

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
CAMPUS GOVERNADOR VALADARES  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA VIDA  
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA**

**Fernanda Faria**

**Análise de diferentes protocolos para polimento de cerâmicas vítreas na  
translucidez, contraste e opalescência**

Governador Valadares

2025

**Fernanda Faria**

**Análise de diferentes protocolos para polimento de cerâmicas vítreas na translucidez, contraste e opalescência**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Odontologia, do Instituto de Ciências da Vida, da Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Odontologia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Furtado de Carvalho

Co-orientador: Prof. Dr. Cleidiel Aparecido Araújo Lemos

Governador Valadares

2025

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Faria, Fernanda .

Análise de diferentes protocolos para polimento de cerâmicas vítreas na translucidez, contraste e opalescência. / Fernanda Faria.

-- 2025.

29 f.

Orientador: Rodrigo Furtado de Carvalho

Coorientador: Cleidiel Aparecido Araújo Lemos

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Avançado de Governador Valadares, Faculdade de Odontologia, 2025.

1. Vitrocerâmica. 2. Polimento. 3. Translucidez. 4. Contraste. 5. Opalescência. I. Carvalho, Rodrigo Furtado de, orient. II. Lemos, Cleidiel Aparecido Araújo, coorient. III. Título.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**

**Fernanda Faria**

**Análise de diferentes protocolos para polimento de cerâmicas vítreas na translucidez, contraste e opalescência**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Odontologia, do Instituto de Ciências da Vida, da Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Odontologia.

Aprovada em 15 de agosto de 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Cleidiel Aparecido Araújo Lemos – Coorientador  
Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares

---

Prof. Dr. Jean Soares Miranda  
Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares

---

Prof. Dr. Leonardo Custódio de Lima  
Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares



Documento assinado eletronicamente por **Jean Soares Miranda, Professor(a)**, em 15/08/2025, às 15:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cleidiel Aparecido Araujo Lemos, Professor(a)**, em 15/08/2025, às 15:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Custódio de Lima, Professor(a)**, em 15/08/2025, às 15:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2526449** e o código CRC **904451B5**.

---

**Referência:** Processo nº 23071.933162/2025-54

SEI nº 2526449

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, o meu Senhor, por ter me sustentado e me concedido força e resiliência, que foram imprescindíveis para a conclusão deste trabalho.

À minha querida família, em especial à minha mãe, Marilene Rodrigues dos Reis: você me ensinou o valor da educação e, sem seu amor incondicional, nada seria possível. Agradeço ao meu irmão, Vinícius Rodrigues, meu grande incentivador e exemplo — seu apoio durante os anos da graduação foi essencial para a conclusão do meu trabalho. Aos meus avós, Alaide e Orlando, por todo carinho, cuidado e orações que foram dedicadas a mim. Ao meu pai, Eduardo José, agradeço pela ajuda na construção da minha educação ao longo de toda a minha vida — foi essencial para que eu chegasse até aqui.

Ao meu amor Rafael Ferreira, por todo companheirismo durante a trajetória. Ao seu lado, a realização deste trabalho se tornou muito mais leve.

Agradeço às minhas amigas, que se tornaram família em muitos momentos. À minha dupla, Larissa Lima, que foi apoio diário. À minha amiga Isadora, por se fazer presente mesmo distante. Às minhas amigas Vivian Pereira, Larissa Ribeiro, Larissa Côrrea, Anna Laura, Caroline Horta e Maria Clara: vocês são sinônimo de casa.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Furtado de Carvalho, por todo conhecimento, disponibilidade e direcionamento durante a elaboração deste trabalho.

À Camilla Sthéfany do Carmo por todas as explicações que foram essenciais para a redação desta pesquisa.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

## RESUMO

Os protocolos de polimento visam criar uma superfície lisa e brilhante, favorecendo as propriedades ópticas dos materiais restauradores. O objetivo deste trabalho foi analisar a influência de diferentes protocolos de polimento manual e do glaze nos parâmetros de translucidez, contraste e opalescência de uma cerâmica de silicato de lítio reforçada com zircônia, com ou sem queima adicional. Foram confeccionadas cento e vinte amostras padronizadas, divididas em cinco grupos experimentais de acordo com o tratamento de superfície realizado: Glaze (GL), Exa-Cerapol (EX), Ceramisté (CM), PK5 Ceram (PK) e Optragloss Ceram (OG). Cada grupo foi subdividido quanto à presença (CDQ) ou ausência (CD) de queima prévia. Os corpos de prova passaram por um processo de asperização e, posteriormente, receberam o polimento de acordo com cada grupo. As medições dos parâmetros de coloração foram realizadas com o auxílio de um espectrofotômetro (Vita Easyshade Advance 4.0; VITA Zahnfabrik). A análise estatística foi conduzida por meio do teste não paramétrico Aligned Rank Transform (ART), e o *post hoc* das interações foi realizado pelo método *pairwise* no pacote emmeans. O software utilizado foi o R (versão 4.4.1). Os valores obtidos para translucidez indicaram que a cerâmica CD foi a mais afetada, principalmente pelos protocolos PK, EX e OG. A opalescência também foi significativamente afetada, sendo reduzida pelo glaze e aumentada pelos métodos de polimento manual, com comportamento distinto entre as cerâmicas CD e CDQ. A análise do contraste não revelou diferenças significativas entre os grupos. Conclui-se que os diferentes protocolos de polimento afetam de maneira distinta as propriedades ópticas da cerâmica de silicato de lítio reforçada com zircônia (ZLS), com e sem queima, sendo os polimentos manuais capazes de intensificar a translucidez e a opalescência — características importantes para reabilitações em zonas de alta demanda estética. A aplicação do glaze, por sua vez, mostrou-se eficaz na preservação das propriedades ópticas originais, podendo ser indicada para situações em que a estabilidade de cor é prioritária.

**Palavras-chave:** celtra duo, contraste, opalescência, polimento, translucidez, vitrocerâmica.

## ABSTRACT

Polishing protocols aim to create a smooth and glossy surface, enhancing the optical properties of restorative materials. The objective of this study was to analyze the influence of different manual polishing protocols and glaze application on the parameters of translucency, contrast, and opalescence of a zirconia-reinforced lithium silicate ceramic, with or without an additional firing. A total of one hundred and twenty standardized samples were fabricated and divided into five experimental groups according to the surface treatment performed: Glaze (GL), Exa-Cerapol (EX), Ceramisté (CM), PK5 Ceram (PK), and Optragloss Ceram (OG). Each group was further subdivided based on the presence (CDQ) or absence (CD) of prior firing. The specimens underwent a roughening process and were subsequently polished according to their respective group. Color parameters were measured using a spectrophotometer (Vita Easyshade Advance 4.0; VITA Zahnfabrik). Statistical analysis was performed using the non-parametric Aligned Rank Transform (ART) test, and post hoc interaction comparisons were carried out using the pairwise method in the *emmeans* package. The software used was R (version 4.4.1). The values obtained for translucency indicated that the CD ceramic was the most affected, especially by the PK, EX, and OG protocols. Opalescence was also significantly affected, being reduced by the glaze and increased by manual polishing methods, with different behaviors observed between CD and CDQ ceramics. Contrast analysis did not reveal significant differences between groups. It is concluded that the different polishing protocols distinctly affect the optical properties of zirconia-reinforced lithium silicate (ZLS) ceramics, with and without firing. Manual polishing was able to enhance translucency and opalescence — key characteristics for restorations in areas of high esthetic demand. Glaze application, on the other hand, proved effective in preserving the original optical properties and may be recommended in cases where color stability is a priority.

**Keywords:** celtra duo, contrast, glass-ceramic, opalescence, polishing, translucency.

## LISTA DE TABELAS

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - Tratamento de superfície da cerâmica .....                     | 15 |
| Tabela 1 - Resultados dos post hoc das interações para translucidez ..... | 19 |
| Tabela 2 - Resultados dos post hoc das interações para contraste .....    | 20 |
| Tabela 3 - Resultados dos post hoc das interações para opalescência ..... | 21 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|          |                                                                                 |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| GL       | Glaze                                                                           |
| EX       | Exa-Cerapol                                                                     |
| CM       | Ceramisté                                                                       |
| PK       | PK5 Ceram                                                                       |
| OG       | Optragloss Ceram                                                                |
| CD       | Celtra Duo (sem queima)                                                         |
| CDQ      | Celtra Duo Queimada (com queima)                                                |
| TP       | Translucency Parameter (Parâmetro de Translucidez)                              |
| CR       | Contrast Ratio (Razão de Contraste)                                             |
| OP       | Opalescência                                                                    |
| CAD/CAM  | Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing                            |
| ZLS      | Zirconia-reinforced Lithium Silicate (Silicato de Lítio Reforçado com Zircônia) |
| CIE Lab* | Sistema de cor da Comissão Internacional de Iluminação                          |
| B        | Fundo Preto ("Black") – usado nas fórmulas                                      |
| W        | Fundo Branco ("White") – usado nas fórmulas                                     |
| Yn       | Valor padrão de referência para luminosidade (igual a 100)                      |

## SUMÁRIO

|          |                                            |           |
|----------|--------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                          | <b>12</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVOS</b>                           | <b>14</b> |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>                 | <b>15</b> |
|          | 3.1 AMOSTRA                                | 15        |
|          | 3.2 ASPERIZAÇÃO E POLIMENTO                | 16        |
|          | 3.3 CONTRASTE, OPALESCÊNCIA E TRANSLUCIDEZ | 16        |
|          | 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA                    | 18        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS</b>                          | <b>19</b> |
|          | 4.1 TRANSLUCIDEZ                           | 19        |
|          | 4.2 CONTRASTE                              | 19        |
|          | 4.3 OPALESCÊNCIA                           | 20        |
| <b>5</b> | <b>DISCUSSÃO</b>                           | <b>22</b> |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÃO</b>                           | <b>26</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b>                         | <b>27</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, a busca por um sorriso estético e longo tem aumentado. Tal fato, aliado ao papel da Odontologia na reabilitação oral do paciente, proporcionou o desenvolvimento de novos materiais, técnicas restauradoras e tecnologias de processamento. Nesse contexto, as restaurações cerâmicas permitem alcançar resultados favoráveis de similaridade com o dente natural por meio de propriedades como biocompatibilidade, coeficiente de expansão térmica próximo ao do dente, translucidez, contraste, opalescência, estabilidade química e resistência à abrasão (ZARONE et al., 2019).

As vitrocerâmicas são materiais formados por meio da nucleação e cristalização controladas do vidro. A base da cristalização interna controlada reside na nucleação eficiente, que permite o desenvolvimento de grãos finos, orientados aleatoriamente, geralmente sem vazios, microfissuras ou outras porosidades (HOLLAND; BEALL, 2012). Esses materiais foram desenvolvidos para aliar estética e desempenho funcional, sendo compostos por uma matriz vítrea onde estão dispersos cristais de diferentes naturezas, dependendo do tipo de cerâmica. Essa estrutura híbrida confere ao material um equilíbrio entre propriedades ópticas e características mecânicas adequadas para suportar forças mastigatórias moderadas.

A cerâmica de silicato de lítio reforçada com zircônia (ZLS) foi criada com a proposta de unir as características ópticas do dissilicato de lítio com as propriedades mecânicas da zircônia. Atualmente, a ZLS é empregada com Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) e pela técnica de prensagem. Esse novo material apresenta uma matriz vitrocerâmica de metassilicato de lítio ( $\text{Li}_2\text{SiO}_3$ ) reforçada com aproximadamente 8–12% de grãos de dióxido de zircônio ( $\text{ZrO}_2$ ), sendo indicada para inlays, onlays, restaurações unitárias, facetas e pilares de implantes (MANZIUC et al., 2023; ZARONE et al., 2021).

Uma parcela dessas cerâmicas está disponível em blocos CAD/CAM, para minimizar falhas intrínsecas de um processamento técnico-dependente. No caso da Celtra Duo, o cirurgião-dentista pode optar pelo polimento manual ou pelo glazing, podendo realizar a queima no forno ou não (SCHWEITZER et al., 2020). O fabricante disponibiliza informações específicas acerca da taxa de aquecimento nos fornos e do tempo de retenção. No caso do polimento manual, a produção das restaurações é otimizada pela ausência do tratamento adicional no forno, sendo possível utilizar

diversos kits disponíveis no mercado, contendo pontas diamantadas, copos de borracha, rodas de feltro e pastas de polimento (SILVA et al., 2014).

O sucesso, a naturalidade e a longevidade de um tratamento restaurador estão intimamente ligados à estabilidade das propriedades ópticas, como a translucidez, o contraste e a opalescência da cerâmica. A translucidez se refere ao fenômeno de reflexão, espelhamento e transmissão de luz pelo objeto. Essa propriedade aumenta quanto maior for a capacidade da luz de atravessar o material. A opalescência é definida como a dispersão de comprimentos de onda da luz visível, que confere ao objeto uma aparência azulada na luz refletida e alaranjada/marrom na transmitida (KUR et al., 2020).

Há uma forte correlação entre as propriedades ópticas: quanto maior for a taxa de contraste, maior será a opacidade e menor será a translucidez (KURT et al., 2020; DELLA BONA et al., 2014).

A técnica de polimento adequada promove uma superfície esteticamente agradável, evita a formação de manchas e assegura a aparência natural da restauração por um longo prazo. Dessa forma, é essencial o estudo das propriedades ópticas das cerâmicas vítreas restauradoras e o impacto que diferentes tratamentos de superfície podem exercer sobre essas características.

Apesar da crescente utilização clínica das cerâmicas de silicato de lítio reforçadas com zircônia, ainda são limitados os estudos que correlacionam os efeitos de diferentes protocolos de polimento — incluindo métodos manuais e o glaze — nos parâmetros de translucidez, contraste e opalescência, especialmente quando se considera a presença ou ausência de queima adicional (SORRENTINO et al., 2021).

As hipóteses nulas propostas são de que os diferentes métodos de polimento e a queima adicional não causam alterações significativas na translucidez, contraste e opalescência da cerâmica estudada.

## 2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo analisar a influência de cinco protocolos de polimentos manuais kit Optrafine (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), kit Ceramisté (Shofu, Kyoto, Japão), kit ExaCerapol (Edenta, Au, Suíça), kit PK5 Ceram (DhPro, Paranaguá, Paraná, Brasil) e glaze (Paste IPS Ivocolor Glaze, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) nos parâmetros de translucidez, contraste e opalescência de uma cerâmica de silicato de lítio reforçada com zircônia, com ou sem queima adicional.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. AMOSTRA

Os blocos CAD-CAM da vitrocerâmica de silicato de lítio, Celtra Duo (Dentsply Sirona, Hanau -Wolfgang, Alemanha), na coloração A3, foram utilizados para a fabricação dos corpos de prova, sendo seccionados em uma máquina de corte (CutMaster), com disco diamantado, sob refrigeração constante. Foram confeccionados 120 corpos de prova, seccionados em formato retangular, nas dimensões de 10x6x4 milímetros, aproximadamente. Após a fresagem, as amostras foram polidas em uma polítrix de velocidade variável (Teclago, SP, Brasil), com lixas d'água de granulação 400, 800 e 1200 por 30 segundos, com irrigação constante.

Posteriormente, os corpos de prova foram divididos em dois subgrupos, de forma proporcional, através de um site de randomização online ([www.sealedenvelope.com](http://www.sealedenvelope.com)). Um subgrupo sofreu uma queima adicional, de acordo com as instruções do fabricante e o outro subgrupo não. Os espécimes foram novamente randomizados em cinco grupos (n=12) (Quadro 1), de acordo com as diferentes formas de polimento aplicadas, através de um site de randomização online ([www.sealedenvelope.com](http://www.sealedenvelope.com)).

Quadro 1- Tratamento de superfície na cerâmica

| <b>Grupos (n=12)</b> | <b>Tratamento da superfície</b>                                                                                                           |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Glaze (GL)           | Asperização + Glaze (Paste IPS Ivocolor Glaze, Ivoclar Vivadent)                                                                          |
| Exa-Cerapol (EX)     | Asperização + polimento com kit Exa-Cerapol; (Polimento com ponta pré-polimento, ponta de acabamento e ponta de polimento de alto brilho) |
| Ceramisté (CM)       | Asperização + polimento com o kit Ceramisté (Shofu) em três fases: pré-polimento: Ceramisté                                               |

|                       |                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | Standard; polimento: Ceramisté Ultra com haste com faixas amarelas; polimento final: Ceramisté Ultra II com haste em faixas brancas.                                                          |
| PK5.1 Ceram (PK)      | Asperização + polimento com o kit PK5 Ceram (DhPro); (Polimento com ponta para remoção de risco, brilho em cerâmica e autobriho)                                                              |
| Optragloss Ceram (OG) | Asperização + polimento com o kit Optragloss Ceram (composto por duas etapas, um polidor na cor azul escuro para pré-polimento e um polidor na cor azul claro para polimento de alto brilho). |

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

### 3.2. ASPERIZAÇÃO E POLIMENTO

Asperização e polimento dos corpos de prova foram realizados por um único operador. Para asperização, foi utilizada uma ponta cônica diamantada PM95F (American Burs) com 45 µm de granulação, sob refrigeração. A ponta foi posicionada paralela à superfície dos corpos de prova, percorrendo-a por 20 segundos, com força de 1N a uma velocidade de 14000rpm, sob refrigeração constante, com o objetivo de simular o ajuste aclusal (MATZINGER *et al.* 2018; PREIS *et al.*, 2016). As pontas foram trocadas a cada 5 amostras.

Após a asperização, os corpos cerâmicos receberam o polimento de acordo com o grupo. Os corpos de prova do Grupo GL, foram submetidos a uma camada de glaze (Paste IPS Ivocolor Glaze, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), em uma das superfícies, e logo após foi realizada a queima, de acordo com instruções do fabricante. O polimento manual foi padronizado nos grupos EX, CM, PK, OG, em baixa rotação, sob refrigeração constante, durante 60 segundos com movimentos intermitentes e unidirecionais, com pressão constante de 500 gramas (SILVA *et al.*, 2014).

### 3.3. CONTRASTE, OPALESCÊNCIA E TRANSLUCIDEZ

Após o processo de polimento as características ópticas das amostras foram avaliadas com o auxílio de um espectrofotômetro (Vita Easyshade Advance 4.0; VITA Zahnfabrik) para medir os parâmetros de coloração após diferentes protocolos de polimento (KILINC, *et al.*, 2018). Antes de cada medição de parâmetro de cor as amostras foram limpas com água destilada e posteriormente secas. Cada grupo foi avaliado separadamente. A ponta da sonda de contato foi mantida a 90° da superfície no terço médio da cerâmica. As medições foram realizadas em cabine de visualização com iluminação D65 padronizada do gabinete de avaliação de cores, sob fundo branco e preto (LEE *et al.*, 2019; KURTULMUS-YILMAZ; ULUSOY, 2014). Cada amostra foi medida uma única vez, a ponta do espectrofotômetro foi posicionada no centro da amostra, tanto no fundo branco quanto no fundo preto (KURTULMUS-YILMAZ; ULUSOY, 2014).

A precisão do espectrofotômetro utilizado foi avaliada quanto à consistência de suas medidas repetidas durante o protocolo de calibração, feito antes das leituras de cada amostra. Os valores de medição foram obtidos por um único operador. Além disso, a sala também tinha a mesma iluminação fluorescente.

As coordenadas CIE  $L^*$   $a^*$   $b^*$  de todas as amostras foram calculadas pelo espectrofotômetro, na qual o  $L^*$  denota claridade (100) ou escuridão (0),  $a^*$  o vermelho ( $>0$ ) ou verde ( $<0$ ), e  $b^*$  o amarelo ( $>0$ ) ou azul ( $<0$ ) (AL-JOHANI *et al.*, 2024).

A translucidez foi avaliada com o parâmetro de translucidez (TP), obtido por calcular a diferença de cor da amostra sobre o fundo branco e sobre o fundo preto, através da seguinte fórmula (ZIYAD; ABU-NABA'A; ALMOHAMMED, 2021):

$$TP = [(L^*_B - L^*_W)^2 + (a^*_B - a^*_W)^2 + (b^*_B - b^*_W)^2]^{1/2}$$

O subscrito B corresponde às coordenadas de cor sobre o fundo preto e o subscrito W corresponde às coordenadas sobre o fundo branco. Se o material for absolutamente opaco, o valor de TP é zero; se o material for totalmente transparente, o valor de TP é 100. Quanto maior o valor de TP, maior a translucidez do material (ZIYAD; ABU-NABA'A; ALMOHAMMED, 2021).

Para obter os valores referentes ao contraste, foram usadas as seguintes equações (ZIYAD; ABU-NABA'A; ALMOHAMMED, 2021):

$$1. \quad Y = (L^* + 16/116) * Y_n$$

$Y_n$  é igual a 100 e  $Y$  foi mensurado usando os valores de  $L^*$ . Esta equação interpretou a refletância espectral da luz  $Y$  e a luminância do Tri-estímulo Color Space/XYZ (ZIYAD; ABU-NABA'A; ALMOHAMMED, 2021).

$$2. \quad CR = YB/YW$$

$Y_b$  e  $Y_w$  referem-se aos valores de  $Y$  para amostras sobre o fundo preto (B) e fundo branco (W). Esta equação interpreta o material que tem um  $CR = 0.0$  sendo transparente, enquanto  $CR = 1.0$  é totalmente opaco (ZIYAD; ABU-NABA'A; ALMOHAMMED, 2021).

Por fim, para se obter os valores referentes à opalescência do material, foi usada a seguinte equação (ZIYAD; ABU-NABA'A; ALMOHAMMED, 2021):

$$OP = \sqrt{(a * B - a * W)^2 + (b * B - b * W)^2}$$

$a^*$  e  $b^*$  são as coordenadas estabelecidas pela CIE-LAB sob os fundos branco (W) e preto (B). Esta equação interpretará as diferenças nas coordenadas azul-amarelo e vermelho-verde entre as cores transmitidas e refletidas (ZIYAD; ABU-NABA'A; ALMOHAMMED, 2021). Após obtenção dos valores iniciais, as amostras foram submetidas aos protocolos de polimento de acordo com o grupo em que estavam inseridas e posteriormente, foram avaliados os mesmos parâmetros nas mesmas condições iniciais.

### 3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise foram utilizados os dados de alteração TP, CR e OP (calculadas pelos valores médios de antes do polimento subtraídos pelos valores depois do polimento). Translucidez, contraste e opalescência foram avaliados quanto à distribuição normal e homogeneidade de variâncias. A distribuição normal dos dados e homogeneidade de variância não foi confirmada pelo teste Shapiro-Wilk e teste de Levene, respectivamente. Devido a violação dos pressupostos foi utilizado Aigned Rank Transform (ART), implementada no pacote ARTTool, para realizar a análise de variância em dados não paramétricos. O post hoc das interações foi realizado pelo método pairwise no pacote emmeans. O software utilizado foi o R (versão 4.4.1).

## 4 RESULTADOS

### 4.1. TRANSLUCIDEZ

A análise estatística revelou diferenças significativas para interação entre as cerâmicas e os protocolos de polimento ( $F(4.110)=3.85$   $p=0.006$ ).

Os valores de  $\Delta TP$  indicaram que a cerâmica CD foi afetada pelos diferentes tipos de protocolos, apresentando maior variação nos valores de translucidez, para os protocolos PK ( $-2.83 \pm 0.465$ ), EX ( $-2.62 \pm 0.369$ ) e OG ( $-2.56 \pm 0.268$ ).

Em contrapartida, a cerâmica CDQ apresentou maior alteração dessa característica óptica, para os protocolos EX ( $-2.06 \pm 0.306$ ) e OG ( $-2.27 \pm 0.231$ ).

Foi possível constatar diferença significativa entre as duas cerâmicas, para os protocolos EX e PK.

A tabela 1 mostra a média das diferenças de translucidez inicial e final e o desvio padrão desses dados para cada uma das duas cerâmicas (CD e CDQ) com os cinco diferentes protocolos de polimento.

Tabela 1 – Resultados dos post hoc das interações para translucidez.

| Cerâmicas | $\Delta TP$      |                   |                  |                  |                  |
|-----------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
|           | GL               | EX                | CM               | PK               | OG               |
| CD        | $-1.87 \pm$      | $-2.62$           | $-2.09$          | $-2.83$          | $-2.56$          |
|           | $0.473^{Ba}$     | $\pm 0.369^{Aa}$  | $\pm 0.280^{Ba}$ | $\pm 0.465^{Aa}$ | $\pm 0.268^{Aa}$ |
| CDQ       | $-1.75$          | $-2.06$           | $-1.64$          | $-1.72$          | $-2.27$          |
|           | $\pm 0.461^{Ba}$ | $\pm 0.306^{ABb}$ | $\pm 0.260^{Ba}$ | $\pm 0.503^{Bb}$ | $\pm 0.231^{Aa}$ |

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

*Letras maiúsculas indicam diferenças significativas ( $P < 0,005$ ) entre os protocolos de polimento dentro de cada tipo de cerâmica; letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tipos de cerâmica dentro de cada protocolo de polimento.*

### 4.2. CONTRASTE

Na análise de alteração do contraste, segundo o teste ANOVA ( $F(4.110)= 1.90$   $p=0.116$ ), não houve diferença significativa em relação a interação entre as cerâmicas e os protocolos.

A tabela 2 mostra a média das diferenças do contraste inicial e final e o desvio padrão desses dados para cada uma das duas cerâmicas (CD e CDQ) com os cinco diferentes protocolos de polimento.

Tabela 2 – Resultados dos post hoc das interações para contraste.

| Cerâmicas  | $\Delta CR$ |           |           |           |           |
|------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|            | GL          | EX        | CM        | PK        | OG        |
| <b>CD</b>  | -0.0371±    | -0.00638± | -0.00569± | -0.00973± | -0.00722± |
|            | 0.0189Aa    | 0.00332Aa | 0.00310Aa | 0.00485Aa | 0.00354Aa |
| <b>CDQ</b> | -0.0490±    | -0.00533± | -0.00445± | -0.00406± | -0.00645± |
|            | 0.0296Aa    | 0.00365Aa | 0.00302Aa | 0.00227Aa | 0.00299Aa |

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

*Letras maiúsculas indicam diferenças significativas ( $P<0,005$ ) entre os protocolos de polimento dentro de cada tipo de cerâmica; letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tipos de cerâmica dentro de cada protocolo de polimento.*

#### 4.3. OPALESCÊNCIA

Na análise de alteração da opalescência, segundo o teste ANOVA ( $F(4.110)= 13.87$   $p<0.001$ ), houve diferença significativa em relação a interação entre as cerâmicas e os protocolos.

Os valores de  $\Delta OP$  indicaram que o glaze (GL) provocou em ambas as cerâmicas (CD e CDQ) uma redução da opalescência, enquanto que os protocolos manuais (EX, CM, PK e OG) provocaram um aumento dessa característica óptica. Foi possível constatar diferença significativa entre as duas cerâmicas, para todos os protocolos testados.

A tabela 3 mostra a média das diferenças da opalescência inicial e final e o desvio padrão desses dados para cada uma das duas cerâmicas (CD e CDQ) com os cinco diferentes protocolos de polimento.

Tabela 3 – Resultados dos post hoc das interações para opalescência

| Cerâmicas  | $\Delta OP$ |          |          |          |          |
|------------|-------------|----------|----------|----------|----------|
|            | GL          | EX       | CM       | PK       | OG       |
| <b>CD</b>  | 0.633±      | -1.07±   | -1.14±   | -1.30±   | -1.13±   |
|            | 0.0852Ca    | 0.139Ba  | 0.0876Ba | 0.0550Aa | 0.0800Ba |
| <b>CDQ</b> | 0.566±      | -0.856±  | -0.844±  | -1.15±   | -1.02±   |
|            | 0.0860Da    | 0.0985Cb | 0.0714Cb | 0.0745Ab | 0.0673Bb |

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

*Letras maiúsculas indicam diferenças significativas ( $P < 0,005$ ) entre os protocolos de polimento dentro de cada tipo de cerâmica; letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tipos de cerâmica dentro de cada protocolo de polimento.*

## 5 DISCUSSÃO

O presente trabalho analisou e comparou os efeitos de cinco protocolos de polimento: kit Optrafine (Ivoclar Vivadent), kit Ceramisté (Shofu), kit Exa-Cerapol (Edenta), kit PK5 Ceram (DhPro) e glaze (Paste IPS Ivocolor Glaze, Ivoclar Vivadent) na translucidez, contraste e opalescência de cerâmicas vítreas. As seguintes hipóteses nulas do estudo foram rejeitadas: os métodos de polimento manual e a queima adicional não causam alterações significativas na translucidez e na opalescência da Celtra Duo. Já a hipótese de que os métodos de polimento manual e a queima adicional não causam alterações significativas no contraste da Celtra Duo foi aceita.

O aumento da exigência estética pelos pacientes tem criado a necessidade de materiais restauradores que se assemelham, cada vez mais, aos dentes naturais. Devido à complexidade das propriedades ópticas envolvidas na coloração dentária, reproduzir com precisão a tonalidade natural de um dente por meio de uma restauração é uma tarefa desafiadora. Além da anatomia, considerar propriedades como opalescência, contraste e translucidez são essenciais para se obter um resultado satisfatório (VICHI, *et al.* 2011).

A translucidez é uma característica óptica fundamental nas restaurações cerâmicas, uma vez que ela influencia diretamente a capacidade do material em mimetizar a estrutura dentária natural. A dentição humana exhibe diferentes graus de translucidez, especialmente no terço incisal dos dentes anteriores, e a reprodução adequada dessa propriedade é essencial para evitar resultados com aspecto artificial. Quando o material restaurador não apresenta translucidez compatível, a restauração pode parecer opaca e desarmônica em relação aos dentes adjacentes. Dessa forma, compreender e controlar o grau de translucidez das cerâmicas utilizadas é imprescindível para alcançar um resultado estético previsível e satisfatório nas reabilitações orais (WANG; TAKAHASHI; IWASAKI, 2013).

No presente estudo, observou-se que os diferentes protocolos de acabamento superficial influenciaram significativamente os valores de translucidez ( $\Delta TP$ ) da vitrocerâmica Celtra Duo com uma queima adicional (CDQ) e a sem a queima adicional (CD), corroborando com achados prévios da literatura. Os grupos PK, EX e OG mostraram os maiores  $\Delta TP$  para CD (PK = -2,83; EX = -2,62; OG = -2,56), indicando que esses protocolos promoveram um aumento de translucidez mais

expressivo na cerâmica com apenas uma queima. Já os valores mais baixos de  $\Delta TP$  em CDQ indicam que a segunda queima, associada ao glaze, limitou essa alteração óptica, mantendo a translucidez mais estável.

Esses achados estão de acordo com os resultados de Akar *et al.* (2014), que observaram que o acabamento superficial influencia diretamente os parâmetros ópticos das cerâmicas, inclusive a translucidez. O estudo demonstrou que o autoglaze promove superfícies mais lisas e com menor alteração de translucidez, enquanto os protocolos de polimento com pastas diamantadas ou kits de ajuste apresentam microabrasões na superfície que modificam a interação da luz com o material.

Os polimentos manuais principalmente PK e EX, provocaram maior alteração da translucidez, possivelmente por remover uma camada superficial de cristais e impurezas. Isso pode ter reduzido a dispersão da luz, resultando em um ganho de translucidez. De fato, Kurt *et al.* (2020) ressaltam que o polimento mecânico pode, em certos casos, aumentar a translucidez ao suavizar microdefeitos superficiais criados durante ajustes.

Por outro lado, a cerâmica CDQ, que passou por uma segunda queima para aplicação de glaze, apresentou menor  $\Delta TP$ , sugerindo que o glaze atuou como uma camada uniforme que estabiliza as propriedades ópticas do material, limitando alterações pós-tratamento. Schweitzer *et al.* (2020) afirmam que o glaze pode selar a superfície e prevenir mudanças significativas na interação da luz com a cerâmica, especialmente em materiais contendo zircônia.

Esses dados indicam que, embora o glaze contribua para a estabilidade da translucidez, os polimentos manuais podem proporcionar ganhos estéticos adicionais quando bem controlados. Entretanto, tais protocolos devem ser aplicados com cautela, pois variações no tempo, pressão e abrasividade podem resultar em alterações indesejadas nas propriedades ópticas.

Os resultados obtidos para o parâmetro CR demonstraram que não houve diferenças significativas para interação entre os protocolos de acabamento superficial testados (glaze térmico e polimentos manuais) e as cerâmicas avaliadas (CD e CDQ). Esses achados são compatíveis com os resultados relatados por Choi *et al.* (2019), que demonstraram que os valores de contraste se mantiveram estáveis em todas as camadas de discos cerâmicos, independentemente do tratamento de superfície.

A opalescência é uma característica óptica essencial para a biomimética das restaurações cerâmicas, pois está diretamente relacionada à dispersão da luz visível,

conferindo ao material aparência azulada sob luz refletida e laranja/marrom sob luz transmitida. Esse fenômeno é particularmente importante na região incisal de dentes anteriores, contribuindo para a naturalidade da restauração (DELLA BONA et al., 2014; ZIYAD et al., 2021).

Os resultados do presente estudo demonstraram que houve diferença estatisticamente significativa na interação entre os tipos de cerâmica e os protocolos de acabamento em relação à opalescência ( $p < 0,001$ ). Dentre os protocolos testados, o glaze (GL) foi o único que promoveu uma redução da opalescência em ambas as cerâmicas (CD e CDQ), evidenciado por valores positivos de  $\Delta OP$ . Por outro lado, todos os protocolos de polimento manual (EX, CM, PK e OG) resultaram em aumento da opalescência, com valores de  $\Delta OP$  negativos.

Esses achados indicam que o tratamento com glaze promove uma superfície menos dispersiva, provavelmente devido à formação de uma camada vítrea lisa e contínua, que reduz a interação da luz com microirregularidades superficiais. Já os protocolos de polimento manual, podem preservar ou até intensificar características microestruturais que favorecem a dispersão da luz, o que explicaria o aumento da opalescência observado (KURT et al., 2020; SILVA et al., 2014).

Nesse sentido, a etapa de queima adicional aplicada ao grupo CDQ pode ter provocado mudanças significativas na microestrutura Celtra Duo. Segundo Schweitzer et al. (2020), o processo de cristalização adicional e o glaze térmico resultam em um aumento da densificação do material, além de uma redução na porosidade superficial. Além disso, Manziuc et al. (2023) destacam que esse tipo de processamento térmico altera a distribuição e o tamanho dos cristais, levando a uma matriz cerâmica mais compacta e com maior estabilidade mecânica.

Essas mudanças estruturais decorrentes da queima podem justificar os resultados observados nos parâmetros de translucidez e opalescência entre CD e CDQ. Nos protocolos de polimento manual, especialmente EX e PK, observou-se uma maior alteração de translucidez na cerâmica CD (sem queima), enquanto na CDQ essa alteração foi mais limitada. Isso pode ser explicado pelo fato de que, nas amostras CD, a superfície menos densa e com menor resistência pode ter sofrido maior remoção de material durante o polimento. Esse fenômeno é relatado por Silva et al. (2014) e Kurt et al. (2020), que apontam que polimentos invasivos ou em superfícies menos densificadas tendem a produzir maiores modificações na interação da luz com o material.

Com base nos resultados obtidos, é possível observar que os protocolos manuais de polimento PK, EX e OG, promoveram os maiores incrementos na translucidez ( $\Delta TP$ ) da vitrocerâmica Celtra Duo sem queima adicional (CD). Este achado é clinicamente relevante, principalmente para restaurações em regiões anteriores, onde a naturalidade óptica é essencial. Além disso, todos os protocolos manuais testados também resultaram em um aumento da opalescência ( $\Delta OP$ ), o que pode contribuir para um efeito biomimético mais próximo ao esmalte dental natural. (KURT et al., 2020; DELLA BONA et al., 2014)

Os achados deste estudo destacam a importância da escolha criteriosa do protocolo de polimento nas cerâmicas vítreas, considerando seu impacto direto sobre propriedades ópticas fundamentais como translucidez, contraste e opalescência. Observou-se que cada método testado alterou de maneira distinta essas características, com destaque para o glaze, que se comportou de forma única ao reduzir a opalescência. Esses resultados reforçam a necessidade de considerar não apenas a lisura e brilho superficiais, mas também os efeitos ópticos produzidos, a fim de obter um resultado estético mais natural e harmônico, especialmente em áreas de maior exigência estética.

## 6 CONCLUSÃO

Os diferentes protocolos de polimento afetam de maneira distinta as propriedades ópticas da cerâmica de silicato de lítio reforçada com zircônia (ZLS) com e sem queima, sendo os polimentos manuais capazes de intensificar a translucidez e a opalescência.

A queima adicional (CDQ), mostrou menor impacto sobre as propriedades ópticas, o que indica maior estabilidade.

O glaze (GL) promoveu uma redução significativa na opalescência, o que pode comprometer a biomimética em determinadas situações clínicas.

Não foram observadas diferenças significativas nos valores de contraste entre os diferentes grupos, reforçando que essa propriedade pode ser menos sensível às variações de acabamento superficial.

## REFERÊNCIAS

- AL-JOHANI, H.; ALHOTAN, A.; ALHIJJI, S.; SILIKAS, N.; SATTERTHWAITE, J. Staining and bleaching susceptibility of zirconia-reinforced lithium silicate glass-ceramics with different thicknesses, translucencies, and fabrication methods. **The Journal Of Prosthetic Dentistry**, [S.L.], v. 131, n. 3, p. 530.e.1-530.e.11, mar. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.01.002>.
- AKAR, G. C.; PEKKAN, G.; ÇAL, E.; ESKITAŞÇİDOĞLU, G.; ÖZCAN, M. Effects of surface-finishing protocols on the roughness, color change, and translucency of different ceramic systems. **The Journal Of Prosthetic Dentistry**, [S.L.], v. 112, n. 2, p. 314-321, ago. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2013.09.033>.
- BARÃO, V. A. R.; GENNARI-FILHO, H.; GOIATO, M. C.; SANTOS, D. M.; PESQUEIRA, A. A. Factors to Achieve Aesthetics in All-Ceramic Restorations. **Journal Of Craniofacial Surgery**, [S.L.], v. 21, n. 6, p. 2007-2012, nov. 2010. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health). <http://dx.doi.org/10.1097/scs.0b013e3181f535d4>.
- CHOI, Y.; KANG, K.; ATT, W. Effect of aging process on some properties of conventional and multilayered translucent zirconia for monolithic restorations. **Ceramics International**, [S.L.], v. 46, n. 2, p. 1854-1868, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.09.162>.
- DELLA BONA, A.; NOGUEIRA, A. D.; PECHO, O. E. Optical properties of CAD–CAM ceramic systems. **Journal Of Dentistry**, [S.L.], v. 42, n. 9, p. 1202-1209, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2014.07.005>.
- ELAMIN, H. O.; ABUBAKR, N. H.; IBRAHIM, Y. E. Identifying the tooth shade in group of patients using Vita Easyshade. **European Journal Of Dentistry**, [S.L.], v. 09, n. 02, p. 213-217, abr. 2015. Georg Thieme Verlag KG. <http://dx.doi.org/10.4103/1305-7456.156828>.
- FU, L.; ENGQVIST, H.; XIA, W. Glass–Ceramics in Dentistry: a review. **Materials**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 1049, 26 fev. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ma13051049>.
- HÖLAND, W.; BEALL, G. H. *Glass-Ceramic Technology*. 1. ed. Westerville: **The American Ceramic Society**, 2012. ISBN 9780470487877. DOI: 10.1002/9781118265987.
- KILINC, H.; TURGUT, S. Optical behaviors of esthetic CAD-CAM restorations after different surface finishing and polishing procedures and UV aging: An in vitro study. **The Journal of Prosthetic Dentistry**, 2018 Jul; 120(1):107-113. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.09.019. Epub 2018 Jan 6. PMID: 29310878.
- KURTULMUS-YILMAZ, S.; ULUSOY, M. Comparison of the translucency of shaded zirconia all-ceramic systems. **The Journal Of Advanced Prosthodontics**, [S.L.], v. 6, n. 5, p. 415, 2014. The Korean Academy of Prosthodontics. <http://dx.doi.org/10.4047/jap.2014.6.5.415>.

KURT, M.; GÜNGÖR, M. B.; NEMLI, S. K.; BAL, B. T. Effects of glazing methods on the optical and surface properties of silicate ceramics. **Journal Of Prosthodontic Research**, [S.L.], v. 64, n. 2, p. 202-209, abr. 2020. Japan Prosthodontic Society. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpor.2019.07.005>

Lee J. H.; Kim S. H.; Han J. S.; Yeo I. L.; Yoon H. I. Optical and Surface Properties of Monolithic Zirconia after Simulated Toothbrushing. *Materials* (Basel). 2019 Apr 10;12(7):1158. doi: 10.3390/ma12071158. PMID: 30974750; PMCID: PMC6480371.

MANZIUC, M.; KUI, A.; CHISNOIU, A.; LABUNEȚ, A.; NEGUCIOIU, M.; ISPAS, A.; BUDURU, S. Zirconia-Reinforced Lithium Silicate Ceramic in Digital Dentistry: a comprehensive literature review of our current understanding. **Medicina**, [S.L.], v. 59, n. 12, p. 2135, 8 dez. 2023.

MATZINGER, M.; HAHNEL, S.; PREIS, V.; ROSENTRITT, M. Polishing effects and wear performance of chairside CAD/CAM materials. **Clinical Oral Investigations**, [S.L.], v. 23, n. 2, p. 725-737, 16 maio 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00784-018-2473-3>

PREIS, V.; GRUMSER, K.; SCHNEIDER-FEYRER, S.; BEHR, M.; ROSENTRITT, M. Cycle-dependent in vitro wear performance of dental ceramics after clinical surface treatments. **Journal Of The Mechanical Behavior Of Biomedical Materials**, [S.L.], v. 53, p. 49-58, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2015.08.009>.

SCHWEITZER, F.; SPINTZYK, S.; GEIS-GERSTORFER, J.; HUETTIG, F. Influence of minimal extended firing on dimensional, optical, and mechanical properties of crystalized zirconia-reinforced lithium silicate glass ceramic. **Journal Of The Mechanical Behavior Of Biomedical Materials**, [S.L.], v. 104, p. 1-8, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103644>

SILVA, T. M.; SALVIA, A. C. R. D.; CARVALHO, R. F.; PAGANI, C.; ROCHA, D. M.; SILVA, E. Galera da. Polishing for glass ceramics: which protocol?. **Journal Of Prosthodontic Research**, [S.L.], v. 58, n. 3, p. 160-170, jul. 2014. Japan Prosthodontic Society. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpor.2014.02.001>

SORRENTINO, R.; RUGGIERO, G.; MAURO, M. I.; BRESCHI, L.; LEUCI, S.; ZARONE, F. Optical behaviors, surface treatment, adhesion, and clinical indications of zirconia-reinforced lithium silicate (ZLS): a narrative review. **Journal Of Dentistry**, [S.L.], v. 112, p. 103722, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103722>

VICHI, A.; LOUCA, C.; CORCIOLANI, G.; FERRARI, M. Colorrelated to ceramic and zirconia restorations: a review. **Dental materials**. v.27, n.1, p. 97-108, Jan 2011. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0109564110004616?via%3Dihub>

WANG, F.; TAKAHASHI, H.; IWASAKI, N. Translucency of dental ceramics with different thicknesses, **Journal of Prosthetic Dentistry**, v.110, n.1, p.14-20, Jul 2013. [https://www.thejpd.org/article/S0022-3913\(13\)60333-9/abstract](https://www.thejpd.org/article/S0022-3913(13)60333-9/abstract)

ZARONE, F.; MAURO, M. I.; AUSIELLO, P.; RUGGIERO, G.; SORRENTINO, R. Current status on lithium disilicate and zirconia: a narrative review. **BMC Oral Health**, v. 19, p. 134, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31272441/>. Acesso em: 30 mar. 2023.

ZARONE, F.; RUGGIERO, G.; LEONE, R.; BRESCHI, L.; LEUCI, S.; SORRENTINO, R. Zirconia-reinforced lithium silicate (ZLS) mechanical and biological properties: a literature review. **Journal Of Dentistry**, [S.L.], v. 109, p. 103661, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103661>

ZIYAD, T. A.; ABU-NABA'A, L. A.; ALMOHAMMED, S. N. Optical properties of CAD-CAM monolithic systems compared: three multi-layered zirconia and one lithium disilicate system. **Heliyon**, [S.L.], v. 7, n. 10, p. 08151, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08151>.