appl Oral Sci*. 2023;31:e20230265.
10. Centenaro G, Favoreto M, Cordeiro D, Carneiro T, Basting R, Reis A, et al. Effect of a brush tip on in-office bleaching gels in an attachable syringe: Hydrogen peroxide penetration, bleaching efficacy and amount of gel expended. *J Dent*. 2024; Jul 15:105239.
11. Carneiro TS, Favoreto MW, Rodrigues JPF, Sutil E, Centenaro GG, Freitas IM, et al. In-office dental bleaching in adolescents using 6% hydrogen peroxide with and without gingival barrier: a randomized double-blind clinical trial. *J Appl Oral Sci*. 2024;32:e20230416.
12. Martins I, Onofre S, Franco N, Martins LM, Montenegro A, Arana-Gordillo LA, et al. Effectiveness of In-office Hydrogen Peroxide With Two Different Protocols: A Two-center Randomized Clinical Trial. *Oper Dent*. 2018; Jul/Aug;43(4):353-61.

13. Píknjač A, Zlatarić DK. Clinical evaluation of 6-Month efficacy of 40% in-Office whitening treatment. *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*. 2021;21:e0236.
14. Pereira R, Silveira J, Dias S, Cardoso A, Mata A, Marques D. Bleaching efficacy and quality of life of different bleaching techniques - randomized controlled trial. *Clin Oral Investig*. 2022; Dec;26(12):7167-77.
15. Alkahtani R, Stone S, German M, Waterhouse P. A review on dental whitening. *J Dent*. 2020; Sep;100:103423.
16. Machado LS, Anchieta RB, dos Santos PH, Briso AL, Tovar N, Janal MN, et al. Clinical Comparison of At-Home and In-Office Dental Bleaching Procedures: A Randomized Trial of a Split-Mouth Design. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2016; Mar-Apr;36(2):251-60.
17. Wang Y, Gao J, Jiang T, Liang S, Zhou Y, Matis BA. Evaluation of the efficacy of potassium nitrate and sodium fluoride as desensitizing agents during tooth bleaching treatment—A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2015; Aug;43(8):913-23.
18. Parreiras SO, Favoreto MW, Lenz RE, Serra ME, Borges CPF, Loguercio AD, et al. Effect of Prior Application of Desensitizing Agent on the Teeth Submitted to In-Office Bleaching. *Braz Dent J*. 2020; Jun;31(3):236-43.
19. Favoreto MW, Parreiras SO, Wendlinger M, Carneiro TS, Lenhani MI, Borges CPF, et al. Evaluation of hydrogen peroxide permeability, color change, and physical-chemical properties on the in-office dental bleaching with different mixing tip. *J Esthet Restor Dent*. 2024; Mar;36(3):460-8.
20. Bernardi LG, Favoreto MW, Carneiro TS, Mena-Serrano A, Borges CPF, Reis A, et al. Use of an applicator brush with high concentration bleaching gels. *Clin Oral Investig*. 2022; Oct;26(10):6387-95.
21. Esteves LMB, Dos Santos PH, Fagundes TC, de Oliveira Gallinari M, de Mello Antonaccio GB, Cintra L, et al. Effect of bleaching gel volume on color change and postoperative sensitivity: a randomized clinical study. *Clin Oral Investig*. 2022; Mar;26(3):2527-36.
22. Bernardi LG, Favoreto MW, de Souza Carneiro T, Borges CPF, Pulido C, Loguercio AD. Effects of microabrasion association to at-home bleaching on hydrogen peroxide penetration and color change. *J Esthet Restor Dent*. 2022; Mar;34(2):335-41.
23. Campos LA, Costa MA, Bonafé FSS, Marôco J, Campos J. Psychosocial impact of dental aesthetics on dental patients. *Int Dent J*. 2020; Oct;70(5):321-7.
24. Newton JT, Subramanian SS, Westland S, Gupta AK, Luo W, Joiner A. The impact of tooth colour on the perceptions of age and social judgements. *J Dent*. 2021; Sep;112:103771.
25. Joiner A, Luo W. Tooth colour and whiteness: A review. *J Dent*. 2017; Dec;67s:S3-s10.
26. Kihn PW. Vital tooth whitening. *Dent Clin North Am*. 2007; Apr;51(2):319-31, viii.

27. de Geus JL, Fernández E, Kossatz S, Loguercio AD, Reis A. Effects of At-home Bleaching in Smokers: 30-month Follow-up. *Oper Dent*. 2017; Nov/Dec;42(6):572-80.
28. Krastl G, Allgayer N, Lenherr P, Filippi A, Taneja P, Weiger R. Tooth discoloration induced by endodontic materials: a literature review. *Dent Traumatol*. 2013; Feb;29(1):2-7.
29. Tour Savadkouhi S, Fazlyab M. Discoloration Potential of Endodontic Sealers: A Brief Review. *Iran Endod J*. 2016; Fall;11(4):250-4.
30. Sulieman M. An overview of tooth discoloration: extrinsic, intrinsic and internalized stains. *Dent Update*. 2005; Oct;32(8):463-4, 6-8, 71.
31. Haywood VB, Robinson FG. Vital tooth bleaching with Nightguard vital bleaching. *Curr Opin Cosmet Dent*. 1997;4:45-52.
32. Alqahtani MQ. Tooth-bleaching procedures and their controversial effects: A literature review. *Saudi Dent J*. 2014; Apr;26(2):33-46.
33. Eimar H, Siciliano R, Abdallah MN, Nader SA, Amin WM, Martinez PP, et al. Hydrogen peroxide whitens teeth by oxidizing the organic structure. *J Dent*. 2012; Dec;40 Suppl 2:e25-33.
34. Kawamoto K, Tsujimoto Y. Effects of the hydroxyl radical and hydrogen peroxide on tooth bleaching. *J Endod*. 2004; Jan;30(1):45-50.
35. Tredwin CJ, Naik S, Lewis NJ, Scully C. Hydrogen peroxide tooth-whitening (bleaching) products: review of adverse effects and safety issues. *Br Dent J*. 2006; Apr 8;200(7):371-6.
36. Carey CM. Tooth whitening: what we now know. *J Evid Based Dent Pract*. 2014; Jun;14 Suppl:70-6.
37. Alonso de la Peña V, Balboa Cabrita O. Comparison of the clinical efficacy and safety of carbamide peroxide and hydrogen peroxide in at-home bleaching gels. *Quintessence Int*. 2006; Jul-Aug;37(7):551-6.
38. Luque-Martinez I, Reis A, Schroeder M, Muñoz MA, Loguercio AD, Masterson D, et al. Comparison of efficacy of tray-delivered carbamide and hydrogen peroxide for at-home bleaching: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*. 2016; Sep;20(7):1419-33.
39. de Geus JL, Wambier LM, Kossatz S, Loguercio AD, Reis A. At-home vs In-office Bleaching: A Systematic Review and Meta-analysis. *Oper Dent*. 2016; Jul-Aug;41(4):341-56.
40. Tay LY, Kose C, Loguercio AD, Reis A. Assessing the effect of a desensitizing agent used before in-office tooth bleaching. *J Am Dent Assoc*. 2009; Oct;140(10):1245-51.
41. He LB, Shao MY, Tan K, Xu X, Li JY. The effects of light on bleaching and tooth sensitivity during in-office vital bleaching: a systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2012; Aug;40(8):644-53.

42. Martini EC, Favoreto MW, Coppla FM, Loguercio AD, Reis A. Evaluation of reservoirs in bleaching trays for at-home bleaching: a split-mouth single-blind randomized controlled equivalence trial. *J Appl Oral Sci.* 2020;28:e20200332.
43. Terra RMO, Sutil E, Ferreira Cordeiro DC, Favoreto MW, Faria ESA, Best AM, et al. Different daily times for at-home bleaching with 10% carbamide peroxide: A randomized single-blind, noninferiority controlled trial. *J Am Dent Assoc.* 2025; Jan;156(1):57-67.e5.
44. Meireles SS, dos Santos Ida S, Della Bona A, Demarco FF. A double-blind randomized controlled clinical trial of 10 percent versus 16 percent carbamide peroxide tooth-bleaching agents: one-year follow-up. *J Am Dent Assoc.* 2009; Sep;140(9):1109-17.
45. Meireles SS, Heckmann SS, Santos IS, Della Bona A, Demarco FF. A double blind randomized clinical trial of at-home tooth bleaching using two carbamide peroxide concentrations: 6-month follow-up. *J Dent.* 2008; Nov;36(11):878-84.
46. Zekonis R, Matis BA, Cochran MA, Al Shetri SE, Eckert GJ, Carlson TJ. Clinical evaluation of in-office and at-home bleaching treatments. *Oper Dent.* 2003; Mar-Apr;28(2):114-21.
47. Bernardon JK, Sartori N, Ballarin A, Perdigão J, Lopes GC, Baratieri LN. Clinical performance of vital bleaching techniques. *Oper Dent.* 2010; Jan-Feb;35(1):3-10.
48. Herrera A, Martín J, Pérez F, Bonafé E, Reis A, Dourado AL, et al. Is personality relevant in the choice of bleaching? *Clin Oral Investig.* 2016; Nov;20(8):2105-11.
49. Mounika A, Mandava J, Roopesh B, Karri G. Clinical evaluation of color change and tooth sensitivity with in-office and home bleaching treatments. *Indian J Dent Res.* 2018; Jul-Aug;29(4):423-7.
50. Tay LY, Kose C, Herrera DR, Reis A, Loguercio AD. Long-term efficacy of in-office and at-home bleaching: a 2-year double-blind randomized clinical trial. *Am J Dent.* 2012; Aug;25(4):199-204.
51. Cordeiro D, Toda C, Hanan S, Arnhold LP, Reis A, Loguercio AD, et al. Clinical Evaluation of Different Delivery Methods of At-Home Bleaching Gels Composed of 10% Hydrogen Peroxide. *Oper Dent.* 2019; Jan/Feb;44(1):13-23.
52. Dourado Pinto AV, Carlos NR, Amaral F, França FMG, Turssi CP, Basting RT. At-home, in-office and combined dental bleaching techniques using hydrogen peroxide: Randomized clinical trial evaluation of effectiveness, clinical parameters and enamel mineral content. *Am J Dent.* 2019; Jun;32(3):124-32.
53. Basting RT, Amaral FL, França FM, Flório FM. 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. *Oper Dent.* 2012; Sep-Oct;37(5):464-73.
54. Li Y. Safety controversies in tooth bleaching. *Dent Clin North Am.* 2011; Apr;55(2):255-63, viii.

55. Briso AL, Fagundes TC, Gallinari MO, Moreira J, de Almeida L, Rahal V, et al. An In Situ Study of the Influence of Staining Beverages on Color Alteration of Bleached Teeth. *Oper Dent*. 2016; Nov/Dec;41(6):627-33.
56. Matis BA. Tray whitening: what the evidence shows. *Compend Contin Educ Dent*. 2003; Apr;24(4a):354-62.
57. Santana TR, Silva PFD, Santana MLC, de Mattos C, Favoreto MW, de Souza Carneiro T, et al. Effect of gingival barrier brands on operator perception, cervical adaptation, and patient comfort during in-office tooth bleaching: a randomized clinical trial. *BMC Oral Health*. 2024; Jan 28;24(1):139.
58. Chemin K, Rezende M, Loguercio AD, Reis A, Kossatz S. Effectiveness of and Dental Sensitivity to At-home Bleaching With 4% and 10% Hydrogen Peroxide: A Randomized, Triple-blind Clinical Trial. *Oper Dent*. 2018; May/Jun;43(3):232-40.
59. Favoreto MW, Madureira MP, Hass V, Maran BM, Parreiras SO, Borges CPF, et al. A novel carbamide peroxide polymeric nanoparticle bleaching gel: Color change and hydrogen peroxide penetration inside the pulp cavity. *J Esthet Restor Dent*. 2021; Mar;33(2):277-83.
60. Coppla FM, Rezende M, de Paula E, Farago PV, Loguercio AD, Kossatz S, et al. Combination of Acetaminophen/Codeine Analgesics Does Not Avoid Bleaching-Induced Tooth Sensitivity: A Randomized, Triple-Blind Two-Center Clinical Trial. *Oper Dent*. 2018; Mar/Apr;43(2):E53-e63.
61. Loguercio AD, Servat F, Stanislawczuk R, Mena-Serrano A, Rezende M, Prieto MV, et al. Effect of acidity of in-office bleaching gels on tooth sensitivity and whitening: a two-center double-blind randomized clinical trial. *Clin Oral Investig*. 2017; Dec;21(9):2811-8.
62. Kwon SR. Whitening the single discolored tooth. *Dent Clin North Am*. 2011; Apr;55(2):229-39, vii.
63. Centenaro GG, Cordeiro DCF, Rodrigues MAM, Lenhani MM, Dias RM, Polo CG, et al. Efficacy of 35% Self-Mixed Hydrogen Peroxide in In-Office Bleaching with Reduced Application Time: A Single-Blind Randomized Controlled Trial. *J Dent*. 2025; Oct 11:106178.
64. de Geus JL, Beltrame FL, Wang M, Avula B, Khan IA, Loguercio AD, et al. Determination of nicotine content in teeth submitted to prophylaxis and in-office bleaching by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). *Clin Oral Investig*. 2018; Dec;22(9):3043-51.
65. Maran BM, Vochikovski L, de Andrade Hortkoff DR, Stanislawczuk R, Loguercio AD, Reis A. Tooth sensitivity with a desensitizing-containing at-home bleaching gel-a randomized triple-blind clinical trial. *J Dent*. 2018; May;72:64-70.
66. Bonafé E, Loguercio AD, Reis A, Kossatz S. Effectiveness of a desensitizing agent before in-office tooth bleaching in restored teeth. *Clin Oral Investig*. 2014; Apr;18(3):839-45.
67. Loguercio AD, Tay LY, Herrera DR, Bauer J, Reis A. Effectiveness of nano-calcium phosphate paste on sensitivity during and after bleaching: a randomized clinical trial. *Braz Oral Res*. 2015;29:1-7.

68. Parreiras SO, Szesz AL, Coppla FM, Martini EC, Farago PV, Loguercio AD, et al. Effect of an experimental desensitizing agent on reduction of bleaching-induced tooth sensitivity: A triple-blind randomized clinical trial. *J Am Dent Assoc.* 2018; Apr;149(4):281-90.
69. Rezende M, Chemin K, Vaez SC, Peixoto AC, Rabelo JF, Braga SSL, et al. Effect of topical application of dipyrone on dental sensitivity reduction after in-office dental bleaching: A randomized, triple-blind multicenter clinical trial. *J Am Dent Assoc.* 2018; May;149(5):363-71.
70. Carneiro TS, Favoreto MW, Ferreira MWC, Bernardi LG, Andrade HF, Bandeca MC, et al. In-office dental bleaching in adolescents using 6% hydrogen peroxide with different application tips: randomized clinical trial. *J Appl Oral Sci.* 2023;31:e20230216.
71. Kose C, Calixto AL, Bauer JR, Reis A, Loguercio AD. Comparison of the Effects of In-office Bleaching Times on Whitening and Tooth Sensitivity: A Single Blind, Randomized Clinical Trial. *Oper Dent.* 2016; Mar-Apr;41(2):138-45.
72. Terra R, da Silva KL, Vochikovski L, Sutil E, Rezende M, Loguercio AD, et al. Effect of Daily Usage Time of 4% Hydrogen Peroxide on the Efficacy and Bleaching-induced Tooth Sensitivity: A Single-blind Randomized Clinical Trial. *Oper Dent.* 2021; Jul 1;46(4):395-405.
73. Pérez Mdel M, Ghinea R, Rivas MJ, Yebra A, Ionescu AM, Paravina RD, et al. Development of a customized whiteness index for dentistry based on CIELAB color space. *Dent Mater.* 2016; Mar;32(3):461-7.
74. Mena-Serrano AP, Parreiras SO, do Nascimento EM, Borges CP, Berger SB, Loguercio AD, et al. Effects of the concentration and composition of in-office bleaching gels on hydrogen peroxide penetration into the pulp chamber. *Oper Dent.* 2015; Mar-Apr;40(2):E76-82.
75. Parreiras SO, Favoreto MW, Cruz GP, Gomes A, Borges CPF, Loguercio AD, et al. Initial and pulp chamber concentration of hydrogen peroxide using different bleaching products. *Brazilian Dental Science.* 2020;23(2):8 p.- p.
76. Santana TR, Silva PFD, Santana MLC, Mattos C, Faria ESAL. Influence of repositioning guides' color and usage on precision in tooth color measurement with a clinical spectrophotometer. *J Appl Oral Sci.* 2024;32:e20230348.
77. Favoreto MW, Wendlinger M, Barbosa LMM, Cochinski GD, Oliveira VB, Arrais CAG, et al. Optimal photoactivation time and thermal behavior of gingival barriers used in in-office dental bleaching. *J Dent.* 2025; Sep;160:105888.
78. Luo MR, Cui G, Rigg B. The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur.* 2001;26(5):340-50.
79. Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M, et al. Color difference thresholds in dentistry. *J Esthet Restor Dent.* 2015; Mar-Apr;27 Suppl 1:S1-9.

80. Torres CR, Crastechini E, Feitosa FA, Pucci CR, Borges AB. Influence of pH on the effectiveness of hydrogen peroxide whitening. *Oper Dent*. 2014; Nov-Dec;39(6):E261-8.
81. Marson FC, Gonçalves RS, Silva CO, Cintra LT, Pascotto RC, Santos PH, et al. Penetration of hydrogen peroxide and degradation rate of different bleaching products. *Oper Dent*. 2015; Jan-Feb;40(1):72-9.
82. Acuña ED, Parreiras SO, Favoreto MW, Cruz GP, Gomes A, Borges CPF, et al. 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*. 2022; Mar;34(2):322-7.
83. Gumy FN, da Silva KL, Gumy MN, Forville H, Cordeiro DCF, Favoreto MW, et al. The decomposition rate and bleaching efficacy of in-office bleaching gels with different pHs: a randomized controlled trial. *Clinical Oral Investigations*. 2024; 2024/07/23;28(8):440.
84. Kwon S, Pallavi F, Shi Y, Oyoyo U, Mohraz A, Li Y. Effect of whitening gel viscosity on the effectiveness of tooth whitening and pulp chamber penetration: an in vitro study. *Operative Dentistry*. 2018;43(3):326-34.

**ANEXO A - APROVAÇÃO DO PROJETO PELA COMISSÃO DE ÉTICA EM
PESQUISA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Efeito da ponteira de aplicação em géis clareadores de consultório de dois frascos: Permeabilidade de peróxido de hidrogênio, rentabilidade e eficácia clareadora

Pesquisador: Alessandro Dourado Loguercio

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 82179224.4.0000.0105

Instituição Proponente: Universidade Estadual de Ponta Grossa

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 7.043.764

Apresentação do Projeto:

O objetivo do presente estudo in vitro é avaliar a penetração de peróxido de hidrogênio (PH), rentabilidade e a eficácia clareadora na câmara pulpar durante o clareamento de consultório utilizando três pincéis aplicadores (Paint On Plus, Ivoclar Vivadent; Brush Soft, Ivoclar Vivadent, Zurich Suíça; Microaplicador Tipo Pincel, MK Life, Porto Alegre, Brasil) ou espátula convencional em géis clareadores de dois frascos de diferentes marcas comerciais. Serão utilizados 210 pré-molares hígidos extraídos e serão distribuídos aleatoriamente em vinte e um grupos ($n = 10$) de acordo com a marca comercial utilizada (1): DSP White Clinic 35% H₂O₂ (WC); Potenza Bianco PRO 35% (PB); Whiteness HP 35% (WH); Whiteness HP Maxx 35% (WM); Pola Office 35% (PO), e conforme o modo de aplicação (2): três pincéis aplicadores (Paint On Plus, Ivoclar Vivadent; Brush Soft, Ivoclar Vivadent, Zurich Suíça; Microaplicador Tipo Pincel, MK Life, Porto Alegre, Brasil) e espátula convencional. Um grupo não exposto a agentes clareadores será o controle negativo. A concentração ($\mu\text{g/mL}$) de PH no interior da câmara pulpar será mensurada através espectrofotometria UV- Vis, A rentabilidade do gel clareador será avaliada com balança digital analítica de precisão e a mudança de cor (ΔE_{ab} , ΔE_{00} e ΔWID) será avaliada com espectrofotômetro digital. Para realizar a análise de mudança de cor, rentabilidade e penetração de PH serão utilizados teste de Kruskal - Wallis e teste de Mann-Whitney.

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748. UEPG, Campus Uvarararas, Bloco da Reitoria, sala 22

Bairro: Uvarararas

CEP: 84.030-900

UF: PR

Município: PONTA GROSSA

Telefone: (42)3220-3282

E-mail: propespsecretaria@uepg.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA - UEPG



Continuação do Parecer: 7.043.764

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Avaliar a penetração de peróxido de hidrogênio na câmara pulpar de dentes humanos submetidos ao clareamento de consultório utilizando pincel aplicador e espátula convencional em géis clareadores de dois frascos de diferentes marcas comerciais

Objetivo Secundário:

Avaliar a rentabilidade de géis clareadores de clareamento de consultório utilizando três pincéis aplicadores e espátula convencional em géis clareadores de dois frascos de diferentes marcas comerciais;

Avaliar a eficácia clareadora de dentes humanos submetidos ao clareamento de consultório utilizando três pincéis aplicadores e espátula convencional em géis clareadores de dois frascos de diferentes marcas comerciais

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos:

Queimaduras com Peróxido, os quais podem ser evitados utilizando EPIs

Benefícios:

Espera-se que o pincel ajude a reduzir a quantidade de peróxido na polpa, reduzindo a sensibilidade dental em géis amplamente utilizados, assim como a economia do produto melhorando seu custo/benefício.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Pesquisa exequível e relevante

Pesquisa vinculada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Odontologia - UEPG

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Folha de rosto: Adequadamente preenchida e assinada.

TCLE: o pesquisador propõe dispensa e justifica

Declaração de doação de dentes do Banco de Dentes Humanos da UEPG: Anexada e está adequadamente preenchida e assinada.

Recomendações:

Enviar relatório final via notificação na Plataforma Brasil (on line), após conclusão da pesquisa para evitar pendências com o CEP ou com a PROPESP.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Após avaliação de caráter ético esta relatora é favorável à aprovação do referido projeto de

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748. UEPG, Campus Uvaranas, Bloco da Reitoria, sala 22

Bairro: Uvaranas

CEP: 84.030-900

UF: PR

Município: PONTA GROSSA

Telefone: (42)3220-3282

E-mail: propespsecretaria@uepg.br

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
PONTA GROSSA - UEPG**



Continuação do Parecer: 7.043.764

pesquisa

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2370798.pdf	22/07/2024 15:11:52		Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRostocondolo.pdf	22/07/2024 15:10:28	Alessandro Dourado Loguercio	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projetoleticiapinceis.docx	22/07/2024 15:09:51	Alessandro Dourado Loguercio	Aceito
Outros	UNIVERSIDADEESTADUALDEPONTA GROSSA.pdf	22/07/2024 15:07:53	Alessandro Dourado Loguercio	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

PONTA GROSSA, 30 de Agosto de 2024

**Assinado por:
ULISSES COELHO
(Coordenador(a))**

Endereço: Av. Gen. Carlos Cavalcanti, nº 4748. UEPG, Campus Uvararanas, Bloco da Reitoria, sala 22

Bairro: Uvaranas

CEP: 84.030-900

UF: PR **Município:** PONTA GROSSA

Telefone: (42)3220-3282

E-mail: propespsecretaria@uepg.br

ANEXO B – ARTIGO SUBMETIDO A REVISTA ODONTOLOGY

Effect of the application tip on two-bottle in-office bleaching gels: Hydrogen peroxide penetration, amount of gel expended and bleaching efficacy

Letícia Condolo (DDS, MSc student)¹, Gabrielle Gomes Centenaro (DDS, MSc, PhD student)¹, Michael Willian Favoreto (DDS, MSc, PhD)^{2,3}, Laryssa Mylenna Madruga Barbosa (DDS, MSc, PhD student)^{1,3}, Deisy Cristina Ferreira Cordeiro (DDS, MSc, PhD student)¹, Maria Alice de Matos Rodrigues (DDS, MSc student)¹, Jenny Collantes-Acuña (DDS)⁴, Alessandro D. Loguercio (DDS, MSc, PhD)^{1,4}

¹Department of Restorative Dentistry, School of Dentistry, State University of Ponta Grossa, Ponta Grossa, Paraná, Brazil.

² Department of Restorative Dentistry, School of Dentistry, Tuiuti University of Parana, Curitiba, Paraná, Brazil.

³ IDIBO Research Group, Rey Juan Carlos University, Alcorcón, Madrid, Spain

⁴ Facultad de Ciencias de la Salud, Carrera de Odontologia, Universidad De Los Hemisferios, Quito 170147, Ecuador

Corresponding author: Prof. Dr. Alessandro D. Loguercio. Rua Carlos Cavalcanti, 4748 Bloco M, Sala 64-A, Uvaranas, Ponta Grossa, Paraná, Brazil 84030-900; e-mail: aloguercio@hotmail.com

Orcid ID

Letícia Condolo [0009-0007-8092-1836](https://orcid.org/0009-0007-8092-1836)

Gabrielle Gomes Centenaro [0000-0002-6844-202X](https://orcid.org/0000-0002-6844-202X)

Michael Willian Favoreto [0000-0002-0800-7915](https://orcid.org/0000-0002-0800-7915)

Laryssa Mylenna Madruga Barbosa [0000-0001-6226-3672](https://orcid.org/0000-0001-6226-3672)

Deisy Cristina Ferreira Cordeiro [0000-0003-4024-4037](https://orcid.org/0000-0003-4024-4037)

Maria Alice de Matos Rodrigues [0009-0009-1207-3585](https://orcid.org/0009-0009-1207-3585)

Jenny Collantes-Acuña [0000-0002-8088-2896](https://orcid.org/0000-0002-8088-2896)

Alessandro D. Loguercio [0000-0001-9880-4856](https://orcid.org/0000-0001-9880-4856)

Effect of the application tip on two-bottle in-office bleaching gels: Hydrogen peroxide penetration, amount of gel expended and bleaching efficacy

ABSTRACT

Objective: Evaluate hydrogen peroxide (HP) penetration into the pulp chamber, gel consumption, and bleaching efficacy when using different two-bottle in-office bleaching gels applied with either a brush or a conventional spatula.

Materials and Methods: A total of 110 extracted human premolars were randomly distributed into eleven groups ($n = 10$) according to application method (brush or spatula) and bleaching gel (six formulations). A negative control group received no bleaching treatment. HP concentration ($\mu\text{g/mL}$) in the pulp chamber was determined using UV-Vis spectrophotometry. Gel consumption was quantified with a precision analytical balance, while bleaching efficacy (ΔE_{ab} , ΔE_{00} , and ΔWID) was assessed using a digital spectrophotometer. Initial HP concentration (%) and pH were measured by titration and a digital pH meter, respectively. Data were analyzed with two-way ANOVA followed by Tukey's and Dunnett's tests.

Results: HP concentration remained stable before and after application ($p > 0.05$), even for products with lower concentrations than those declared by manufacturers. Most bleaching gels exhibited acidic and unstable pH during application ($p < 0.05$), except Pola Office 35%, which remained highly acidic throughout the treatment ($p > 0.05$), resulting in greater pulp chamber penetration irrespective of application method ($p < 0.05$). The other agents showed similar HP penetration independent of technique ($p > 0.05$). Brush application significantly reduced gel consumption across all products ($p < 0.05$), but bleaching efficacy was unaffected, with comparable ΔE_{ab} , ΔE_{00} , and ΔWID values between methods ($p > 0.05$).

Conclusion: HP penetration was not influenced by the application method. However, brush application reduced gel consumption without compromising bleaching efficacy.

Keywords: Hydrogen Peroxide, Dental Enamel Permeability, Tooth Bleaching, Tooth permeability.

1. Introduction

Teeth bleaching is a highly demanded procedure for both aesthetic and psychological reasons (Bonafé et al. ¹ 2021). It can be performed either at home or in the dental office. While both approaches have advantages and disadvantages, in-office bleaching is often preferred by patients because it provides noticeable results after the first session (Reis et al. ² 2018). Tooth whitening occurs through the diffusion of hydrogen peroxide (HP) across hard dental tissues. HP and its radicals interact with the organic components of the tooth, altering its optical properties and producing a lighter appearance (Klaric Sever et al. ³ 2018; Kwon e Wertz ⁴ 2015). According to Fick's second law, the diffusion process is influenced by the duration of gel application, the extent of contact between gel and tooth surface, and the amount of product used (de Oliveira Duque et al. ⁵ 2017; Balladares et al. ⁶ 2019; Carneiro et al. ⁸ 2023; Alcântara et al. ⁹ 2023; Centenaro et al. ¹⁰ 2024).

In-office bleaching can be delivered in different formulations, including two-bottle systems, prefilled attachable syringe, and auto-mixing devices (Centenaro et al. ⁷ 2024; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Carneiro et al. ¹¹ 2024; Martins et al. ¹² 2018). These protocols typically employ high HP concentrations (30% to 40%) (Piknjač e Zlatarić ¹³ 2021; Pereira et al. ¹⁴ 2022; Alkahtani et al. ¹⁵ 2020), which enhance efficacy but also facilitate diffusion into the pulp, potentially triggering inflammatory responses (Kwon e Wertz ⁴ 2015) and tooth sensitivity (Machado et al. ¹⁶ 2016). Various techniques have been proposed to reduce tooth sensitivity during bleaching (Wang et al. ¹⁷ 2015; Parreiras et al. ¹⁸ 2020). Among them, the use of applicator brushes with self-mixing gels and syringe systems has gained attention (Carneiro et al. ⁸ 2023; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Favoreto et al. ¹⁹ 2024; Bernardi et al. ²⁰ 2022). This method allows a thinner and more uniform gel layer, reducing overall gel consumption (Carneiro et al. ⁸ 2023; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Favoreto et al. ¹⁹ 2024; Esteves et al. ²¹ 2022; Bernardi et al. ²² 2022). Previous studies suggest that this approach decreases HP penetration into the pulp without compromising bleaching effectiveness (Carneiro et al. ⁸ 2023; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Favoreto et al. ¹⁹ 2024; Bernardi et al. ²⁰ 2022).

Despite the availability of advanced applicator systems, such as auto-mixing and syringe devices, their higher cost limits widespread clinical adoption. In contrast, conventional two-bottle gels are more affordable, as they allow the operator to prepare customized amounts for each case. Adapting brush application to two-bottle gels could therefore represent a practical and cost-effective option, combining reduced gel waste and lower HP exposure with preserved bleaching efficacy.

However, while brush application has been tested with auto-mixing gels and syringe systems, its use with two-bottle gels has not yet been evaluated. Therefore, the aim of this *in vitro* study was to evaluate HP penetration into the pulp chamber, gel consumption, and bleaching efficacy when comparing brush application to the conventional spatula across different commercially available two-bottle in-office bleaching agents. The null hypotheses were that brush application of two-bottle bleaching gels (1) does not reduce HP diffusion into the pulp chamber, (2) does not decrease material waste or the amount of gel used, and (3) does not affect bleaching efficacy compared with spatula application.

2. Materials and methods

2.1 Ethical approval and criteria for teeth selection

This in vitro study received approval from the Research Ethics Committee of the local university under agreement number (7.043.764). A total of 110 healthy human maxillary premolars were sourced from the Local Human Teeth Bank. To standardize the selection of teeth, a microscope with 10x magnification (Lambda LEB-3, ATTO instruments, Hong Kong, China) was used to identify any potential morphological changes or enamel cracks, which led to their exclusion. Additionally, teeth with a Whiteness Index for Dentistry (WI_D) greater than 20, as measured by a digital spectrophotometer (VITA Easyshade Advance 4.0, VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany), were excluded from the study (Centenaro et al. ⁷ 2024; Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Parreiras et al. ⁷⁸ 2020). The teeth were not subjected to any staining (Borges et al. ⁸⁸ 2025).

2.2 Experimental design

The selected teeth were randomly divided into eleven groups (n = 10). One group served as the negative control and was not exposed to bleaching agents. The other groups were divided according to two factors: (1) the type of applicator: MK Life Brush (MK Life, Porto Alegre, Brazil) or the conventional spatula from the bleaching system kit; and the (2) the two-bottle in-office bleaching gels products: DSP White Clinic 35% H₂O₂ ([WC], DSP Biomedical Group, Campo Largo, PR, Brazil); Potenza Bianco PRO 35% H₂O₂ ([PB], PHS Group, Joinville, SC, Brazil); Pola Office 35% ([PO], SDI, Victoria, Australia); Whiteness HP 35% ([WH], FGM Dental Group, Joinville, SC, Brazil); and Whiteness HP Maxx 35% ([WM], FGM Dental Group, Joinville, SC, Brazil). The characteristics of the commercial bleaching gels evaluated in the study, including batch number, compositions and application protocols are described in Table 1.

2.3 Sample size estimation

The primary outcome of this study was the permeability of HP ($\mu\text{g mL}^{-1}$) into the pulp chamber when two-bottle in-office bleaching gels were applied. Based on previous studies (Balladares et al. ⁶ 2019; Parreiras et al. ⁷⁸ 2020), an average HP concentration of $0.28 \pm 0.09 \mu\text{g mL}^{-1}$ was quantified into the pulp chamber of teeth subjected to in-office bleaching with Whiteness HP Maxx 35% HP. A two-sided test with a 5% alpha level and a study power of 80% was conducted using a superiority test, accepting a 50% difference ($0.14 \mu\text{g mL}^{-1}$). This calculation required seven teeth per group. To account for potential losses during the study, three additional teeth were added per group, resulting in a total of 10 teeth per group.

2.4 Sample preparation

The roots of the teeth were sectioned approximately three millimeters from the cemento-enamel junction using a low-speed diamond disc (Isomet 1000, Buehler Ltd., Lake Bluff, USA). The pulp tissue was then removed, and the chamber was rinsed with deionized water. The pulp chamber access was enlarged using a #1014 spherical bur (KG Sorensen, SP, Brazil), ensuring that the internal buccal area of the pulp chamber was not contacted. This procedure was performed to facilitate the introduction of 25 μL of buffer solution into the pulp chamber using a micropipette (LABMATE Soft, HTL Lab Solutions, Warsaw, Poland) (Carneiro et al. ⁸ 2023; Bernardi et al. ²⁰ 2022; Favoreto et al. ⁶⁰ 2021; Parreiras et al. ⁷⁸ 2020).

2.5 Evaluation of the specimen thickness

After the specimens were prepared, X-ray radiographs were taken using the Timex 70C equipment (Gnatus, Ribeirão Preto, SP, Brazil) (Favoreto et al. ⁶⁰ 2021). For each radiograph, the mesial face of each tooth was placed in contact with the X-ray film. A standardized exposure time of 0.5 seconds was used, with a focus-to-object distance of 30 cm. The central X-ray beam (70 kVp; 7 mA) was positioned at a 90° angle to the distal surface of the tooth. The radiographic images were digitally captured using the New IDA software (Dabi Atlante, Ribeirão Preto, SP, Brazil). To ensure a consistent and standardized sample, only teeth with dentin and enamel thicknesses between 2.5 and 3.5 mm were included (Parreiras et al. ⁷⁸ 2020).

2.6 Initial color evaluation

To standardize spectrophotometer positioning, individual silicone guides were fabricated for each specimen using dense condensation silicone green (Coltoflax and Perfil Cub Kit, Vigodent, Rio de Janeiro, RJ, Brazil) (Santana et al. ⁷⁹ 2024). A circular window, 6 mm in diameter, was created using a metal device in the center of the buccal surface for each specimen, ensuring consistent exposure of the middle third of the crown for all measurements. Color assessments were performed using a digital spectrophotometer (VITA Easyshade Advance 4.0, VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany) (Favoreto et al. ⁶⁰ 2021). Prior to each measurement, the device was calibrated according to the manufacturer's instructions and positioned perpendicularly within the standardized window of the silicone guide. The spectrophotometer provided L*, a*, and b* coordinates, where L* represents lightness (0 = black to 100 = white), a* corresponds to the green (–) to red (+) axis, and b* to the blue (–) to yellow (+) axis (Internationale de l'Éclairage ⁸⁹ 1978).

2.7 Measurement of initial HP concentration of the bleaching gels

The in-office bleaching gels used in this study were titrated with a standardized potassium permanganate solution before the bleaching procedure (Favoreto et al. ⁶⁰ 2021; Mena-Serrano et al. ⁷⁷ 2015; Parreiras et al. ⁷⁸ 2020). Initially, the molar concentration of potassium permanganate was determined using sodium oxalate, yielding a final concentration of 0.02 mol L⁻¹. For each evaluation, an aliquot of approximately 0.01 g was collected from the bleaching gels and weighed on an analytical balance (AUX220, Shimadzu, Kyoto, Japan). The bleaching gel were then diluted in 20 mL of ultrapure water and mixed with 20 mL of 1.0 mol L⁻¹ sulfuric acid. The HP concentration in this solution was determined through titration with 0.02 mol L⁻¹ potassium permanganate. This redox titration method quantifies the HP content based on its oxidation by permanganate. Potassium permanganate was added to the diluted bleaching agent at a constant rate of 0.1 mL s⁻¹ until a violet coloration appeared, indicating the equivalence point, the moment at which all HP had been consumed.

The known amounts of potassium permanganate and bleaching gel were used in the formula, to calculate the percentage of HP: $C = (((((V \times Co) / 1000) \times 5) / 2) \times 34) \times 100) / m$, where C represents the % HP concentration, V is the volume (mL) of KMnO₄ added during titration, Co is the molar concentration of the potassium permanganate solution (0.02 mol L⁻¹), and m is the mass (mg) of the bleaching product used (Parreiras et al. ⁷⁸ 2020). This procedure was designed to determine the initial HP concentrations in the bleaching agents immediately after mixing, as well as after 15 minutes.

2.8 Measurements of bleaching gel pH

The pH levels were measured following established protocols (Favoreto et al. ⁶⁰ 2021) using a digital pH meter (Extech pH 100: ExStik pH Meter; Extech Instruments, Nashua, NH, USA). Initially, the pH of the thickener and HP components were measured separately. Subsequently, the pH of the final mixture was determined both immediately after mixing and after 15 minutes. All measurements were conducted in triplicate to ensure accuracy and reliability (Centenaro et al. ⁷ 2024; Centenaro et al. ¹⁰ 2024).

2.9 Obtaining the analytical curve

The study utilized analytical-grade products without prior purification, and all solutions were prepared using deionized water. Initially, a standard analytical curve was created using a 5,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ stock solution made from a HP concentrated solution (50% HP, LABSYNTH, Diadema, SP, Brazil). This stock solution was diluted in an acetate buffer (pH = 4) and titrated using traditional potassium permanganate method to determine the analytical grade and actual concentration, as previously described in the literature (Favoreto et al. ⁶⁰ 2021; Mena-Serrano et al. ⁷⁷ 2015; Parreiras et al. ⁷⁸ 2020). Based on this initial concentration, serial volumetric dilutions ranging from 0.000 to 0.445 $\mu\text{g mL}^{-1}$ were performed to establish the analytical curve. The known HP concentrations were measured using a Cary UV-Vis 100 spectrophotometer (Varian, Palo Alto, CA, USA).

2.10 Treatment protocols

For all treatment protocols, a single calibrated and experienced operator was responsible for applying all the materials. The specimens were positioned with the occlusal surface in contact with a wax plate, allowing access to the pulp chamber. The buccal area of each tooth was isolated by applying a light-cured resin barrier (Top Dam, FGM Dental Group, Joinville, SC, Brazil) to standardize an area of 6 mm². The 6 mm² boundary was guided by a dry compass, with the measurement standardized on the instrument. The light-curing unit (Quazar, FGM Dental Group, Joinville, SC, Brazil) was positioned at a distance of 1 mm from the specimen surface, delivering an irradiance level of approximately 900 mW/cm² (Favoreto et al. ⁸⁰ 2025). A 25 μL aliquot of acetate buffer (pH = 4) was introduced into the pulp chamber of each tooth to absorb and preserve any HP that might penetrate the pulp chamber during the bleaching procedures (Favoreto et al. ⁶⁰ 2021; Parreiras et al. ⁷⁸ 2020).

In the groups that received the bleaching treatment, the procedure was carried out according to the manufacturer's instructions, with the bleaching gel applied to the buccal enamel surface using the different applicator brushes. The bleaching gel was applied until it completely covered the area of the teeth to be whitened. For all bleaching gels, the standardized protocol consisted of three 15-minute applications per session, performed across two sessions, with a one-week interval between them. After each application, the bleaching gel was removed with gauze and carefully rinsed with deionized water only on the buccal surface. The control group was kept without exposure to bleaching agents.

Throughout the bleaching period, the specimens were immersed in artificial saliva (Efficacy Pharmacy, Ponta Grossa, PR, Brazil), composed of carboxymethylcellulose, sodium chloride, potassium chloride, magnesium

chloride, dibasic calcium phosphate, glycerin, xylitol, and distilled water (Cordeiro et al. ⁹⁰ 2024). The artificial saliva was changed daily and maintained at a controlled temperature of 37°C.

2.11 HP penetration into the pulp chamber

Prior to the treatment protocols described, a 25 μL aliquot of acetate buffer (pH = 4) was introduced into the pulp chamber of each tooth to absorb and preserve any HP that might penetrate the pulp chamber during the bleaching procedures (Favoreto et al. ⁶⁰ 2021; Mena-Serrano et al. ⁷⁷ 2015; Parreiras et al. ⁷⁸ 2020). Immediately after the bleaching procedure, the acetate buffer solution in the pulp chamber of each sample was removed, being collected in a glass tube (Marson et al. ⁸⁴ 2015). To ensure complete removal of HP, this process was repeated by cleansing the pulp chamber of each tooth four times with 25 μL of acetate buffer. Each rinse solution was added to the same glass tube. Next, 100 μL of 0.5 mg mL^{-1} Leucocrystal Violet (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) and 50 μL of 1 mg mL^{-1} horseradish peroxidase enzyme (Peroxidase Type VI-A, Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA) were introduced into the glass tube, along with 2,725 μL of deionized water. This procedure was performed separately for each tooth at different time points. The resulting solution was analyzed using a Cary 100 UV-Vis spectrophotometer (Varian, Palo Alto, CA, USA). According to Beer's Law, concentration is directly proportional to absorbance (Favoreto et al. ⁶⁰ 2021; Mena-Serrano et al. ⁷⁷ 2015; Parreiras et al. ⁷⁸ 2020); thus, the HP concentration ($\mu\text{g mL}^{-1}$) was determined by comparing the absorbance with the previously established calibration curve.

2.12 Amount of the bleaching gel expended

To assess the amount of gel expended used during the application based on the method employed (applicator brushes and conventional spatula), each container was weighed before and immediately after the application of the different bleaching agents using an analytical digital precision balance (AUX220, SHIMADZU, Kyoto, Japan) to determine the amount of bleaching gel remaining (Centenaro et al. ¹⁰ 2024; Bernardi et al. ²⁰ 2022).

2.13 Final color evaluation

Color assessments were measured at baseline and one week after the completion of the treatment protocol in each group (two sessions of three 15-minute applications), using a digital spectrophotometer (VITA Easyshade Advance 4.0, VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany). For each measurement, the specimens positioned in their individualized silicone guides to ensure consistent placement of the spectrophotometer tip and to guarantee.

2.14 Bleaching efficacy (Color change by ΔE_{ab} and ΔE_{00})

Color change was determined using two well-established formulas: the CIEL_{ab} color difference (ΔE_{ab}) (Internationale de l'Éclairage ⁸⁹ 1978) and the CIEDE 2000 formula (ΔE_{00}) (Luo et al. ⁸¹ 2001). Color changes were considered relevant when they exceeded the 50:50% acceptability threshold (2.7 for ΔE_{ab} and 1.8 for ΔE_{00}) (Paravina et al. ⁸² 2015).

2.15 Whiteness assessment (Whiteness Index for Dentistry)

The Whiteness Index for Dentistry (WI_D) was calculated to evaluate the overall tooth whiteness, independently of general color changes (Pérez Mdel et al.⁷⁵ 2016). Furthermore, changes in WI_D (Δ WI_D) were obtained by subtracting the baseline WI_D values from the post-treatment measurements. A perceptual change was considered relevant when Δ WI_D exceeded the 50:50% acceptability threshold (2.6 for Δ WI_D) (Pérez et al.⁹¹ 2019).

2.16 Statistical analysis

The data were analyzed using the Kolmogorov–Smirnov test to assess normality and the Barlett test to verify the assumption of equal variances (not shown data). As the data showed normality and homoscedasticity of variances, the statistical analysis was evaluated as followed: (1) The data of the initial concentrations of HP in the bleaching agents (%) was evaluated by one-way ANOVA and Tukey's post-hoc test. (2) The data of the pH values was evaluated by two-way ANOVA (time *vs.* bleaching gels) and Tukey's post-hoc test to compare the values obtained in different bleaching gels. (3) The HP concentration ($\mu\text{g mL}^{-1}$) detected in the pulp chamber, as well as color change parameters (ΔE_{ab} , ΔE_{00} , and Δ WI_D), were submitted to two statistical evaluations: a. two-way ANOVA (application method *vs.* bleaching gels) and Tukey's post hoc test to compare different factors and; b. two-way ANOVA (application method *vs.* bleaching gels) and Dunnet's post hoc test to compare the values obtained in different bleaching gels with those of the control group ($\alpha = 0.05$). (4) The data of the baseline WI_D was evaluated by one-way ANOVA and Dunnet's post-hoc test to compare the values obtained in different bleaching techniques with those of the control group. Statistical significance was set at $\alpha = 0.05$ for all analyses (IBM SPSS version 22.0, SPSS, Chicago, IL, USA).

3. Results

3.1 Hydrogen Peroxide concentration

All bleaching agents were below the concentration reported by the manufacturer. The cross-product interaction between bleaching gels and time was statistically significant, as were the main effects of ‘bleaching gels’ and ‘time’ ($p < 0.00001$; Table 2). DSP White Clinic and Whiteness HP Maxx showed significantly higher HP concentrations than the other bleaching gels at both time points ($p < 0.00001$; Table 2), while the other bleaching gels showed lower and similar concentrations of HP, regardless of the period time ($p > 0.05$; Table 2). Regarding the main factor ‘time’, no significant differences were observed for all bleaching gels when immediate and after 15 minutes period was compared ($p > 0.05$; Table 2).

3.2 pH measurements

All bleaching agents were considered acidic with $\text{pH} < 7$ and most unstable after the application time. The cross-product interaction between bleaching gels and time was statistically significant, as were the main effects of ‘bleaching gels’ and ‘time’ ($p < 0.00001$; Table 2). Whiteness HP Maxx showed statistically higher pH values compared to all other bleaching gels at both time points ($p < 0.00001$; Table 2), except when compared to Whiteness HP at the immediate period. In contrast, Pola Office exhibited the lowest pH values among all bleaching gels at both time points ($p < 0.00001$; Table 2). Although some variation was observed among the remaining bleaching gels, their pH values were intermediate. When comparing time points, a statistically significant decrease in pH was observed after 15 minutes for four of the five bleaching gels ($p < 0.00001$; Table 2), except for Pola Office, which maintained a stable pH throughout the evaluation period.

3.3 Amount of Hydrogen Peroxide into the pulp chamber

The cross-product interaction between bleaching gels and application method was not statistically significant, nor was the main effect of ‘application method’ ($p > 0.05$; Table 3). However, the main effect of ‘bleaching gel’ was statistically significant ($p < 0.00001$; Table 3). Pola Office showed a significantly higher amount of HP in the pulp chamber compared to all other bleaching gels ($p < 0.00001$; Table 3). No statistically significant differences were found among the other bleaching gels regarding the amount of HP detected in the pulp chamber ($p > 0.05$; Table 3). With respect to the ‘application method’, both the spatula and brush resulted in similar levels of HP penetration within each bleaching gel group ($p > 0.05$; Table 3). The control group exhibited significantly lower HP values compared to all experimental groups ($p < 0.00001$; Table 3).

3.4 Amount of gel used for bleaching

The cross-product interaction between bleaching gel type and application method was statistically significant, as were the main effects of both ‘bleaching gel’ and ‘application method’ ($p < 0.00001$; Table 2). Gel application using a spatula resulted in significantly higher material consumption compared to brush application across all bleaching gels ($p < 0.00001$; Table 2). When applied with a spatula, DSP White Clinic, Pola Office, and Potenza Bianco PRO showed significantly greater gel consumption than Whiteness HP and Whiteness HP Maxx ($p < 0.00001$; Table 2). In contrast, when applied with a brush, all bleaching gels showed similarly low levels of gel usage, with no statistically significant differences among them ($p > 0.05$; Table 2).

3.5 Bleaching efficacy (ΔE_{ab} , and ΔE_{00})

The cross-product interaction between bleaching gel and application method was not statistically significant for any of the color change parameters (ΔE_{ab} , and ΔE_{00}), nor was the main effect of ‘application method’ ($p > 0.05$; Table 3). However, the main effect of ‘bleaching gel’ was statistically significant for all two color parameters ($p < 0.00001$; Table 3). For ΔE_{ab} , all bleaching gels produced significantly higher color change values compared to the control group ($\Delta E_{ab} \approx 2.2 \pm 1.1$), regardless of the application method (spatula or brush) ($p < 0.00001$). No statistically significant differences were observed among the bleaching gels themselves for either application method ($p > 0.05$). Similarly, for ΔE_{00} , all bleaching gels demonstrated significantly greater color change than the control ($\Delta E_{00} \approx 1.5 \pm 0.8$), with no significant differences between bleaching gels for either spatula or brush application ($p > 0.05$; Table 3). ΔE_{00} values remained relatively consistent across all bleaching gels, ranging between approximately 7.8 and 9.7, irrespective of application technique.

3.5 Bleaching efficacy (WI_D)

The cross-product interaction between bleaching gel and application method was not statistically significant for any of the ΔWI_D , nor was the main effect of ‘application method’ ($p > 0.05$; Table 3). However, the main effect of ‘bleaching gel’ was statistically significant for ΔWI_D ($p < 0.00001$; Table 3). The control group showed significantly lower values to all experimental groups ($p < 0.00001$; Table 3). However, no significant differences were observed among the bleaching gels, regardless of the application method (spatula or brush). The ΔWI_D values for the experimental groups remained consistent, ranging approximately from 19.3 to 21.8.

4. Discussion

Two-bottle bleaching gels are widely used in clinical practice because their popularity, allow individuated dosing for each patient and are more cost-effective than self-mixing systems or attachable syringes. Although different in-office application methods have been suggested to improve gel handling and reduce waste (Carneiro et al.⁸ 2023; Centenaro et al.¹⁰ 2024; Favoreto et al.¹⁹ 2024; Bernardi et al.²⁰ 2022), none have been evaluated with two-bottle formulations. Given their broad clinical adoption, investigating alternative strategies, such as brush application is relevant, as it may represent a practical and affordable option without compromising clinical performance.

In this context, the main objective of the present study was to evaluate the potential influence of the application method (brush *vs.* spatula) on HP permeability into the pulp chamber. The findings revealed no significant differences between the application techniques, leading to the rejection of the first null hypothesis that brush application would reduce HP penetration. This lack of difference may be related to the physicochemical properties of the bleaching gels tested, which presented lower and more acidic pH values compared to prefilled syringe or auto-mixing syringes (Carneiro et al.⁸ 2023; Centenaro et al.¹⁰ 2024; Favoreto et al.¹⁹ 2024; Bernardi et al.²⁰ 2022). An acidic environment favors the dissociation of free radicals, such as H^+ and HO_2^- , thereby increasing enamel permeability and facilitating deeper HP diffusion (Torres et al.⁸³ 2014). This behavior is consistent with previous investigations using similar acidic formulation, which also reported substantial pulp chamber penetration (Balladares et al.⁶ 2019; Mena-Serrano et al.⁷⁷ 2015; Marson et al.⁸⁴ 2015). From a clinical perspective, the gels used in this study exhibit a more fluid consistency than those supplied in attachable syringe and auto-mixing systems, a characteristic that may enhance spreading and penetration. However, this assumption needs to be confirmed in the future studies.

In contrast, previous studies that reported reduced HP permeability with brush application employed bleaching gels with higher pH values (~6 to 8) and greater chemical stability (Carneiro et al.⁸ 2023; Centenaro et al.¹⁰ 2024; Favoreto et al.¹⁹ 2024; Bernardi et al.²⁰ 2022). Such formulations allow for a more controlled dissociation of reactive species, helping to preserve enamel integrity and limit HP diffusion (Torres et al.⁸³ 2014). In the present study, however, most bleaching gels (4 to 5) exhibited acidic and unstable values, and this effect in HP permeability was not observed. These findings likely reflect the specific chemical characteristics of the products tested, which may have minimized the influence of the application method on peroxide penetration.

Among the gels evaluated, Pola Office exhibited the highest HP concentration into the pulp chamber. Interestingly, this gel also showed the lowest pH values (acidic) at both evaluation times and was the only formulation that maintained a stable pH over 15 minutes ($pH \approx 2.6$). Although such stability might indicate greater chemical control, the persistently very low pH likely increased enamel permeability, thereby facilitating deeper HP diffusion (Torres et al.⁸³ 2014). In contrast, the other bleaching gels exhibited a progressive decrease in pH over time, reflecting chemical instability. This gradual acidification may also have contributed to HP penetration, potentially to a greater extent than previously observed with high-concentration, alkaline gels (Balladares et al.⁶ 2019; Centenaro et al.¹⁰ 2024; Mena-Serrano et al.⁷⁷ 2015; Acuña et al.⁸⁵ 2022). These findings highlight that

both absolute pH values and their temporal stability are critical determinants of peroxide penetration during bleaching procedures (Torres et al.⁸³ 2014).

Beyond peroxide permeability, another important aspect evaluated in this study was gel consumption. Brush application reduced the amount of gel used by approximately 65% compared to the spatula, a reduction consistently observed across all tested products. This supports acceptance of the second null hypothesis, namely that brush application decreases material usage. Such control over the deposited volume may represent a relevant advantage in terms of cost-effectiveness (Carneiro et al.⁸ 2023; Centenaro et al.¹⁰ 2024; Favoreto et al.¹⁹ 2024; Bernardi et al.²⁰ 2022). Considering that two-bottle gels are already more economical than other delivery systems, further reducing consumption enhances their financial viability. Notably, the reduction observed with brush application in this study exceeded the 33% decrease reported by Centenaro et al. (2024) (Centenaro et al.¹⁰ 2024), with brush tips in attachable syringe systems. Similarly, Carneiro et al. (2023) (Carneiro et al.⁸ 2023) observed an approximately 50% reduction when using a brush tip was coupled to an auto-mix syringe, compared with application without a brush. Although the delivery methods differ, these findings collectively reinforce the potential of brush application to optimize gel use and minimize clinical waste during in-office bleaching procedures in daily clinical practice.

Regarding bleaching efficacy, no significant differences were found among the bleaching gels for any of the color change parameters (ΔE_{ab} , ΔE_{00} , and ΔWI_D), regardless of the application method. The comparable efficacy observed between brush and spatula applications supports acceptance of the third null hypothesis. Despite brush application resulted in a significantly lower amount of gel used, this reduction did not compromise color change outcomes. All color parameters (ΔE_{ab} , ΔE_{00} , and ΔWI_D), in both application methods, exceeded the established thresholds for clinical acceptability (Paravina et al.⁸² 2015; Pérez et al.⁹¹ 2019), confirming that the bleaching effects were perceptible and clinically relevant. These findings suggest that the volume of gel applied may not be a critical determinant of bleaching efficacy, provided that sufficient HP is available on the enamel surface (Gumy et al.⁸⁶ 2024). Even minimal volumes of gel can release adequate HP to induce effective color change. Furthermore, the consistently high HP concentrations detected after 15 minutes across all gels indicate that only a fraction of the available peroxide is consumed during the clinical session. This is consistent with recent reports showing that 73–86% of the initially available HP remains available throughout the application period (Gumy et al.⁸⁶ 2024).

Moreover, although variations in pH and HP concentration were observed among the bleaching gels, these differences were not sufficient to produce significant changes in bleaching performance across groups (Gumy et al.⁸⁶ 2024). The ΔE_{00} values remained within a comparable range, and all experimental groups showed significantly greater whitening compared to the control. These findings support the premise that brush application preserves bleaching effectiveness relative to conventional spatula application (Carneiro et al.⁸ 2023; Centenaro et al.¹⁰ 2024; Favoreto et al.¹⁹ 2024; Bernardi et al.²⁰ 2022), and that neither the application method nor pH variability influenced the clinical outcome in terms of color change.

The bleaching gels evaluated in this study demonstrated distinct physicochemical behaviors over time with respect to both HP concentration and pH. Although all products were marketed as containing 35% HP, the

measured concentrations at both the immediate and 15-minute time points were consistently lower. However, these values remained within the acceptable range established by ISO standards. Among the tested products, Whiteness HP Maxx and DSP White Clinic maintained significantly higher HP concentrations at both time points, indicating greater chemical stability. Whiteness HP Maxx also presented the highest pH values, suggesting a comparatively less acidic formulation. In contrast, Pola Office combined the lowest HP concentrations with a consistently low and stable pH (~2.6), which may reflect accelerated peroxide degradation in an acidic environment. In addition, variations in concentration may have been influenced by operator-dependent factors during gel manipulation, as well as by the possible formation of air bubbles, which can interfere with the uniform distribution of HP.

Among the limitations of this study, it should be noted that the viscosity of the bleaching gels was not evaluated. This property may influence HP permeability, as different viscosities can affect the gel's ability to penetrate the dental tissues (Kwon et al. ⁸⁷ 2018). Additionally, intrapulpal pressure was not simulated, representing a physiological barrier to peroxide diffusion that may affect the in vitro outcomes. The study also employed only one type of brush, and none of the two-bottle bleaching gels tested, except Pola Office, include a brush applicator in their original kits.

Another limitation is that application times were standardized across all products, even though one manufacturer does not recommend the duration adopted in this study. Future studies should evaluate **gel** viscosity, alternative brush application strategies, and intrapulpal pressure simulation to better understand the variables influencing peroxide behavior during bleaching procedures. It would also be valuable to investigate continuous application protocols, in which the gel remains on the tooth surface for longer periods within the same session, rather than being reapplied multiple times. Finally, well-designed randomized clinical trials are required to test the hypotheses supported by these findings and to validate the in vitro results under real clinical conditions.

5. Conclusion

No significant differences were found in HP permeability into the pulp chamber between brush and spatula application methods. However, brush application significantly reduced bleaching gel consumption without compromising bleaching efficacy. These results suggest that brush application may offer a practical and cost-effective alternative for in-office bleaching procedures using two-bottle gels.

6. DECLARATIONS

6.1 FUNDING

This study received partial funding from the Araucaria Foundation from State Government of Paraná, Brazil, grant number 009/21 and the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) through grants 304817/2021-0 and 308286/2019-7, as well as from the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES) under Finance Code 001.

6.2 CONSENT TO PARTICIPATE

Not applicable.

6.3 CONFLICT OF INTEREST

Authors declare no competing interests.

6.4 ETHICAL APPROVAL

This study was approved by the Ethics Committee of the State University of Ponta Grossa, PR/Brazil (#7.043.764).

6.5 DATA AVAILABILITY

All data generated or analyzed during this study are included in this article.

6.6 AUTHORS' CONTRIBUTION STATEMENTS

Conceptualization [Letícia Caroline Condolo, Gabrielle Gomes Centenaro, Michael Willian Favoreto, Laryssa Mylenna Madruga Barbosa, Deisy Cristina Ferreira Cordeiro, Maria Alice de Matos Rodrigues, Jenny Collantes-Acuña, Alessandro D. Loguercio]; **Data curation** [Letícia Caroline Condolo, Gabrielle Gomes Centenaro, Michael Willian Favoreto, Laryssa Mylenna Madruga Barbosa]; **Formal analysis** [Letícia Caroline Condolo, Michael Willian Favoreto, Alessandro D. Loguercio]; **Funding acquisition** [Alessandro D. Loguercio]; **Investigation** [Letícia Caroline Condolo, Gabrielle Gomes Centenaro, Michael Willian Favoreto, Laryssa Mylenna Madruga Barbosa, Deisy Cristina Ferreira Cordeiro, Maria Alice de Matos Rodrigues, Jenny Collantes-Acuña, Alessandro D. Loguercio]; **Methodology** [Letícia Caroline Condolo, Gabrielle Gomes Centenaro, Michael Willian Favoreto, Laryssa Mylenna Madruga Barbosa, Deisy Cristina Ferreira Cordeiro, Maria Alice de Matos Rodrigues, Jenny Collantes-Acuña, Alessandro D. Loguercio]; **Project administration** [Alessandro D. Loguercio]; **Resources** [Alessandro D. Loguercio]; **Software** [Letícia Caroline Condolo, Michael Willian Favoreto, Alessandro D. Loguercio]; **Supervision** [Alessandro D. Loguercio]; **Validation** [Letícia Caroline Condolo, Gabrielle Gomes Centenaro, Michael Willian Favoreto, Laryssa Mylenna Madruga Barbosa, Deisy Cristina Ferreira Cordeiro, Maria Alice de Matos Rodrigues, Jenny Collantes-Acuña, Alessandro D. Loguercio]; **Writing –Original Draft** [Letícia Caroline Condolo, Gabrielle Gomes Centenaro, Michael Willian Favoreto, Laryssa Mylenna Madruga Barbosa, Deisy Cristina Ferreira Cordeiro, Maria Alice de Matos Rodrigues, Jenny Collantes-Acuña]; **Writing –Review & Editing** [Alessandro D. Loguercio].

6.7 ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Bleaching&Bond group (Brazil).

REFERENCES

1. Bonafé E, Rezende M, Machado MM, Lima SNL, Fernandez E, Baldani MMP, et al. Personality traits, psychosocial effects and quality of life of patients submitted to dental bleaching. *BMC Oral Health*. 2021; Jan 6;21(1):7.
2. Reis A, Mendonça da Silva L, Martins L, Loguercio A. In-office tooth whitening. *Clinical Dentistry Reviewed*. 2018; 2018/03/01;2(1):10.
3. Klaric Sever E, Budimir Z, Cerovac M, Stambuk M, Par M, Negovetic Vranic D, et al. Clinical and patient reported outcomes of bleaching effectiveness. *Acta Odontol Scand*. 2018; Jan;76(1):30-8.
4. Kwon SR, Wertz PW. Review of the Mechanism of Tooth Whitening. *J Esthet Restor Dent*. 2015; Sep-Oct;27(5):240-57.
5. de Oliveira Duque CC, Soares DG, Basso FG, Hebling J, de Souza Costa CA. Influence of enamel/dentin thickness on the toxic and esthetic effects of experimental in-office bleaching protocols. *Clin Oral Investig*. 2017; Nov;21(8):2509-20.
6. Balladares L, Alegría-Acevedo LF, Montenegro-Arana A, Arana-Gordillo LA, Pulido C, Salazar-Gracez MT, et al. Effects of pH and Application Technique of In-office Bleaching Gels on Hydrogen Peroxide Penetration into the Pulp Chamber. *Oper Dent*. 2019; Nov/Dec;44(6):659-67.
7. Centenaro GG, Favoreto MW, Cordeiro DCF, Gumy FN, Machado AG, Cochinski GD, et al. Effect of the type of application tip for 35% hydrogen peroxide on bleaching efficacy and tooth sensitivity: A randomized clinical trial. *J Esthet Restor Dent*. 2024; Jul;36(7):1029-37.
8. Carneiro TS, Favoreto MW, Bernardi LG, Bandeca MC, Borges C, Reis A, et al. Application Tip and Concentration of a Self-mixing Bleach: Hydrogen Peroxide Inside the Pulp Chamber, Color Change, and Amount of Bleaching Gel Used. *Oper Dent*. 2023; Mar 1;48(2):146-54.
9. Alcântara S, Benetti F, Silva L, Machado N, Silva IJP, Esteves LMB, et al. Bleaching gel volume influences hydrogen peroxide diffusion, inflammation, and the presence of nitric oxide in the pulp tissue: in vitro and in vivo model. *J Appl Oral Sci*. 2023;31:e20230265.
10. Centenaro G, Favoreto M, Cordeiro D, Carneiro T, Basting R, Reis A, et al. Effect of a brush tip on in-office bleaching gels in an attachable syringe: Hydrogen peroxide penetration, bleaching efficacy and amount of gel expended. *J Dent*. 2024; Jul 15:105239.
11. Carneiro TS, Favoreto MW, Rodrigues JPF, Sutil E, Centenaro GG, Freitas IM, et al. In-office dental bleaching in adolescents using 6% hydrogen peroxide with and without gingival barrier: a randomized double-blind clinical trial. *J Appl Oral Sci*. 2024;32:e20230416.
12. Martins I, Onofre S, Franco N, Martins LM, Montenegro A, Arana-Gordillo LA, et al. Effectiveness of In-office Hydrogen Peroxide With Two Different Protocols: A Two-center Randomized Clinical Trial. *Oper Dent*. 2018; Jul/Aug;43(4):353-61.

13. Piknjač A, Zlatarić DK. Clinical evaluation of 6-Month efficacy of 40% in-Office whitening treatment. *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*. 2021;21:e0236.
14. Pereira R, Silveira J, Dias S, Cardoso A, Mata A, Marques D. Bleaching efficacy and quality of life of different bleaching techniques - randomized controlled trial. *Clin Oral Investig*. 2022; Dec;26(12):7167-77.
15. Alkahtani R, Stone S, German M, Waterhouse P. A review on dental whitening. *J Dent*. 2020; Sep;100:103423.
16. Machado LS, Anchieta RB, dos Santos PH, Briso AL, Tovar N, Janal MN, et al. Clinical Comparison of At-Home and In-Office Dental Bleaching Procedures: A Randomized Trial of a Split-Mouth Design. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2016; Mar-Apr;36(2):251-60.
17. Wang Y, Gao J, Jiang T, Liang S, Zhou Y, Matis BA. Evaluation of the efficacy of potassium nitrate and sodium fluoride as desensitizing agents during tooth bleaching treatment—A systematic review and meta-analysis. *J Dent*. 2015; Aug;43(8):913-23.
18. Parreiras SO, Favoreto MW, Lenz RE, Serra ME, Borges CPF, Loguercio AD, et al. Effect of Prior Application of Desensitizing Agent on the Teeth Submitted to In-Office Bleaching. *Braz Dent J*. 2020; Jun;31(3):236-43.
19. Favoreto MW, Parreiras SO, Wendlinger M, Carneiro TS, Lenhani MI, Borges CPF, et al. Evaluation of hydrogen peroxide permeability, color change, and physical-chemical properties on the in-office dental bleaching with different mixing tip. *J Esthet Restor Dent*. 2024; Mar;36(3):460-8.
20. Bernardi LG, Favoreto MW, Carneiro TS, Mena-Serrano A, Borges CPF, Reis A, et al. Use of an applicator brush with high concentration bleaching gels. *Clin Oral Investig*. 2022; Oct;26(10):6387-95.
21. Esteves LMB, Dos Santos PH, Fagundes TC, de Oliveira Gallinari M, de Mello Antonaccio GB, Cintra L, et al. Effect of bleaching gel volume on color change and postoperative sensitivity: a randomized clinical study. *Clin Oral Investig*. 2022; Mar;26(3):2527-36.
22. Bernardi LG, Favoreto MW, de Souza Carneiro T, Borges CPF, Pulido C, Loguercio AD. Effects of microabrasion association to at-home bleaching on hydrogen peroxide penetration and color change. *J Esthet Restor Dent*. 2022; Mar;34(2):335-41.
23. Saxena G, Rathore K, Kumar V. Green Dentistry: A Sustainable Approach to Modern Dental Practice. *Indian Journal of Dental Sciences*. 2025;17(3):139-44.
24. Campos LA, Costa MA, Bonafé FSS, Marôco J, Campos J. Psychosocial impact of dental aesthetics on dental patients. *Int Dent J*. 2020; Oct;70(5):321-7.
25. Newton JT, Subramanian SS, Westland S, Gupta AK, Luo W, Joiner A. The impact of tooth colour on the perceptions of age and social judgements. *J Dent*. 2021; Sep;112:103771.
26. Joiner A, Luo W. Tooth colour and whiteness: A review. *J Dent*. 2017; Dec;67s:S3-s10.

27. Kihn PW. Vital tooth whitening. *Dent Clin North Am.* 2007; Apr;51(2):319-31, viii.
28. de Geus JL, Fernández E, Kossatz S, Loguercio AD, Reis A. Effects of At-home Bleaching in Smokers: 30-month Follow-up. *Oper Dent.* 2017; Nov/Dec;42(6):572-80.
29. Krastl G, Allgayer N, Lenherr P, Filippi A, Taneja P, Weiger R. Tooth discoloration induced by endodontic materials: a literature review. *Dent Traumatol.* 2013; Feb;29(1):2-7.
30. Tour Savadkouhi S, Fazlyab M. Discoloration Potential of Endodontic Sealers: A Brief Review. *Iran Endod J.* 2016; Fall;11(4):250-4.
31. Sulieman M. An overview of tooth discoloration: extrinsic, intrinsic and internalized stains. *Dent Update.* 2005; Oct;32(8):463-4, 6-8, 71.
32. Haywood VB, Robinson FG. Vital tooth bleaching with Nightguard vital bleaching. *Curr Opin Cosmet Dent.* 1997;4:45-52.
33. Alqahtani MQ. Tooth-bleaching procedures and their controversial effects: A literature review. *Saudi Dent J.* 2014; Apr;26(2):33-46.
34. Eimar H, Siciliano R, Abdallah MN, Nader SA, Amin WM, Martinez PP, et al. Hydrogen peroxide whitens teeth by oxidizing the organic structure. *J Dent.* 2012; Dec;40 Suppl 2:e25-33.
35. Kawamoto K, Tsujimoto Y. Effects of the hydroxyl radical and hydrogen peroxide on tooth bleaching. *J Endod.* 2004; Jan;30(1):45-50.
36. Tredwin CJ, Naik S, Lewis NJ, Scully C. Hydrogen peroxide tooth-whitening (bleaching) products: review of adverse effects and safety issues. *Br Dent J.* 2006; Apr 8;200(7):371-6.
37. Carey CM. Tooth whitening: what we now know. *J Evid Based Dent Pract.* 2014; Jun;14 Suppl:70-6.
38. Alonso de la Peña V, Balboa Cabrita O. Comparison of the clinical efficacy and safety of carbamide peroxide and hydrogen peroxide in at-home bleaching gels. *Quintessence Int.* 2006; Jul-Aug;37(7):551-6.
39. Luque-Martinez I, Reis A, Schroeder M, Muñoz MA, Loguercio AD, Masterson D, et al. Comparison of efficacy of tray-delivered carbamide and hydrogen peroxide for at-home bleaching: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig.* 2016; Sep;20(7):1419-33.
40. de Geus JL, Wambier LM, Kossatz S, Loguercio AD, Reis A. At-home vs In-office Bleaching: A Systematic Review and Meta-analysis. *Oper Dent.* 2016; Jul-Aug;41(4):341-56.
41. Tay LY, Kose C, Loguercio AD, Reis A. Assessing the effect of a desensitizing agent used before in-office tooth bleaching. *J Am Dent Assoc.* 2009; Oct;140(10):1245-51.
42. He LB, Shao MY, Tan K, Xu X, Li JY. The effects of light on bleaching and tooth sensitivity during in-office vital bleaching: a systematic review and meta-analysis. *J Dent.* 2012; Aug;40(8):644-53.

43. Martini EC, Favoreto MW, Coppla FM, Loguercio AD, Reis A. Evaluation of reservoirs in bleaching trays for at-home bleaching: a split-mouth single-blind randomized controlled equivalence trial. *J Appl Oral Sci.* 2020;28:e20200332.
44. Terra RMO, Sutil E, Ferreira Cordeiro DC, Favoreto MW, Faria ESA, Best AM, et al. Different daily times for at-home bleaching with 10% carbamide peroxide: A randomized single-blind, noninferiority controlled trial. *J Am Dent Assoc.* 2025; Jan;156(1):57-67.e5.
45. Meireles SS, dos Santos Ida S, Della Bona A, Demarco FF. A double-blind randomized controlled clinical trial of 10 percent versus 16 percent carbamide peroxide tooth-bleaching agents: one-year follow-up. *J Am Dent Assoc.* 2009; Sep;140(9):1109-17.
46. Meireles SS, Heckmann SS, Santos IS, Della Bona A, Demarco FF. A double blind randomized clinical trial of at-home tooth bleaching using two carbamide peroxide concentrations: 6-month follow-up. *J Dent.* 2008; Nov;36(11):878-84.
47. Zekonis R, Matis BA, Cochran MA, Al Shetri SE, Eckert GJ, Carlson TJ. Clinical evaluation of in-office and at-home bleaching treatments. *Oper Dent.* 2003; Mar-Apr;28(2):114-21.
48. Bernardon JK, Sartori N, Ballarin A, Perdigão J, Lopes GC, Baratieri LN. Clinical performance of vital bleaching techniques. *Oper Dent.* 2010; Jan-Feb;35(1):3-10.
49. Herrera A, Martín J, Pérez F, Bonafé E, Reis A, Dourado AL, et al. Is personality relevant in the choice of bleaching? *Clin Oral Investig.* 2016; Nov;20(8):2105-11.
50. Mounika A, Mandava J, Roopesh B, Karri G. Clinical evaluation of color change and tooth sensitivity with in-office and home bleaching treatments. *Indian J Dent Res.* 2018; Jul-Aug;29(4):423-7.
51. Tay LY, Kose C, Herrera DR, Reis A, Loguercio AD. Long-term efficacy of in-office and at-home bleaching: a 2-year double-blind randomized clinical trial. *Am J Dent.* 2012; Aug;25(4):199-204.
52. Cordeiro D, Toda C, Hanan S, Arnhold LP, Reis A, Loguercio AD, et al. Clinical Evaluation of Different Delivery Methods of At-Home Bleaching Gels Composed of 10% Hydrogen Peroxide. *Oper Dent.* 2019; Jan/Feb;44(1):13-23.
53. Dourado Pinto AV, Carlos NR, Amaral F, França FMG, Turssi CP, Basting RT. At-home, in-office and combined dental bleaching techniques using hydrogen peroxide: Randomized clinical trial evaluation of effectiveness, clinical parameters and enamel mineral content. *Am J Dent.* 2019; Jun;32(3):124-32.
54. Basting RT, Amaral FL, França FM, Flório FM. 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. *Oper Dent.* 2012; Sep-Oct;37(5):464-73.

55. Li Y. Safety controversies in tooth bleaching. *Dent Clin North Am.* 2011; Apr;55(2):255-63, viii.
56. Briso AL, Fagundes TC, Gallinari MO, Moreira J, de Almeida L, Rahal V, et al. An In Situ Study of the Influence of Staining Beverages on Color Alteration of Bleached Teeth. *Oper Dent.* 2016; Nov/Dec;41(6):627-33.
57. Matis BA. Tray whitening: what the evidence shows. *Compend Contin Educ Dent.* 2003; Apr;24(4a):354-62.
58. Santana TR, Silva PFD, Santana MLC, de Mattos C, Favoreto MW, de Souza Carneiro T, et al. Effect of gingival barrier brands on operator perception, cervical adaptation, and patient comfort during in-office tooth bleaching: a randomized clinical trial. *BMC Oral Health.* 2024; Jan 28;24(1):139.
59. Chemin K, Rezende M, Loguercio AD, Reis A, Kossatz S. Effectiveness of and Dental Sensitivity to At-home Bleaching With 4% and 10% Hydrogen Peroxide: A Randomized, Triple-blind Clinical Trial. *Oper Dent.* 2018; May/Jun;43(3):232-40.
60. Favoreto MW, Madureira MP, Hass V, Maran BM, Parreiras SO, Borges CPF, et al. A novel carbamide peroxide polymeric nanoparticle bleaching gel: Color change and hydrogen peroxide penetration inside the pulp cavity. *J Esthet Restor Dent.* 2021; Mar;33(2):277-83.
61. Coppla FM, Rezende M, de Paula E, Farago PV, Loguercio AD, Kossatz S, et al. Combination of Acetaminophen/Codeine Analgesics Does Not Avoid Bleaching-Induced Tooth Sensitivity: A Randomized, Triple-Blind Two-Center Clinical Trial. *Oper Dent.* 2018; Mar/Apr;43(2):E53-e63.
62. Loguercio AD, Servat F, Stanislawczuk R, Mena-Serrano A, Rezende M, Prieto MV, et al. Effect of acidity of in-office bleaching gels on tooth sensitivity and whitening: a two-center double-blind randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2017; Dec;21(9):2811-8.
63. Kwon SR. Whitening the single discolored tooth. *Dent Clin North Am.* 2011; Apr;55(2):229-39, vii.
64. Centenaro GG, Cordeiro DCF, Rodrigues MAM, Lenhane MM, Dias RM, Polo CG, et al. Efficacy of 35% Self-Mixed Hydrogen Peroxide in In-Office Bleaching with Reduced Application Time: A Single-Blind Randomized Controlled Trial. *J Dent.* 2025; Oct 11:106178.
65. Maran BM, Vochikovski L, de Andrade Hortkoff DR, Stanislawczuk R, Loguercio AD, Reis A. Tooth sensitivity with a desensitizing-containing at-home bleaching gel-a randomized triple-blind clinical trial. *J Dent.* 2018; May;72:64-70.
66. de Geus JL, Wambier LM, Boing TF, Loguercio AD, Reis A. At-home Bleaching With 10% vs More Concentrated Carbamide Peroxide Gels: A Systematic Review and Meta-analysis. *Oper Dent.* 2018; Jul/Aug;43(4):E210-e22.

67. de Geus JL, Beltrame FL, Wang M, Avula B, Khan IA, Loguercio AD, et al. Determination of nicotine content in teeth submitted to prophylaxis and in-office bleaching by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). *Clin Oral Investig*. 2018; Dec;22(9):3043-51.
68. Bonafé E, Loguercio AD, Reis A, Kossatz S. Effectiveness of a desensitizing agent before in-office tooth bleaching in restored teeth. *Clin Oral Investig*. 2014; Apr;18(3):839-45.
69. Loguercio AD, Tay LY, Herrera DR, Bauer J, Reis A. Effectiveness of nano-calcium phosphate paste on sensitivity during and after bleaching: a randomized clinical trial. *Braz Oral Res*. 2015;29:1-7.
70. Parreiras SO, Szesz AL, Coppla FM, Martini EC, Farago PV, Loguercio AD, et al. Effect of an experimental desensitizing agent on reduction of bleaching-induced tooth sensitivity: A triple-blind randomized clinical trial. *J Am Dent Assoc*. 2018; Apr;149(4):281-90.
71. Rezende M, Chemin K, Vaez SC, Peixoto AC, Rabelo JF, Braga SSL, et al. Effect of topical application of dipyrone on dental sensitivity reduction after in-office dental bleaching: A randomized, triple-blind multicenter clinical trial. *J Am Dent Assoc*. 2018; May;149(5):363-71.
72. Carneiro TS, Favoreto MW, Ferreira MWC, Bernardi LG, Andrade HF, Bandeca MC, et al. In-office dental bleaching in adolescents using 6% hydrogen peroxide with different application tips: randomized clinical trial. *J Appl Oral Sci*. 2023;31:e20230216.
73. Kose C, Calixto AL, Bauer JR, Reis A, Loguercio AD. Comparison of the Effects of In-office Bleaching Times on Whitening and Tooth Sensitivity: A Single Blind, Randomized Clinical Trial. *Oper Dent*. 2016; Mar-Apr;41(2):138-45.
74. Terra R, da Silva KL, Vochikovski L, Sutil E, Rezende M, Loguercio AD, et al. Effect of Daily Usage Time of 4% Hydrogen Peroxide on the Efficacy and Bleaching-induced Tooth Sensitivity: A Single-blind Randomized Clinical Trial. *Oper Dent*. 2021; Jul 1;46(4):395-405.
75. Pérez Mdel M, Ghinea R, Rivas MJ, Yebra A, Ionescu AM, Paravina RD, et al. Development of a customized whiteness index for dentistry based on CIELAB color space. *Dent Mater*. 2016; Mar;32(3):461-7.
76. Delgado AH, Sauro S, Lima AF, Loguercio AD, Della Bona A, Mazzoni A, et al. RoBDEMAT: A risk of bias tool and guideline to support reporting of pre-clinical dental materials research and assessment of systematic reviews. *J Dent*. 2022; Dec;127:104350.
77. Mena-Serrano AP, Parreiras SO, do Nascimento EM, Borges CP, Berger SB, Loguercio AD, et al. Effects of the concentration and composition of in-office bleaching gels on hydrogen peroxide penetration into the pulp chamber. *Oper Dent*. 2015; Mar-Apr;40(2):E76-82.
78. Parreiras SO, Favoreto MW, Cruz GP, Gomes A, Borges CPF, Loguercio AD, et al. Initial and pulp chamber concentration of hydrogen peroxide using different bleaching products. *Brazilian Dental Science*. 2020;23(2):8 p.- p.

79. Santana TR, Silva PFD, Santana MLC, Mattos C, Faria ESAL. Influence of repositioning guides' color and usage on precision in tooth color measurement with a clinical spectrophotometer. *J Appl Oral Sci.* 2024;32:e20230348.
80. Favoreto MW, Wendlinger M, Barbosa LMM, Cochinski GD, Oliveira VB, Arrais CAG, et al. Optimal photoactivation time and thermal behavior of gingival barriers used in in-office dental bleaching. *J Dent.* 2025; Sep;160:105888.
81. Luo MR, Cui G, Rigg B. The development of the CIE 2000 colour-difference formula: CIEDE2000. *Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur.* 2001;26(5):340-50.
82. Paravina RD, Ghinea R, Herrera LJ, Bona AD, Igiel C, Linninger M, et al. Color difference thresholds in dentistry. *J Esthet Restor Dent.* 2015; Mar-Apr;27 Suppl 1:S1-9.
83. Torres CR, Crastechini E, Feitosa FA, Pucci CR, Borges AB. Influence of pH on the effectiveness of hydrogen peroxide whitening. *Oper Dent.* 2014; Nov-Dec;39(6):E261-8.
84. Marson FC, Gonçalves RS, Silva CO, Cintra LT, Pascotto RC, Santos PH, et al. Penetration of hydrogen peroxide and degradation rate of different bleaching products. *Oper Dent.* 2015; Jan-Feb;40(1):72-9.
85. Acuña ED, Parreiras SO, Favoreto MW, Cruz GP, Gomes A, Borges CPF, et al. 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.* 2022; Mar;34(2):322-7.
86. Gumy FN, da Silva KL, Gumy MN, Forville H, Cordeiro DCF, Favoreto MW, et al. The decomposition rate and bleaching efficacy of in-office bleaching gels with different pHs: a randomized controlled trial. *Clinical Oral Investigations.* 2024; 2024/07/23;28(8):440.
87. Kwon S, Pallavi F, Shi Y, Oyoyo U, Mohraz A, Li Y. Effect of whitening gel viscosity on the effectiveness of tooth whitening and pulp chamber penetration: an in vitro study. *Operative Dentistry.* 2018;43(3):326-34.
88. Borges AB, Dos Santos KC, da Silva DF, Bottesini VC, Torres C, Mailart MC. Influence of Specimen Pre-staining on in vitro Whitening Efficacy of Hydrogen Peroxide Gels. *Oper Dent.* 2025; Jul 14.
89. Internationale de l'Éclairage C. Recommendations on uniform color spaces-color equations, psychometric color terms. Paris: CIE. 1978.

90. Cordeiro DCF, Favoreto MW, Centenaro GG, Gumy FN, Loguercio AD, Borges CPF, et al. At-home bleaching with carbamide peroxide with concentrations below 10%: bleaching efficacy and permeability in the pulp chamber. *Clin Oral Investig*. 2024; Mar 21;28(4):224.
91. Pérez MM, Herrera LJ, Carrillo F, Pecho OE, Dudea D, Gasparik C, et al. Whiteness difference thresholds in dentistry. *Dent Mater*. 2019; Feb;35(2):292-7.

TABLES

Table 1. Commercial bleaching gel evaluated in the study, including batch number, compositions, and application protocols

Product (Batch number)	Composition	Application (*)
DSP White Clinic 35% (WC) [DSP Biomedical Group, Campo Largo, PR, Brazil] (3320241)	35% hydrogen peroxide, thickeners, neutralizers, coloring mix, glycols, deionized water, calcium.	Mix hydrogen peroxide with the thickening agent in an 18:6 ratio into the mixing container provided with the kit. The gel application period was three times of 15 minutes, two sessions.
Whiteness HP 35% (WH) [FGM Dental Group, Joinville, SC, Brazil] (220223)	35% hydrogen peroxide, deionized water, thickeners, violet colorant, glycol, neutralized agents and desensitizing agents, 3% calcium gluconate.	
Whiteness HP Maxx 35% (WM) [FGM Dental Group, Joinville, SC, Brazil] (270223)	35% Hydrogen peroxide, thickener, water, vegetable extracts, sequestering agents, amide, colorants and glycol.	
Pola Office 35% (PO) [SDI, Victoria, Australia] (240104141539)	35% hydrogen peroxide, water, thickening agents, catalysts, colorants, desensitizing agents.	Mix hydrogen peroxide with the thickening agent in a 20:4 ratio into the mixing container provided with the kit. The gel application period was three times of 15 minutes, two sessions*.
Potenza Bianco Pro 35% H ₂ O ₂ (PB) [PHS Group, Joinville, SC, Brazil] (28082023-34494)	35% hydrogen peroxide, thickeners, neutralizers, colorant and deionized water.	Mix hydrogen peroxide with the thickening agent in an 18:6 ratio into the mixing container provided with the kit. Then, mix vigorously for 40 seconds to obtain a mixture that exhibits a carmine, red color and high viscosity (thick gel). The gel application period was three times of 15 minutes, two sessions.

*Manufacturer's recommendation: Three times of 8 min

Table 2. Means ($\pm$ standard deviations) of hydrogen peroxide (HP) concentration (%) and pH measurements recorded immediately after preparation and after 15 minutes, along with amount of bleaching gel spent (g), according to the application method for different experimental groups

BLEACHING GEL	HP concentration (%) *		pH		Gel used for bleaching (g)	
	Immediate	After 15 min	Immediate	After 15 min	Spatula	Brush
DSP White Clinic	34.5 $\pm$ 0.5 A	34.3 $\pm$ 0.4 A	5.84 $\pm$ 0.026 b	5.17 $\pm$ 0.031 d	0.04 $\pm$ 0.01 ^C	0.01 $\pm$ 0.00 ^A
Whiteness HP	32.0 $\pm$ 1.8 B	32.0 $\pm$ 0.1 B	5.90 $\pm$ 0.072 b	4.82 $\pm$ 0.012 e	0.02 $\pm$ 0.01 ^B	0.01 $\pm$ 0.00 ^A
Whiteness HP Maxx	33.5 $\pm$ 1.8 A	34.3 $\pm$ 0.2 A	6.62 $\pm$ 0.035 a	4.86 $\pm$ 0.040 e	0.03 $\pm$ 0.01 ^B	0.01 $\pm$ 0.00 ^A
Pola Office	31.4 $\pm$ 0.1 B	31.2 $\pm$ 0.2 B	2.60 $\pm$ 0.012 f	2.63 $\pm$ 0.015 f	0.04 $\pm$ 0.02 ^C	0.02 $\pm$ 0.01 ^A
Potenza Bianco PRO	30.5 $\pm$ 0.2 B	30.5 $\pm$ 0.9 B	5.62 $\pm$ 0.031 c	5.27 $\pm$ 0.021 d	0.04 $\pm$ 0.01 ^C	0.01 $\pm$ 0.00 ^A

* Uppercase or lower-case letters, superscript or not, indicate statistical similarity between groups for each characteristic measured (two-way ANOVA; Tukey's test, $p > 0.05$);

Table 3. Means ($\pm$ standard deviations) of the amount of hydrogen peroxide (HP) concentration ($\mu\text{g/mL}$) detected in the pulp chamber after three 15-minute applications in different experimental groups

BLEACHING GELS	Control*	DSP White Clinic**	Whiteness HP	Whiteness HP Maxx	Pola Office	Potenza Bianco PRO
Spatula	0.011 ± 0.003 ($\neq$)	0.550 ± 0.287 A	0.321 ± 0.167 A	0.265 ± 0.139 A	1.075 ± 0.498 B	0.405 ± 0.310 A
Brush	0.011 ± 0.002 ($\neq$)	0.523 ± 0.255 A	0.324 ± 0.176 A	0.384 ± 0.222 A	1.203 ± 0.233 B	0.376 ± 0.332 A

* Symbol ($\neq$) indicate statistical differences of control groups when compared to all other groups (two-way ANOVA; Dunnett's test, $p < 0.05$); ** Similar uppercase letters indicate statistical similarity between groups (two-way ANOVA; Tukey's test, $p > 0.05$)

Table 4. Means and standard deviations of color change parameters after two bleaching sessions.

Parameters	Group	Control	<i>DSP White Clinic</i>	<i>Whiteness HP</i>	<i>Whiteness HP Maxx</i>	<i>Pola Office</i>	<i>Potenza Bianco PRO</i>
ΔE_{ab}	<i>Spatula</i>	2.2 ± 1.1 (≠)	14.2 ± 3.7 A	13.0 ± 4.7 A	14.1 ± 3.6 A	13.3 ± 4.1 A	15.5 ± 5.3 A
	<i>Brush</i>	2.2 ± 1.1 (≠)	14.9 ± 5.1 A	14.6 ± 3.5 A	16.6 ± 3.6 A	13.8 ± 4.6 A	14.1 ± 5.3 A
ΔE_{00}	<i>Spatula</i>	1.5 ± 0.8 (≠)	8.8 ± 2.7 a	8.3 ± 3.4 a	8.7 ± 2.1 a	7.8 ± 1.8 a	9.7 ± 3.7 a
	<i>Brush</i>	1.5 ± 0.8 (≠)	9.1 ± 3.4 a	8.2 ± 2.1 a	9.5 ± 2.2 a	8.8 ± 3.0 a	8.7 ± 2.7 a
ΔWI_D	<i>Spatula</i>	1.0 ± 1.8 (≠)	21.8 ± 7.1 ^A	19.8 ± 10.1 ^A	20.5 ± 5.8 ^A	19.3 ± 4.2 ^A	20.5 ± 11.8 ^A
	<i>Brush</i>	1.0 ± 1.8(≠)	21.4 ± 10.2 ^A	19.3 ± 7.3 ^A	19.5 ± 5.4 ^A	20.7 ± 11 ^A	19.3 ± 4.4 ^A

* Symbol (≠) indicate statistical differences of control groups when compared to all other groups in each line (two-way ANOVA; Dunnett's test, $p < 0.05$); ** Similar uppercase or lowercase letters, superscript or not, indicate statistical similarity between groups (two-way ANOVA; Tukey's test, $p > 0.05$)