

AVALIAÇÃO CLÍNICA DE FLUXO DIGITAL ADITIVO PARA RESTAURAÇÕES INDIRETAS IMPRESSAS COM RESINA FOTOPOLIMERIZÁVEL

ALICE E SOUZA HENRIQUES¹; EDUARDO TROTA CHAVES²; CAMILLY DA SILVA ZAIONS³; LUIZ ALEXANDRE CHISINI⁴; KAUÊ FARIAS COLLARES⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – aliceeshenriques@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – eduardo.trota@yahoo.com

³Universidade Federal de Pelotas – zaionscamilly19@gmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – alexandrechisini@gmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – kauecollares@gmail.com

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

A inovação consiste na implementação e na avaliação clínica de um protocolo digital aditivo para a confecção de restaurações dentárias indiretas do tipo *onlay* e *overlay*. O protocolo integra escaneamento intraoral, planejamento em software odontológico, impressão tridimensional (3D), pós-processamento e cimentação adesiva, substituindo etapas do fluxo convencional relacionadas à moldagem física, à obtenção de modelos de gesso e à confecção manual das restaurações. O processo inicia com escaneamento intraoral do preparo dentário, planejamento virtual da peça em software de CAD odontológico. A partir do desenho digital, a restauração é impressa com a resina fotopolimerizável VoxelPrint Ceramic (FGM Produtos Odontológicos, Joinville, Santa Catarina, Brasil). O material apresenta alto teor de carga inorgânica vitrocerâmica e é indicado para a confecção de restaurações definitivas como coroas, facetas, *inlays*, *onlays* e *overlays* indiretas (FGM, 2024). Após a impressão, a peça passa por lavagem e pós-cura em unidade fotopolimerizadora e, posteriormente, pelas etapas de acabamento e polimento antes da cimentação.

Embora os componentes empregados já estejam disponíveis comercialmente, o principal diferencial do projeto está em implementar um protocolo completo com um material de impressão 3D indicado para uso definitivo, ainda recente no mercado e submetê-lo a uma avaliação clínica controlada, considerando que a literatura ainda é predominantemente laboratorial. O protocolo proposto está sendo avaliado em um ensaio clínico randomizado, com apoio da FGM, que compara o desempenho das restaurações *onlay* e *overlay* impressas em 3D ao das restaurações indiretas convencionais em resina composta, segundo os critérios da FDI (Federação Dentária Internacional). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Pelotas (CAAE nº 78101624.9.0000.5318).

Entre as evidências disponíveis, ainda predominantemente laboratoriais, Terán Lozada et al. (2026) observaram que a VoxelPrint apresentou, de forma geral, um dos melhores desempenhos físico-mecânicos entre as quatro resinas impressas avaliadas, considerando resistência flexural, módulo elástico, resistências à compressão e à tração, microdureza, rugosidade superficial, sorção de água e grau de conversão. Bora et al. (2024) destacaram que a incorporação de cargas cerâmicas às resinas de impressão 3D pode contribuir para suas propriedades mecânicas. Tribst et al. (2024), ao compararem restaurações indiretas convencionais, fresadas e impressas em 3D, observaram resistência à fratura comparável entre as técnicas impressa e fresada. Apesar desses resultados promissores, ainda são escassas as evidências clínicas controladas

sobre restaurações *onlay* e *overlay* confeccionadas com a VoxelPrint Ceramic, lacuna que o presente projeto busca preencher. Além disso, a manufatura aditiva apresenta potencial para reduzir o desperdício de material em comparação à fresagem subtrativa, por produzir a restauração camada a camada sem o desgaste de blocos pré-fabricados.

2. ANÁLISE DE MERCADO

O público-alvo é composto por cirurgiões-dentistas, clínicas com produção interna e laboratórios de prótese que utilizam ou pretendem incorporar fluxos digitais. As principais alternativas concorrentes são a confecção convencional em resina composta, os sistemas CAD/CAM subtrativos e outras resinas indicadas para impressão de restaurações definitivas. O diferencial do projeto está na padronização e na avaliação clínica de um protocolo para restaurações *onlay* e *overlay*, gerando evidências que poderão auxiliar profissionais e laboratórios na decisão de incorporar a tecnologia.

O mercado global de impressão 3D odontológica foi estimado em US\$ 4,37 bilhões em 2025, com projeção de alcançar US\$ 15,64 bilhões em 2034 e crescimento anual composto de 15,21% (THE INSIGHT PARTNERS, 2026). Considera-se como TAM o mercado global de impressão 3D odontológica; como SAM, o segmento brasileiro de clínicas e laboratórios que produzem restaurações definitivas por fluxo digital; e como SOM, os estabelecimentos com infraestrutura compatível e possibilidade inicial de adoção do protocolo por meio da atuação da fabricante e de parcerias de capacitação e transferência tecnológica.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Por se tratar de um projeto de iniciação tecnológica ainda em fase de avaliação clínica, não foi estabelecido um modelo comercial próprio. Em uma futura etapa de transferência tecnológica, a geração de valor poderá ocorrer pela incorporação do protocolo por clínicas e laboratórios e pela comercialização do material pela fabricante. Os custos para os adotantes incluem a aquisição da resina, o acesso a scanner intraoral, software de CAD, impressora 3D e equipamentos de pós-processamento, que poderão ser próprios ou terceirizados. A parceria com a FGM representa a principal interface para a disseminação do protocolo e para futuras ações de capacitação e transferência da tecnologia.

O projeto não possui propriedade intelectual registrada nem pedido de proteção previsto nesta etapa, uma vez que utiliza materiais, equipamentos e softwares comerciais integrados em um protocolo clínico. Seu principal produto tecnológico será, portanto, um fluxo padronizado e respaldado por evidências, acompanhado dos parâmetros de fabricação, pós-processamento, cimentação e avaliação clínica necessários para sua reprodução. A necessidade e a possibilidade de outras formas de proteção ou transferência poderão ser reavaliadas após a conclusão do ensaio.

Atualmente, o projeto encontra-se na fase de inclusão e acompanhamento dos participantes. A alocação aleatória entre restaurações impressas em 3D e restaurações convencionais em resina composta, a execução dos procedimentos e as avaliações pelos critérios FDI já estão em andamento, com parte dos casos em acompanhamento há aproximadamente um ano. As próximas etapas incluem a conclusão da amostra, o acompanhamento longitudinal, a coleta e a dupla digitação dos dados, a auditoria automatizada do banco, a análise descritiva e

comparativa entre os grupos e a divulgação dos resultados em eventos científicos e periódicos. Como o protocolo já está sendo aplicado em pacientes, mas a avaliação da amostra completa ainda não foi concluída, estima-se que se encontre no nível de maturidade tecnológica TRL 6, correspondente à demonstração em ambiente relevante.

Os principais desafios incluem a disponibilidade limitada de evidências clínicas, possíveis perdas de acompanhamento, a variabilidade da resposta clínica entre os participantes, a curva de aprendizado e o investimento inicial necessário para adoção do fluxo por terceiros. Para reduzir esses riscos, o ensaio emprega alocação aleatória, acompanhamento estruturado, critérios FDI padronizados, dupla digitação e auditoria dos dados. Mesmo que as restaurações impressas não apresentem desempenho semelhante ou superior ao das restaurações convencionais, os achados permitirão identificar limitações e delimitar as condições de indicação da tecnologia.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

Espera-se que o ensaio produza evidências sobre o desempenho das restaurações *onlay* e *overlay* impressas, permitindo compará-las às restaurações indiretas convencionais em resina composta segundo critérios FDI. Os resultados fornecerão informações sobre alterações funcionais, biológicas e estéticas ao longo do acompanhamento e indicarão se o protocolo apresenta desempenho compatível com sua utilização clínica. Mesmo que as restaurações impressas não apresentem desempenho semelhante ou superior ao das restaurações convencionais, os achados permitirão identificar e delimitar as condições de indicação da tecnologia.

Do ponto de vista econômico e produtivo, o protocolo apresenta potencial para simplificar etapas de fabricação, reduzir o consumo de material e permitir a produção simultânea de múltiplas restaurações. Daher et al. (2024) observaram menor custo de produção e menor investimento inicial em equipamentos para restaurações impressas em comparação com materiais fresados. Entretanto, como custo, tempo e desperdício não constituem desfechos do presente ensaio, esses benefícios deverão ser confirmados em avaliações específicas antes de serem atribuídos ao protocolo.

O principal impacto científico será a produção de evidência clínica controlada sobre um material recente, complementando os estudos laboratoriais disponíveis e auxiliando profissionais, laboratórios e fabricantes na tomada de decisão sobre sua adoção. A padronização das etapas de planejamento, impressão, pós-processamento, cimentação e acompanhamento também poderá favorecer a reprodução do fluxo em outros centros e sua avaliação em diferentes indicações restauradoras.

Como impactos formativos e tecnológicos, o projeto contribui para a capacitação de estudantes e profissionais em manufatura aditiva e aproxima universidade, indústria e prática clínica. Após a conclusão do ensaio, o protocolo e os resultados poderão subsidiar publicações, atividades de capacitação, novas parcerias com o setor produtivo e estudos voltados à expansão da tecnologia para outras restaurações definitivas.

5. CONCLUSÕES

O projeto implementou um fluxo digital aditivo para a confecção de restaurações indiretas do tipo *onlay* e *overlay* com a resina VoxelPrint Ceramic. Esse protocolo está sendo avaliado em um ensaio clínico randomizado, comparando desempenho ao de restaurações convencionais em resina composta. Seu principal diferencial consiste na geração de evidência clínica controlada para uma tecnologia ainda sustentada predominantemente por estudos laboratoriais. A conclusão do acompanhamento permitirá determinar o desempenho clínico do protocolo e delimitar suas possibilidades de aplicação em clínicas e laboratórios. Os resultados também poderão orientar sua adoção, subsidiar estudos sobre custos, tempo e desperdício de material, fortalecendo a parceria já estabelecida entre universidade e indústria, por meio da disponibilização de materiais pela FGM e do acompanhamento dos resultados do projeto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORA, P. V.; SAYED AHMED, A.; ALFORD, A.; PITTTMAN, K.; THOMAS, V.; LAWSON, N. C. Characterization of materials used for 3D printing dental crowns and hybrid prostheses. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, v. 36, n. 1, p. 220–230, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/jerd.13174>.

DAHER, R.; ARDU, S.; DI BELLA, E.; KREJCI, I.; DUC, O. Efficiency of 3D-printed composite resin restorations compared with subtractive materials: evaluation of fatigue behavior, cost, and time of production. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 131, n. 5, p. 943–950, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.08.001>.

FGM PRODUTOS ODONTOLÓGICOS. *VoxelPrint Ceramic*. Joinville: FGM Produtos Odontológicos, 2024. Disponível em: <https://fgmdentalgroup.com/intl/voxelprint/>. Acesso em: 8 set. 2026.

TERÁN LOZADA, M. I.; AVENDAÑO RONDÓN, A. K.; CORDEIRO, I. B.; BORELLA, P. S.; JUNQUEIRA, P. C.; MENDONÇA, G.; SOARES, C. J. Physicomechanical properties of 3D-printed resins for producing definitive dental crowns. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 135, n. 5, p. 963–971, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2025.07.017>.

THE INSIGHT PARTNERS. *Dental 3D printing market size, growth and demand by 2034*. 2026. Disponível em: <https://www.theinsightpartners.com/reports/dental-3d-printing-market>. Acesso em: 8 set. 2026.

TRIBST, J. P. M.; VEERMAN, A.; PEREIRA, G. K. R.; KLEVERLAAN, C. J.; DAL PIVA, A. M. O. Comparative strength study of indirect permanent restorations: 3D-printed, milled, and conventional dental composites. *Clinics and Practice*, v. 14, n. 5, p. 1940–1952, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/clinpract14050154>.