UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

ALINNE SIQUEIRA CARVALHO

COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS DE MONTAGEM EM ARTICULADORES VIRTUAIS: fotografia versus valores médios na determinação da posição maxilomandibular

2024

ALINNE SIOUEIRA CARVALHO

COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS DE MONTAGEM EM ARTICULADORES VIRTUAIS: fotografia versus valores médios na determinação da posição maxilomandibular

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE, pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À SAÚDE BUCAL.

Área: Prótese e Materiais dentários. Linha de pesquisa: Desempenho de materiais e técnicas em odontologia restauradora.

Orientador: Prof. Assoc. Alexandre Luiz Souto Borges

São José dos Campos

2024

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2024]. Disponível em http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Carvalho, Alinne Siqueira
Comparação de técnicas de montagem em articuladores virtuais: fotografia versus valores médios na determinação da posição maxilomandibular. / Alinne Siqueira Carvalho. - São José dos Campos : [s.n.], 2024.
106 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2024.
Orientador: Alexandre Luiz Souto Borges.

1. Articulador. 2. Arco facial virtual. 3. Cad Cam. I. Borges, Alexandre Luiz Souto, orient. II. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. III. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - UNESP. IV. Universidade Estadual Paulista (UNESP). V. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Achille Bassi e Seção Técnica de Informática, ICMC/USP
com adaptações - STATI, STRAUD e DTI do ICT/UNESP.
Renata Aparecida Couto Martins CRB-8/8376

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A pesquisa explorou a implementação e uso de articuladores virtuais na odontologia restauradora, promovendo avanços significativos na precisão e eficácia dos tratamentos. Alinhada ao ODS 3 (saúde de qualidade), inovou na área de Desempenho de Materiais em Odontologia, melhorando a qualidade do atendimento, reduzindo custos e tempo, e capacitando profissionais. Contribuiu para o desenvolvimento sustentável ao promover saúde acessível e de qualidade, impactando local, regional e nacionalmente, com potencial de internacionalização.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The research explored the implementation and use of virtual articulators in restorative dentistry, promoting significant advancements in treatment precision and effectiveness. Aligned with SDG 3 (Good Health and Well-being), it innovated in the field of Dental Materials Performance, enhancing service quality, reducing costs and time, and empowering professionals. It contributed to sustainable development by promoting accessible and high-quality healthcare, impacting locally, regionally, and nationally, with potential for internationalization.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Assoc. Alexandre Luiz Souto Borges (Orientador)
Universidade Estadual Paulista (Unesp)
Instituto de Ciência e Tecnologia
Campus de São José dos Campos

Prof. Assoc. Tarcisio José de Arruda Paes Junior
Universidade Estadual Paulista (Unesp)
Instituto de Ciência e Tecnologia
Campus de São José dos Campos

Prof Dr Cláudio Luis de Melo-Silva
Centro Universitário de Volta Redonda
Unifoa
Campus de Três Poços

São José dos Campos, 26 de abril de 2024.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, cuja graça e orientação foram a luz que guiou cada passo deste caminho. Agradeço por cada momento de inspiração, força e serenidade concedidos durante esta jornada.

Minha gratidão profunda à minha família: ao meu marido Murilo, por seu amor incondicional, apoio e paciência, aos meus filhos Isaac e Luca, que são a alegria e motivação do meu dia a dia. A minha mãe, Lourdes, cuja força e sabedoria são o alicerce da minha vida, e ao meu avô Waldir, que aos 97 anos continua sendo um exemplo de resiliência, dedicação e amor pela vida.

Cada um de vocês tem sido essencial nessa caminhada, oferecendo o apoio e o amor que fortaleceram meu espírito e alimentaram minha determinação. A todos vocês, minha eterna gratidão e amor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, minha infinita gratidão a Deus, cuja força e presença foram o alicerce que me manteve firme ao longo desta caminhada. Sem Ele, os desafios teriam sido intransponíveis e cada vitória, menos doce.

À Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Unesp e seus integrantes, por proporcionarem um ambiente acadêmico de excelência que cultivou meu crescimento intelectual e profissional.

Minha gratidão ao Programa de Pós-graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal é imensa, mas reservo um agradecimento especial ao meu orientador, Prof. Assoc. Alexandre Luiz Souto Borges, cuja confiança e escolha em me orientar, apesar dos desafios previstos em decorrência da minha intensa rotina de vida, marcaram profundamente minha jornada acadêmica. Sua crença inabalável em meu potencial, suporte intelectual e emocional incansável, e orientação detalhada não apenas iluminaram meu caminho para a conclusão desta pesquisa, mas também me fizeram crescer imensuravelmente como pessoa e profissional. Seu apoio foi uma força motriz essencial que me guiou através dos momentos mais desafiadores, tornando esta jornada não apenas possível, mas profundamente enriquecedora.

Ao Prof. Dr. Luis Claudio Melo, expresso minha profunda gratidão por ser uma fonte constante de inspiração e um pilar de apoio inabalável. É com especial reconhecimento que agradeço ao senhor, que, desde os primeiros passos da minha graduação, depositou fé em meu potencial e me orientou com sua distinta sabedoria.

Expresso minha profunda gratidão ao Prof. Assoc. Tarcisio José De Arruda Paes Junior, cuja dedicação exemplar e incansável disponibilidade em oferecer auxílio foram essenciais para o meu desenvolvimento acadêmico. Sua habilidade em compartilhar conhecimento, combinada com um carisma genuíno e profunda sabedoria, não apenas enriqueceu minha aprendizagem, mas serviu também como uma fonte constante

de inspiração. Seu ensino, marcado por uma entrega apaixonada e uma perspicácia intelectual, desempenhou um papel fundamental na moldagem da minha trajetória acadêmica.

Ao Prof. Assoc. Guilherme Saavedra, agradeço imensamente por dedicar seu tempo e compartilhar seu vasto e valioso conhecimento em odontologia digital, mesmo diante de um cotidiano repleto de compromissos. Sua generosidade em ensinar e orientar foi fundamental para realização dessa pesquisa .

À sabedoria e humanidade do Prof. Dr. Marco Antonio Bottino, que personifica a excelência tanto na vida quanto na profissão, minha profunda gratidão. Seu apoio inabalável e compreensão perspicaz foram fundamentais para o sucesso desta jornada em prótese dentária. Agradeço por iluminar este caminho com sua orientação sábia e carisma marcante.

Expresso minha sincera gratidão à Professora Renata Mello pelo conhecimento e pelas conversas enriquecedoras que compartilhamos. Seu apoio e perspectivas foram essenciais para meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

Aos docentes do programa, minha gratidão por cada lição e por impulsionarem minha busca pelo conhecimento.

Um agradecimento especial às incansáveis Sandra e Carol, da secretaria da pós-graduação, e à Ju, do departamento, cujo apoio e eficiência foram essenciais em cada etapa deste processo.

Minha aluna de Iniciação Científica, Adriele Ramos, merece um agradecimento especial pelo seu comprometimento e pela jornada que compartilhamos.

A Beatriz Serralheiro, mais do que uma colega, você se tornou uma amiga para a vida, compartilhando comigo cada desafio e vitória. Nossa amizade é sem dúvida um dos tesouros que levo desta experiência.

Gostaria de expressar minha gratidão aos meus colegas de curso, que mais que amigos, tornaram-se verdadeiros irmãos ao longo desta jornada acadêmica. Um agradecimento especial a Genesis Alfoonzo, Willian Simões, Elisa Aboucauch, Talita Queiroz, Caique Casarine e Pedro Gobato, por enriquecerem minha experiência universitária com momentos de alegria e diversão inestimáveis.
Agradeço também imensamente a Larissa Barreto, Laurinha, Karina, Amir, Ana Carolina, Tati Cursino, Ju, Ana Paula e todos aqueles que, de maneira significativa, contribuíram não apenas para o desenvolvimento desta pesquisa, mas para todo o percurso que trilhei. O compartilhamento de momentos, as risadas e o apoio constante foram pilares fundamentais para alcançar esta conquista.

Agradeço profundamente a Pedro, que, apesar de sua vasta expertise em tecnologia digital e dos compromissos de sua agenda como professor, generosamente dedicou seu tempo para contribuir com esta pesquisa.

À querida mestra Amanda Miranda e à Aling Technology, pelo suporte tecnológico e acadêmico inestimável.

Estendo meus sinceros agradecimentos à empresa Exocad pela generosidade em conceder licenças à UNESP, possibilitando que nós, alunos, nos beneficiemos e avancemos em nossos estudos com esta ferramenta de vanguarda.

Agradeço sinceramente aos voluntários que colaboraram com esta pesquisa de maneira tão entusiástica e às profissionais do Departamento de Odontologia Restauradora por sua disponibilidade e pelo auxílio inestimável que proporcionaram.

Ao Murilo, meu esposo, pelo apoio incondicional, por compartilhar comigo as longas noites de estudo e cuidar de nossa família com tanto amor. Aos meus filhos, Isaac e Luca, por compreenderem minhas ausências e encherem minha vida de alegria. E à minha mãe, Lourdes, por ser a rocha de apoio e cuidado incansável. Vocês foram fundamentais em cada passo deste caminho.

Cada um de vocês desempenhou um papel vital nesta jornada, e por isso, meu coração transborda em gratidão. Obrigada por estarem ao meu lado, tornando possível alcançar este marco em minha vida.

“Andá com fé eu vou que a fé não costuma faiá” Gilberto Gil

RESUMO

Carvalho, A. S. Comparação de técnicas de montagem em articuladores virtuais: fotografia versus valores médios na determinação da posição maxilomandibular. São José dos Campos (Sp): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência E Tecnologia; 2024.

Os articuladores virtuais visam superar limitações dos métodos analógicos na odontologia, integrando-se ao avanço do sistema CAD/CAM para um fluxo digital crescente. Entre as tecnologias disponíveis, destacam-se os articuladores simulados matematicamente, que facilitam reproduções precisas e rápidas na rotina clínica virtual. Este estudo avaliou a eficácia desses articuladores, comparando técnicas de montagem utilizando fotografias e valores médios automáticos. A pesquisa sobre articuladores virtuais na odontologia restauradora investigou a transição dos métodos analógicos para os
virtuais, focando na melhoria da precisão e eficiência dos tratamentos. Utilizando escaneamento intraoral, foram obtidos modelos digitais em Máxima Intercuspidação Habitual (MIH) e posição protusiva, processados no software DentalCad. Dois métodos de montagem foram comparados: um utilizando fotografias para montagem arbitrária e outro baseado em valores médios automáticos. Os resultados mostraram que ambas as técnicas alcançaram níveis similares de precisão na reprodução da posição protusiva da maxila. Especificamente, a média das distâncias entre os modelos protusivos e o modelo de controle não apresentou diferenças estatisticamente significantes ($p > 0,05$), conforme ANOVA de medições repetidas. Esses achados destacam a eficácia dos articuladores virtuais em integrar fluxos de trabalho digitais na odontologia, eliminando as limitações dos métodos analógicos. Conclui-se que a adoção de articuladores virtuais oferece uma abordagem promissora para a odontologia restauradora moderna, com potencial para melhorar significativamente a precisão dos tratamentos e otimizar a prática clínica.

Palavras-chave: articulador; arco facial virtual; Cad Cam.

ABSTRACT

Carvalho, A. S. Comparison of mounting techniques in virtual articulators: photography versus average values in determining maxillomandibular position. *são josé dos campos (sp): são paulo state university (unesp), institute of science and technology; 2024.*

Virtual articulators aim to overcome limitations of analog methods in dentistry, integrating with the advancement of CAD/CAM systems for a growing digital workflow. Among the available technologies, mathematically simulated articulators stand out for enabling precise and rapid reproductions in virtual clinical routines. This study assessed the effectiveness of these articulators by comparing assembly techniques using photographs and automated average values. Research on virtual articulators in restorative dentistry investigated the transition from analog to virtual methods, focusing on enhancing treatment precision and efficiency. Through intraoral scanning, digital models in Maximum Intercuspation Habitual (MIH) and protrusive position were obtained and processed using DentalCad software. Two assembly methods were compared: one using photographs for arbitrary assembly and another based on automated average values. Results indicated that both techniques achieved similar levels of accuracy in reproducing the protrusive position of the maxilla. Specifically, the mean distances between protrusive models and the control model showed no statistically significant differences ($p > 0.05$), as per repeated measures ANOVA. These findings underscore the efficacy of virtual articulators in integrating digital workflows in dentistry, eliminating analog method limitations. It is concluded that adopting virtual articulators offers a promising approach for modern restorative dentistry, with potential to significantly enhance treatment precision and optimize clinical practice.

Keywords: articulator; virtual facebow; Cad Cam.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de Montagem 42
Figura 2- Fotografia de perfil 43
Figura 3- Fotografia de perfil recortada 44
Figura 4-Seleção pôntico anatômico e modelos no articulador 45
Figura 5-Programa Exocad DentalCAD seleção arquivos STL 46
Figura 6-Modelos em vista oclusal 47
Figura 7-Modelos em vista de perfil 48
Figura 8-Modelos em modo esboço e imagem 2D 49
Figura 9 - Modelos em vista oclusal com imagem 2D totalmente alinhada 50
Figura 10- Modelos e imagem 2D alinhados 51
Figura 11– Modelos e imagem 2D sem alinhamento com o articulador 52
Figura 12– Marcação dos pontos para alinhamento 53
Figura 13– Modelos, imagem 2D e Articulador 54
Figura 14- Localização do plano de Frankfurt 55
Figura 15– Localização do ponto Beyron 56
Figura 16– Seleção de dentes que influenciarão o movimento 57
Figura 17- Seleção de Vista no Software 58
Figura 18 - Opção automático 59
Figura 19 - Determinação dos pontos 60
Figura 20-Vista lateral dos pontos 60
Figura 21 - Visualização do plano oclusal 61
Figura 22- Ajustes de Parâmetros do Articulador 62
Figura 23- Articulador habilitado 62
Figura 24-Fluxograma Mensuração 64
Figura 25-Seleção da ferramenta de proximidade 65
Figura 26-Distancia no modelo em Protusiva 66
Figura 27-Vista oclusal dos contatos 66
Figura 28- Mensuração da distancia inicial dos modelos STL em MIH 67
Figura 29-Escolha da posição protusiva 68
Figura 30-Contatos oclusais em protusiva 68

Figura 31– Distância final protusiva 69
Figura 32 - Distâncias Finais em milímetros 70
Figura 33- Ferramenta Adicionar/Remover malhas 71
Figura 34-Seleção da opção "carregar a cena" 72
Figura 35- Arquivo exportado como uma malha genérica 73
Figura 36- União das malhas do STL Protusivo controle 74
Figura 37- Alinhamento dos arquivos 3D 75
Figura 38-Opção "melhor ajuste" 76
Figura 39-Sobreposição das malhas STL-PRO Controle e STL MIH (Foto- Auto) 76
Figura 40 - Marcação do ponto cervical inicial STL Pro controle 77
Figura 41- Marcação do ponto cervical final STL Pro controle 78
Figura 42- Visualização da sobreposição com os pontos marcados 78
Figura 43 - Visualização da sobreposição com os pontos marcados em MIH 79
Figura 44 - Ajuste final da posição protusiva STL Auto/foto por sobreposição ao modelo STL pro controle 80

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
2 REVISÃO DE LITERATURA 18
2.1 Articuladores 18
2.2 Classificação dos articuladores mecânicos 24
2.2.1 Classificação de Weimberg (1963) 24
2.2.2 Classificação de Bergstron (1950) 25
2.2.3 Articuladores semiajustáveis 25
2.3 Era virtual 30
2.3.1 Tecnologia CAD-CAM 30
2.3.2 Método De Escaneamento 31
3 PROPOSIÇÃO 37
4 MATERIAIS E METODOS 38
4.1 Cálculo amostral 38
4.1.1 Sujeitos de pesquisa 38
4.1.2 Critérios de inclusão 39
4.1.3 Critérios de exclusão 39
4.1.4 Riscos 39
4.1.5 Benefícios 40
4.2 Equipamentos utilizados 40
4.3 Métodos de obtenção das imagens 40
4.4 Obtenção do registro 40
4.5 Montagem no articulador virtual 41
4.5.1 Montagem matematicamente simulada sem individualização 42
4.5.2 Montagem matematicamente simulada individualizada utilizando fotografia 43
4.6 Descrição da técnica de montagem Individualizada utilizando fotografia 43
4.7 Técnica de montagem sem individualização 57
5 ANÁLISE DIGITAL 63
5.1 Metodologias de Comparação Aplicadas 63

5.2 Ajuste Protusivo guiado por Contato Oclusal 63
5.3 Ajuste Protusivo Guiado por Sobreposição de Imagem 63
5.4 Detalhamento das Análises 64
5.5 Análise do STL PRO Controle guiada por contato oclusal STL Auto e STL Foto 64
5.6 Análise de Ajuste Protusivo guiada por contato oclusal STL Auto e STL Foto 67
5.7 Análise de Ajuste Protusivo guiada por sobreposição de Imagem – STL AUTO e STL FOTO: 70
5.8 Analise Estatística 80
5.9 Hipóteses de Nulidade 81
6 RESULTADOS 82
7 DISCUSSÃO 89
8 CONCLUSÃO 96
REFERÊNCIAS 97

1 INTRODUÇÃO

Não há dúvidas de que o sucesso do tratamento odontológico está intrinsecamente ligado a um planejamento adequado. Analisar modelos dentários é fundamental para facilitar a visualização da condição oclusal do paciente e permite que o profissional estude o caso sem interferências de tecido mole, proporcionando um contexto mais claro para avaliações precisas (Redmond, 2001). A utilização de articuladores, ferramentas que representam as maxilas e a oclusão do paciente, é vital para identificar possíveis interferências oclusais que podem resultar em danos irreversíveis se não forem corretamente diagnosticadas (Beck et al., 1962; Maestre-Ferrin et al., 2012; Myers et al., 1974).

Historicamente, a busca por metodologias que aprimorem a transferência do relacionamento maxilomandibular para modelos tem sido um foco de pesquisa contínuo (Mitchell et al., 1978). Os articuladores evoluíram significativamente ao longo das décadas, com classificações que incluem desde modelos mecânicos simples até versões completamente ajustáveis e simuladas matematicamente (Rihani, 1980; Koralakunte, 2014; Lepidi et al., 2021).

Para facilitar o entendimento, uma classificação didática os divide em categorias: articuladores mecânicos (AM), que podem ser simples ou não ajustáveis, semiajustáveis e totalmente ajustáveis, e articuladores virtuais (AV), que são classificados em completamente ajustáveis (CA) e simulados matematicamente (SM) (Rihani, 1980; Koralakunte, 2014; Lepidi et al., 2021).

Um método físico amplamente adotado na odontologia para simulação funcional entre as maxilas e a base do crânio é o articulador mecânico semiajustável (ASA). Os ASAs, conhecidos por seu bom custo-benefício, são eficientes quando utilizados corretamente. No entanto, eles ainda apresentam limitações na reprodução de características biológicas do paciente, como a mobilidade dental, padrão de mastigação muscular, elasticidade dos ligamentos e do tecido conjuntivo (Koralakunte, 2014). O processo de montagem mecânico requer etapas precisas, que dependem do material utilizado, bem como do conhecimento e habilidade do operador. A precisão pode ser afetada por distorções no modelo de gesso, no material de registro oclusal, falhas durante o reposicionamento do modelo e registro

interoclusal no articulador, e pela falta de estabilidade do equipamento (Kordaß et al., 2002).

Paralelamente, o avanço das tecnologias digitais tem impulsionado o desenvolvimento dos articuladores virtuais (AVs), que oferecem soluções mais simplificadas e precisas para problemas complexos. Utilizando software especializado, os AVs podem reproduzir as relações maxilomandibulares de forma a superar muitas das limitações dos articuladores mecânicos. Com um AV, é possível não apenas avaliar movimentos dinâmicos mas também analisar de forma específica áreas de interesse, como o movimento da articulação temporomandibular (Bisler et al., 2002; Maestre-Ferrin et al., 2012).

Os dados para os AVs podem ser adquiridos tanto por escaneamento direto, utilizando um scanner intraoral (IOS), quanto de maneira indireta, por meio de escaneamento de modelos de gesso com um scanner de bancada (DSL). Este fluxo totalmente digital facilita a comunicação entre o dentista e o laboratório e serve como uma ferramenta didática entre o profissional e o paciente para elucidar as opções de tratamento (Lepidi et al., 2021; Koralakunte, 2014; Solaberrieta et al., 2013). Os articuladores virtuais, integrados aos sistemas CAD CAM, permitem a execução de planejamentos dentro de um fluxo totalmente digital, reproduzindo movimentos estáticos e dinâmicos adquiridos de modelos virtuais 3D (Lepidi et al., 2021).

Embora os conceitos de aplicação dos AMs e AVs sejam os mesmos, eles diferem nas etapas de montagem. O uso de um arco facial, tanto nos sistemas mecânicos quanto nos virtuais, orienta o plano oclusal em relação à base do crânio (Teteruck, 1966). Além disso, na literatura, várias técnicas são discutidas para a transferência das arcadas digitalizadas para o articulador virtual, incluindo o uso de um arco facial virtual (AFV). Os AVs completamente ajustáveis empregam AFVs, que são capazes de capturar movimentos em tempo real e aplicá-los a modelos 3D que serão transformados em 4D, com exemplos de dispositivos presentes no mercado incluindo MODJAW, utilizando tecnologia óptica, e JMAnalyser, através de ultrassom (Lepidi et al., 2021; Koralakunte, 2014). Apesar das inovações, o custo associado a esses equipamentos é um fator que ainda limita sua utilização mais ampla.

Uma abordagem simplificada para a montagem em articuladores virtuais matematicamente simulados envolve o uso da técnica de montagem média, que emprega modelos digitais nos formatos STL (Standard Triangle Language) ou PLY

(Polygon File Format). Este procedimento se baseia nos valores médios estabelecidos pelo triângulo de Bonwill e pelo ângulo de Balkwill, utilizando a borda incisal do incisivo central inferior e as cúspides dos primeiros molares mandibulares como pontos de referência. O objetivo desta metodologia é simular a relação espacial maxilomandibular sem a necessidade de coleta de dados anatômicos particulares do paciente, promovendo uma integração mais eficiente aos fluxos de trabalho digitais. No entanto, é crucial reconhecer que a ausência de consideração pelas variações anatômicas individuais pode comprometer a exatidão da montagem final (Inoue et al., 2024).

Um método totalmente digital para transferir a posição da maxila consiste na montagem virtual através de sobreposição de imagens fotográficas padronizadas com arquivo STL obtido por escaneamento intraoral. Usando um aplicativo CAD, a transferência virtual do arco facial pode ser realizada com apenas duas fotografias do paciente (Petre et al., 2019).

As técnicas de configuração para articuladores, especialmente os modelos virtuais, continuam sendo temas de intensos debates tanto no meio acadêmico quanto na prática clínica. Apesar do interesse crescente, observa-se uma lacuna notável na literatura quanto à eficácia e à aplicabilidade prática desses articuladores virtuais. A maioria dos estudos disponíveis foca em processos complexos, como tomografias e escaneamentos faciais, sugerindo uma carência de investigações acessíveis e métodos que possam ser implementados rotineiramente na prática clínica (Lepidi et al., 2021). Essa lacuna evidencia a necessidade de pesquisas sistemáticas que explorem as capacidades, desafios e potenciais benefícios dos articuladores virtuais em uma variedade de contextos.

Diante disso, surgiram os questionamentos que motivaram esta pesquisa: Seria possível reproduzir de maneira simplificada e precisa o posicionamento do complexo maxilo-mandibular em relação ao crânio usando um articulador virtual? Portanto, este estudo avaliou duas metodologias *in vivo* usando um articulador virtual simulado matematicamente: a primeira baseada em fotografia lateral, que utiliza o plano sagital do paciente para configurar o posicionamento maxilo-mandibular no articulador virtual, e a segunda, uma abordagem não personalizada, utilizando apenas modelos digitais e valores médios para a montagem virtual.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Articuladores são ferramentas indispensáveis na odontologia, empregadas com o objetivo de analisar, avaliar, preparar e executar tratamentos dentários de forma precisa. Ao longo do tempo, esses dispositivos têm evoluído significativamente, aprimorando sua capacidade de replicar de maneira representativa as posições e movimentos mandibulares.

2.1 Articuladores

A importância de compreender a oclusão dentária e a relação entre a maxila e a mandíbula não pode ser subestimada quando se trata do sucesso de intervenções na área odontológica. À medida que pesquisadores do passado aprofundaram seus conhecimentos sobre o funcionamento das articulações temporomandibulares (ATMs) e o movimento da mandíbula, surgiu a necessidade de desenvolver um dispositivo capaz de simular as ATMs, posicionar modelos e replicar os movimentos mandibulares necessários para obter uma oclusão satisfatória (Starcke et al.,1999a).

A história dos articuladores possui uma extensa trajetória, e devido à falta de registros antigos, torna-se, por vezes, enigmática (Mitchell et al.,1978). É evidente que cada autor opta por conta-la de maneira única; apesar de haver divergências de datas entre as literaturas, neste estudo, a narrativa foi abordada de maneira sequencial, com foco nos pontos cruciais para melhor compreensão do estado atual desses dispositivos.

Não se pode com precisão determinar o momento exato em que tudo teve início, entretanto, desde 1900, a paternidade da invenção do articulador tem sido atribuída a dois destacados dentistas europeus dos séculos XVIII e XIX, Philip Pfaff e Jean Baptiste Gariot (Mitchell et al.,1978; Starcke et al.,1999a).

No entanto no ano de 1711, Matias Purman se destacou ao desenvolver modelos de cera, no entanto, foi apenas no ano de 1756 que o renomado dentista

Philip Pfaff deu um passo crucial ao buscar recriar o relacionamento entre a maxila e a mandíbula. Em seu trabalho, Pfaff descreveu um processo que incorporava o emprego de cera e gesso na construção de modelos destinados à análise da oclusão, e assim surgiu o que ficou conhecido como o oclusor de gesso. As contribuições de Pfaff foram cruciais no desenvolvimento dos articuladores odontológicos. Seu método de registro em cera e criação de modelos de gesso marcou um avanço significativo no campo da odontologia e estabeleceu as bases para futuras inovações em articuladores e técnicas de tratamento odontológico (Jairaj et al., 2021; Mitchell et al.,1978; Starcke et al.,1999a).

Em 1805, Jean Baptiste Gariot descreveu um método de fazer moldes de gesso e estendê-los posteriormente para fornecer um mecanismo de indexação afim de preservar a relação dos moldes, esse dispositivo possuía movimentos de abertura e fechamento exclusivamente (Mitchell et al.,1978; Jairaj et al., 2021).

Gariot foi, de fato, o primeiro a descrever um articulador de gesso e grande parte dos autores o consideram como o pioneiro na criação de um articulador. No entanto, é importante reconhecer que, como ele nunca reivindicou a autoria desse procedimento como uma inovação, pode ser que não tenha sido o seu criador original. Em suma, tudo que se pode afirmar, com base em evidências documentadas, é que Phillip Pfaff foi o primeiro a descrever um método para fazer impressões com cera e modelos de gesso; e Jean Baptiste Gariot foi o primeiro a descrever um método para montar moldes e preservar a relação entre eles usando um índice de gesso (conhecido como articulador de gesso) (Mitchell et al.,1978; Starcke et al.,1999b).

Em 1830 aparecem na história da odontologia os primeiros exemplos documentados de articuladores de dobradiça mecânica: Os articuladores de Horvath e Ladmore. Esses e outros exemplos iniciais foram descritos como instrumentos compostos por duas peças de madeira ou metal que eram unidas por meio de uma dobradiça simples (Jairaj et al., 2021; Starcke et al.,1999b).

Em torno de 1850, foi discutido na literatura um dos primeiros articuladores de dobradiça mecânica. O articulador de Thomas Evans além ter sido considerado um instrumento simples para o uso, teve como ênfase a sua capacidade de preservar ou alterar a dimensão vertical conforme necessário (Jairaj et al., 2021; Starcke et al.,1999b).

No ano de 1840 as primeiras patentes para articuladores dentários nos

Estados Unidos foram concedidas a dois dentistas da Filadélfia, James Cameron e Daniel T. Evens. O articulador de Cameron apresentou um design único, distinguindo-se de outros dispositivos de dobradiça, e a razão para essa escolha não está clara. Esse dispositivo, além dos movimentos de abertura e fechamento, permitia pequenos ajustes anteroposteriores e laterais. O articulador de Daniel T. Evans representou um avanço na compreensão do movimento da mandíbula, pode ser classificado como o primeiro articulador de guia condilar fixo. No entanto, Evens não obteve sucesso, provavelmente porque os dentistas da época não conseguiram compreender o mecanismo desse dispositivo (Jairaj et al., 2021; Starcke et al., 2000).

Na categoria de articuladores com guia condilar fixa, pode-se mencionar outros dois exemplos patenteados, o Starr (1868) e o Antes-Lewis (1895, 1900). No entanto, teve destaque o trabalho de Bonwill (1858) com sua teoria do "triângulo equilátero", na qual estabeleceu uma distância intercondilar de 10 cm formando um triângulo equilátero com o ponto interincisal, introduzindo assim seu próprio articulador. Seu dispositivo, chamado de articulador anatômico, também permitia movimentos laterais e protrusivos, no entanto, não considerava a inclinação da guia condilar. Alguns pesquisadores sugerem que Bonwill pode ter sido o pioneiro a estabelecer uma conexão entre os movimentos condilares e a oclusão dentária (Bohner et al., 2016; Starcke et al., 2000).

Em 1889, 50 anos após a primeira patente, Richmond S. Hayes incorporaria o próximo avanço importante em um articulador, o caminho condilar para baixo e para a frente em seu instrumento de guia condilar fixa (Starcke et al., 2000).

O próximo marco significativo no projeto de articuladores ocorreu em 1896, quando William E. Walker obteve duas patentes para os primeiros articuladores com guias condilares ajustáveis. O terceiro modelo do articulador Walker foi o pioneiro em apresentar guias condilares ajustáveis individualmente, além de centros de rotação ajustáveis para o movimento lateral. Esses últimos dois modelos de Walker foram patenteados em sequência e ficaram conhecidos como "Articuladores Fisiológicos de Walker". Para medir o trajeto de cada côndilo separadamente, Walker desenvolveu um dispositivo extra oral chamado "clinômetro facial". No entanto, era um método complexo e não permitia a transferência ativa dos modelos para o articulador (Starcke et al., 2000). Em 28 de novembro de 1911, C.E. Luce, de Stuttgart, na Alemanha, obteve a primeira patente para um articulador com pino incisal e conjunto de guia.

Luce, anteriormente de Boston, Massachusetts, também foi um dos primeiros pesquisadores a descrever os movimentos descendentes e para frente dos côndilos em 1889. Já nos anos 1840, um "limitador vertical" era uma parte comum dos articuladores verticais mecânicos, demonstrando que alguns dos primeiros inventores reconheciam a importância de preservar o alinhamento vertical dos modelos no articulador e incluíam essa característica (Starcke et al., 2001).

Em 1866, Balkwill fez observações detalhadas sobre o movimento da mandíbula. Em sua análise do movimento de abertura, ele formulou a hipótese de que o contorno posterior articulado do côndilo da mandíbula inferior se assemelha a uma combinação de dois círculos. O círculo interno é menor e independente, enquanto o círculo externo é maior. O côndilo se articula com a cavidade glenoide, permitindo um movimento que se assemelha a uma dobradiça, com deslocamento para frente e para trás. Embora haja um movimento lateral leve, ambos os lados se movem dentro dos raios do mesmo círculo. A combinação dos movimentos dos dois círculos resulta em um movimento lateral relativamente simples no lado "rotativo" e um movimento para frente e para baixo no lado "orbitante" (Starcke et al., 2000).

Em 1899, Grittman aprimorou o design dos articuladores, aumentando a distância entre os dois braços, que anteriormente se mantinham paralelos. Esse ajuste fixou a trajetória condilar no braço superior. Grittman, da Universidade da Pensilvânia, inventou e refinou a estrutura do articulador, incluindo guias condilares fixadas a um ângulo de 15 graus (Mitchell et al., 1978; Jairaj et al., 2021).

Em 1890, o anatomista Ferdinand Graf von Spee de Kiel, Alemanha , chamou a atenção para a curvatura das superfícies oclusais dos dentes naturais e as curvas correspondentes dos caminhos condilares (Starcke et al., 2000).

No mesmo ano, Carl Christensen se deparou com as obras de Von Spee e destacou a importância de reconhecer que Spee havia apontado a verdade fundamental e direta de que o caminho percorrido pelo côndilo durante o "movimento de mordida" deveria estar alinhado com o "caminho da mordida". Foi então, em Copenhague, no ano de 1902, que Christensen inovou ao introduzir o conceito de registrar a protrusão como um método clínico para ajustar o articulador. Ele foi o primeiro a descrever um método intraoral para obter um registro protrusivo estático a fim de determinar a inclinação condilar, e ele produziu um articulador com guia condilar ajustável, o articulador "Rational", para promover essa técnica. A partir

de sua descrição da técnica, surgiu o que Posselt chamou de "fenômeno de Christensen," ou seja, a separação posterior das margens de oclusão que ocorre quando a mandíbula se move de uma posição centrada para uma posição protrusiva (Starcke et al., 2000).

George G. Campion, em 1905, chegou à conclusão de que era fundamental montar os modelos em articuladores, assegurando que o eixo de rotação coincidisse com o eixo de abertura e fechamento (Starcke et al., 2002).

Em 1906, H. K. Snow desenvolveu seu arco facial, baseando-se no trabalho de Balkwill. Esse avanço permitiu uma construção mais precisa dos modelos no articulador, estabelecendo uma conexão direta entre o arco mandibular e as cabeças condilares. No entanto, essa abordagem ainda carecia de uma referência a um plano. Além disso, Snow concebeu seu próprio articulador (Starcke et al., 2000 e 2002).

Em 1912, Alfred Gysi obteve sua primeira patente nos Estados Unidos para o seu articulador "Adaptável". Naquele período, esse dispositivo era considerado muito avançado e inovador devido à inclusão da capacidade de registros extraorais. Apesar de suas inovações, o articulador "Adaptável" não foi amplamente adotado pela comunidade profissional da época, levando assim ao surgimento do GysiSimplex (Mitchell et al.,1978; Starcke et al., 2009).

Em dezembro de 1913, Ray W. Burch, de Hart, Michigan, obteve a quarta patente para um articulador com pino incisal. Ele inovou ao transformar os arcos faciais maxilares e mandibulares em um articulador funcional, permitindo ajustes enquanto o paciente os utilizava. Logo após, George B. Snow patenteou o "Acme" em novembro de 1915, o primeiro articulador com pino e guia incisal. Outros inventores, como David M. Shaw e Rupert E. Hall, também contribuíram com avanços na tecnologia de articuladores (Starcke et al., 2009).

Em 1918, George Monson introduziu um articulador com base na teoria esférica de Von Spee, que postula que os dentes inferiores deslizam sobre os dentes superiores como se estivessem em uma superfície esférica. De acordo com essa teoria, o raio médio da esfera é de cerca de 4 polegadas (Mitchell et al., 1978).

Então em 1921 RUDOLPH HANAU dá início a uma era dinâmica dos articuladores criando “HANAU MOD H.” com guias condilares e incisais ajustáveis. Esse dispositivo possui postes condilares duplos em cada lado. Os postes internos desempenham um duplo papel de funcionarem como guias condilares horizontais e

servirem como centros de rotação variáveis quando são movidos para dentro ou para fora (Mitchell et al., 1978).

Em 1924, Norman G. Bennett, em seu estudo sobre os movimentos mandibulares, documentou o deslocamento do centro de rotação, introduzindo o conceito do ângulo que posteriormente seria denominado ângulo de Bennett. Esse fenômeno ocorre durante o movimento de lateralidade, quando o côndilo no lado de balanceio percorre uma trajetória superior a 10 mm, realizando uma fase de excursão por translação para frente, para baixo e para dentro. Esse movimento, quando comparado a um plano vertical, forma o Ângulo de Bennett (Starcke et al.,2009).

Em 1926, Alfred Gisy inventou o articulador Trubyte, que permitia a localização precisa do ângulo de Bennett e da mesa incisal, adaptável ao traçado do arco gótico (Mitchell et al., 1978)

Em 1936, Bradrup-Wongnsen apresentaram um articulador que combinou características do articulador de Wadsworth, Hanau mod. H e do Gisy Trubyte. Esse articulador era altamente ajustável, com parafusos para controlar os movimentos anteriores e posteriores (Mitchell et al., 1978).

Em 1939, McCollum lançou o Gnatoscópio, um articulador adaptável que acompanhava um arco facial cinemático e um pantógrafo (Starcke et al., 2009).

Em 1944, Beyron indicou a construção do articulador Dentatus, que permitia ajustar o ângulo de Bennett em até 40 graus. Posteriormente, foram introduzi-los os modelos DENTATUS ARL e o DENTATUS ARH, que possibilitaram a montagem dos modelos no plano de Frankfurt (Starcke et al., 2009).

Em 1955, Stuart criou seu articulador totalmente ajustável, capaz de reproduzir todos os movimentos mandibulares do paciente. Logo, no mesmo ano, em resposta à demanda por um dispositivo mais simples, desenvolveu o articulador semiajustável chamado Wip-Mix que deu origem a modelos que são utilizados até os dias atuais (Mann et al., 2017)

Em 1957, Bergstron introduziu o conceito "Arcon" em seu articulador, conectando as estruturas condilares ao ramo inferior (Beck et al., 1962).

Em 1956, Niles Guichet lançou o articulador DENAR, totalmente ajustável.

É importante ressaltar que, além dos dispositivos e abordagens previamente mencionados neste estudo, várias outras teorias foram concebidas. Evidente que algumas tiveram mais destaque, mas todas de alguma forma contribuíram para o

processo de evolução dos articuladores.

2.2 Classificação dos articuladores mecânicos

Existem diversas categorias de articuladores descritas na literatura, o que pode tornar a compreensão e o estudo desses dispositivos complexos. Esse estudo, focou nas classificações didáticas e amplamente adotadas por profissionais na atualidade.

2.2.1 Classificação de Weimberg (1963)

Nesta categorização, os articuladores são agrupados em quatro categorias distintas: arbitrários, oclusores, semiajustáveis e totalmente ajustáveis (Rihani et al., 1980).

Os articuladores arbitrários que são desenvolvidos com base em teorias empíricas, como a teoria esférica, que postulava que as curvas dos arcos dentários correspondiam a uma esfera com cerca de 10 cm de raio, centrada na crista Galli do osso etmoide, ou a teoria do triângulo equilátero de Bonwill, que originou a maioria dos articuladores e propunha que os mecanismos condilares fossem posicionados de maneira que a distância entre os côndilos representasse um dos lados do triângulo (aproximadamente 11 a 13 cm), entre outras (Rihani et al., 1980).

Os articuladores do tipo oclusor ou estático são caracterizados por limitações em seus movimentos, com ênfase na interrelação dentária durante a abertura e o fechamento (Rihani et al., 1980).

Os articuladores semiajustáveis (ASA) permitem alguns ajustes, como a trajetória condilar sagital e lateral (Bennett), trajetória incisal e, em alguns casos, a distância intercondilar, ainda que por média. Exemplos são articuladores como Gnatus, Dentatus, BioArt e Whip Mix, entre outros (Rihani et al., 1980)

Por fim, os articuladores totalmente ajustáveis permitem uma ampla gama de ajustes, reproduzindo com maior fidelidade os movimentos naturais da mandíbula durante a função, o que resulta em resultados superiores, dependendo do tipo de reabilitação. Nesse tipo de articulador, é possível ajustar a trajetória condilar sagital e

lateral, trajetória incisal, ângulo de Fischer e distância intercondilar adaptável (Rihani et al., 1980; Weinberg et al., 1963).

2.2.2 Classificação de Bergstron (1950)

O autor classifica os articuladores semiajustáveis com base na posição das esferas condilares da seguinte forma: articuladores do tipo ARCON são aqueles equipamentos em que os mecanismos que representam os côndilos (esferas) estão conectados ao ramo inferior, enquanto os articuladores do tipo NÃO ARCON são aqueles em que o mecanismo representativo dos côndilos está ligado ao ramo superior do articulador. A conexão da guia condilar ao ramo superior ou inferior não tem repercussões significativas, exceto pelo fato de que nos articuladores do tipo ARCON, ao elevar o ramo superior, a guia condilar pode ter sua inclinação alterada. Isso significa que, uma vez que os modelos superior e inferior estejam montados, a separação entre os ramos não pode ser modificada (Beck et al.,1962).

2.2.3 Articuladores semiajustáveis

Os articuladores semiajustáveis (ASA) talvez sejam os dispositivos mais estudados na história da odontologia.

É uma ferramenta essencial na odontologia, permitindo uma previsibilidade e otimização dos resultados. Se utilizado corretamente, minimiza a necessidade de intervenções na cavidade oral do paciente e alcança resultados mais fiéis, sem prejudicar o sistema estomatognático.

Dentre os parâmetros identificados nos modelos das ASAs para a transferência das relações intermaxilares, é possível destacar a inclinação condilar, o ângulo de Bennett e a distância intercondilar.

Esses aparelhos são amplamente empregados em procedimentos restauradores complexos e geralmente atendem às necessidades da maioria dos casos protéticos. Eles são projetados para se assemelhar ao tamanho anatômico das

estruturas que representam e têm a capacidade de receber registros do arco facial, possibilitando assim a transferência da relação entre o eixo de articulação do paciente e os dentes superiores para o articulador (Zaghlan et al., 2022).

Para garantir que os movimentos do articulador se aproximem o máximo possível dos movimentos do sistema mastigatório humano, os moldes devem ser montados no articulador usando um dispositivo chamado arco facial (AF). Isso estabelece uma relação entre os moldes de gesso e as articulações do articulador, simulando a relação entre os maxilares do paciente e suas articulações temporomandibulares. Portanto, tradicionalmente os modelos superior e inferior devem ser alinhados com alta precisão, usando um registro intercuspídico (Solaberrieta et al., 2015a).

O AF é um instrumento que visa transferir o eixo de articulação mandibular de um paciente para um articulador e registrar como o plano oclusal se relaciona com o plano de referência horizontal. De acordo com a metodologia de transferência utilizada esse dispositivo pode ser classificado como arbitrário ou cinemático. Arcos faciais cinemáticos são alinhados com o eixo condilar das articulações temporomandibulares e registram os movimentos mandibulares associados à sua função. O processo de utilização do arco facial cinemático envolve um registro da captura o movimento mandibular em tempo real. Isso fornece informações precisas sobre a posição da mandíbula em relação à maxila, a inclinação condilar, a trajetória de Bennett e outros parâmetros relevantes. O arco facial arbitrário são mais básicos e não reproduzem o movimento mandibular em sua totalidade, permitem uma são configuração com base em uma relação arbitrária entre a maxila e a mandíbula (Brandrup, 1953)

O plano oclusal é um ponto de referência essencial para precisão dos tratamentos odontológicos, ele é representando pelas margens e as superfícies dos dentes. Esse plano desempenha um papel crítico na determinação da posição da maxila em relação à cabeça no articulador e para transferi-lo com precisão para o articulador, são utilizados instrumentos específicos e arcos faciais (Mazurkiewicz et al., 2022; Sanjna et al., 2017).

Planos horizontais com referências diferentes da situação real afetam os ângulos dos caminhos condilares. Os sistemas de articulação geralmente utilizam planos como Frankfurt, Camper e eixo orbital, que não são paralelos entre si, com um ângulo de até 7 graus entre o plano eixo orbital e o plano Frankfurt (Mazurkiewicz et

al., 2022).

Apesar de alguns estudos questionarem o uso do arco facial, ele ainda é considerado um acessório indispensável para transferência do modelo maxilar junto aos articuladores semiajustáveis. Quando o AF é usado, os modelos maxilar e mandibular são montados em relação às articulações temporomandibulares e próximos ao eixo da articulação condilar (Farias-Neto et al., 2013).

Em casos aonde pacientes possuem uma oclusão instável, é comum observar diferenças na forma como os dentes se encaixam em oclusão máxima (MIH) e na relação cêntrica (RC). Essa discrepância entre MIH e RC pode resultar em sintomas desagradáveis, tais como ruídos articulares ou desconforto na articulação temporomandibular (ATM). É, portanto, crucial determinar com precisão a posição da oclusão do paciente, pois isso desempenha um papel fundamental no planejamento do tratamento. Em alguns casos, ajustes na oclusão, é fundamental identificar tanto as posições estáticas quanto dinâmicas da mandíbula, o que envolve o uso de um arco facial e a utilização de um articulador (De Boever et al., 2008; Park et al., 2021).

É fundamental que o operador compreenda os princípios subjacentes à mecânica do articulador. O ASA muitas vezes é utilizado com valores de referência fixos, como uma inclinação condilar sagital de 30 graus e um ângulo de Bennett de 15 graus, embora seja capaz de realizar diversos ajustes para personalização do tratamento do paciente.

Dentre esses ajustes, destaca-se a capacidade de modificar esses fatores. A individualização da inclinação da guia condilar é obtida por meio de registros oclusais durante a protrusão. É importante observar que essa inclinação condilar sagital influencia diretamente a profundidade da fossa e a altura das cúspides das restaurações fabricadas, pois quanto mais íngreme o ângulo condilar, mais proeminentes serão as cúspides. Portanto, configurar o ângulo condilar do articulador com uma inclinação mais acentuada do que a do paciente resultará em um erro oclusal positivo na restauração fabricada, com cúspides elevadas, causando interferências durante os movimentos excursivos da mandíbula. Por outro lado, configurar a inclinação condilar do articulador com um ângulo mais suave do que o do paciente resultará em um erro oclusal negativo, com fossas mais amplas ou cúspides mais planas nos movimentos excêntricos. O ângulo de Bennett é o ângulo formado entre a trajetória do côndilo durante o movimento de lateralidade e o plano sagital. A

individualização é obtida por meio de registros oclusais laterais. Esse ângulo tem impacto direto na largura das fossas centrais dos dentes posteriores. Quanto maior o ângulo de Bennett, maior deve ser a largura das fossas centrais dos dentes posteriores para permitir a liberdade de movimento da mandíbula sem interferências no lado de balanceio (Zaghlan et al., 2022).

Alguns modelos de articuladores semiajustáveis possuem a distância condilar predefinida em 110 mm, mas em outros designs dessa categoria, também há a possibilidade de personalizar essa distância. Mesmo que essa personalização esteja restrita a três opções de distância (pequena, média e grande), ajustar a largura condilar no articulador para coincidir com a do paciente permite uma reprodução mais precisa dos movimentos laterais da mandíbula (Zaghlan et al., 2022; Myers, 1974).

Apesar da variedade de modelos existentes, nenhum articulador mecânico consegue reproduzir de maneira precisa os movimentos mandibulares naturais e funcionais. Quanto mais versátil o articulador, mais eficaz o tratamento, reduzindo a necessidade de modificações na boca do paciente. Diversos elementos afetam a decisão sobre qual articulador utilizar, mas, geralmente, os modelos semiajustáveis são adequados para a maioria dos tratamentos (Zaghlan et al.,2022).

Outra questão relevante é a possibilidade de trocar informações entre articuladores, o que é uma preocupação central para clínicos que desejam utilizar um único articulador com a certeza de que os modelos dentários possam ser transferidos com precisão entre diferentes equipamentos. Entretanto, pesquisas apontam que essa capacidade de intercâmbio é um fator crítico e pode variar significativamente com base na marca do articulador escolhido (Hatzi et al.,2001).

O articulador procura replicar os movimentos da mandíbula e as diversas relações dentárias que envolvem esses movimentos. No entanto, é importante destacar que os articuladores mecânicos são rígidos com padrões fixos de movimento. Em contraste, a mandíbula é conduzida por músculos, ligamentos e superfícies articulares que não possuem rigidez, além de ser influenciada pelos dentes e pelo complexo sistema neuromuscular (Myers, 1974).

Embora ao longo dos anos tenha havido um esforço contínuo em retratar o articulador como um dispositivo mecânico capaz de replicar os movimentos da mandíbula com a maior fidelidade possível, ainda hoje isso é desafiador devido às limitações desse aparelho.

Um estudo clínico que usou dados de axiografia computadorizada para montar articuladores mostrou que, embora esses dispositivos tenham conseguido replicar a maioria dos contatos excursivos dos dentes em protrusão (82%) e movimentos laterais (90%), a precisão em termos de localização exata dos contatos foi de 66% na protrusão e 81% nos movimentos laterais. Além disso, os articuladores criaram contatos dentários excêntricos adicionais em cerca de 20% dos casos na protrusão e 27% no lado esquerdo e 20% no lado direito nos movimentos laterais. Esses resultados destacam limitações na capacidade dos articuladores em reproduzir contatos excursivos dos dentes e ressaltam a importância de considerar essas limitações ao usar articuladores em procedimentos diagnósticos e restauradores na odontologia (Tamaki et al.,1997).

Uma abordagem para minimizar essa questão consiste no uso de dispositivos totalmente ajustáveis que através de métodos mais complexos podem reproduzir de forma precisa os movimentos da mandíbula. Entretanto, os tratamentos que envolvem tais dispositivos são mais demorados, onerosos e requerem um nível maior de expertise, tanto por parte do profissional de odontologia quanto do técnico. No cenário atual, a maioria das coroas individuais e próteses parciais fixas é produzida em aparelhos de menor capacidade, que muitas vezes não conseguem replicar adequadamente os movimentos mandibulares. Ainda que as imprecisões originadas por esses dispositivos possam ser ajustadas durante o procedimento, o que consome um tempo significativo no consultório, o resultado final não atinge a oclusão ideal. Infelizmente, muitas dessas imprecisões não são identificadas e podem persistir como obstáculos na oclusão, frequentemente provocando sintomas associados a problemas na articulação dos dentes (Kordaß et al.,2002).

Os articuladores mecânicos enfrentam desafios na reprodução precisa dos movimentos naturais da mandíbula devido a suas limitações estruturais. Eles operam com padrões mecânicos fixos e não têm a capacidade de simular os movimentos naturais que dependem de músculos e tecidos moles. Além disso, a mobilidade dentária real não pode ser adequadamente reproduzida com modelos de gesso, o que resulta em limitações na representação da dinâmica da oclusão. Também existem obstáculos relacionados à montagem precisa dos modelos no articulador, às variações dimensionais do gesso, à deformação dos materiais de registro da mordida e à estabilidade do próprio articulador. Isso sem mencionar a habilidade do

profissional em transferir com precisão os dados do paciente para o articulador mecânico (Kordaß et al.,2002).

A progressão dos dispositivos de articulação odontológica ao longo dos anos reflete a contínua melhoria nas práticas e tecnologias da odontologia. Esses aparelhos desempenham um papel fundamental na odontologia, pois capacitam os profissionais a replicar com precisão os movimentos da mandíbula e maxila, desempenhando um papel crucial no diagnóstico, planejamento e realização de procedimentos dentários (Jairaj et al., 2021).

2.3 Era virtual

2.3.1 Tecnologia CAD-CAM

Há mais de três décadas, o Professor Dr. Werner H. Mörmann e o engenheiro eletricista Dr. Marco Brandestini, ao buscarem uma alternativa às restaurações de amálgama, conceberam a ideia de um sistema que utilizasse a computação para criar restaurações cerâmicas. Esse sistema, conhecido como reconstrutor de cerâmicas (CEREC), foi desenvolvido em Zurique, na Suíça e foi um divisor de águas para o início exponencial de uma era virtual na odontologia (Bohner et al.,2016).

Os sistemas CAD/CAM (Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing) são tecnologias revolucionárias na odontologia e em muitos outros campos. No contexto odontológico, esses sistemas têm desempenhado um papel significativo no avanço da prática odontológica, melhorando a precisão, eficiência e qualidade dos tratamentos.

A odontologia contemporânea utiliza esses sistemas CAD/CAM para inovar a fabricação de próteses dentárias. Através de um sistema específico para utilização em consultório conhecido como Chairside (ao lado da cadeira), em um curto espaço de tempo, o profissional pode realizar o escaneamento, projetar o dente em computador e em seguida fresar o material escolhido que estará praticamente pronto para cimentação. Adaptar-se ao conceito virtual exige tempo e concentração, no

entanto, com prática contínua, a operação do sistema torna-se quase instintiva (Christensen, 2006).

Tal como acontece com qualquer nova tecnologia, o CAD/CAM é constantemente atualizado e melhorado pelos fabricantes, e essas alterações devem ser tratadas uma a uma à medida que surgem (Christensen, 2006).

Apesar da precisão no ajuste das coroas CAD-CAM, a criação de uma superfície oclusal ideal é desafiadora, uma vez que requer a compreensão da relação dinâmica entre as arcadas dentárias. Os primeiros softwares baseavam-se apenas na morfologia oclusal com padrões pré-definidos. No entanto, inovações, como a integração de um articulador virtual, têm aprimorado o processo, considerando a relação estática e dinâmica entre a coroa e o dente oposto (Bohner et al.,2016).

Para considerar os movimentos funcionais na criação de novas restaurações, é essencial incorporar um articulador no processo. O uso da tecnologia não elimina a necessidade do articulador que possa reproduzir as posições e relacionamento maxilares. Se o foco do dentista ou técnico estiver apenas na relação dos dentes antagonistas na posição de máxima intercuspidação, uma análise estática é suficiente. No entanto, a mandíbula não funciona dessa forma e essa abordagem resultaria em imprecisões, exigindo ajustes significativos, entre outros problemas (Solaberrieta et al., 2014).

Nas últimas décadas, os articuladores mecânicos vêm sendo substituídos ou complementados por sistemas de design e fabricação assistidos por computador odontológicos. O progresso no desenvolvimento e aprimoramento desses sistemas estão gerando resultados otimistas (Kordaß et al.,2002).

2.3.2 **Método De Escaneamento**

A avaliação do sistema mastigatório requer medidas quantitativas e qualitativas das interações oclusais entre os dentes. De extrema importância são o número, a localização e o tamanho dos contatos oclusais e as forças aplicadas nesses contatos. Os sistemas convencionais disponíveis podem não ser precisos devido a espessura e rigidez do material utilizado (DeLong et al., 2002; Garrido Garcia et

al.,1997).

O método computadorizado em três dimensões (3D) disponibiliza recursos de análise oclusal para mensurar as interações oclusais de maneira não invasiva, por meio de representações tridimensionais das arcadas dentárias. Ao criar um paciente virtual, as imagens digitais dos tecidos duros e moles do paciente são adequadamente correlacionadas por meio do software do computador. Com esses dados, além da análise em tempo real, é viável realizar comparações sequenciais a fim de identificar e mensurar o desgaste oclusal e as alterações nos tecidos duros e moles do paciente, abrangendo também os pontos de contato oclusais (DeLong et al., 2002).

Os sistemas de digitalização intraoral e os programas de computador relacionados são agora amplamente empregados na prática clínica. Modelos virtuais podem ser obtidos digitalizando diretamente as arcadas dentro da cavidade oral ou através de escaneamento dos modelos dentários físicos, ou digitalizando diretamente os arcos dentro da boca (Edher et al., 2018).

O escaneamento intraoral tem diversas vantagens sobre os outros métodos de moldagem, como praticidade e menor tempo para a realização, precisão nos registros, conforto para o paciente e facilidade de realização em pacientes com reflexo de vômito ou respiração bucal. Além disso, nos modelos escaneados é possível a visualização em detalhes de diversas estruturas da boca e dispensa grandes espaços físicos para o armazenamento dos dados (Lepidi et al., 2021).

Há diferentes abordagens para transferir dados analógicos dos pacientes para o ambiente virtual. A abordagem direta é totalmente baseada em processos digitais, enquanto a abordagem indireta mescla elementos analógicos com procedimentos digitais, criando uma alternativa intermediária entre os métodos totalmente analógicos e os inteiramente digitais. Embora a literatura sobre a precisão dessas técnicas ainda seja limitada, a maioria dos estudos disponíveis sugere que o método de transferência indireta pode ser confiável para análises virtuais de oclusão na prática clínica (Edher et al., 2018; Úry et al., 2018).

Na odontologia, existem dois métodos principais de escaneamento: o escaneamento indireto, que envolve a criação de moldagens da boca do paciente que são posteriormente digitalizadas, e o escaneamento direto, conhecido como escaneamento intraoral, onde os dados são coletados diretamente na boca do paciente usando um scanner de mão. O escaneamento indireto é preciso, mas

demorado, enquanto o escaneamento direto é mais rápido e confortável para o paciente. Ambos têm suas vantagens e são amplamente usados na odontologia digital (Lepidi et al., 2021).

2.3.2 Articulador Virtual

Na odontologia, a tecnologia pode fornecer melhor educação por simulação, bem como para aprimorar procedimentos de trabalho que convencionalmente são limitados, por exemplo, o articulador mecânico.

O uso da tecnologia da informação foi disseminado em várias áreas da odontologia, incluindo a importante área da oclusão. Nesse contexto, os articuladores virtuais (AV) surgiram como potenciais substitutos dos articuladores mecânicos tradicionais, com o objetivo de superar as limitações associadas a esses dispositivos convencionais (Lepidi et al., 2021).

Atualmente, vários sistemas CAD/CAM oferecem uma simulação de articulador virtual. O primeiro AV foi descrito na década de 1990 por Szen-tpetery na Universidade Martin Luther de Halle, na Alemanha, foi baseado em uma simulação matemática dos movimentos mandibulares que ocorrem em um articulador (Lepidi et al., 2021).

A segunda versão foi descrita por Kordass e Gärtner, na Universidade de Greifswald, na Alemanha em 1999 para o qual se utiliza um scanner a laser tridimensional. Esse articulador foi projetado para registrar os caminhos exatos dos movimentos mandibulares, usando um sistema eletrônico de registro de movimentos da mandíbula chamado Jaw Motion Analyse e, em seguida, mover os modelos digitais das arcadas dentárias ao longo desses caminhos no computador. Com essas ferramentas, colisões oclusais estáticas e cinemáticas poderiam ser calculadas e visualizadas (Kordaß et al.,2002).

O uso do primeiro AV foi em 2002 com o trabalho de Bisler e sua equipe da Universidade de Greif swald, Alemanha (Lepidi et al., 2021). Desde então, o uso de dispositivos de articulação virtual tem sido amplamente inserido na odontologia assistida por computador (CAD-CAM). As principais indicações propostas para o VA

incluem diagnósticos personalizados e a prevenção dos problemas comuns encontrados nos MAs, como a criação de novos contatos oclusais, deformação de materiais, erros durante a orientação e posicionamento de moldes dentários, e dificuldades na simulação de dados do paciente em três dimensões (3D) (Koralakunte et al., 2014; Lepidi et al., 2021).

Os Articuladores Virtuais são capazes de projetar próteses cinematicamente. Através de simulações tridimensionais movem superfícies oclusais digitalizadas umas contra as outras possibilitando visualizar e corrigir interferências oclusais digitalizadas. Isso o torna mais versátil do que um articulador dentário mecânico (Solaberrieta et al., 2014).

Os AV têm a capacidade de simular as funcionalidades dos articuladores mecânicos, utilizando representações tridimensionais dos movimentos mandibulares. No entanto, é importante destacar que esse sistema enfrenta desafios técnicos significativos, principalmente devido à necessidade de manter altos níveis de precisão, fundamentais para aplicações odontológicas, e à manipulação de modelos em escala ampliada (Bisler et al., 2002).

Em resumo, esses dispositivos representam uma abordagem inovadora que busca aprimorar as análises da oclusão e a compreensão da relação mandibular, oferecendo potencial para superar as limitações dos dispositivos mecânicos tradicionais, pois possuem capacidade de simular dados com base em situações reais do paciente estático e dinâmico (Bisler et al., 2002; Koralakunte et al., 2014).

O articulador virtual é cada vez mais uma opção aos articuladores mecânicos, sendo uma ferramenta adicional para diagnóstico e planejamento, especialmente em situações complexas envolvendo alterações na dimensão vertical da oclusão. Autores têm investigado abordagens digitais para integrar modelos de arcadas em um articulador virtual, com foco em tópicos como o uso de arco facial virtual e análise digital da oclusão (Lepidi et al., 2021).

Os articuladores virtuais podem ser categorizados em duas principais classes: os completamente ajustáveis e os simulados matematicamente. Um aspecto que continua sendo um desafio é a transferência da posição espacial da maxila em relação a base do crânio para o articulador virtual (Solaberrieta et al.,2014; Lepidi et al., 2021).

Uma maneira simplificada de montar no articulador é a montagem média. Nesse caso os arquivos STL obtidos através de varreduras intraorais digitais são

montados virtualmente em um articulador virtual, utilizando os valores médios do triângulo de Bonwill e do ângulo de Balkwill (Inoue et al., 2024; Lin et al., 2023)

Posicionar de forma precisa o modelo superior no articulador em relação às referências anatômicas do paciente e seus côndilos é crítico para procedimentos abrangentes, como próteses fixas complexas, reabilitações completas, cirurgia ortognática ou tratamentos ortodônticos. A transferência das arcadas digitalizadas de cada paciente para o articulador virtual ocorre de forma individualizada e pode ser através da utilização do arco facial digital (Solaberrieta et al., 2014).

Diversos métodos para transferir o relacionamento maxilo-mandibular para montagem dos moldes digitalizados para o articulador virtual foram propostos, incluindo o uso de um scanner tridimensional óptico 3D, axiografia digital, escaneamento facial 3D, estereofotogrametria, tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), imagens cefalométricas, digitalização da posição de um ponteiro em seis posições em relação à cabeça. No entanto, essas abordagens, devido às suas complexidades, ainda não são amplamente adotadas na prática odontológica (Lepidi et al., 2021; Petre et. al., 2019).

Atualmente, é possível por meio de dispositivos capturar toda trajetória dos movimentos da mandíbula em ação. Alguns modelos disponíveis no mercado são: Modjaw (Sain-te-Helene-du-Lac, França), JMA Analyser+ (Zebris Medical GmbH – Isny, Alemanha), SDI Matrix (Meilen, Zurique, Suíça), Cranioplan (DASADent GmbH – Hamburgo, Alemanha), FreeCorder NXT (Orangedental GmbH & Co KG – Biberach, Alemanha), Ignident (Ignident GMBH, Niederlassung Tegernsee, Alemanha) e Plane System (Zirkon-zahn – Gais, Itália). Entretanto, o custo desses equipamentos ainda representa um desafio para uma adoção mais ampla (Lepidi et al., 2021).

A utilização de imagens bidimensionais no contexto do design digital do sorriso em aplicações CAD-CAM odontológicas foi abordada; no entanto, a literatura carece de registros com métodos que empreguem a transferência dos planos de referência por meio de fotografias padronizadas (Martins et al., 2017).

Um estudo explorou a utilização de fotografias extraorais para transferir o modelo maxilar ao software exocad (exocad GmbH), demonstrando a viabilidade desse método fotográfico 2D no alinhamento do modelo digital ao articulador virtual. Apesar de potenciais desvios milimétricos na localização do eixo de dobradiça, estipulados pelo protocolo, tais imprecisões são minimizadas e não comprometem

significativamente a qualidade das restaurações dentárias finais. A aplicação prática dessa técnica se dá através do DentalCAD, utilizando fotografias padronizadas dos pacientes, o que assegura uma precisão no posicionamento do modelo maxilar em relação às referências anatômicas essenciais e ao articulador virtual (Petre et al., 2019).

Uma pesquisa que investigou a localização e a força dos contatos na oclusão, comparando os três tipos de articuladores - não ajustáveis, semiajustáveis e digitais - constatou que o articulador não ajustável exibe consideráveis discrepâncias em relação à situação clínica, ao passo que o articulador parcialmente ajustável é capaz de replicar com precisão os contatos. Além disso, o articulador digital demonstra um grande potencial em relação aos movimentos excêntricos (Almăşan et al., 2021).

Assim como no método analógico no mundo digital, o modelo maxilar pode ser montado utilizando valores médios, de uma forma arbitrária ou com recurso a arco facial (Lepidi et al., 2021).

Há uma diversidade de técnicas descritas na literatura, mas, ainda não existe um fluxo de trabalho padrão para transferência dos moldes do paciente no articulador virtual (Elkady et al., 2023).

3 PROPOSIÇÃO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a eficácia de duas técnicas de montagem em um articulador virtual para determinar a posição espacial da maxila. A primeira técnica combina arquivos bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D), utilizando fotografias para uma montagem arbitrária no articulador virtual. A segunda técnica utiliza uma abordagem automática baseada apenas em valores médios pré-estabelecidos. O estudo visou comparar essas metodologias para identificar qual delas oferece maior precisão e eficiência na reprodução da orientação espacial correta da maxila em relação ao crânio.

4 MATERIAIS E METODOS

4.1 Cálculo amostral

O cálculo amostral foi realizado através do site Survey Monkey (https://pt.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/), considerando uma população de 600.000, um nível de confiança de 95% e uma margem de erro de 20%. Isso resultou em um número inicial de 26 indivíduos.

4.1.1 Sujeitos de pesquisa

Este estudo foi conduzido em conformidade com as diretrizes éticas após a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos, registrado sob o protocolo nº 6.006.509. Uma coorte de 26 voluntários, equilibradamente distribuídos por gênero e composta por estudantes de graduação e pós-graduação do Instituto de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, campus de São José dos Campos (UNESP), na faixa etária de 20 a 45 anos, foi selecionada. Todos os participantes apresentavam ótima saúde bucal e não possuíam espaços desdentados.

Antes da inclusão no estudo, os potenciais participantes receberam orientações detalhadas sobre os procedimentos envolvidos e os objetivos da pesquisa, garantindo assim sua compreensão plena antes da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Procedeu-se então à coleta de dados, iniciando com fotografias de perfil facial padronizadas para cada indivíduo, seguida do escaneamento intraoral de alta precisão das arcadas dentárias superior e inferior. Complementarmente, registros oclusais foram obtidos em posição de máxima intercuspidação e também em posição protusiva, facilitando uma avaliação abrangente das inter-relações oclusais.

A confidencialidade e o anonimato dos participantes foram assegurados, e a

integridade dos dados coletados foi mantida em estrita aderência aos princípios de ética em pesquisa.

4.1.2 Critérios de inclusão

- Consentimento formal de acordo com a Resolução CNS número 196/96.
- Termo de autorização de uso de imagem.
- Saúde bucal adequada ou sob controle.
- Idade entre 20 e 45 anos.
- Sem distinção de raça.
- Sem distinção de sexo.
- Ausência de espaço edêntulo.

4.1.3 Critérios de exclusão

Em virtude da possibilidade de extensão do tempo necessário para os procedimentos envolvidos neste estudo, excluíram-se participantes com disfunções orgânicas graves e não compensadas.

- Indivíduos com ausência dentária.

4.1.4 Riscos

Possibilidade de desconforto por parte do indivíduo ao utilizar uma tecnologia diferente daquela com a qual está familiarizado.

Potencial timidez e/ou constrangimento durante a obtenção de imagens fotográficas.

4.1.5 Benefícios

Os voluntários terão registros digitais de sua condição dentária e oclusal que podem ser utilizados para diagnóstico, planejamento e tratamentos futuros, incluindo acompanhamento de desgastes e movimentações dentais.

4.2 Equipamentos utilizados

- Scanner intraoral (iTero; Align Technology, Redwood, California).
- Câmera digital (Nikon D3500)
- Lente 100mm macro (Nikon)
- Flash Speedlight (Nikon)
- Trena
- Fita Adesiva

4.3 Métodos de obtenção das imagens

Foi realizada uma fotografia de perfil direito com a câmera Nikon D3500, devidamente acoplada com lente de 100mm (Nikon) e Flash speedlight (Nikon).

Para tal, com o auxílio de uma trena e fita adesiva foi demarcado no chão uma distância de aproximadamente um metro e meio servindo de referência para o profissional que realizou a fotografia. A lente da câmera foi mantida horizontal em relação ao plano sagital médio da maxila e focada no ponto interincisivo maxilar. Foi selecionado o lado direito para ser trabalhado e então, o indivíduo foi posicionado nesse perfil, de pé no fundo fotográfico, com a cabeça em posição natural olhando para frente. Em seguida, foi orientado a fornecer um sorriso exagerado, revelando o máximo possível do arco maxilar com uma ligeira separação entre os arcos .

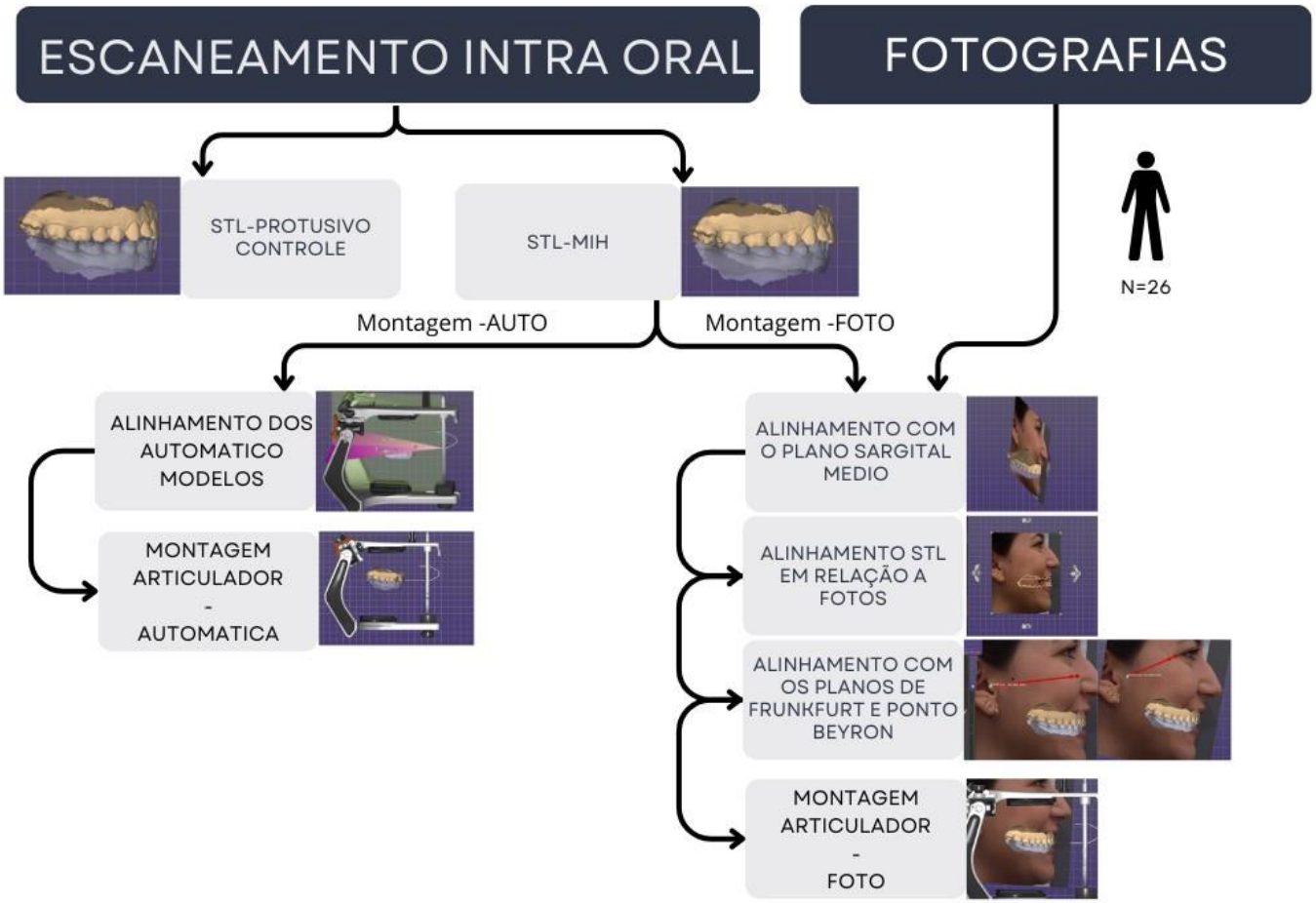
4.4 Obtenção do registro

A presente pesquisa envolveu a coleta de impressões digitais dos arcos dentários por meio da técnica direta utilizando um scanner intraoral (iTero; Align Technology, Redwood, Califórnia). Para fins de registro da oclusão, os voluntários que participaram deste estudo foram devidamente instruídos a adotar sua máxima intercuspidação habitual (MIH), foram realizados escaneamentos das superfícies vestibulares dos quadrantes dentários anteriores e posteriores em uma abordagem estática. Posteriormente, o paciente foi orientado a executar um movimento protusivo até o toque de topo a topo anterior, sendo submetido a um escaneamento nessa posição específica. Os dados obtidos durante o processo foram exportados no formato STL e posteriormente analisados com o auxílio de um software especializado, DentalCad (Exocad® GmbH, Align Technologies), com o intuito de gerar o modelo virtual correspondente.

4.5 Montagem no articulador virtual

Neste estudo, 26 voluntários foram submetidos a um escaneamento intraoral, durante o qual foram realizados dois registros digitais oclusais: em Máxima Intercuspidação Habitual (MIH) e em posição protusiva. Consequentemente, foram gerados dois modelos em formato STL para cada voluntário: um denominado STL Protusivo, que serviu como controle (STL Pro Controle), e outro STL MIH. Os modelos em MIH foram submetidos a dois métodos distintos de montagem: uma montagem automática com valores médios sem individualização, denominada STL Auto, e outra montagem utilizando fotografia para alinhamento, denominada STL Foto (Figura 1)

Figura 1 – Fluxograma de Montagem



Fonte: Elaborado pelo autor

4.5.1 Montagem matematicamente simulada sem individualização

Conforme detalhado no tópico 4.7, que discute a técnica de Montagem sem Individualização, o modelo virtual foi configurado automaticamente com base em valores médios estabelecidos. Essa configuração envolveu a definição de um ângulo de guia condilar estabelecido em 30° e um ângulo de Bennett configurado em 15°.

4.5.2 Montagem matematicamente simulada individualizada utilizando fotografia

Conforme abordado no tópico 4.6, que trata da técnica de montagem utilizando fotografia, a fotografia de perfil do lado direito do voluntário foi carregada no software DentalCad. Neste processo, a foto foi alinhada ao plano sagital médio utilizando a vista oclusal. Posteriormente, o dimensionamento da imagem na vista lateral foi ajustado para garantir um alinhamento preciso com o modelo maxilar escaneado. Esses ajustes foram utilizados para a sincronização entre a fotografia e o modelo digital.

4.6 Descrição da técnica de montagem Individualizada utilizando fotografia

Seleção da Fotografia: Uma fotografia de perfil direito foi selecionada, de acordo com o método de obtenção de imagens estabelecido, garantindo a consistência inicial para o processo de montagem (Figura 2).

Figura 2- Fotografia de perfil



Fonte: Elaborado pelo autor

Recorte de Imagem: No Paint for Windows (Microsoft Corp), a imagem foi recortada abrangendo os dentes maxilares. As dimensões do recorte foram ajustadas para ocupar uma parte significativa da tela do computador, melhorando a visibilidade para a correspondência posicional com o modelo digital.

Ajuste de Resolução: A resolução da tela do computador foi verificada e ajustada. Em seguida, a área recortada da imagem foi redimensionada no Paint para que ocupasse de metade a dois terços do tamanho da tela, facilitando análises subsequentes (Figura 3).

Figura 3- Fotografia de perfil recortada



Fonte: Elaborado pelo autor.

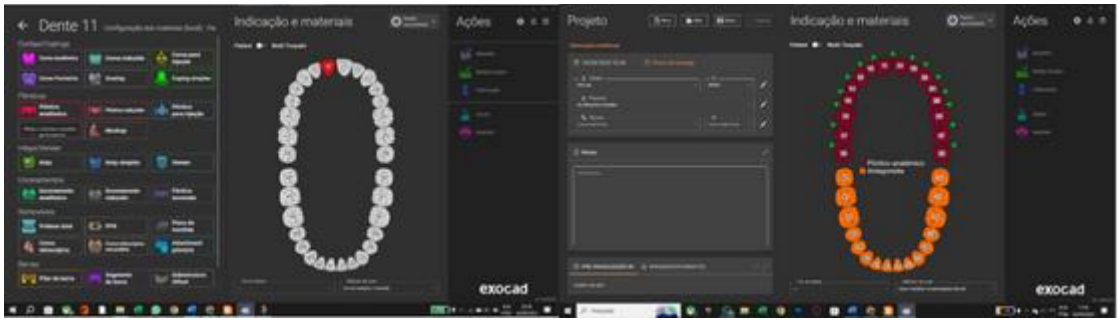
Salvamento da Imagem: A imagem recortada foi armazenada no formato Joint Photographic Experts Group (JPEG) na pasta do participante da pesquisa, assegurando que os detalhes essenciais fossem preservados para análises futuras.

Digitalização Intraoral: Os arcos maxilar e mandibular foram digitalizados utilizando o scanner intraoral iTero (Align Technology, Redwood, California). Após a digitalização, foi registrada a posição de máxima intercuspidação (MIH), e o indivíduo foi instruído a mover o arco mandibular até a borda anterior. A posição interoclusal protrusiva foi então digitalmente capturada e as digitalizações foram exportadas em

formato STL via site “My iTero”.

Configuração no Software CAD: O software DentalCAD (exocad GmbH, Darmstadt, Alemanha) foi utilizado para abrir um novo paciente. Um elemento aleatório foi selecionado, e a opção de ‘pôntico anatômico’ foi escolhida. O material, como cera, e os métodos de scan para 'dois modelos articulados' no articulador Bioart foram definidos. Os dados foram salvos e procedeu-se à fase de desenho (Figura 4).

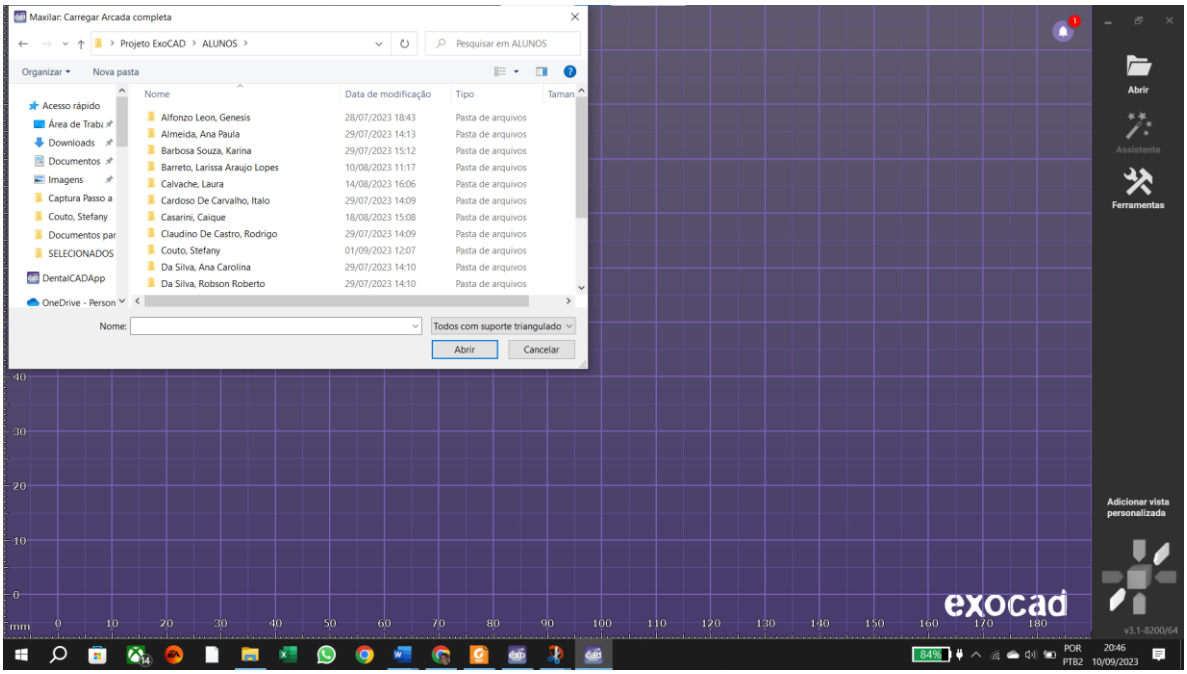
Figura 4-Seleção pôntico anatômico e modelos no articulador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Importação de Modelos Virtuais: Os modelos virtuais (STL), obtidos pelo iTero, foram importados no DentalCAD, começando pelo modelo superior e logo depois pelo modelo antagonista (Figura 5).

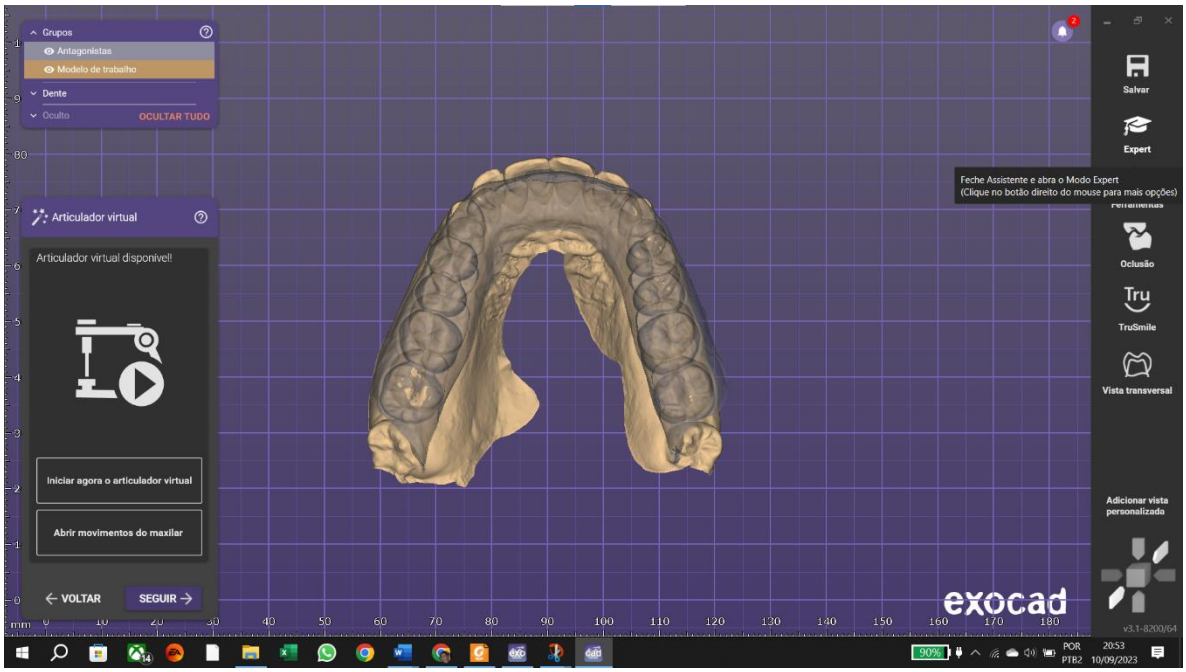
Figura 5-Programa Exocad DentalCAD seleção arquivos STL



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ajuste de Orientação de Dados: Automaticamente, uma janela de ajuste de orientação foi aberta. A opção 'Seguir' foi selecionada para permitir ajustes automáticos baseados em parâmetros pré-definidos, e o 'Modo Expert' foi ativado para um controle mais refinado das variáveis (Figura 6).

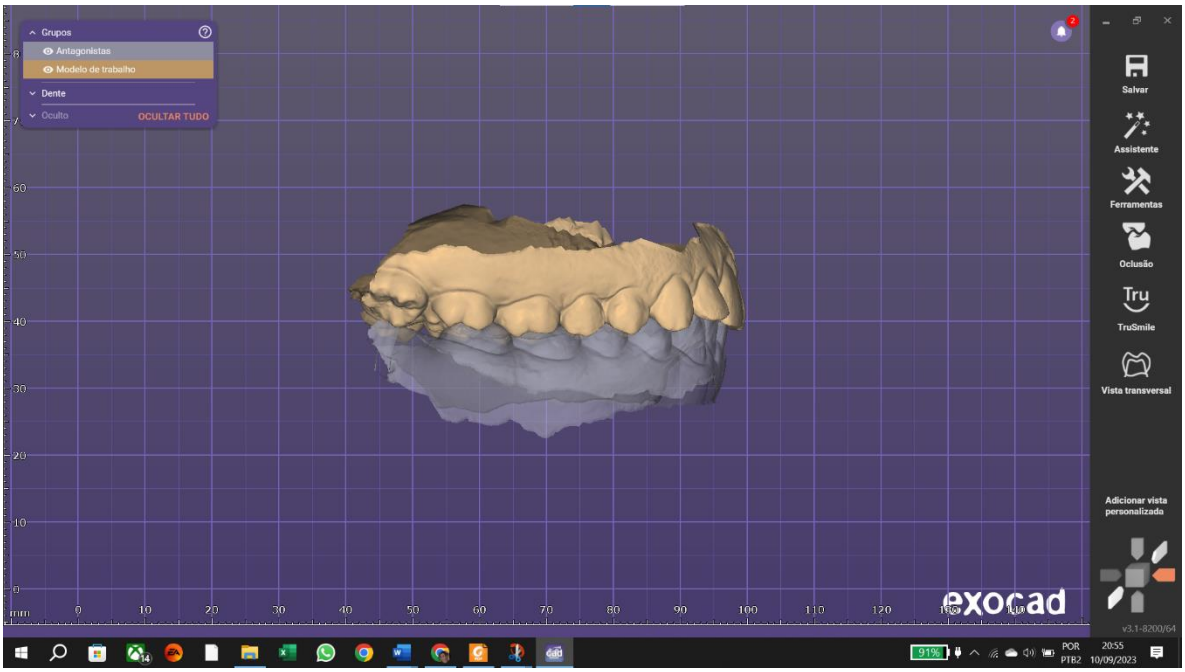
Figura 6-Modelos em vista oclusal



Fonte: Elaborado pelo autor.

Seleção de Vista no Software: Na interface do DentalCAD, a seta vista lateral (Plano Sagital) foi escolhida na barra de comandos, correspondendo ao lado da fotografia do participante (Figura 7).

Figura 7-Modelos em vista de perfil

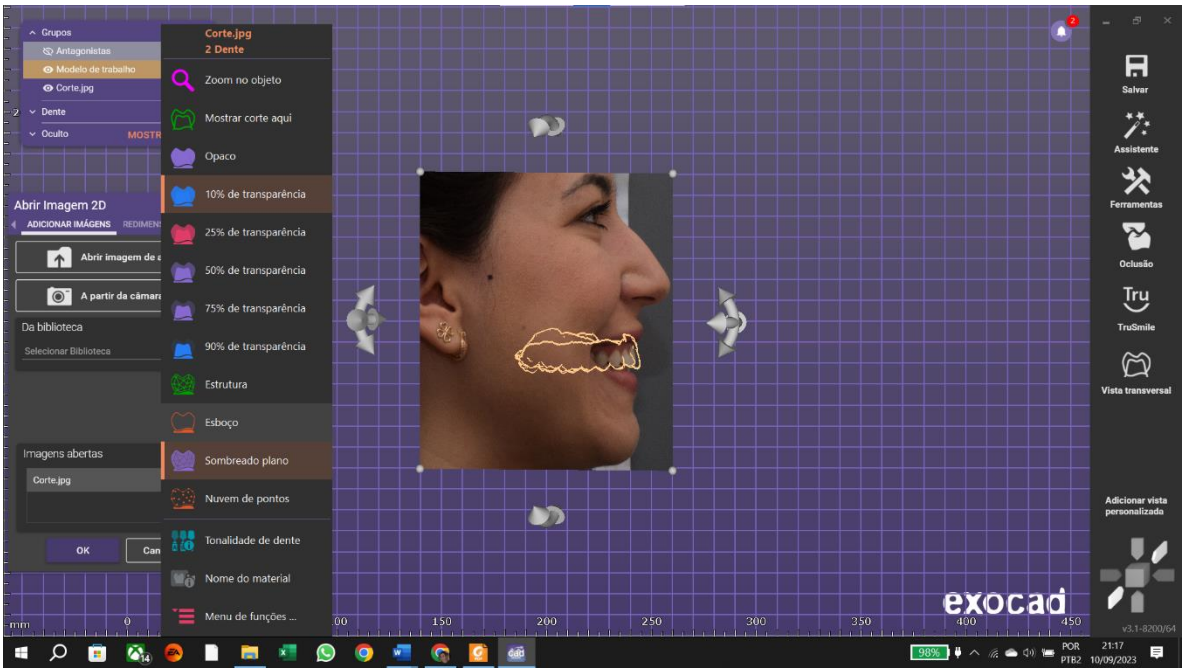


Fonte: Elaborado pelo autor.

Carregamento e Alinhamento de Imagem: A imagem 2D pré-redimensionada foi adicionada. Após o carregamento, a imagem foi rotacionada 90 graus para alinhar com o plano sagital e ajustada para coincidir com a orientação da fotografia original (perfil direito).

Pré-Alinhamento da Imagem com o Modelo: Para facilitar o alinhamento, o modelo antagonista foi ocultado. Usando o botão direito do mouse sobre a opção “modelo de trabalho”, a função “esboço” foi selecionada para um pré-alinhamento da imagem com o modelo (Figura 8).

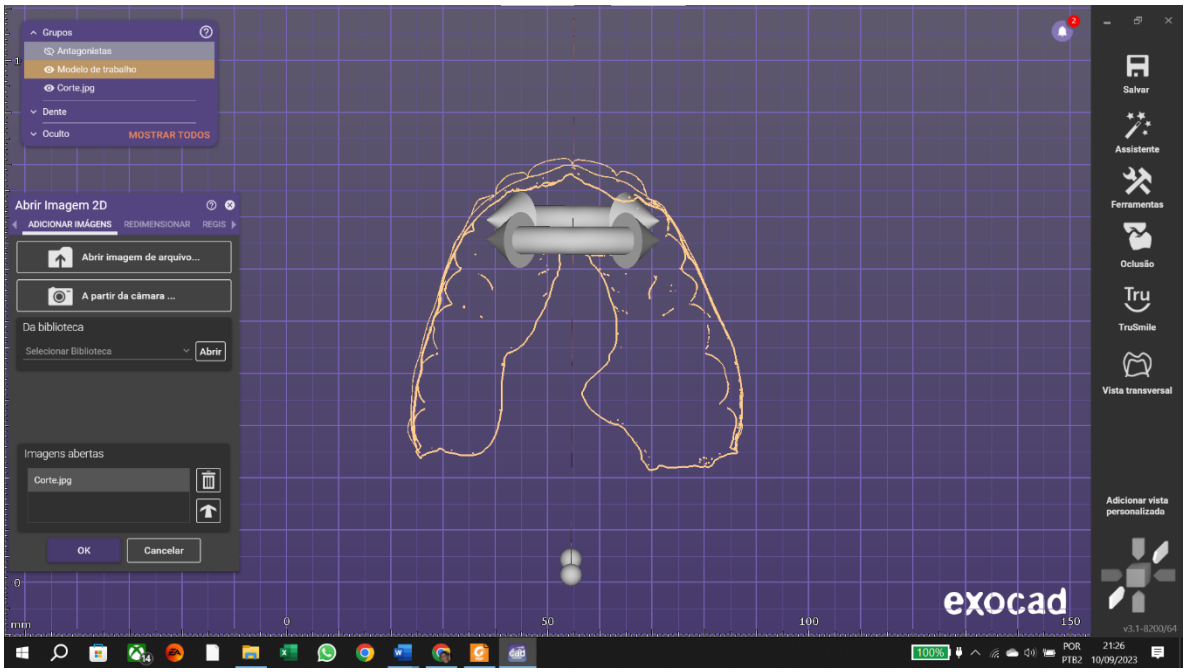
Figura 8-Modelos em modo esboço e imagem 2D



Fonte: Elaborado pelo autor.

Alinhamento Detalhado na Vista Oclusal: A imagem 2D foi alinhada na linha média dental do modelo pela vista oclusal (Plano podálico), assegurando um posicionamento preciso (Figura 9).

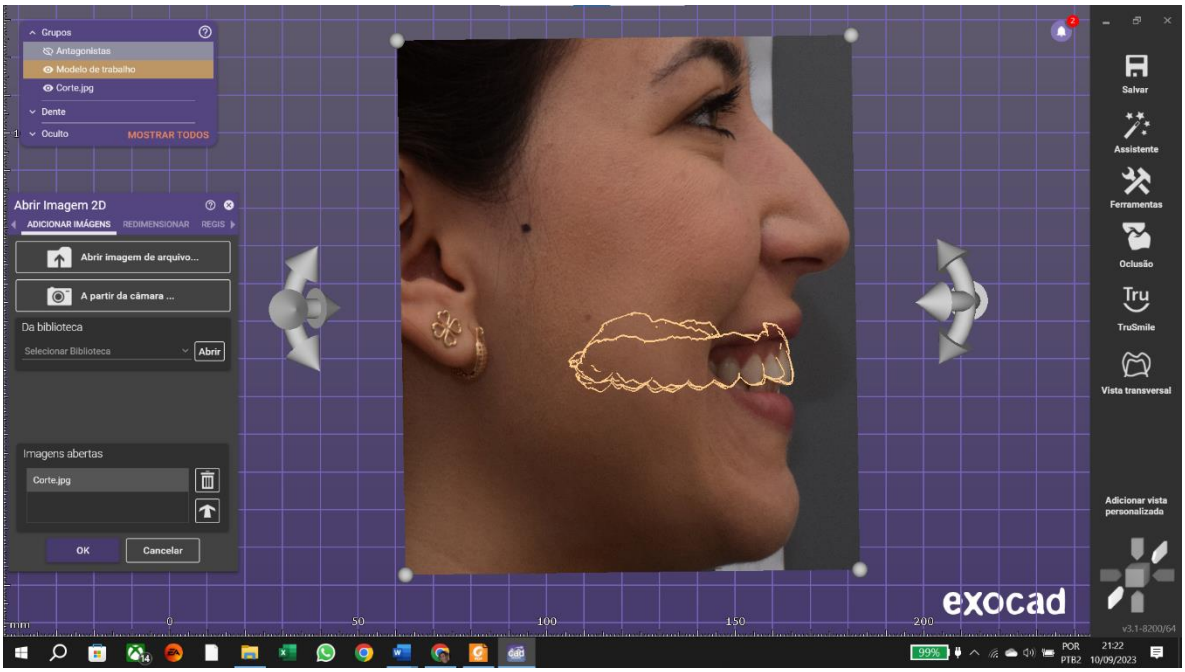
Figura 9 - Modelos em vista oclusal com imagem 2D totalmente alinhada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificação e Ajuste Finais de Alinhamento: A vista lateral foi retomada e o modelo superior foi realinhado com a fotografia. A vista oclusal foi revisada para confirmar a continuidade do alinhamento; este processo foi repetido conforme necessário (Figura 10).

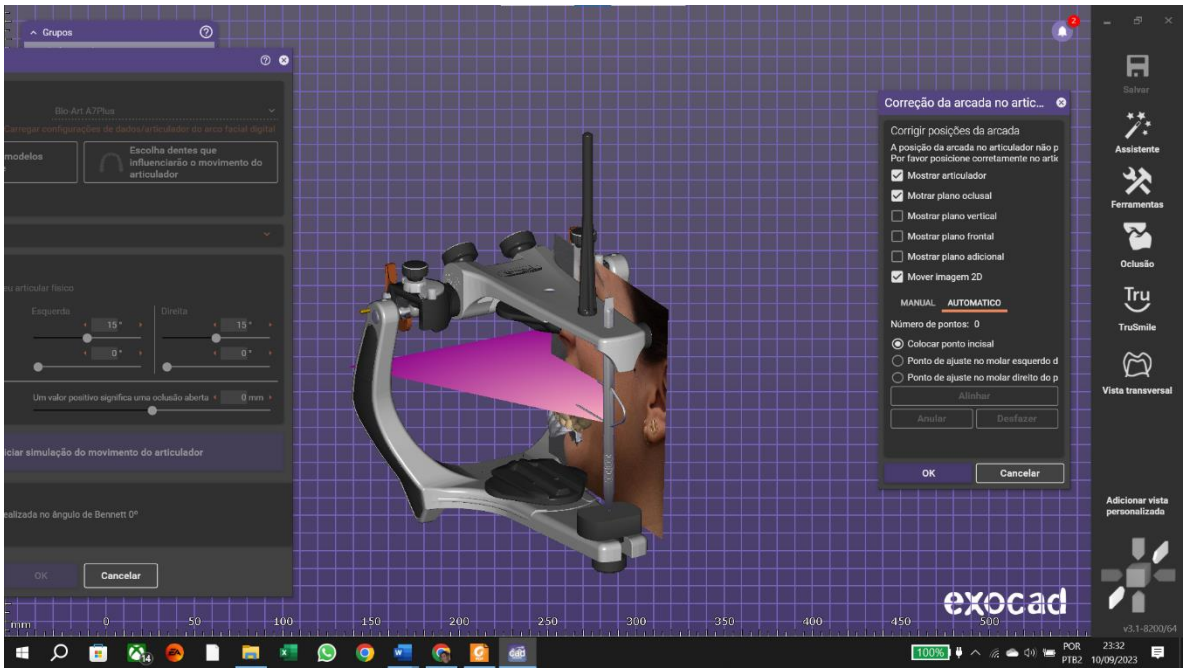
Figura 10- Modelos e imagem 2D alinhados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Iniciação do Articulador: No software, foi escolhida a opção de “iniciar articulador”, seguida de “corrigir cortando as interseções” e, posteriormente, “rearticular modelos virtualmente” (Figura 11)

Figura 11– Modelos e imagem 2D sem alinhamento com o articulador

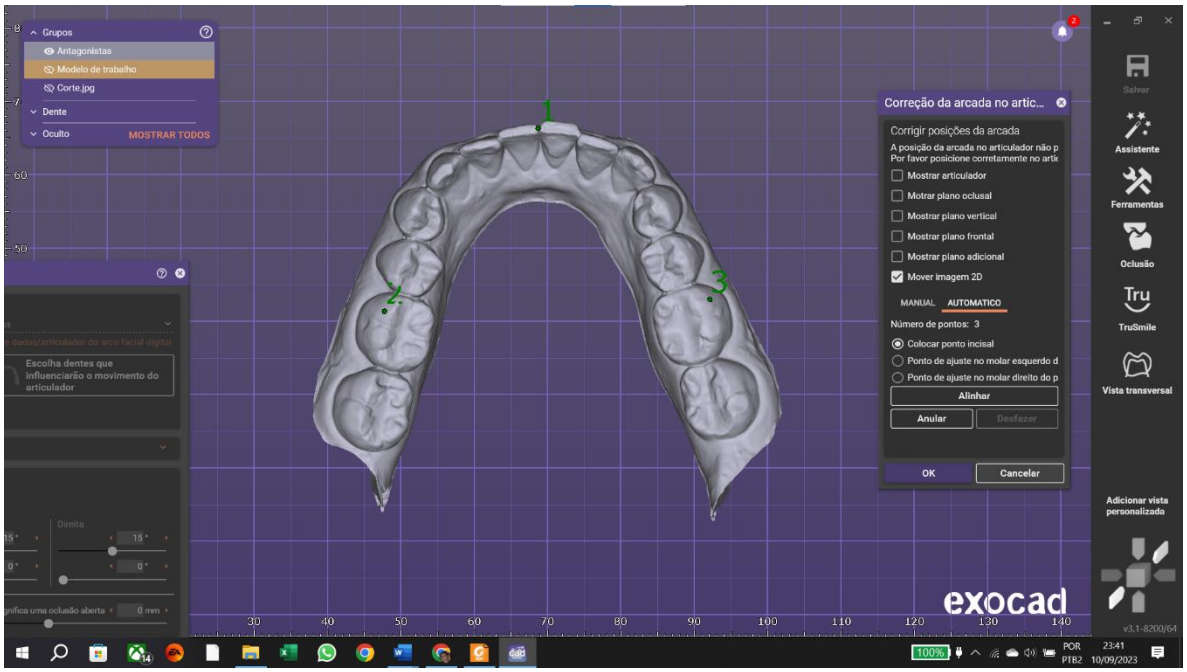


Fonte: Elaborado pelo autor.

Ajustes no Articulador: Na janela de correção da arcada no articulador, a opção “automático” foi selecionada, e a opção “mostrar articulador” foi desmarcada para melhorar a visualização. O antagonista foi o único modelo mantido visível.

Posicionamento de Modelos no Articulador: O modelo foi ajustado para a visualização da oclusal do antagonista (inferior), marcando os pontos necessários no software e alinhando conforme solicitado (Figura 12).

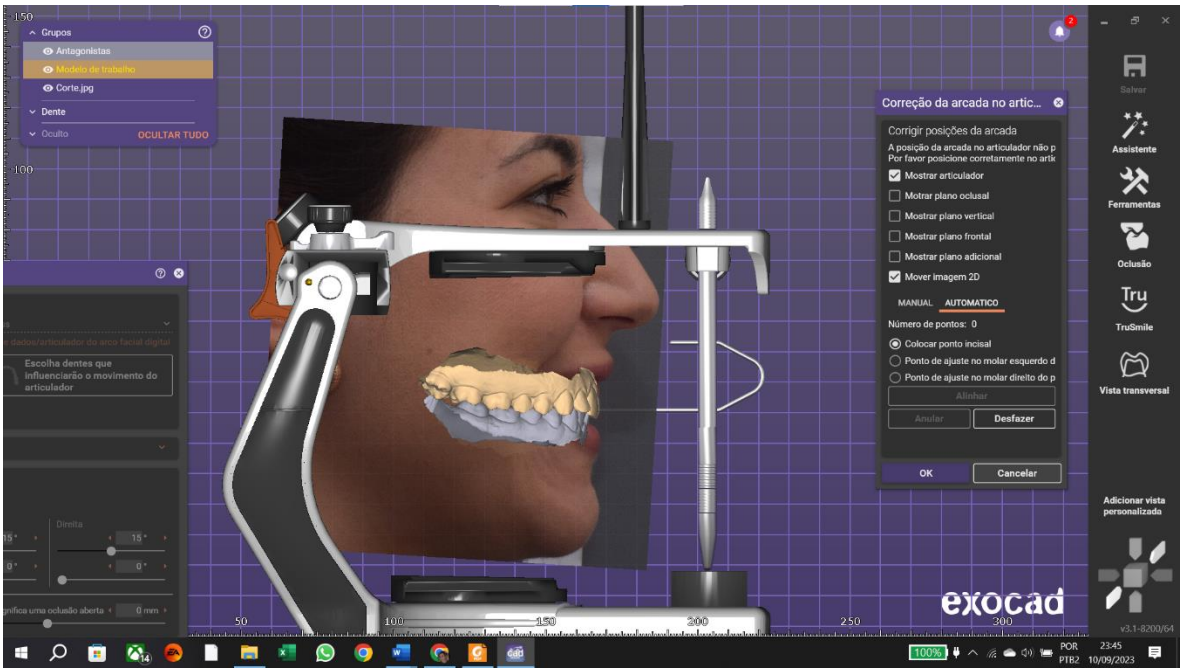
Figura 12– Marcação dos pontos para alinhamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Exibição Conjunta para Ajuste Final: A opção para mostrar a imagem 2D junto aos modelos e ao articulador foi selecionada. A vista de perfil foi ajustada para que o conjunto ficasse corretamente posicionado (Figura 13).

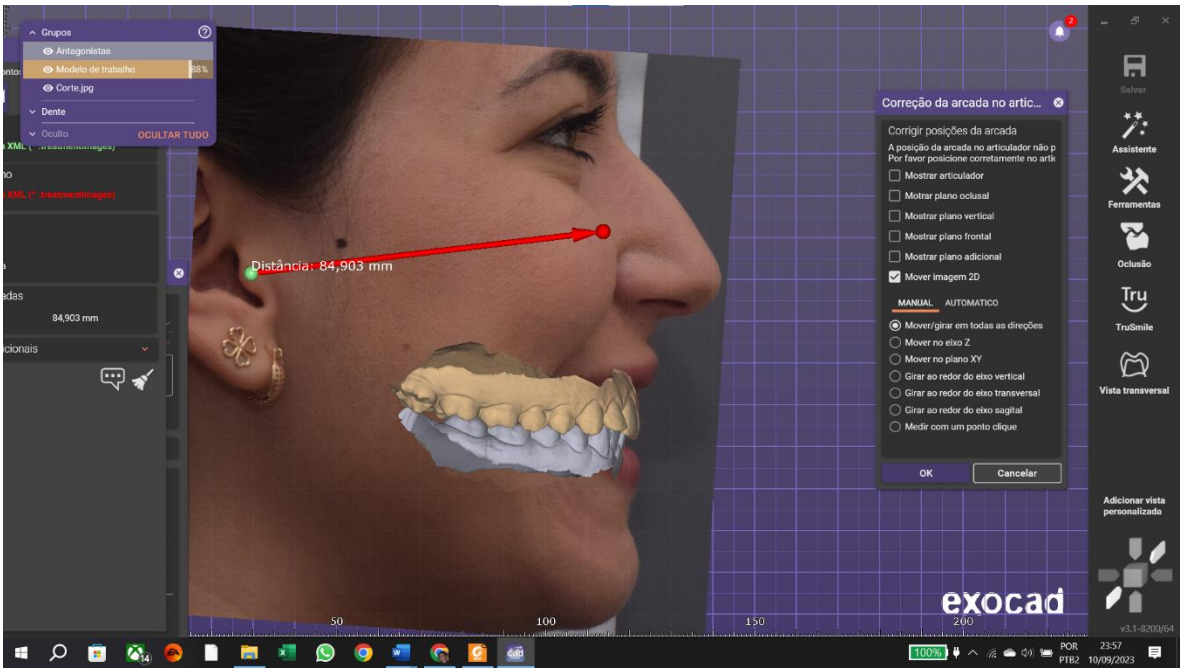
Figura 13– Modelos, imagem 2D e Articulador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Traçado do Plano de Frankfurt: A ferramenta de medição foi utilizada para traçar o plano de Frankfurt. A opção manual foi retomada para mover a imagem de forma que o braço do articulador se alinhasse paralelamente ao plano traçado (Figura 14).

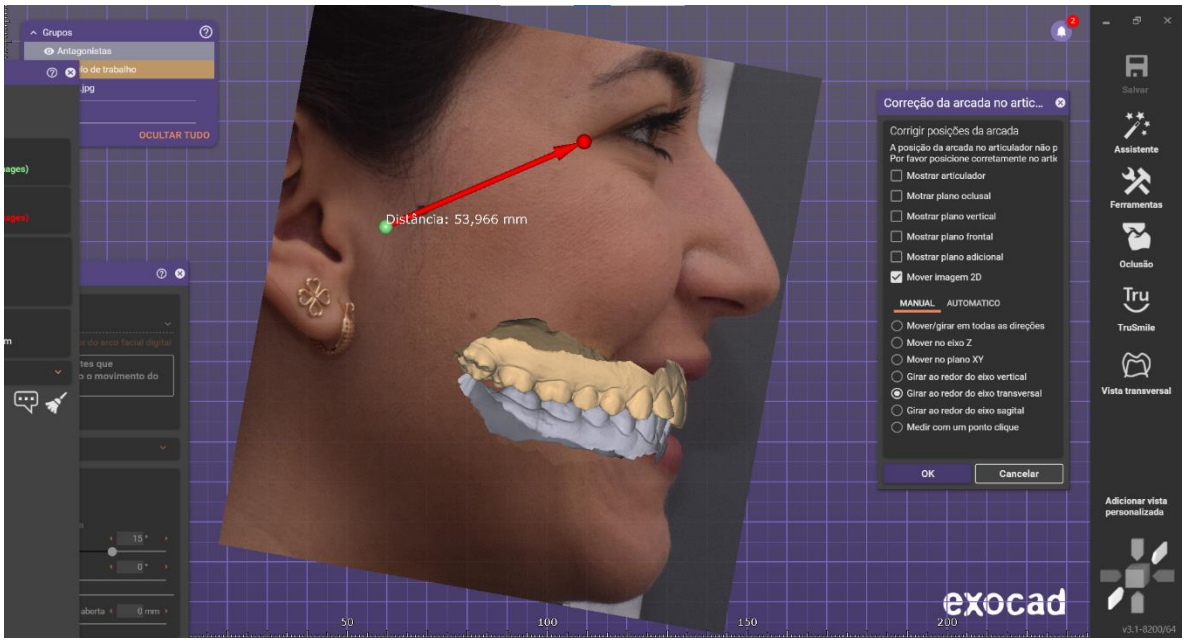
Figura 14- Localização do plano de Frankfurt



Fonte: Elaborado pelo autor

Determinação do Eixo Condilar: A ferramenta de medição anterior foi removida para clareza visual. Uma nova linha foi traçada do centro do tragus ao canto externo do olho, e 13mm foram subtraídos do centro do tragus (ponto de Beyron). Movimentos foram realizados nos eixos XY e Z para posicionar o eixo da dobradiça do articulador sobre o ponto Beyron na fotografia (Figura 15).

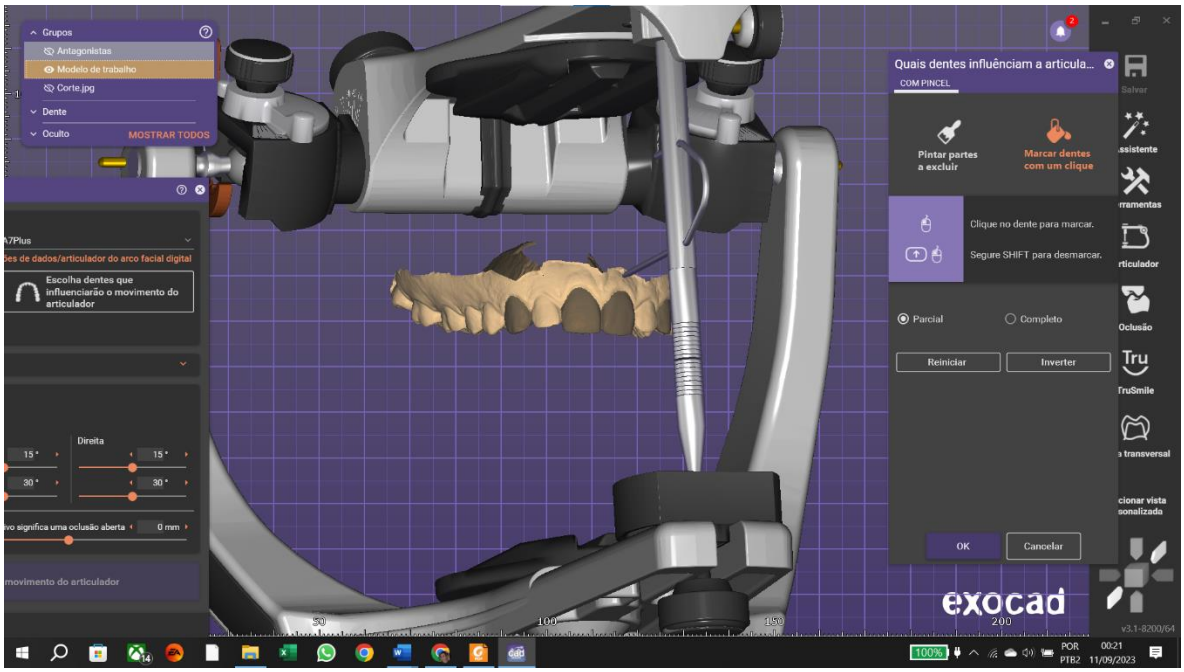
Figura 15– Localização do ponto Beyron



Fonte: Elaborado pelo autor.

Finalização no Articulador: Após o posicionamento adequado dos modelos, a janela “correção da arcada no articulador” foi finalizada com "OK", seguida de “corrigir as interseções”. As guias condilares foram ajustadas para 30° e os ângulos de Bennet para 15°. Foi então escolhido iniciar a simulação do movimento do articulador, selecionando os dentes que influenciariam no movimento (Figura 16).

Figura 16– Seleção de dentes que influenciarão o movimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.7 Técnica de montagem sem individualização

Digitalização Intraoral: Utilizando o scanner intraoral iTero (Align Technology, Redwood, California), foram escaneados os arcos maxilar e mandibular, assim como a posição de máxima intercuspidação (MIH). Posteriormente, instruiu-se o indivíduo a mover o arco mandibular até a borda anterior para registrar digitalmente a posição interoclusal protrusiva. As digitalizações foram então exportadas em formato STL através do site "My iTero".

Configuração no Software CAD: No software odontológico DentalCad (exocad GmbH, Darmstadt, Alemanha), criou-se um novo perfil de paciente. Um elemento aleatório foi selecionado e definiu-se a opção de pôntico anatômico. Escolheu-se cera como material e configurou-se o método de scan para "dois modelos articulados" utilizando o articulador Bioart. Os dados foram salvos e avançou-se para a etapa de desenho (Figura 5).

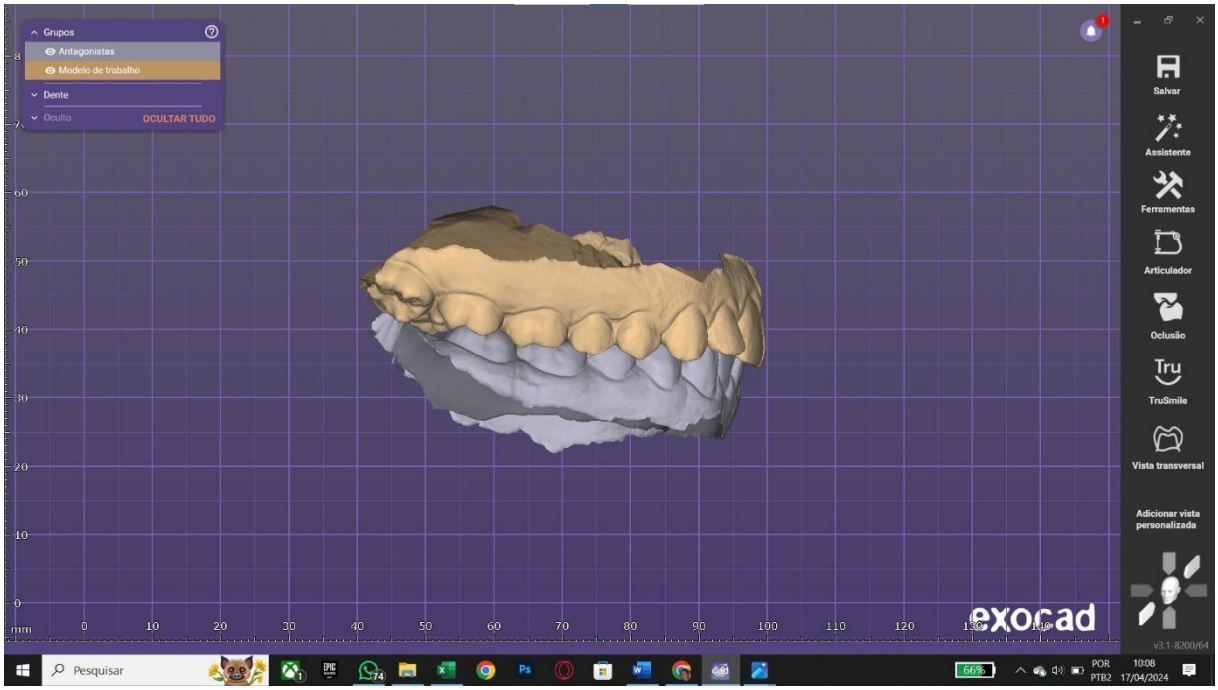
Importação de Modelos Virtuais: No DentalCad, os modelos virtuais (STL)

obtidos anteriormente foram importados, começando pelo modelo superior. Após esta etapa, o modelo antagonista foi importado, facilitando o processo de montagem e análise (Figura 6).

Ajuste Automático de Orientação: Uma janela de ajuste de orientação de dados abriu-se automaticamente. A opção "seguir" foi selecionada para ajustes automáticos baseados em parâmetros pré-definidos, e o modo "Expert" foi ativado para permitir um controle mais detalhado das variáveis de ajuste (Figura 7).

Seleção de Vista no Software: Na interface do DentalCad, foi selecionada a vista lateral (Plano Sagital) correspondente ao lado direito do indivíduo (Figura 17).

Figura 17- Seleção de Vista no Software



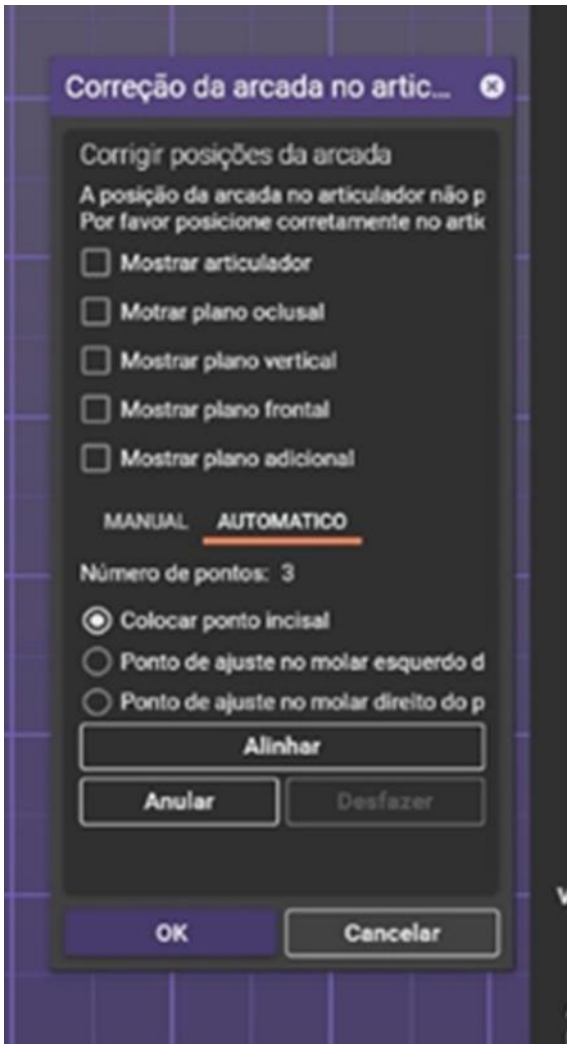
Fonte: Elaborado pelo autor.

Iniciação do Articulador Virtual: Dentro das ferramentas do software, optou-se por "iniciar articulador", seguido por "corrigir cortando as interseções" e, em seguida, "rearticular modelos virtualmente", preparando os modelos para o alinhamento no articulador virtual (Figura 11).

Pré-Alinhamento no Articulador: Na janela de correção da arcada no

articulador, a opção "automático" foi selecionada para facilitar o alinhamento inicial. O display do articulador foi ocultado para melhor visualização, mantendo visível apenas o modelo do antagonista (Figura 18).

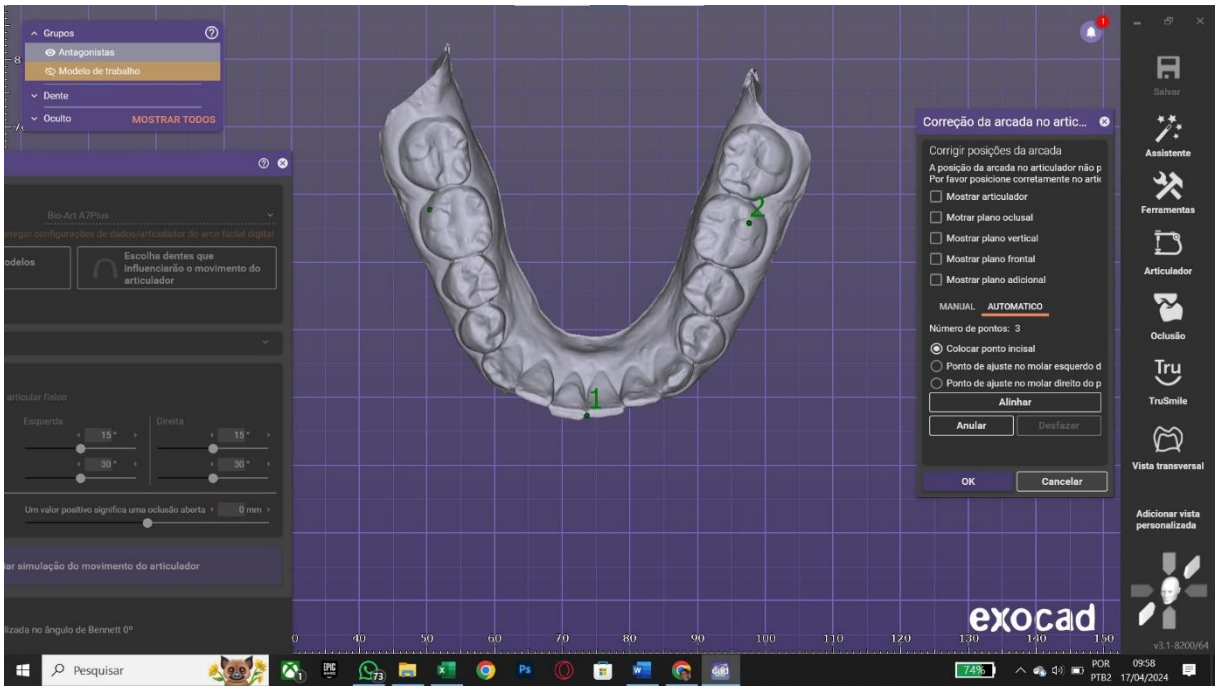
Figura 18 - Opção automático



Fonte: Elaborado pelo autor.

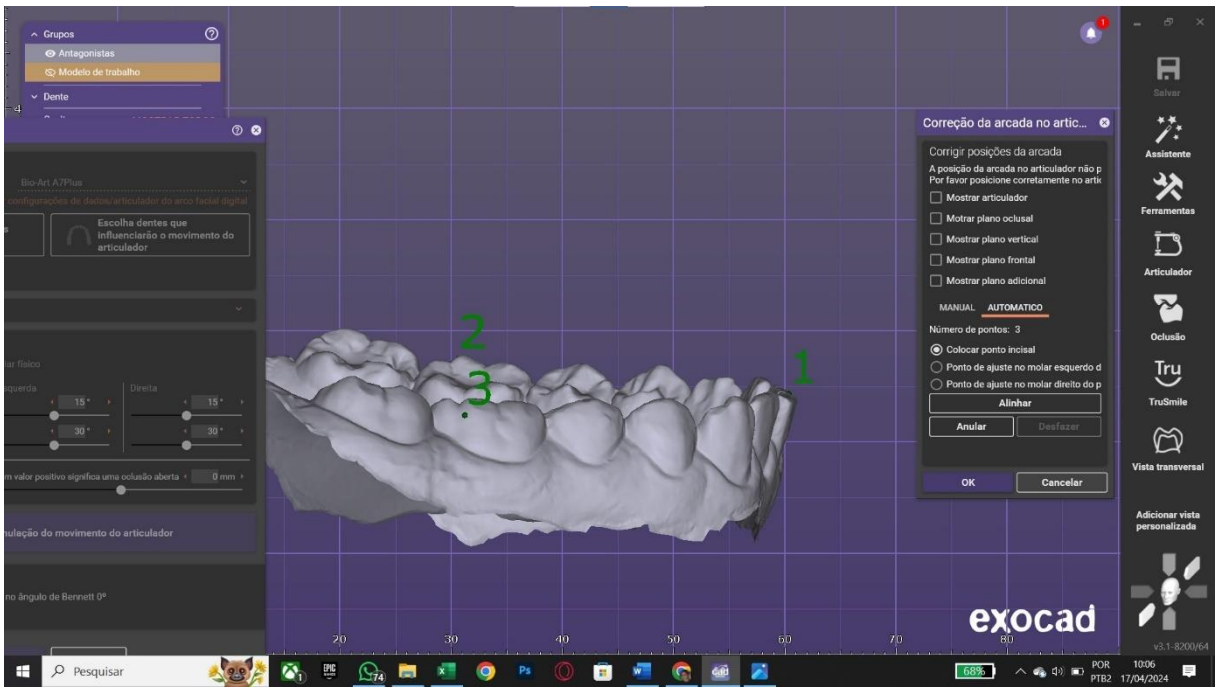
Posicionamento dos Modelos: O modelo foi ajustado para visualizar a oclusal do antagonista (inferior). Os pontos necessários foram marcados conforme solicitado pelo software, e o alinhamento foi efetuado clicando em "alinhar" (Figura 19).

Figura 19 - Determinação dos pontos



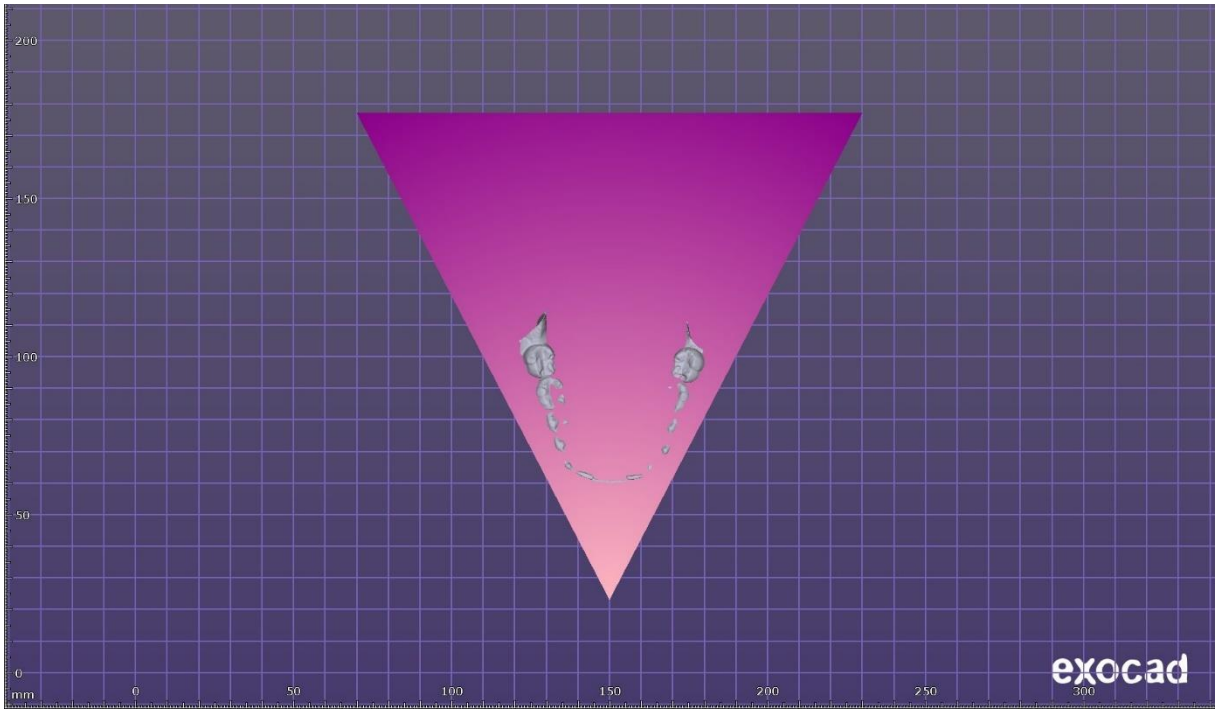
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20-Vista lateral dos pontos



Fonte: Elaborado pelo auto

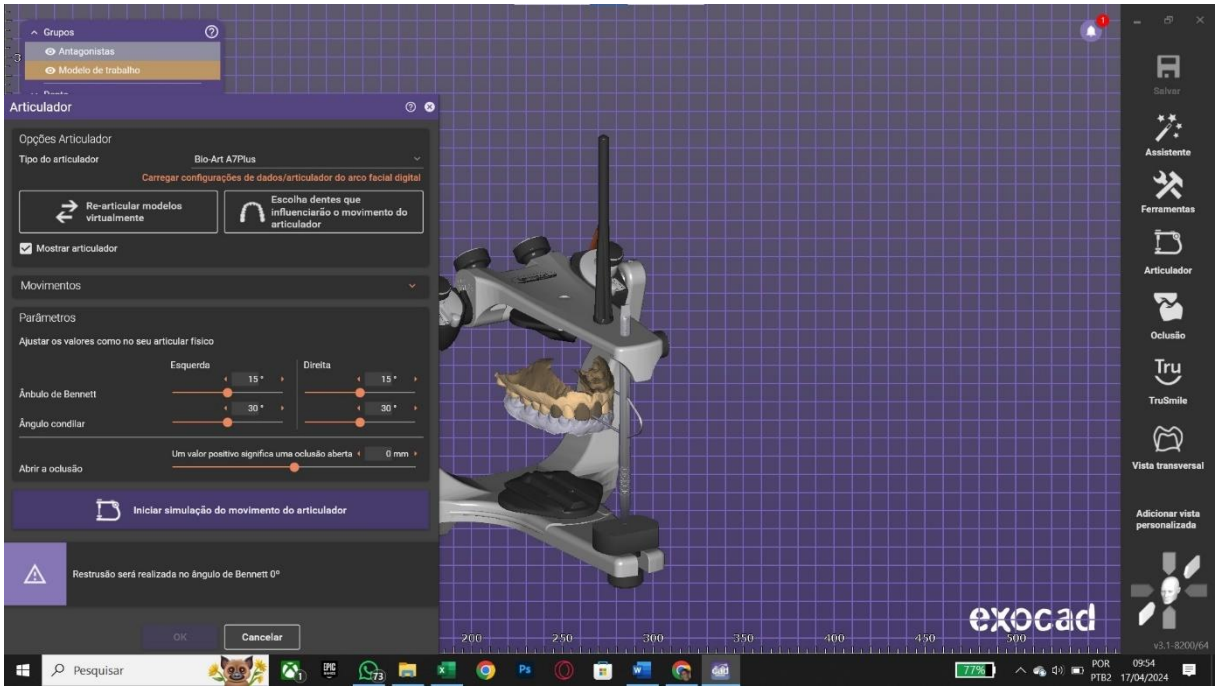
Figura 21 - Visualização do plano oclusal



Fonte: Elaborado pelo autor.

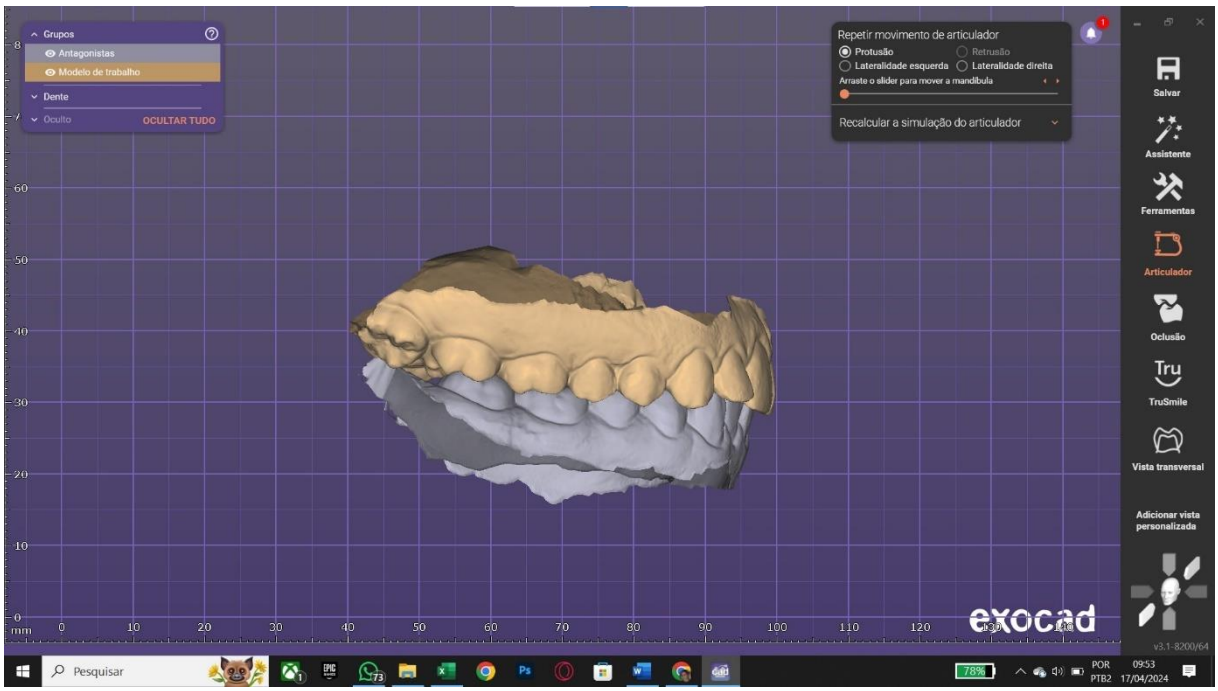
Finalização e Simulação de Movimento: Após os modelos estarem devidamente alinhados, na janela “correção da arcada no articulador”, clicou-se em “OK” e procedeu-se à correção das interseções. As guias condilares foram ajustadas para 30° e os ângulos de Bennet para 15°. Escolheu-se os dentes (caninos e centrais) que influenciariam no movimento do articulador, e então iniciou-se a simulação do movimento do articulador (Figura 22).

Figura 22- Ajustes de Parâmetros do Articulador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23- Articulador habilitado



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 ANÁLISE DIGITAL

Para a análise dos modelos STL MIH Auto e STL MIH Foto, foram empregadas duas abordagens distintas: análise guiada por contato e análise por sobreposição, ambas utilizando o modelo STL Protusivo Controle para comparação.

5.1 Metodologias de Comparação Aplicadas

5.2 Ajuste Protusivo guiado por Contato Oclusal

Nos ajustes protusivos guiados por contato oclusal, modelos em Máxima Intercuspidação Habitual (MIH) foram utilizados, alternando entre métodos fotográfico e automatizado conforme o foco específico de cada análise. Estes modelos foram comparados ao STL Protusivo controle para assegurar a acurácia da reprodução protusiva. Os ajustes foram efetuados nos modelos já articulados no articulador virtual, baseando-se em na avaliação visual dos contatos oclusais identificados no modelo STL Protusivo Controle. Essa análise detalhada permitiu o alinhamento das posições protusivas dos modelos MIH com aquelas do modelo de controle, garantindo assim uma replicação da posição protusiva estipulada (Figura 24).

5.3 Ajuste Protusivo Guiado por Sobreposição de Imagem

No processo de Ajuste Protusivo Guiado por Sobreposição de Imagem, o modelo STL Pro Controle foi sobreposto aos modelos MIH já articulados, alternando entre os métodos fotográfico e automatizado conforme a análise em questão. Utilizando software especializado, os modelos MIH foram progressivamente ajustados para a posição protusiva, alinhando as malhas até que coincidissem perfeitamente com o modelo STL Pro Controle (Figura 24).

Figura 24-Fluxograma Mensuração



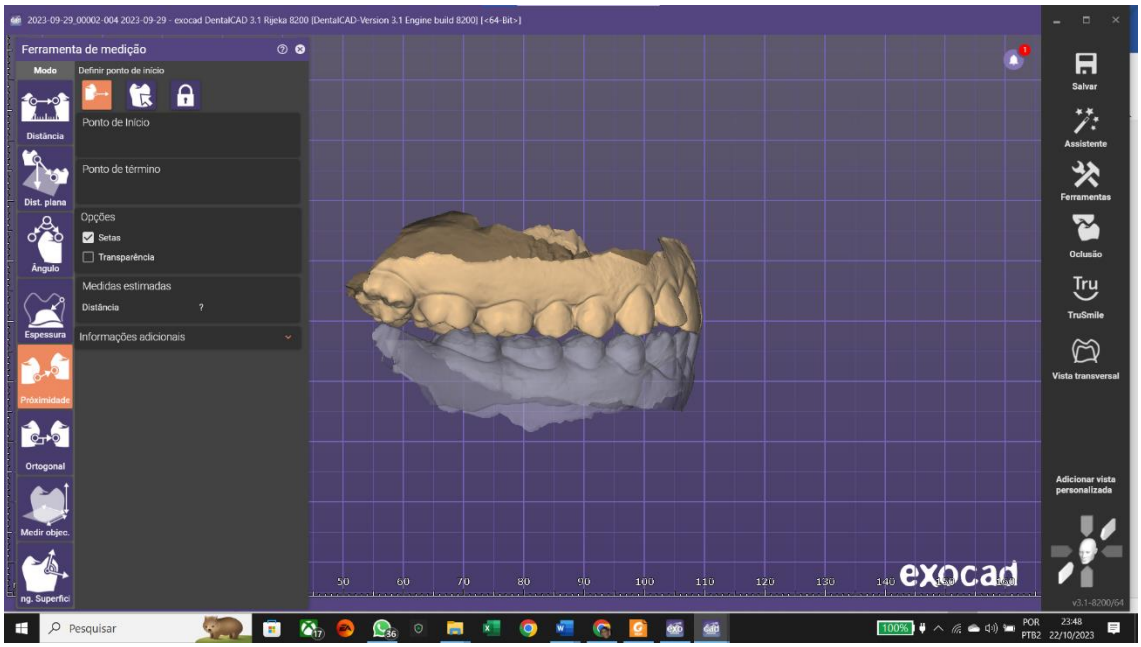
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4 Detalhamento das Análises

5.5 Análise do STL PRO Controle guiada por contato oclusal STL Auto e STL Foto

Visualização e Medição: Utilizando a ferramenta de medição do software, a opção “proximidade” foi selecionada (Figura 25).

Figura 25-Seleção da ferramenta de proximidade

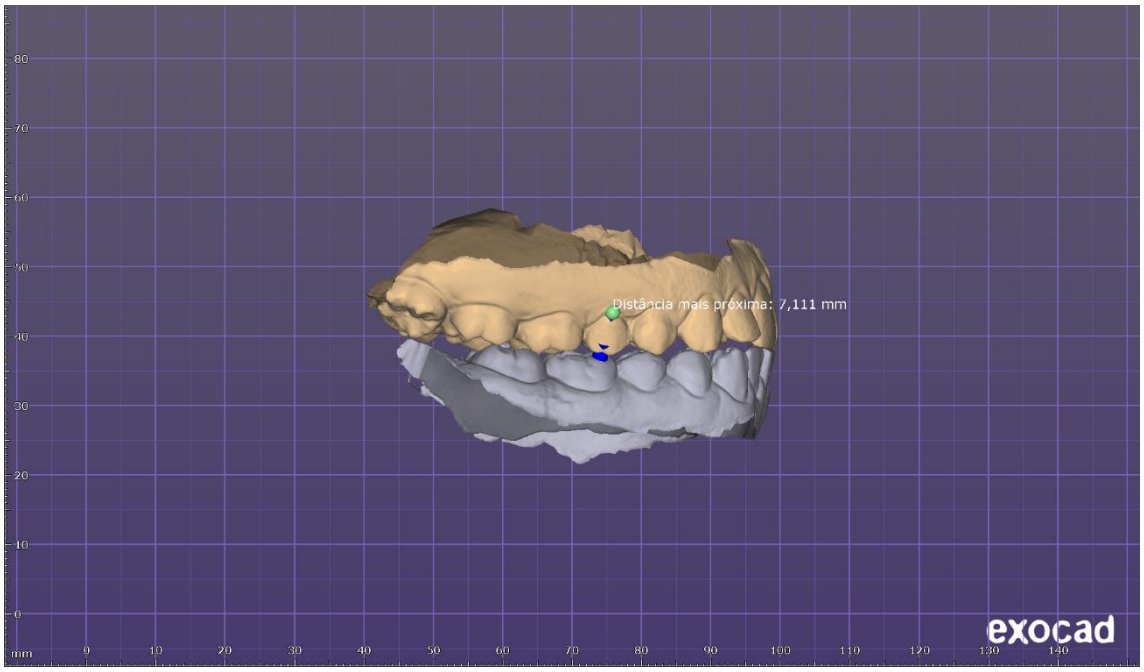


Fonte: Elaborado pelo autor.

Um ponto de referência específico foi escolhido na região cervical mais elevada do segundo pré-molar superior.

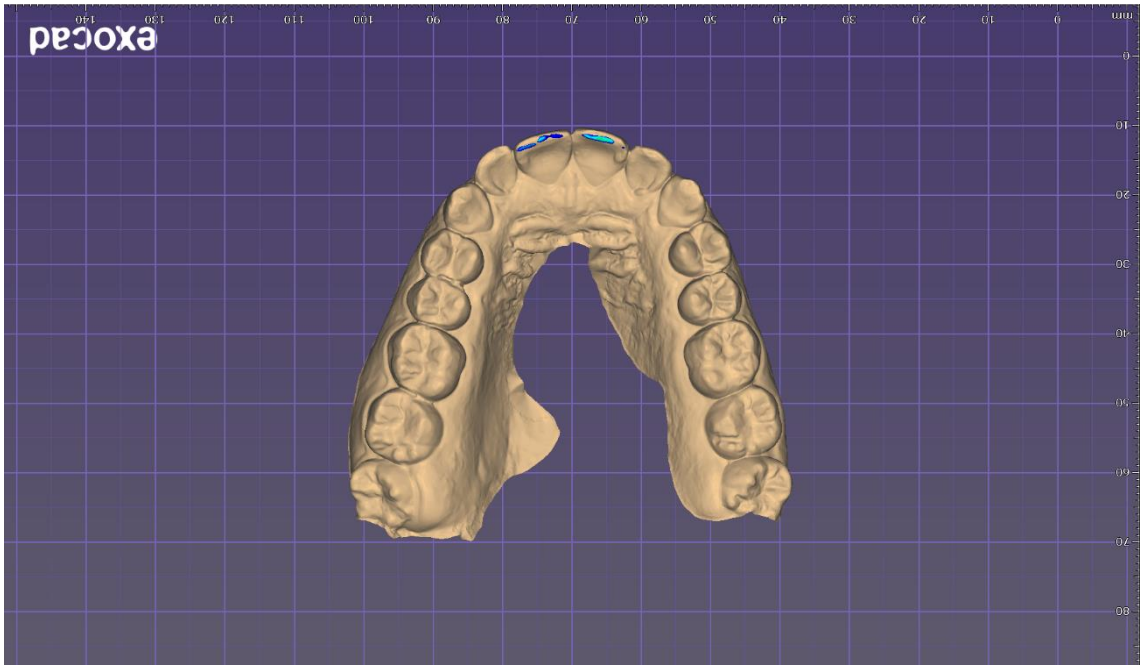
Após a marcação inicial desse ponto, o software identificou automaticamente a distância mais próxima no modelo antagonista e registra o segundo ponto, resultando na distância em milímetros (Figura 26).Através da ferramenta oclusão o contato foi analisado (Figura 27).

Figura 26-Distancia no modelo em Protusiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27-Vista oclusal dos contatos



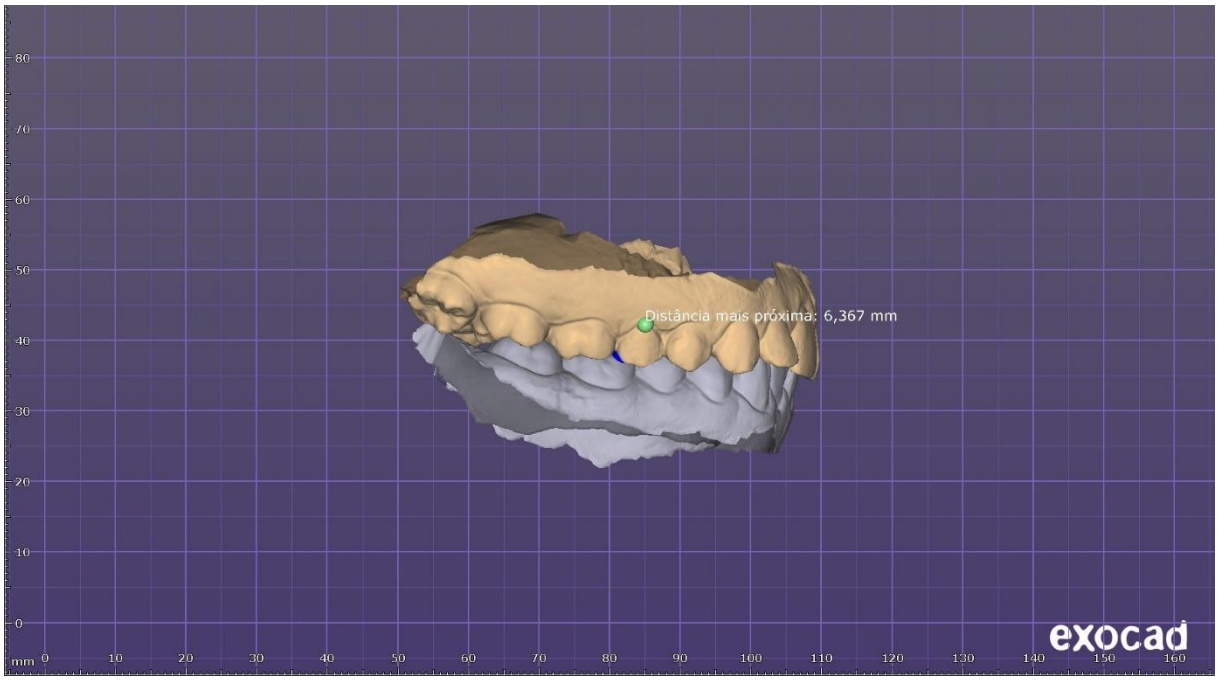
Fonte: Elaborado pelo autor.

5.6 Análise de Ajuste Protusivo guiada por contato oclusal STL Auto e STL Foto

Visualização e Medição: Os modelos foram posicionados na vista lateral em posição de máxima intercuspidação, e a ferramenta de medição com a opção “distância aproximada” foi escolhida.

O ponto mais alto do segundo pré-molar superior foi marcado como o primeiro ponto, e o segundo ponto foi identificado automaticamente pelo software. Essa distância foi rotulada como “distância inicial” e registrada (Figura 28).

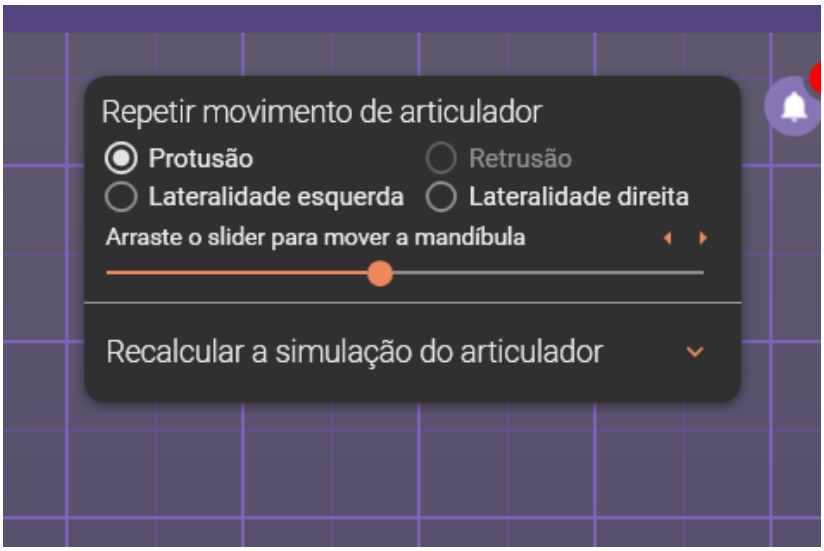
Figura 28- Mensuração da distancia inicial dos modelos STL em MIH



Fonte: Elaborado pelo autor.

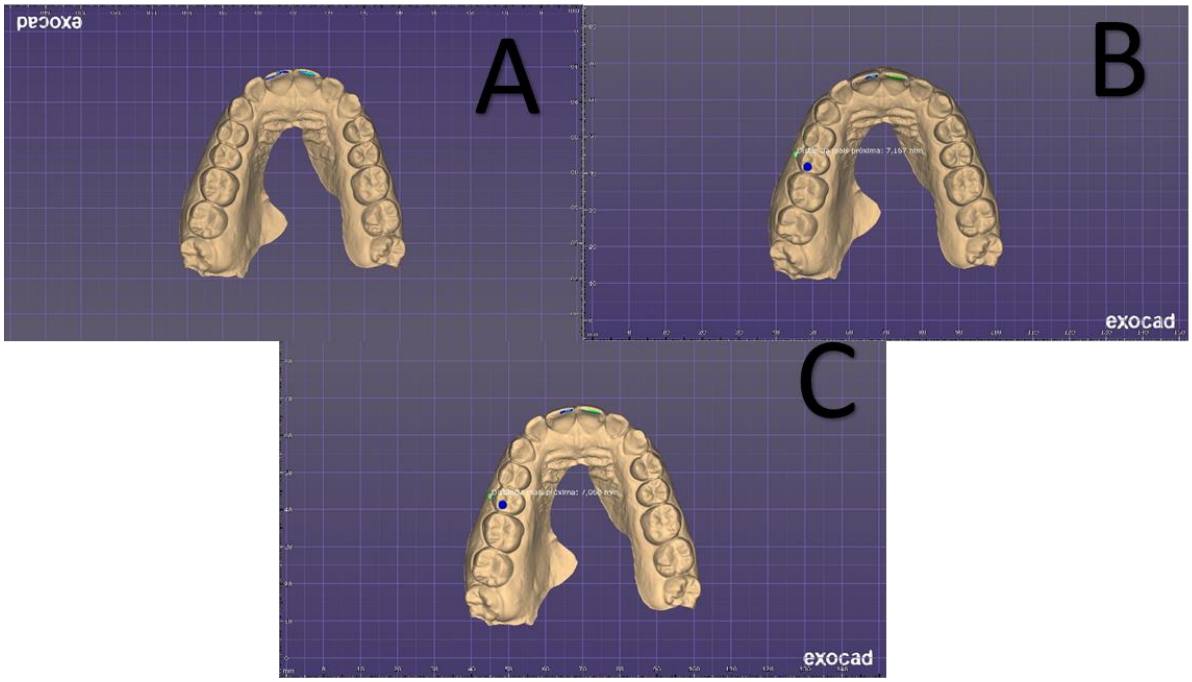
Mantendo a ferramenta de medição com a distância inicial (STL MIH foto/ Auto), o modelo de trabalho foi levado à posição protusiva até que o contato oclusal obtido pela ferramenta de oclusão se assemelhe ao máximo do STL Pro controle (Figura 29 e 30), resultando na “distância final” (figura 31).

Figura 29-Escolha da posição protusiva



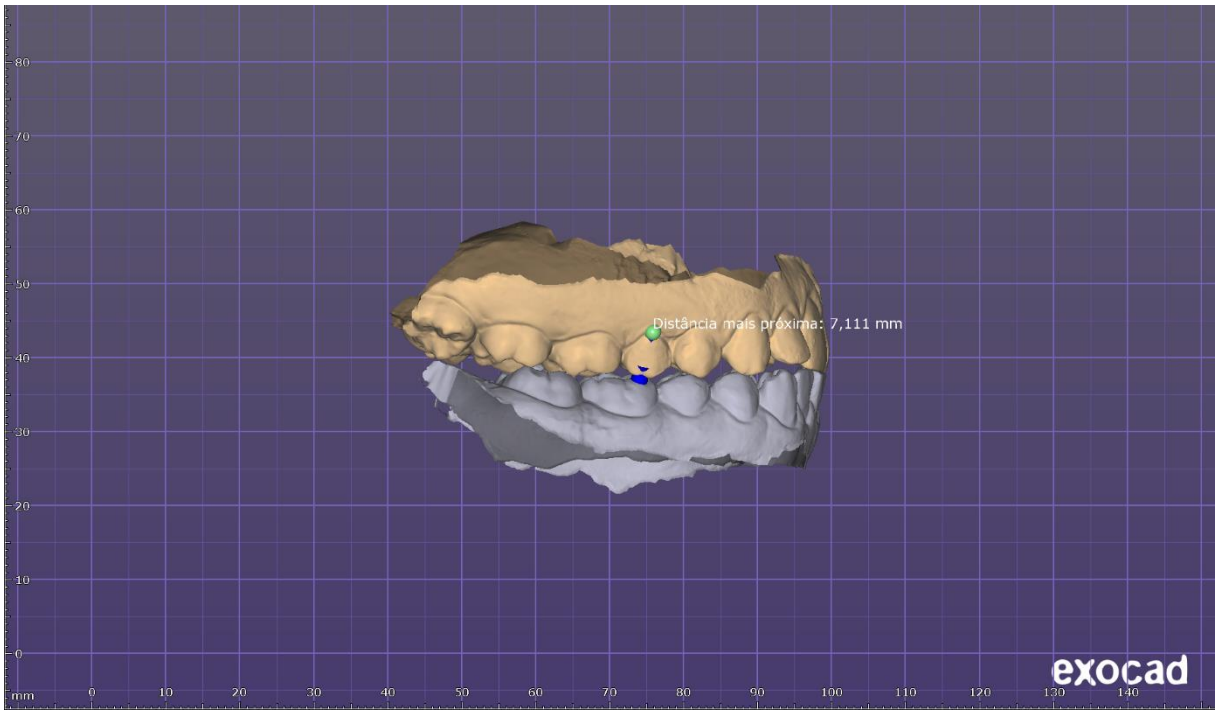
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30-Contatos oclusais em protusiva



Legenda: A) Contato STL Pro Controle ; B); Contato STL Auto ; C) Contato STL Foto.
Fonte: Elaborada pelo autor.

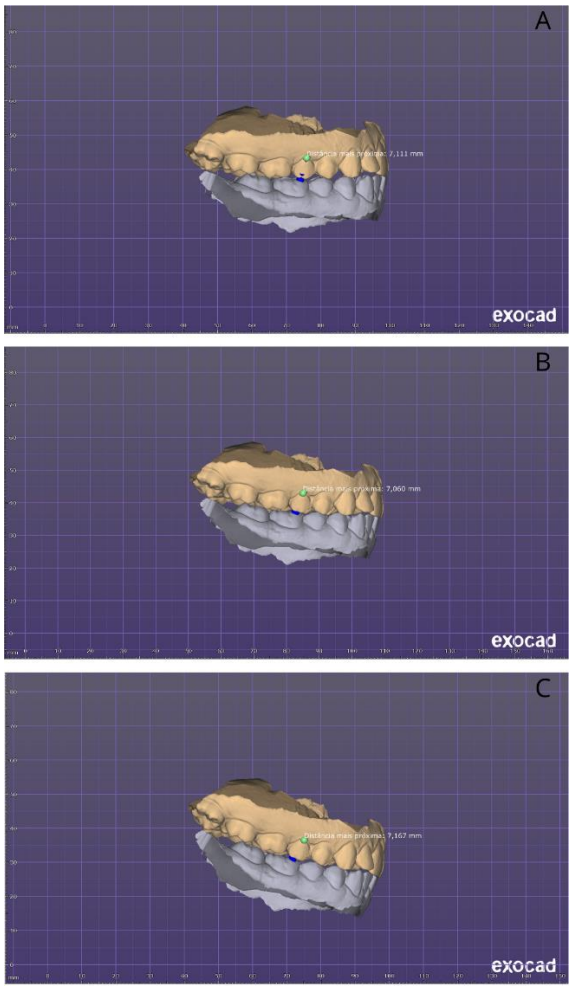
Figura 31– Distância final protusiva



Fonte: Elaborado pelo autor.

As três distâncias finais obtidas nas análises STL Foto e STL Automático foram comparadas estatisticamente com a distância obtida na análise STL Pro controle (figura 32).

Figura 32 - Distâncias Finais em milímetros

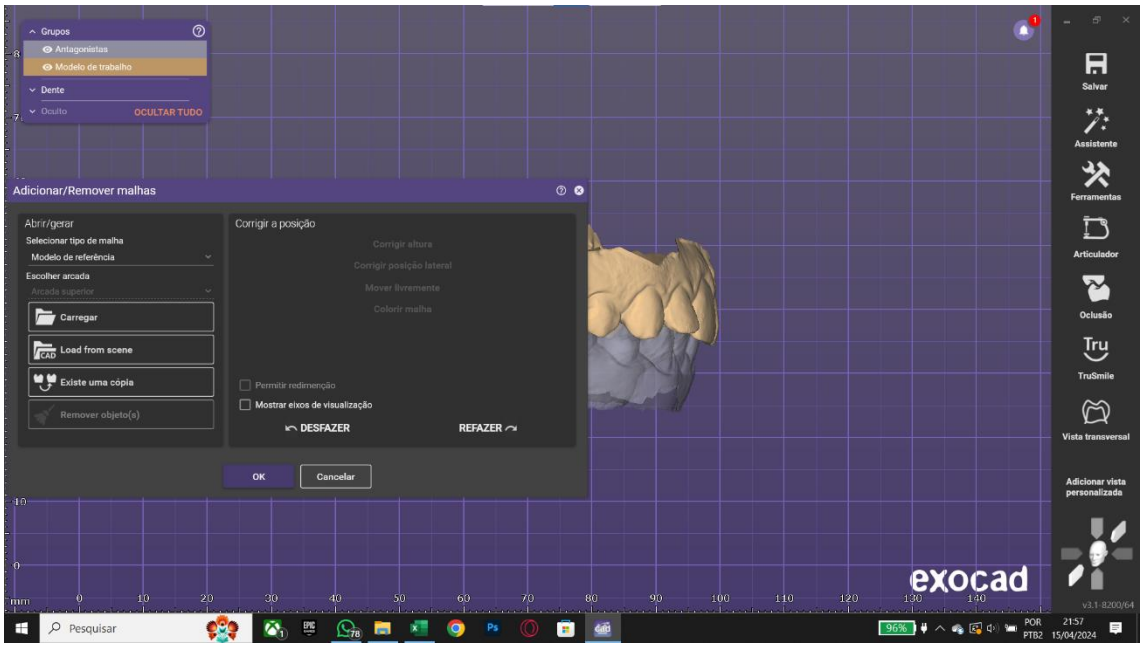


Legenda: A) Distancia final Protusiva Controle; B); Distancia final Protusiva Automático; C) Distancia final Protusiva foto.
Fonte: Elaborada pelo autor.

5.7 Análise de Ajuste Protusivo guiada por sobreposição de Imagem – STL AUTO e STL FOTO:

Inicialmente, acessou-se a pasta do Dentacad do voluntário, que já continha os modelos digitais devidamente articulados. O modo expert foi ativado no software, e na seção de ferramentas, selecionou-se a opção "adicionar ou remover" para iniciar o processo de sobreposição (Figura 33).

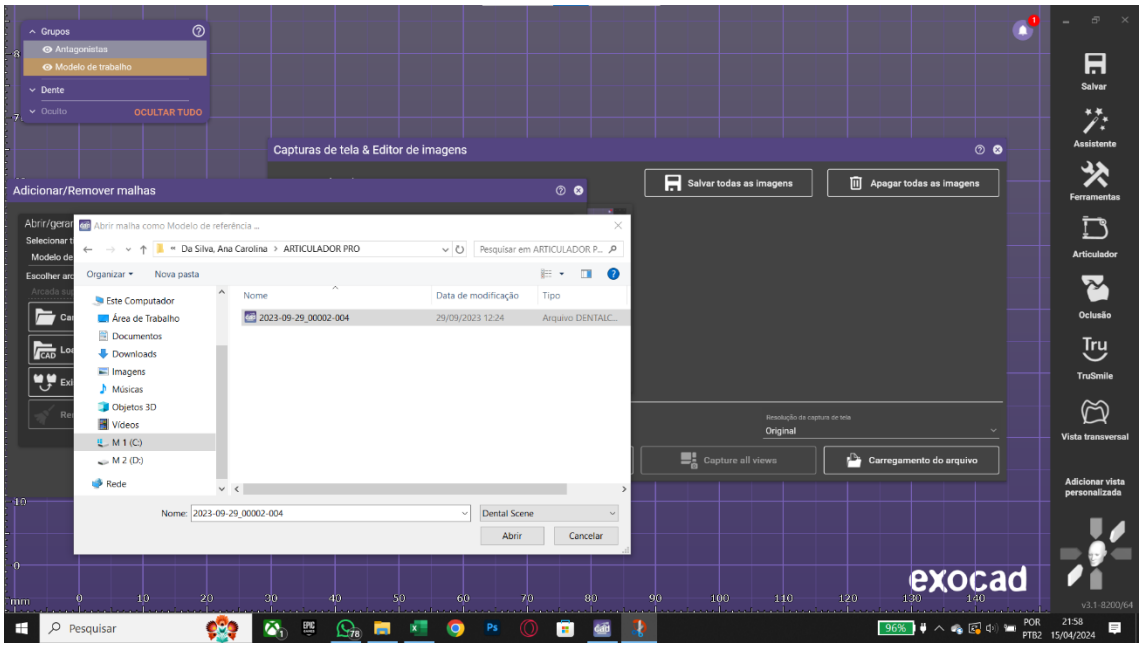
Figura 33- Ferramenta Adicionar/Remover malhas



Fonte: Elaborada pelo autor.

A seguir, procedeu-se com a seleção da opção "carregar a cena", e o arquivo STL protusivo controle correspondente na pasta do voluntário foi carregado (Figura 34).

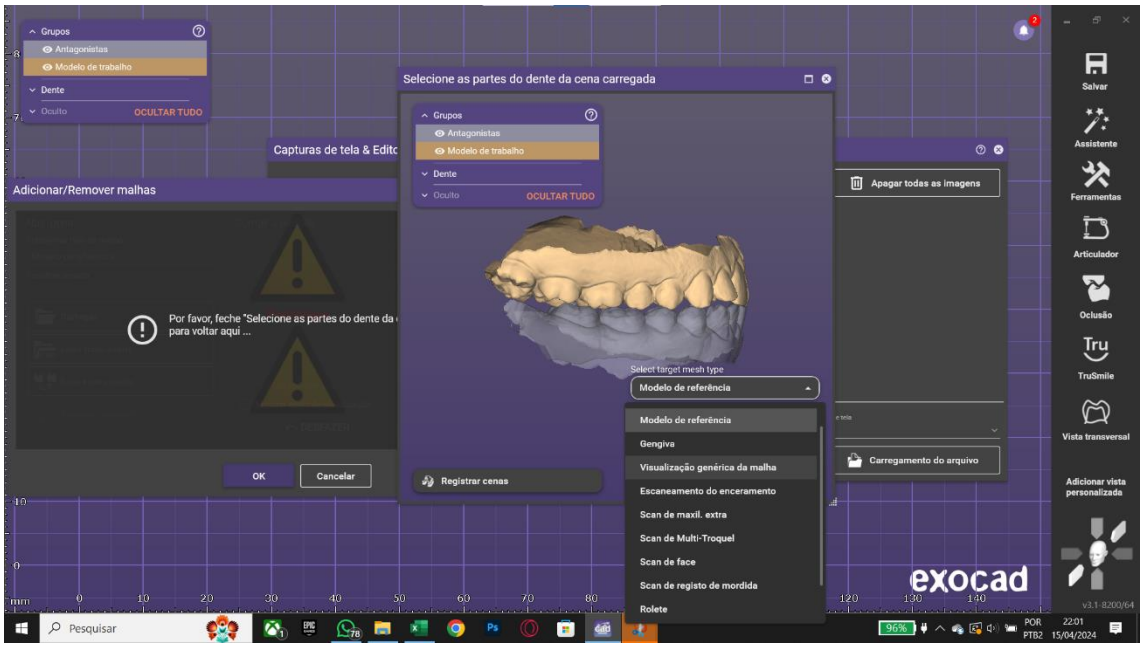
Figura 34-Seleção da opção "carregar a cena"



Fonte: Elaborada pelo autor.

Este arquivo foi então exportado como uma malha genérica, seguido pela ativação da opção "carregar todos " (Figura 35).

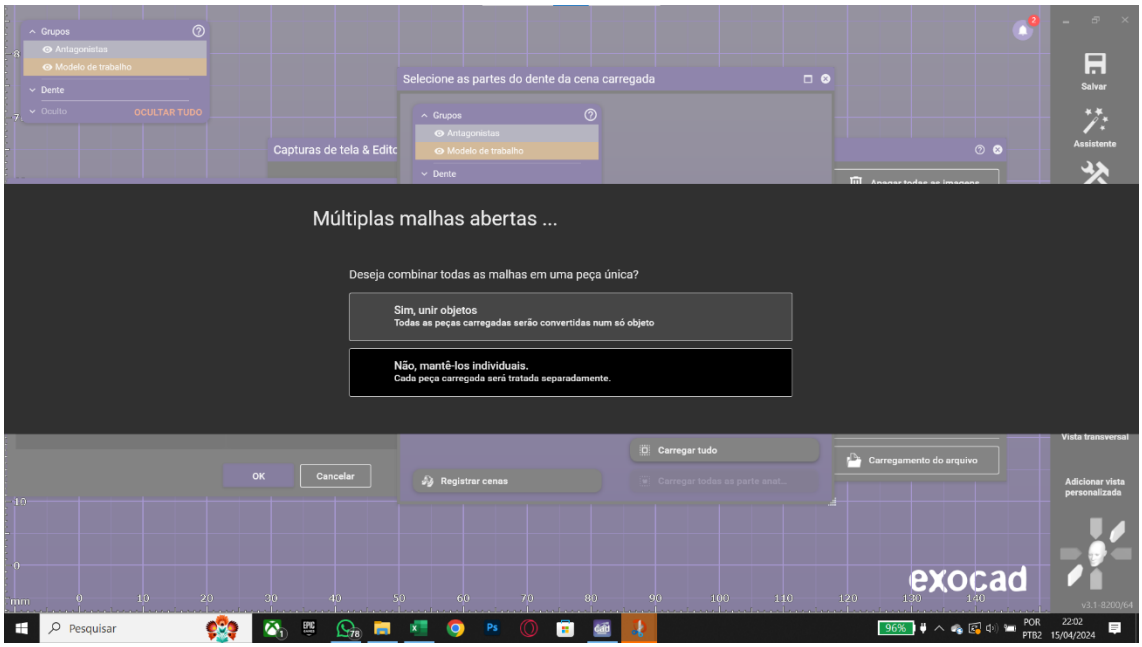
Figura 35- Arquivo exportado como uma malha genérica



Fonte: Elaborada pelo autor.

Selecionou-se "sim, unir objetos" para que o STL protusivo controle fosse carregado como uma malha única preservando sua posição (Figura 36).

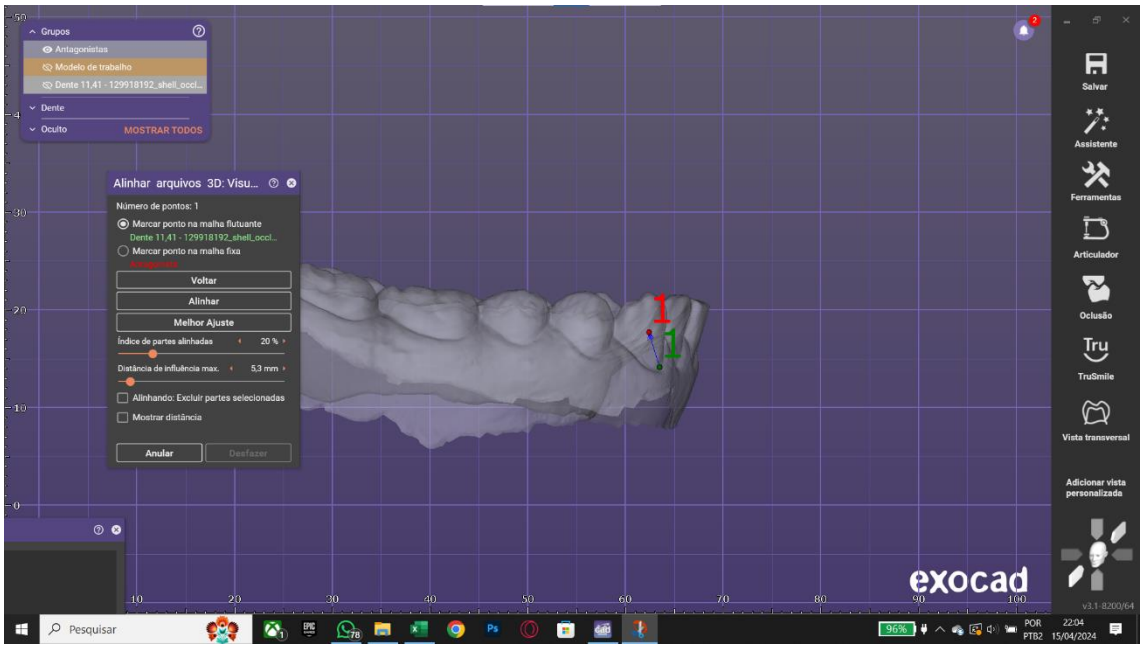
Figura 36- União das malhas do STL Protusivo controle



Fonte: Elaborada pelo autor.

No articulador virtual, onde o movimento padrão é realizado pela maxila, a malha fixa foi estabelecida como a do modelo antagonista. Um ponto específico foi marcado na malha do modelo inferior STL Protusivo controle, e um segundo ponto foi identificado na malha do antagonista do modelo STL MIH, facilitando a visualização do alinhamento correto (Figura 37).

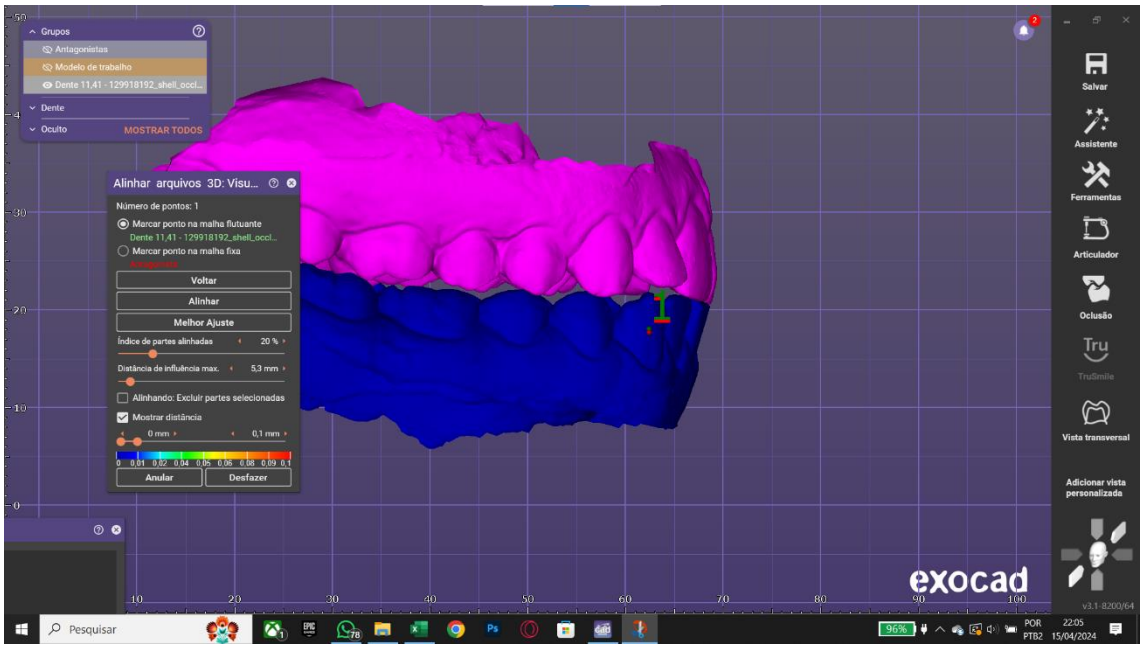
Figura 37- Alinhamento dos arquivos 3D



Fonte: Elaborada pelo autor.

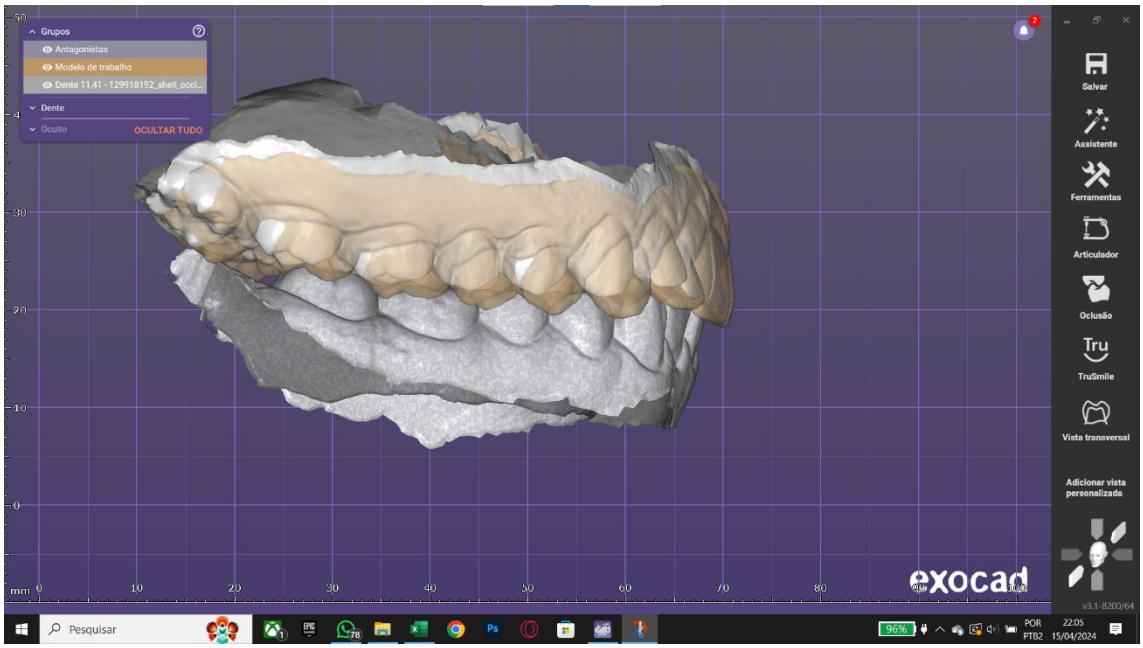
Com a opção "melhor ajuste" selecionada, foi possível verificar a compatibilidade entre as malhas dos modelos inferiores, garantindo a precisão da sobreposição (Figura 38 e 39).

Figura 38-Opção "melhor ajuste"



Fonte: Elaborada pelo autor.

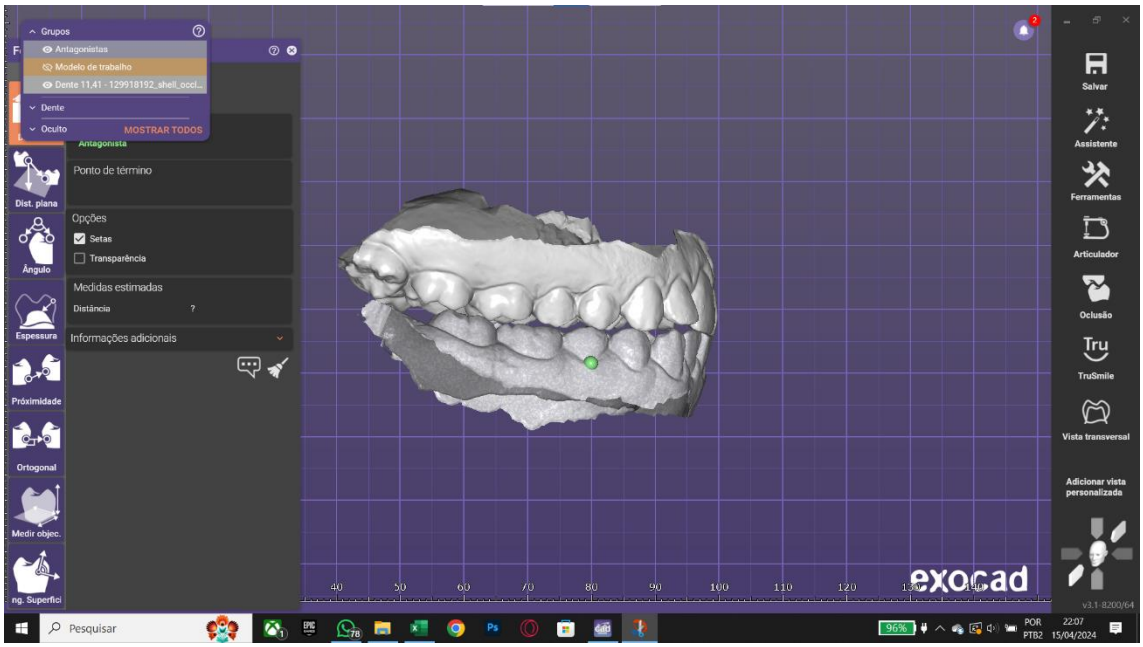
Figura 39-Sobreposição das malhas STL-PRO Controle e STL MIH (Foto- Auto)



Fonte: Elaborada pelo autor.

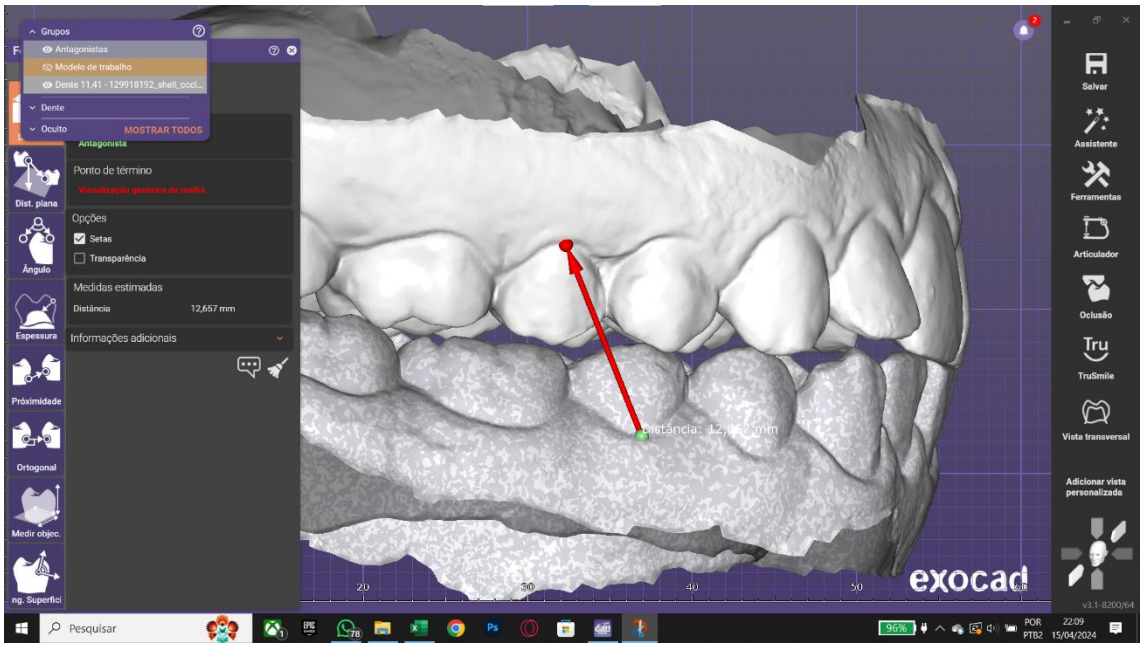
Utilizando a ferramenta de distância, marcou-se o ponto mais baixo cervical no segundo pré-molar inferior do modelo STL Pro controle até o ponto mais alto cervical do antagonista STL Pro controle. A distância entre esses pontos foi registrada (Figura 40,41 e 42).

Figura 40 - Marcação do ponto cervical inicial STL Pro controle



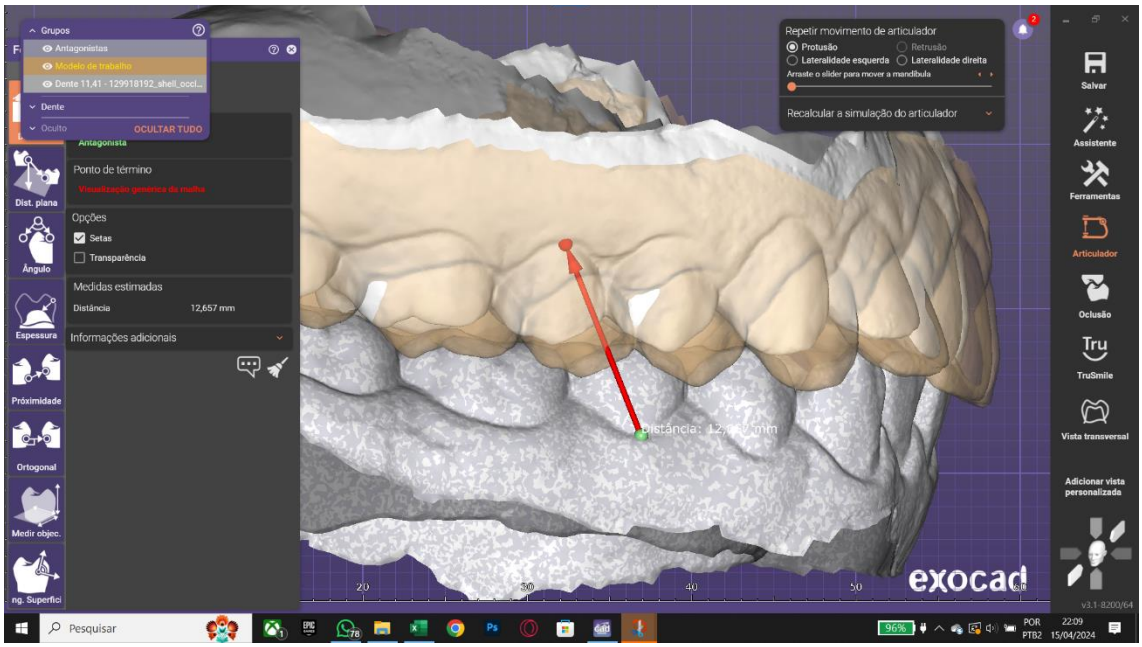
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 41- Marcação do ponto cervical final STL Pro controle



Fonte: Elaborada pelo autor.

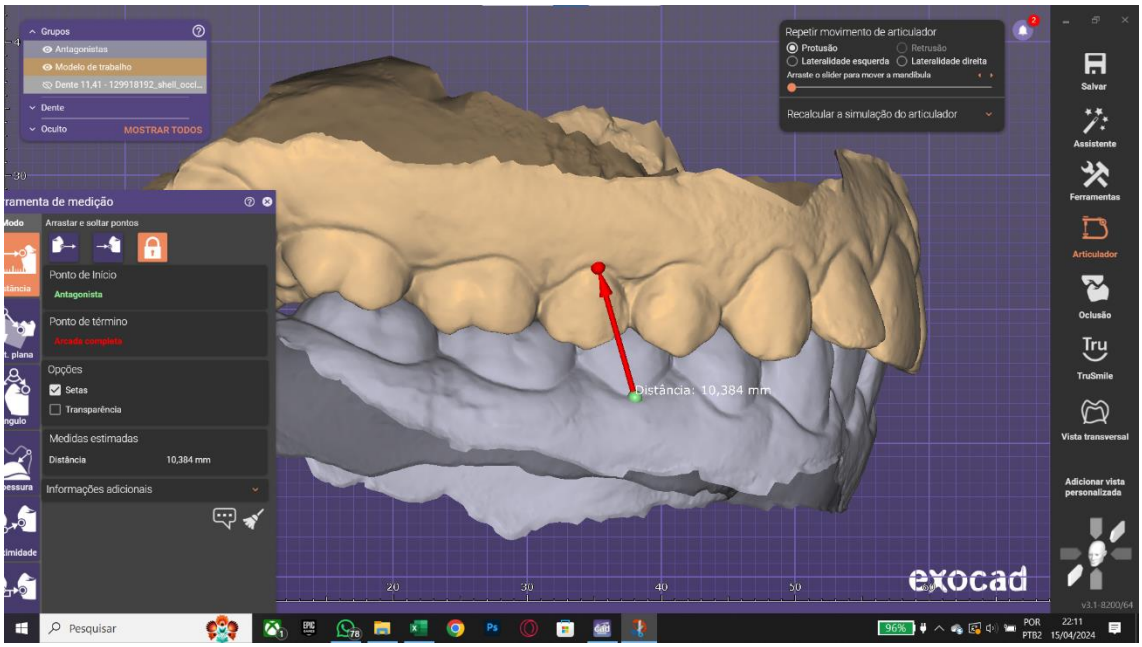
Figura 42- Visualização da sobreposição com os pontos marcados



Fonte: Elaborada pelo autor.

Manteve-se o ponto inicial no modelo inferior, já que as malhas estavam unificadas, e o segundo ponto final foi ajustado para o modelo STL MIH superior, no ponto mais alto da cervical do segundo pré-molar superior (Figura 43).

Figura 43 - Visualização da sobreposição com os pontos marcados em MIH

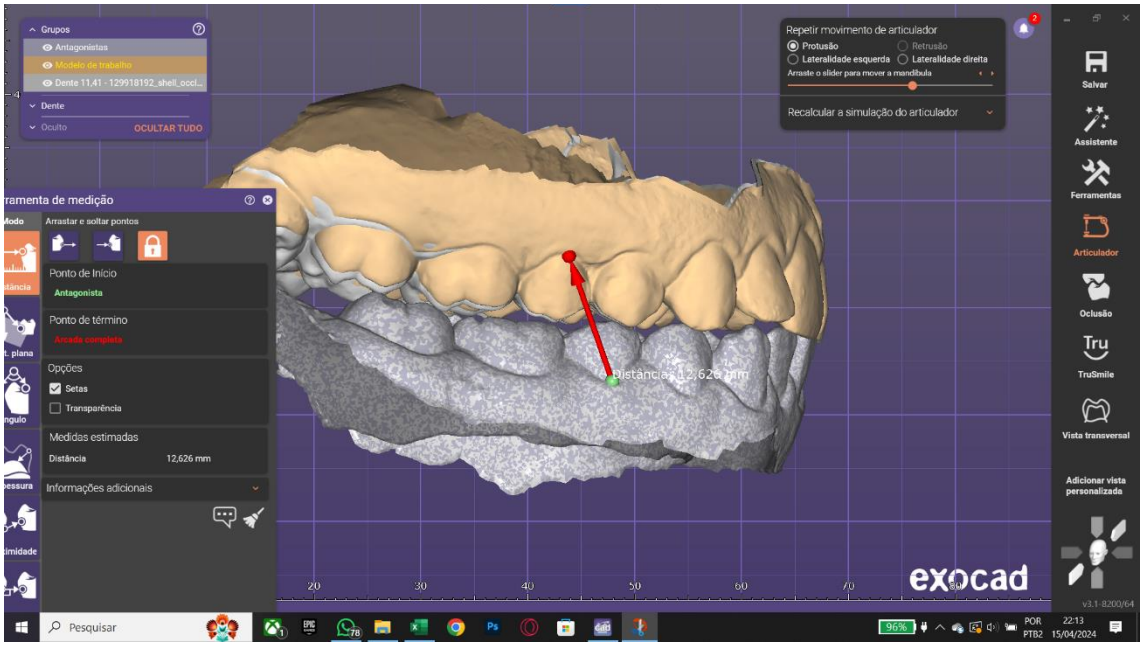


Fonte: Elaborada pelo autor.

Durante a função protusiva do articulador, o modelo de trabalho (superior) STL MIH foi movimentado até a posição protusiva. Ajustes foram feitos até que as malhas do STL Pro controle e STL MIH (foto e automático) estivessem visualmente alinhadas. Com isso, a distância final foi obtida e comparada com a distância final do STL Pro controle, completando assim a análise de sobreposição de imagem.

Esta metodologia detalhada garantiu uma compreensão precisa das variações entre os modelos originais e as montagens, utilizando técnicas fotográfica e automatizada.

Figura 44 - Ajuste final da posição protusiva STL Auto/foto por sobreposição ao modelo STL pro controle



Fonte: Elaborada pelo autor

5.8 Analise Estatística

As variáveis experimentais do presente estudo foram: STL Protusivo Controle, STL Foto, STL Automático. Diante disso, os testes estatísticos foram realizados no software R-project 3.2.0, submetendo-se ao teste de Shapiro-Wilk que foi utilizado para avaliar a normalidade dos dados. O teste ANOVA de medidas repetidas de um fator foi empregado para investigar a precisão dos diferentes métodos de montagem em articuladores. O nível de significância estabelecido para os testes foi igual a 5%, o que estabeleceu um intervalo de confiança de 95% para os resultados apresentados.

5.9 Hipóteses de Nulidade

A hipótese nula sugeriu que não haveria diferenças significativas na precisão entre as montagens de modelos virtuais realizadas pelos métodos automático e fotográfico em comparação com o padrão de referência do método STL Pro - controle, indicando que ambas as técnicas eram comparavelmente eficazes.

6 RESULTADOS

Este estudo avaliou a precisão de técnicas de montagem em articulador virtual, utilizando modelos digitais registrados em posição protusiva (STL Pro - controle) como referência. Foram analisados dois métodos distintos: o fotográfico e o automatizado, cada um comparado ao modelo de controle. A eficácia desses métodos foi quantificada através das distâncias finais, medidas em milímetros, entre os modelos STL Pro Foto e STL Pro Automático em relação ao modelo de controle, STL Pro. Essas medidas forneceram um indicativo quantitativo da capacidade de cada técnica em replicar fielmente a posição protusiva desejada.

Tabela 1 - Medidas obtidas em milímetros na análise guiada por contato

Voluntário	STL-PRO Controle	STL- Foto	STL- Auto
1	9,582	9,147	10,198
2	7,807	7,841	7,981
3	10,628	10,373	10,711
4	7,794	7,798	8,196
5	8,312	8,312	8,365
6	8,499	8,328	8,332
7	7,111	7,167	7,06
8	7,879	7,836	7,852
9	8,016	7,593	8,262
10	8,125	8,116	8,144
11	9,691	9,566	9,509
12	6,481	6,398	6,632
13	8,797	8,003	8,023
14	8,101	8,517	8,268
15	7,721	7,688	7,728
16	10,015	9,567	9,704
17	10,575	10,842	10,956
18	10,649	7,578	8,936
19	9,485	9,678	9,857
20	10,145	9,902	9,887
21	7,575	7,455	7,295
22	8,455	9,185	9,163
23	9,619	8,436	8,593
24	8,645	8,753	8,677
25	8,247	7,959	7,901
26	8,416	8,965	9,49

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante disso, através da Tabela 2, pode se observar os valores obtidos na análise estatística descritiva, com n=26 para STL pro controle, STL foto e STL pro automático, na mensuração guiada por contato oclusal, obtendo-se a média, mediana, desvio padrão mínimo e máximo para os grupos previamente apresentados.

Tabela 2 - Estatística Descritiva – Analise guiada por contato oclusal

	Controle	Foto	Automatico
Média	8.71	8.50	8.68
Mediana	8.44	8.32	8.35
Desvio-padrão	1.13	1.05	1.10
W de Shapiro-Wilk	0.948	0.972	0.969
p Shapiro-Wilk	0.210	0.679	0.593

Fonte: Elaborado pelo autor.

A estatística descritiva mostrou que os métodos apresentaram médias próximas, com valores de 8.71, 8.50, e 8.68 para os grupos STL pro controle, STL foto e STL pro automático, respectivamente.

Tabela 3 - ANOVA de Medições Repetidas Efeito Intra-Sujeitos - Analise guiada por contato oclusal

	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p
Fator Med. Rep. 1	0.660	2	0.330	2.12	0.130
Residual	7.776	50	0.156		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme observado na tabelas 3 , a análise de variância (ANOVA) não revelou diferenças significativas (p=0.130), indicando uma consistência entre os métodos de montagem em reproduzir a posição protusiva.

Tabela 4 - ANOVA de Medições Repetidas Efeito Inter-Sujeitos - Analise guiada por contato oclusal

	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p
Residual	81.6	25	3.26		

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise inter-sujeitos identificou uma variabilidade considerável entre os participantes. Esses resultados evidenciam a influência de características individuais nos resultados, destacando a necessidade de personalização nas aplicações práticas dos métodos estudados.

Tabela 5 - Medidas obtidas em milímetros no DentalCad guiada por sobreposição

Voluntário	STL-PRO Controle	STL- Foto	STL- Auto
1	17,082	16,769	17,389
2	15,308	15,335	14,595
3	18,955	18,824	18,565
4	15,488	15,862	16,214
5	15,427	15,388	15,97
6	16,886	17,015	17,465
7	12,657	12,821	12,826
8	14,145	14,172	14,188
9	18,506	18,555	18,459
10	16,581	16,616	16,922
11	17,545	17,545	17,898
12	13	13,2	13,17
13	15,413	15,529	15,091
14	14,543	14,681	15,157
15	13,855	13,579	14,27
16	16,832	16,944	16,976
17	19,909	19,815	19,776
18	16,389	16,461	16,549
19	17,587	17,642	17,625
20	17,682	17,642	17,625
21	14,646	14,585	14,421
22	15,135	15,057	15,212
23	15,981	14,902	15,007
24	16,87	16,823	17,001
25	14,531	14,518	14,154
26	16,996	17,375	17,54

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da Tabela 6, pode se observar os valores obtidos na análise estatística descritiva, com n=26 para STL pro controle, STL foto e STL automático, na mensuração guiada por sobreposição, obtendo-se a média, mediana, desvio padrão mínimo e máximo para os grupos previamente apresentados.

Tabela 6 - Estatística Descritiva – Analise guiada por sobreposição

	Controle	Foto	Automático
Média	16.1	16.1	16.2
Mediana	16.2	16.2	16.4
Desvio-padrão	1.78	1.77	1.79
W de Shapiro-Wilk	0.987	0.983	0.969
p Shapiro-Wilk	0.977	0.938	0.593

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os métodos "Controle" e "Foto" exibiram médias e medianas idênticas, refletindo uma precisão comparável entre esses dois métodos. Em contraste, o método "Automático" mostrou uma média ligeiramente mais alta e uma mediana, indicando que os resultados foram um pouco mais elevados. Os desvios-padrão para todos os métodos foram próximos, demonstrando que a variabilidade nas medições foi consistente. Os valores mínimos e máximos para os três métodos também foram similares, reforçando a uniformidade dos resultados obtidos.

No teste de Shapiro-Wilk, os dados dos métodos "Controle" e "Foto" sugeriram uma distribuição próxima da normalidade, com valores p de 0.977 e 0.938, respectivamente. O método "Automático", com um valor p de 0.593, mostrou um possível desvio da normalidade, mas ainda assim se manteve dentro dos critérios para ser considerado normal. Esse resultado indicou que, apesar de uma aproximação menos perfeita à normalidade em comparação com os outros métodos, os dados do método "Automático" ainda eram adequados para análises estatísticas paramétricas.

Tabela 7 - ANOVA de Medições Repetidas– Efeito Intra-Sujeitos

	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p
Fator Med. Rep. 1	0.133	2	0.0665	1.13	0.332
Residual	2.952	50	0.0590		

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise intra-sujeitos não identificou diferenças significativas entre os métodos (p=0.332), indicando consistência nos resultados para o mesmo indivíduo, independentemente do método utilizado.

Tabela 8 - ANOVA de Medições Repetidas– Efeito Inter-Sujeitos

	Soma de Quadrados	gl	Quadrado médio	F	p
Residual	235	25	9.40		

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise inter-sujeitos destacou uma variação notável entre diferentes indivíduos, enfatizando a necessidade de considerar variações individuais ao aplicar os métodos em diferentes contextos ou populações.

7 DISCUSSÃO

Este estudo validou a hipótese de que não existem diferenças significativas na precisão entre as técnicas de montagem virtual individualizada por fotografia e a automatizada baseada em valores médios. As análises estatísticas demonstraram que as discrepâncias entre os modelos STL Pro Controle e os modelos STL Foto e STL Auto não alcançaram significância estatística, sugerindo que ambas as técnicas proporcionam níveis comparáveis de precisão e são intercambiáveis sem prejuízo para a eficácia de uma em relação à outra.

Foi discutida a funcionalidade dos articuladores e os erros associados, destacando-se a complexidade de simular as condições anatômicas e funcionais do sistema estomatognático. Ressaltou-se a importância de uma compreensão detalhada das capacidades e limitações de cada tipo de articulador, permitindo que os dentistas façam escolhas informadas para compensar as variáveis inerentes a esses instrumentos (Beck et al., 1962).

A relevância de um posicionamento correto do modelo maxilar em um articulador foi enfatizada, sendo fundamental para o sucesso do tratamento odontológico. Sublinhou-se a importância do entendimento do conceito do ponto de referência anterior para dentistas e estudantes de prótese dentária, indicando que a negligência deste aspecto pode levar a resultados adversos (Wilkie, 1979).

A exigência de precisão e habilidade na montagem de modelos em articuladores mecânicos é influenciada por vários fatores, como distorções nos modelos de gesso e instabilidades do equipamento, que podem afetar a acurácia do resultado final (Kordaß et al., 2002). Em paralelo, os avanços da tecnologia digital, com os articuladores virtuais surgindo como alternativas precisas e eficazes, foram apresentados como soluções para os desafios dos métodos tradicionais (Bisler et al., 2002; Maestre-Ferrin et al., 2012).

Os estudos sobre a precisão dos articuladores análogicos na reprodução de contatos dentários excursivos revelaram limitações significativas, indicando a discrepância entre a reprodução desses instrumentos e os contatos identificados intraoralmente. A identificação de contatos dentários excursivos adicionais, não observados inicialmente, sublinhou a necessidade de uma avaliação crítica dessas

ferramentas na prática odontológica (Tamaki et al., 1997).

Um estudo avaliou a precisão dos articuladores virtuais em replicar movimentos mandibulares quando comparados aos articuladores mecânicos. Utilizando modelos tipodontes e simulando diferentes configurações condilares e aberturas de pinos, os pesquisadores analisaram as medidas de acurácia e precisão. Os resultados indicaram mínimas diferenças entre os dois tipos de articuladores, com desvios não superiores a 100 µm, sugerindo que ambos são eficazes na simulação de movimentos mandibulares com precisão clinicamente aceitável (Hsu et al., 2019).

Uma comparação realizada entre contatos oclusais identificados em modelos dentários físicos, marcados convencionalmente com carbono, e aqueles construídos a partir de imagens tridimensionais derivadas de registros interoclusais e modelos dentários digitalizados. Utilizando um articulador semi-ajustável para simular a oclusão dentária de 10 indivíduos totalmente dentados, o estudo validou a precisão da montagem digital em reproduzir contatos oclusais reais e indicou a preferência por alinhar modelos virtuais com registros interoclusais virtuais como o método mais eficaz. Esses achados reforçam a potencialidade da digitalização 3D e da modelagem virtual como ferramentas valiosas na odontologia, possibilitando avaliações mais precisas da função oclusal, fundamentais para o diagnóstico adequado e a formulação de planos de tratamento eficazes (DeLong et al., 2002).

A necessidade de usar vários dispositivos até a conclusão do caso pode limitar o uso do articulador, especialmente em reabilitações complexas. Um estudo investigou a precisão da intercambiabilidade de articuladores e a reprodutibilidade do eixo de dobradiça usando modelos montados em articuladores de diferentes marcas. Os modelos foram montados nos articuladores Whip Mix 3040, Girrbach Artex AL e KaVo Protar, e a pesquisa testou a capacidade de transferir modelos entre articuladores da mesma marca, avaliando a consistência do eixo de dobradiça em cada um ao abrir e fechar os articuladores repetidamente. O estudo destacou a complexidade em alcançar intercambiabilidade e reprodutibilidade entre articuladores diferentes, sugerindo que transferências entre dispositivos não idênticos podem afetar adversamente a oclusão (Hatzi et al., 2001).

Um dispositivo mecânico possui limitações na sua capacidade de reproduzir a complexidade dos sistemas biológicos, como os movimentos dinâmicos da mandíbula e aspectos dependentes. Apesar de ser altamente capaz de proporcionar resultados

precisos, o processo de montagem é suscetível a diversas variáveis que são influenciadas pela habilidade do operador e pelos materiais utilizados. Estas variáveis incluem a precisão na orientação do modelo, a expansão e contração do gesso, a deformação do material de registro de mordida e a estabilidade do articulador, entre outros (Korda et al., 2002; Maestre-Ferrin et al., 2012; Solaberrieta, 2015b).

Por outro lado, a obtenção de dados para os articuladores virtuais pode ser realizada de maneira direta, por meio de scanners intraorais, ou indiretamente, através do escaneamento de modelos de gesso, o que facilita o fluxo de trabalho. O fluxo de trabalho digital indireto envolve o procedimento tradicional de montagem do arco facial mecânico e do articulador, seguido pela transferência de dados digitais para o articulador virtual por meio de um scanner de laboratório de mesa (Lepidi et al., 2021; Koralakunte et al., 2014). Estudos apontam que este procedimento pode ser demorado e impreciso devido à expansão do gesso e à deformação do material de registro da oclusão, tornando a precisão na montagem dos modelos de arco no articulador virtual crucial para uma simulação correta (Solaberrieta et al., 2013).

Os articuladores virtuais (AVs) possuem capacidade de simular relações e movimentos mandibulares com precisão em um ambiente digital, os AVs se dividem em modelos completamente ajustáveis e matematicamente simulados. Esses dispositivos oferecem benefícios significativos sobre os métodos tradicionais, permitindo análises detalhadas das dinâmicas mandibulares e facilitando um planejamento de tratamento mais preciso e personalizado (Koralakunte et al., 2014).

O uso do arco facial é um tópico amplamente discutido na literatura. Uma pesquisa destacou a aplicabilidade do arco facial em práticas protéticas, evidenciando sua contribuição na reprodução precisa da relação espacial do arco maxilar. O estudo diferenciou entre arcos faciais cinemáticos, que mapeiam a relação do arco maxilar com pontos exatos, e os arbitrários, que são preferidos por sua praticidade, apesar de suas limitações em termos de precisão estética. O estudo sugeriu que desvios menores na localização do eixo do arco facial arbitrário não comprometem significativamente a montagem do modelo. Também foram discutidas as dificuldades associadas à adaptação dos métodos digitais para captura dessas referências, apesar da conveniência e avanços dos métodos digitais (Nagy e Goldstein, 2019).

Em outro estudo que investigou a eficácia de diferentes sistemas de arcos faciais mecânicos na orientação do plano oclusal maxilar, foram identificadas

variações significativas entre os sistemas. Isso aponta para a complexidade dessa tarefa e a importância de selecionar cuidadosamente o sistema de arco facial apropriado para garantir montagens precisas no articulador. Esses resultados ressaltam a importância de uma avaliação cuidadosa dos sistemas de transferência de arco facial na prática clínica (Mavelli et al., 2015).

A necessidade de ajustes personalizados nos articuladores, sejam eles mecânicos ou virtuais, está diretamente relacionada à intenção de reproduzir movimentos específicos (Beck et al., 1962).

Diversos métodos são empregados no ambiente virtual para transferir a posição da maxila de moldes digitalizados para o articulador virtual, incluindo o uso de scanners ópticos tridimensionais, axiografia digital, digitalização facial 3D a partir de uma série de fotografias (Hong et al., 2020), estereofotogrametria (Lam et al., 2018), tomografia computadorizada de feixe cônico (Park et al., 2020), imagens cefalométricas e até mesmo a digitalização da posição de um ponteiro em seis posições com referência à cabeça (solaberrieta et al., 2015b). Apesar da variedade de técnicas disponíveis, nenhuma delas foi amplamente adotada na prática clínica devido ao custo, disponibilidade de equipamentos e exposição à radiação (Lepidi et al., 2021).

A escolha do articulador matematicamente simulado na atual pesquisa se deve à sua acessibilidade e eficiência. O tempo de procedimento e etapas reduzidas, são fatores relevantes para essas técnicas que nesse estudo levou em média 15 minutos para captura de dados (escaneamento e fotografias) e 8 minutos para montagem virtual. Ao ser uma opção virtual prática, ele elimina a necessidade de investimentos dispendiosos em equipamentos físicos complexos. Os resultados dessa pesquisa evidenciaram sua viabilidade como método para montagem virtual, reforçando sua relevância na investigação odontológica contemporânea.

Um estudo descreveu uma técnica utilizando fotografias de fundo padronizadas para facilitar a transferência do modelo maxilar digital para um articulador virtual dentro de software CAD-CAM. O processo envolveu a captura de imagens do paciente em condições padronizadas, seguida pelo corte e redimensionamento das fotos para alinhamento com o modelo digital maxilar. Segundo os autores, esse procedimento ofereceu uma solução prática para o alinhamento correto do modelo digital no articulador virtual, com base em imagens padronizadas e de fácil aplicação (Petre et

al., 2018).

No presente estudo, a técnica de montagem em articulador virtual individualizada por fotografia, as fotos de perfil foram capturadas enquanto os voluntários mantinham a cabeça na Posição Natural. Esta postura, padronizada e frequentemente adotada em montagens virtuais devido à sua reprodutibilidade, utilizou o plano de Frankfurt como referência horizontal. Além disso, a marcação do ponto Beyron no articulador auxiliou no posicionamento dos modelos STL, e o ponto infraorbital serviu como referência anterior para a transferência do plano horizontal do paciente para o articulador, facilitando a precisão do alinhamento (Lan et al., 2018; Raghav et al., 2016; Rosmaninho et al., 2024). Observou-se que um desvio de até 5 mm no eixo da dobradiça poderia resultar em um erro marginal no segundo molar, indicando que pequenos desvios são toleráveis e não comprometem significativamente a funcionalidade de algumas próteses (Wilkie, 1979).

Um estudo investigou a precisão nas montagens de modelos dentários usando registros de arco facial tradicionais, valores médios e escaneamentos faciais 3D, com dez participantes. Os escaneamentos 3D se mostraram tão precisos quanto os registros tradicionais, enquanto as montagens com valores médios apresentaram diferenças significativas (Inoue et al., 2024).

Outra pesquisa comparou a precisão do uso de um arco facial arbitrário com um método baseado em valores médios para posicionar modelos maxilares em articuladores. Neste experimento controlado e randomizado com 38 estudantes de odontologia, o arco facial, baseado no triângulo de Bonwill e no ângulo de Balkwill, melhorou significativamente a precisão e confiabilidade das transferências de modelos, destacando sua utilidade clínica para precisão oclusal (Ahlers et al., 2018).

Enquanto pesquisas anteriores destacaram que o método de arco facial arbitrário aumenta a precisão e a confiabilidade nas transferências de modelos em articuladores dentais, recomendando sua utilização para uma replicação precisa das relações mandibulares do paciente, o estudo atual apresentou uma perspectiva diferente. Foi constatado que embora o método Automático tenha exibido uma tendência para valores ligeiramente mais altos, essa diferença não foi estatisticamente significativa. Tal resultado pode ser explicado pela base dos valores médios tradicionais nas inclinações médias do plano de Camper, que consideram apenas a inclinação do plano oclusal. Em contraste, na montagem virtual, além da inclinação do

plano oclusal, os valores médios são baseados nas teorias de Bonwill e do ângulo de Backer, sendo implementados por meio de software CAD. Além disso, estudos indicam que fatores como gênero e altura não influenciam a localização do eixo transversal horizontal arbitrário em relação à borda incisal central maxilar, e que variações nesta distância resultam em discrepâncias oclusais menores, consideradas clinicamente irrelevantes, sugerindo uma abordagem mais prática para as montagens dentárias(Kois et al., 2013). A fotografia, apesar de contribuir principalmente para o direcionamento estético, não mostrou superioridade em precisão quando comparada com a montagem baseada em valores médios. A necessidade de investigação futura em pacientes com condições oclusais mais complexas é destacada para validar a aplicabilidade e eficácia dessas técnicas em cenários clínicos desafiadores.

No entanto, diante da análise estatística que se mostrou idêntica no método fotográfico em relação ao grupo controle, abre uma brecha para investigações mais detalhadas sobre a técnica de montagem com indidividualização especialmente em cenários oclusais complexos onde a precisão é crucial.

Embora os articuladores semi-ajustáveis sejam conhecidos por sua precisão, a tendência atual mostra um declínio em sua adoção na prática clínica diária, com muitos profissionais optando por articuladores tipo charneira devido à sua simplicidade. Essa desconexão entre a teoria ensinada e a prática adotada destaca a necessidade de revisões curriculares que integrem efetivamente os conceitos de arco facial e articuladores semi-ajustáveis (Clark et al., 2001). Historicamente, desde a década de 1970, foi observado que apenas uma fração dos estudantes continuava a utilizar ou prescrever articuladores após iniciar a prática clínica (Mohamed, 1976), indicando a necessidade de uma abordagem de ensino que considere a complexidade de cada caso clínico.

No contexto contemporâneo, o articulador virtual, integrado aos sistemas CAD/CAM, está revolucionando o planejamento odontológico com um fluxo de trabalho completamente digital, facilitando a comunicação entre profissionais e laboratórios (Lepidi et al., 2021).

A adoção de articuladores virtuais por dentistas, especialmente aqueles da nova geração já familiarizados com o ambiente digital, representa um avanço significativo, proporcionando uma metodologia intuitiva e acessível que é ideal para a dinâmica da clínica moderna.

Apesar desses avanços, o desafio persistente na transferência de arcos faciais para o ambiente virtual ainda requer atenção, especialmente em casos de maior complexidade onde todos os voluntários deste estudo apresentavam oclusão estável. A eficácia da transferência do arco facial no ambiente virtual necessita de métodos otimizados para garantir precisão em situações clínicas complexas. Este *gap* na prática clínica sugere uma direção futura para a pesquisa, focada no desenvolvimento de técnicas avançadas para a transferência de arcos faciais, potencializando a precisão e eficácia desses sistemas em uma variedade maior de casos clínicos.

8 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstraram que as técnicas de montagem em articuladores virtuais, seja através de fotografia ou de valores médios automáticos, alcançaram níveis similares de precisão. Esse achado confirmou a importância dos articuladores virtuais na odontologia moderna, destacando a sua eficácia em integrar fluxos de trabalho digitais e aprimorar a acurácia dos tratamentos dentários, eliminando a dependência de métodos analógicos convencionais. A pesquisa sublinha também a necessidade de investigações futuras focadas na otimização dessas técnicas e na ampliação de sua aplicabilidade, com o objetivo de potencializar os benefícios que os articuladores virtuais oferecem à odontologia.

REFERÊNCIAS

Ahlers, M. O., Edelhoff, D., & Jakstat, H. A. (2019). Reproduction accuracy of articulator mounting with an arbitrary face-bow vs. average values—a controlled, randomized, blinded patient simulator study. Clinical Oral Investigations, 23(3), 1007–1014. https://doi.org/10.1007/s00784-018-2499-6

Almăşan, O., Buduru, S., Iacob, S., Chisnoiu, A., Miţaru, L., Miţaru, M., Dămăşaru, M. S., Mareşal, I. G., & Negucioiu, M. (2021). CONTACT POINTS DISTRIBUTION ACCORDING TO THE ARTICULATOR TYPE: SEMIADJUSTABLE VERSUS NON ADAPTABLE VERSUS DIGITAL. Romanian Journal of Stomatology, 67(2), 112–119. https://doi.org/10.37897/RJS.2021.2.9

Ansari, A., Alsaidan, M., Algadhi, S., Alrasheed, M., Al Talib, I., Alsaaid, A., & Ansari, S. (2021). Impression materials and techniques used in fixed prosthodontics: A questionnaire-based survey to evaluate the knowledge and practice of dental students in Riyadh city. Journal of Family Medicine and Primary Care, 10(1), 514. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_2094_20

Barnett, F. C. (1984). Articulator mounting and adjustments. Australian Orthodontic Journal, 8(4), 128–130.

Brandrup-Wognsen, T. (1953). The face-bow, its significance and application. The Journal of Prosthetic Dentistry, 3(5), 618–630. https://doi.org/10.1016/0022-3913(53)90057-2

Beck, H. O. (1962). Choosing the articulator. The Journal of the American Dental Association, 64(4), 468–475. https://doi.org/10.14219/jada.archive.1962.0121

Bisler, A., Bockholt, U., & Voss, G. (2002). The Virtual Articulator - applying VR technologies to dentistry. Proceedings Sixth International Conference on Information Visualisation, 600–602. https://doi.org/10.1109/IV.2002.1028835

Bohner, L. O. L., Neto, P. T., Ahmed, A. S., Mori, M., Laganá, D. C., & Sesma, N. (2016). CEREC Chairside System to Register and Design the Occlusion in Restorative Dentistry: A Systematic Literature Review. Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 28(4), 208–220. https://doi.org/10.1111/jerd.12226

Clark, D. M., Oyen, O. J., & Feil, P. (2001). The Use of Specific Dental School-Taught Restorative Techniques by Practicing Clinicians. Journal of Dental Education, 65(8), 760–765. https://doi.org/10.1002/j.0022-0337.2001.65.8.tb03422.x

Christensen, G. J)2006). Is now the time to purchase an in-office CAD/CAM device? The Journal of the American Dental Association, 137(2), 235–238. https://doi.org/10.14219/jada.archive.2006.0149

de Boever, J. A., Nilner, M., Orthlieb, J.-D., Steenks, M. H., & Educational Committee of the European Academy of Craniomandibular Disorders. (2008). Recommendations by the EACD for examination, diagnosis, and management of patients with temporomandibular disorders and orofacial pain by the general dental practitioner. Journal of Orofacial Pain, 22(3), 268–278.

DeLong, R., Ko, C.-C., Anderson, G. C., Hodges, J. S., & Douglas, W. H. (2002). Comparing maximum intercuspal contacts of virtual dental patients and mounted dental casts. The Journal of Prosthetic Dentistry, 88(6), 622–630. https://doi.org/10.1067/mpr.2002.129379

Edher, F., Hannam, A. G., Tobias, D. L., & Wyatt, C. C. L. (2018). The accuracy of virtual interocclusal registration during intraoral scanning. The Journal of Prosthetic Dentistry, 120(6), 904–912. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.01.024

Elkady, A. A. M., Ameen, S. A., & Sami, R. N. (2023). Intraoral occlusal adjustment time and volume required for CAD/CAM crowns fabricated with different virtual mounting methods (A randomized crossover trial). BDJ Open, 9(1), 19. https://doi.org/10.1038/s41405-023-00146-8

Farias-Neto, A., Dias, A. H. M., de Miranda, B. F. S., & de Oliveira, A. R. (2013). Face-bow transfer in prosthodontics: a systematic review of the literature. Journal of Oral Rehabilitation, 40(9), 686–692. https://doi.org/10.1111/joor.12081

GARRIDO GARCIA, V. C., GARCIA CARTAGENA, A., & GONZALEZ SEQUEROS*, O. (1997). Evaluation of occlusal contacts in maximum intercuspation using the T-Scan system. Journal of Oral Rehabilitation, 24(12), 899–903. https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.1997.00586.x

Gärtner, C., & Kordaß, / B. (2003). Desenvolvimento e Avaliação O Articulador Virtual: Der Virtuelle Artikulator: Entwicklung e Avaliação Zusammenfassung Introdução.

Hatzi, P., Millstein, P., & Maya, A. (2001). Determining the accuracy of articulator interchangeability and hinge axis reproducibility. Journal of Prosthetic Dentistry, 85(3), a109987. https://doi.org/10.1067/mpr.2001.10998

Hong, S.-J., & Noh, K. (2020). Setting the sagittal condylar inclination on a virtual articulator by using a facial and intraoral scan of the protrusive interocclusal position: A dental technique.

Hsu, M. R., Driscoll, C. F., Romberg, E., & Masri, R. (2019). Accuracy of Dynamic Virtual Articulation: Trueness and Precision. Journal of Prosthodontics, 28(4), 436–443. https://doi.org/10.1111/jopr.13035

Inoue, N., Scialabba, R., Lee, J. D., & Lee, S. J. (2024). A comparison of virtually mounted dental casts from traditional facebow records, average values, and 3D facial scans. The Journal of Prosthetic Dentistry, 131(1), 136–143. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.03.001

Jairaj, A., Agroya, P., Tiwari, R. V., Alqahtani, N. M., Salkar, M., Prem Sagar, Y., & Author, C. (2021). Evolution of Articulators-Research and Review (Vol. 25). http://annalsofrscb.ro

Koralakunte, P. R. (2014). The Role of Virtual Articulator in Prosthetic and Restorative Dentistry. JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH. https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/8929.4648

Kois, J. C., Kois, D. E., & Chaiyabutr, Y. (2013). Occlusal errors generated at the maxillary incisal edge position related to discrepancies in the arbitrary horizontal axis location and to the thickness of the interocclusal record. Journal of Prosthetic Dentistry, 110(5), 414–419. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2013.06.005

Kordaß, B., Gärtner, C., Söhnel, A., Bisler, A., Voß, G., Bockholt, U., & Seipel, S. (2002). The virtual articulator in dentistry: concept and development. Dental Clinics of North America, 46(3), 493–506. https://doi.org/10.1016/S0011-8532(02)00006-X

Lam, W. Y. H., Hsung, R. T. C., Choi, W. W. S., Luk, H. W. K., Cheng, L. Y. Y., & Pow, E. H. N. (2018). A clinical technique for virtual articulator mounting with natural head position by using calibrated stereophotogrammetry. Journal of Prosthetic Dentistry, 119(6), 902–908. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.07.026

L. Mitchell, D., & D. Wilkie, N. (1978). Articulators through the years. Part I. Up to 1940. The Journal of Prosthetic Dentistry, 39(3), 330–338. https://doi.org/10.1016/S0022-3913(78)80106-1

Lepidi, L., Galli, M., Mastrangelo, F., Venezia, P., Joda, T., Wang, H., & Li, J. (2021). Virtual Articulators and Virtual Mounting Procedures: Where Do We Stand? Journal of Prosthodontics, 30(1), 24–35. https://doi.org/10.1111/jopr.13240

Lepidi, L., Chen, Z., Ravida, A., Lan, T., Wang, H. L., & Li, J. (2019). A Full-Digital Technique to Mount a Maxillary Arch Scan on a Virtual Articulator. Journal of Prosthodontics, 28(3), 335–338. https://doi.org/10.1111/jopr.13023

Li, J., Chen, Z., Decker, A. M., Wang, H. L., Joda, T., Mendonca, G., & Lepidi, L. (2022). Trueness and Precision of Economical Smartphone-Based Virtual Facebow Records. Journal of Prosthodontics, 31(1), 22–29. https://doi.org/10.1111/jopr.13366

Lin, H., Pan, Y., Wei, X., Wang, Y., Yu, H., & Cheng, H. (2023). Comparison of the performance of various virtual articulator mounting procedures: a self-controlled clinical study. Clinical Oral Investigations, 27(7), 4017–4028. https://doi.org/10.1007/s00784-023-05028-9

Mann, N. K., Pasricha, N., Singh, K., & Mann, N. S. (2017). The Evolution of Articulators – Part II. Stomatoloski Glasnik Srbije, 64(4), 184–193. https://doi.org/10.1515/sdj-2017-0018

Maestre-Ferrin, L., Romero-Millan, J., Penarrocha-Oltra, D., & Penarrocha-Diago, M. (2012). Virtual articulator for the analysis of dental occlusion: An update. Medicina Oral Patología Oral y Cirugia Bucal, e160–e163. https://doi.org/10.4317/medoral.17147

Martins, A. v., Albuquerque, R. C., Santos, T. R., Silveira, L. M., Silveira, R. R., Silva, G. C., & Silva, N. R. F. A. (2017). Esthetic planning with a digital tool: A clinical report. The Journal of Prosthetic Dentistry, 118(6), 698–702. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.02.016

Maveli, T. C., Suprono, M. S., Kattadiyil, M. T., Goodacre, C. J., & Bahjri, K. (n.d.). In vitro comparison of the maxillary occlusal plane orientation obtained with five facebow systems.

Mazurkiewicz, P., Oblizajek, M., Rzeszowska, J., Sobolewska, E., Ey-Chmielewska, H., & Szymańska-Kozula, R. (2022). Determining the occlusal plane: a literature review. CRANIO®, 40(4), 341–347. https://doi.org/10.1080/08869634.2019.1703093

Mitchell, D. L., & Wilkie, N. D. (1978). Articulators through the years. Part II. From 1940. The Journal of Prosthetic Dentistry, 39(4), 451–458. https://doi.org/10.1016/S0022-3913(78)80166-8

Mohamed, S. E., Schmidt, J. R., & Harrison, J. D. (1976). Articulators in dental education and practice.

Myers, G. E. (1974). Status report on articulators. The Journal of the American Dental Association, 89(5), 1158–1161. https://doi.org/10.14219/jada.archive.1974.0539

Nagy, W. W., & Goldstein, G. R. (2019). Facebow Use in Clinical Prosthodontic Practice. Journal of Prosthodontics, 28(7), 772–774. https://doi.org/10.1111/jopr.12944

Naumovski, B., & Kapushevska, B. (2017). Dimensional Stability and Accuracy of Silicone – Based Impression Materials Using Different Impression Techniques – A Literature Review. PRILOZI, 38(2), 131–138. https://doi.org/10.1515/prilozi-2017-0031

Nishioka, R. S., & Almeida, E. E. S. (2010). Método de obtenção de registros oclusais em prótese parcial fixa - revisão da literatura. Brazilian Dental Science, 4(2). https://doi.org/10.14295/bds.2001.v4i2.121

Park, J. H., Lee, G.-H., Moon, D.-N., Kim, J.-C., Park, M., & Lee, K.-M. (2021). A digital approach to the evaluation of mandibular position by using a virtual articulator. The Journal of Prosthetic Dentistry, 125(6), 849–853. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.04.002

Petre, A., Drafta, S., Stefanescu, C., & Oancea, L. (2019). Virtual facebow technique using standardized background images. The Journal of Prosthetic Dentistry, 121(5), 724–728. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.07.008

Pr, J., & Gs, B. (2008). Selection of articulator for general dental practice Specialist Resident. In Kathmandu University Medical Journal (Vol. 6, Issue 1).

Raghav, D., Kapoor, K., Alqahtani, A., Kola, M., & Alqahtani, F. (2016). Intricate relations and concepts of reference points in prosthodontics: A literature review. European Journal of Prosthodontics, 4(1), 1. https://doi.org/10.4103/2347-4610.182959

Redmond, W. R. (2001). Digital models: a new diagnostic tool. Journal of Clinical Orthodontics : JCO, 35(6), 386–387.

Rihani, A. (1980). Classification of articulators. The Journal of Prosthetic Dentistry, 43(3), 344–347. https://doi.org/10.1016/0022-3913(80)90414-X

Rosmaninho, A., Zeitler, J. M., Vedovato, E., Kois, J. C., & Revilla-León, M. (2024). Using an additively manufactured natural head position reference device to transfer the horizon orientation plane and integrate it with a 3-dimensional virtual patient: A dental technique.

Sanjna, N. (2017). Mandibular Movements: Record and analysis from time immemorial. Annals of Prosthodontics and Restorative Dentistry, 3(2), 57–59. https://doi.org/10.18231/2455-8486.2017.0013

Solaberrieta, E., Garmendia, A., Minguez, R., Brizuela, A., & Pradies, G. (2015a). Virtual facebow technique. The Journal of Prosthetic Dentistry, 114(6), 751–755. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.06.012

Solaberrieta, E., Mínguez, R., Barrenetxea, L., Otegi, J. R., & Szentpétery, A. (2015b). Comparison of the accuracy of a 3-dimensional virtual method and the conventional method for transferring the maxillary cast to a virtual articulator. The Journal of Prosthetic Dentistry, 113(3), 191–197. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.04.029

Solaberrieta, E., Otegi, J. R., Mínguez, R., & Etxaniz, O. (2014). Improved digital transfer of the maxillary cast to a virtual articulator. The Journal of Prosthetic Dentistry, 112(4), 921–924. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.03.021

Solaberrieta, E., Minguez, R., Etxaniz, O., & Barrenetxea, L. (2013). Improving the digital workflow: direct transfer from patient to virtual articulator. International Journal of Computerized Dentistry, 16(4), 285–292.

The Glossary of Prosthodontic Terms: Ninth Edition. J Prosthet Dent. 2017 May;117(5S):e1-e105. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.12.001

Starcke, E. N. (1999a). The History of Articulators: A Perspective on the Early Years, Part I. Journal of Prosthodontics, 8(3), 209–211. https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.1999.tb00037.x

Starcke, E. N. (1999b). The History of Articulators: A Perspective on the Early Years, Part II. Journal of Prosthodontics, 8(4), 277–280. https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.1999.tb00052.x

Starcke, E. N. (2000). The History of Articulators: Early Attempts to Reproduce Mandibular Movement. Journal of Prosthodontics, 9(1), 51–56. https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2000.00051.x

Starcke, E. N. (2001). The history of articulators: The appearance and early use of the incisal-pin and guide. Journal of Prosthodontics, 10(1), ajpro0100052. https://doi.org/10.1053/jpro.2001.24583

Starcke, E. N. (2002). The history of articulators: From facebows to the Gnathograph, a brief history of early devices developed for recording condylar movement: Part II. Journal of Prosthodontics, 11(1), ajpro0110053. https://doi.org/10.1053/jpro.2002.31438

Starcke, E. N., Engelmeier, R. L., & Belles, D. M. (2010). The History of Articulators: The “Articulator Wars” Phenomenon with Some Circumstances Leading up to It. Journal of Prosthodontics, 19(4), 321–333. https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2009.00539.x

Tamaki, K., Cělar, A. G., Beyrer, S., & Aoki, H. (1997). Reproduction of excursive tooth contact in an articulator with computerized axiography data. The Journal of Prosthetic Dentistry, 78(4), 373–378. https://doi.org/10.1016/S0022-3913(97)70044-1

Teteruck, W. R., & Lundeen, H. C. (1966). The accuracy of an ear face-bow. The Journal of Prosthetic Dentistry, 16(6), 1039–1046. https://doi.org/10.1016/0022-3913(66)90169-7

Úry, E., Fornai, C., & Weber, G. W. (2020). Accuracy of transferring analog dental casts to a virtual articulator. The Journal of Prosthetic Dentistry, 123(2), 305–313. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.12.019

Weinberg, L. A. (1963). An evaluation of basic articulators and their concepts. The Journal of Prosthetic Dentistry, 13(4), 622–644. https://doi.org/10.1016/0022-3913(63)90133-1

Wilkie, N. D. (1979). REMOVABLE PROSTHODONTICS The anterior point of reference.

Zaghlan, R. A., Aqrabawi, J., Al-Fatyan, O., & Abuzaghllan, B. (2021). Journal of International Dental and Medical Research ISSN 1309-100X Dental Articulators Rawan Abu Zaghlan and et al Volume • 14 • Number • 4 • 2021 Review. In J Int Dent Med Res (Vol. 14, Issue 4). http://www.jidmr.com

ANEXO A – Modelo do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

ICT | Instituto de Ciência e Tecnologia São José dos Campos UNESP

TERMO DE CONSETIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO/ ANUÊNCIA DE DADOS

Gostaríamos de convidar você a participar como voluntário (a) da pesquisa "Análise da precisão do articulador virtual". O motivo que nos leva a realizar esse estudo é a crescente evolução tecnológica que pode oferecer soluções mais simples, com mais conforto e otimização de tempo, além de servir como fonte comparativa para análises dentarias futuras. Nesta pesquisa pretendemos avaliar a fidedignidade de um articulador virtual através de pontos de contato e espaço interoclusal obtidos clinicamente em adultos jovens dentados comparado com os resultados do método virtual. Os dados e imagens obtidos servem de referências para a realização de tratamentos odontológicos.

Caso você concorde em participar, vamos fazer as seguintes atividades com você: será realizado fotografia de face sorrindo, fotografia de perfil e fotografia intraoral dos contatos obtidos. Para realização da fotografia oclusal (intraoral) será posicionado um afastador labial e espelho bucal específicos para esse procedimento. Com um scanner intraoral será realizado a digitalização da arcada inferior e superior. Essas imagens em conjunto com escaneamento irão auxiliar no processo de montagem virtual, que podem auxiliar no diagnóstico e tratamentos odontológicos melhorando as condições das reabilitações orais, como por exemplo, eliminar o processo de moldagem e falhas inerentes aos materiais utilizados nas etapas de um articulador mecânico. Também será mensurada a desoclusão em balanceio através de um paquímetro. Essas medidas são realizadas na região dos dentes pré molares e ajudarão na análise da precisão da tecnologia virtual. Ressalto que em nenhum momento as imagens capturadas serão utilizadas para divulgação em redes sociais, apenas serão aplicadas para desenvolvimento do trabalho e de pesquisa e artigos científicos subsequentes. Em razão deste tipo de metodologia descrita, esta pesquisa oferece riscos de constrangimento a quem for submetido a ela.

Para participar deste estudo você não vai ter nenhum custo, nem receberá qualquer vantagem financeira. Você terá todas as informações que quiser sobre esta pesquisa e estará livre para participar ou recusar-se a participar. Mesmo que você queira participar agora, você pode voltar atrás ou parar de participar a qualquer momento. A sua participação é voluntária e o fato de não querer participar não vai trazer qualquer penalidade ou mudança na forma em que você é atendido. Os resultados da pesquisa estarão à sua disposição quando finalizada. Seu nome ou o material que indique sua participação não será liberado sem a sua permissão.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais, sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável e a outra será fornecida a você. Os dados coletados na pesquisa ficarão arquivados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos. Decorrido este tempo, o pesquisador avaliará os documentos com para a sua destinação final, de acordo com a legislação vigente. Os pesquisadores tratarão a sua identidade com padrões profissionais, atendendo as legislações brasileiras (Resoluções N° 510/16 e N° 466/12 do Conselho Nacional de Saúde), utilizando as informações somente para os fins acadêmicos e científicos.

Mediante ao disposto no Artigo 9° da Resolução 510/16 CNS no que diz: "São direitos dos participantes: "V-decidir se sua identidade será divulgada e quais são, dentre as informações que forneceu, as que podem ser tratadas de forma pública: Declaro que concordo em participar da pesquisa, que me foi dada à oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas e que minha identidade e os (as) dados obtidos poderão ser divulgados para fins estritamente científicos. Recebi uma via original deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada à oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

São José dos Campos, _____ de _____ 2023.

Assinatura do participante:
Nome do participante

RG: _____

Assinatura do pesquisador:

RG: _____

Havendo dúvidas éticas, entrar em contacto com o CEPH, Eng. Av. Eng. Francisco José Longo, 777, B. São Dimas, SJCampos, telef. (12) 3947-9076), com a Dra. Denise Nicodemo, Coordenadora do CEPH-CIST-CSJC -UNESP

APÊNDICE B – Parecer do Comitê de Ética

INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - CAMPUS DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - UNESP

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ARTICULADORES VIRTUAIS E MECÂNICOS: PRECISÃO NA ROTINA CLÍNICA - ANÁLISE IN VIVO.

Pesquisador: Alexandre Luiz Souto Borges

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 67499423.9.0000.0077

Instituição Proponente: Instituto de Ciência e Tecnologia de São José dos Campos - UNESP

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.006.509

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_2084437.pdf	28/03/2023 23:50:06		Aceito
Outros	formulariosppend.doc	28/03/2023	Alexandre Luiz	Aceito

Continuação do Parecer: 6.006.509

Outros	formulariosppend.doc	23:49:32	Souto Borges	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projetomodificado.docx	28/03/2023 23:48:24	Alexandre Luiz Souto Borges	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	PROJETO.docx	13/02/2023 14:25:38	Alexandre Luiz Souto Borges	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Termo.docx	13/02/2023 14:25:24	Alexandre Luiz Souto Borges	Aceito
Folha de Rosto	Rosto.pdf	13/02/2023 14:22:20	Alexandre Luiz Souto Borges	Aceito

Situação do Parecer:
Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:
Não

SAO JOSE DOS CAMPOS, 17 de Abril de 2023

Assinado por:
Denise Nicodemo
(Coordenador(a))