



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Básia Rabelo Nogueira

Escaneamento extraoral para análise facial na odontologia

Araraquara

2023



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Básia Rabelo Nogueira

Escaneamento extraoral para análise facial na odontologia

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara para obtenção do título de Doutor em Ciências Odontológicas na área de Dentística Restauradora

Orientador: Prof. Dr. Osmir Batista de Oliveira Júnior

Araraquara

2023

N778e

Nogueira, B́asia Rabelo

Escaneamento extraoral para ańlise facial na odontologia / B́asia Rabelo Nogueira. -- Araraquara, 2023
80 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Odontologia, Araraquara
Orientador: Osmir Batista Oliveira J́unior

1. Imageamento Tridimensional. 2. Antropometria. 3.
Fotogrametria. 4. Toxinas Botuĺnicas Tipo A. I. T́itulo.

Sistema de geraç_ão autoḿtica de fichas catalogŕficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Odontologia, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha n_ão pode ser modificada.

Básia Rabelo Nogueira

Escaneamento extraoral para análise facial na odontologia

Comissão julgadora

Tese para obtenção do grau de Doutora em Ciências Odontológicas

Presidente e orientador: Prof. Dr. Osmir Batista de Oliveira Júnior

2º Examinador: Prof. Dr. Hermes Pretel

3º Examinador: Prof^a. Dr^a. Juliane Maria Guerreiro Tanomaru

4º Examinador: Prof. Dr. Rubens Spin Neto

5º Examinador: Prof. Dr. Rogério de Lima Romeiro

Araraquara, 10 de março de 2023

DADOS CURRICULARES

Básia Rabelo Nogueira

NASCIMENTO: 27 de Maio de 1993 – Fortaleza - Ceará

FILIAÇÃO: Maria Arlete Rabelo Nogueira e Carlos Augusto Nogueira

2011 – 2015: Curso de Graduação em Odontologia, Universidade Federal do Piauí (UFPI).

2016 – 2018: Curso de Pós-graduação em Odontologia, área de concentração em Clínica Odontológica, nível Mestrado. Universidade Federal do Piauí (UFPI)

2019 – 2023: Curso de Pós-graduação em Ciências Odontológicas, área de concentração em Dentística Restauradora, nível Doutorado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Faculdade de Odontologia, Câmpus de Araraquara.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por me dar forças nas horas que mais precisei, me mostrar o caminho nos momentos em que o busquei, por ser meu protetor e fonte inesgotável de esperança.

Aos meus pais, **Carlos e Arlete**, pelo dom da vida, pela dedicação e por sempre acreditarem no meu potencial.

Aos meus irmãos, **Aluma e Carlos Filho**, pelos momentos de alegria, descontração e por me fazerem uma pessoa melhor a cada dia.

Ao **Paulo Vitor Lopes Barros**, pelo companheirismo, incentivo e apoio, mesmo quando a distância.

Aos meus familiares, tios, primos (as) e avós que mesmo de longe sempre torceram pelo o meu sucesso.

Ao meu orientador **Prof. Dr. Osmir Batista de Oliveira Júnior**, sempre muito solícito em todas as etapas da pesquisa. Foi uma honra conviver com sua genialidade.

Ao **Prof. Dr. Hermes Pretel**, pelo exemplo de profissionalismo e dedicação ao trabalho. Obrigada por me fazer enxergar além na odontologia.

Aos meus eternos professores **Prof. Dr. Raimundo Rosendo Prado Júnior e Prof.^a Dr.^a Regina Ferraz Mendes**, nos quais me espelho desde a graduação e que estiveram do meu lado nos momentos que mais precisei.

Ao corpo docente da **Faculdade de Odontologia de Araraquara**, por compartilharem seus conhecimentos e contribuírem para o meu crescimento técnico e científico.

Ao **Programa de Pós-Graduação em Ciências Odontológicas**, representado pela coordenadora Profa. Dra. Andreia Bufalino.

Aos Professores membros da Banca Examinadora: **Prof.^a Dr.^a Juliane Maria Guerreiro Tanomaru, Prof. Dr. Rubens Spin Neto e Prof. Dr. Rogério de Lima Romeiro** por terem aceitado o nosso convite para avaliar e contribuir com este trabalho.

À **Sra. Creusa Maria Hortenci**, funcionária do Departamento de Odontologia Restaurada, pelos momentos de felicidade e descontração, além do seu cuidado de mãe com todos.

A todos os funcionários da Faculdade de Odontologia de Araraquara, que sempre estavam dispostos a ajudar na organização, instalação e manutenção dos equipamentos e ambiente de trabalho.

À Seção Técnica de Pós-Graduação, em especial ao assistente administrativo **Sr. Cristiano Afonso Lamounier**, pela educação, solicitude e gentileza que trata todos os discentes.

Ao meu querido amigo **João Felipe Besegato** que foi apoio fundamental durante todo o curso e estadia na cidade de Araraquara. Que a nossa amizade cresça e se fortaleça cada vez mais. Foi um privilégio dividir alegrias e até as aflições com você.

Ao meu amigo de longa data (graduação, mestrado e doutorado) **Aryvelto Miranda Silva**, obrigada pelo seu apoio e incentivo, foram fundamentais para realizar e finalizar mais esta etapa acadêmica.

Às minhas amigas **Eran Almeida, Tatiane Manzoli e Joissi Zaniboni**, tenham certeza que a vida em Araraquara não seria a mesma sem vocês. Vou guardar sempre nossos momentos de alegria que tornaram tudo isso mais leve.

Aos amigos de pós-graduação **Joatan Lucas e Matheus Vitória**, pela colaboração e empenho durante a realização das pesquisas.

À **Faculdade de Odontologia de Araraquara – UNESP**, em nome de seu diretor **Prof. Dr. Edson Alves de Campos**, é uma honra para mim levar o nome dessa instituição.

Ao **Departamento de Odontologia Restauradora da Faculdade de Odontologia de Araraquara**, representado pela chefe **Prof. Dr. Mario Tanomaru Filho**.

À empresa **Done 3D**, na pessoa de **Thomaz Faraco Zanetti e Ricardo Kimura** por toda colaboração durante o uso dos equipamentos e softwares, desde a instalação à obtenção dos resultados finais.

À **CAPES**: O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

Aos participantes da pesquisa por confiarem no meu conhecimento e permitirem a execução da pesquisa.

“Lembre-se que Jesus Cristo, um ser humano igual a você, passou pelos mais dramáticos sofrimentos e os superou com a mais alta dignidade. Seja um apaixonado pela vida como ele foi. Lembre-se que, por amar apaixonadamente a humanidade, ele teve o mais ambicioso plano da história. Nesse plano você é uma pessoa única, e não mais um número na multidão.”
Augusto Cury*

* Cury A. O mestre da vida: Jesus, o maior semeador da alegria, liberdade e esperança. Rio de Janeiro: Sextante; 2020.

Nogueira BR. Escaneamento extraoral para análise facial na odontologia [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2023.

RESUMO

O diagnóstico correto, feito através de imagens, e o planejamento dos procedimentos de Harmonização Orofacial (HOF) são de extrema importância para o sucesso do tratamento. Scanners faciais que funcionam com a tecnologia de luz estruturada ou fotogrametria podem ser úteis por proporcionarem a captura de imagens que geram modelos 3D de forma confiável, prática e com maior biossegurança. Além de, permitir a extração de medidas antropométricas dos pacientes através de software específico para aferições quantitativas de volume bem como estimativas de alteração das medidas de antes e depois de tratamentos com HOF. Entretanto, não existe ainda um protocolo definido de escaneamento utilizando a tecnologia mais apropriada. O objetivo desse trabalho foi avaliar e comparar a acurácia de um scanner com tecnologia de fotogrametria, Cloner 3D (Cloner scanning cabin, dOne 3D – Ribeirão Preto – SP – Brasil) comparando-o com um sistema de luz estruturada (Bellus3D Face Camera Pro-Bellus3D, Inc. Los Gatos, CA, USA) e descrever um protocolo de alinhamento e comparação de modelos 3D obtidos durante o tratamento com toxina botulínica (TB) a fim de avaliar qualitativamente as alterações proporcionadas pelo tratamento. Na primeira etapa, onze participantes foram incluídos no estudo. Nove etiquetas adesivas foram utilizadas para identificar os marcos faciais: Trichion (Tri), Glabella (G), Exocanto direito (Exr) e esquerdo (Exl), pronasal (Pn), Subnasal (Sn), Ângulo direito (Chr) e esquerdo (Chl) da boca e Mentoniano (Me). Dois examinadores treinados e calibrados foram responsáveis por realizar sete medidas lineares (Tri-G, Sn-Me, Exr-Exl, Chr-Chl, Exr-Chr, Exl-Chl, Pn-Sn) primeiramente com paquímetro digital e posteriormente em um modelo tridimensional obtido com tecnologia fotogramétrica. As avaliações foram realizadas dividindo os pacientes em dois grupos, com cross-over e wash-out de 7 dias para avaliação da calibração intra-examinador. O coeficiente de correlação intraclasse (ICC), desvio padrão e correlação de Bland Altman foram utilizados para comparar as medidas realizadas. Na segunda etapa, com 10 pacientes, as mesmas medidas faciais foram aferidas utilizando um scanner de luz estruturada e pelo scanner fotogramétrico, pelos dois avaliadores, e então comparadas com as do paquímetro digital. O ICC e correlação de Bland Altman foram utilizados. Após a validação do scanner fotogramétrico, na terceira etapa, o mesmo foi utilizado para o registro de pacientes tratados com TB. Através de um protocolo de alinhamento e comparação de modelos 3D, utilizando um software gratuito, foram gerados mapas de cores indicando a diferença entre as nuvens 3D e analisou-se qualitativamente os resultados. O ICC obtido nas duas primeiras etapas foi excelente ($ICC > 0,9$). O scanner fotogramétrico mostrou acurácia clinicamente aceitável variando em $-0,8\text{mm} \pm 1,2\text{mm}$. O scanner fotogramétrico apresentou maior acurácia ($-0,664 \pm 1,056\text{mm}$) comparado ao scanner de luz estruturada ($-1,010 \pm 1,556\text{mm}$). Com o protocolo adotado na terceira etapa foi possível avaliar qualitativamente os efeitos da TB durante o tratamento.

Palavras-chave: Imageamento Tridimensional. Antropometria. Fotogrametria. Toxinas Botulínicas Tipo A.

Nogueira BR. Extraoral scanning for facial analysis in dentistry [tese de doutorado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2023.

ABSTRACT

The correct diagnosis, made through images, and planning of Orofacial Harmonization (HOF) procedures are extremely important for the success of the treatment. Facial scanners that work with structured light technology or photogrammetry can be useful for providing the capture of images that generate 3D models in a reliable, practical way and with greater biosafety. In addition, it is possible the extraction of anthropometric measurements of patients through specific software for quantitative measurements of volume as well as estimates of change in measurements before and after treatments with HOF. However, there is still no defined scanning protocol using the most appropriate technology. The objective of this work was to evaluate and compare the accuracy of a scanner with photogrammetry technology, Cloner 3D (Cloner scanning cabin, dOne 3D – Ribeirão Preto – SP – Brazil) comparing it with a structured light system (Bellus3D Face Camera Pro- Bellus3D, Inc. Los Gatos, CA, USA) and to describe a protocol for aligning and comparing 3D models obtained during treatment with botulinum toxin (BT) in order to qualitatively assess the alterations provided by the treatment. In the first stage, eleven participants were included in the study. Nine adhesive labels were used to identify the facial landmarks: Trichion (Tri), Glabella (G), right (Exr) and left (Exl) exocanthus, pronasal (Pn), Subnasal (Sn), right (Chr) and left (Chl) Chelion and Mentonian (Me). Two trained and calibrated examiners were responsible for performing seven linear measurements (Tri-G, Sn-Me, Exr-Exl, Chr-Chl, Exr-Chr, Exl-Chl, Pn-Sn) firstly with a digital caliper and later on a model three-dimensional image obtained with photogrammetric technology. The evaluations were carried out by dividing the patients into two groups, with a 7-day cross-over and wash-out to evaluate the intra-examiner calibration. The intraclass correlation coefficient (ICC), standard deviation and Bland Altman correlation were used to compare the measurements taken. In the second stage, with 10 patients, the same facial measurements were taken using a structured light scanner and a photogrammetric scanner, by the two evaluators, and then compared with the digital caliper. The ICC and Bland Altman correlation were used. After validation of the photogrammetric scanner, in the third stage, it was used to register patients treated with TB. Through a protocol of alignment and comparison of 3D models, using free software, color maps were generated indicating the difference between the 3D clouds and the results were qualitatively analyzed. The ICC obtained in the first two steps was excellent ($ICC > 0.9$). The photogrammetric scanner showed clinically acceptable accuracy ranging from $-0.8\text{mm} \pm 1.2\text{mm}$. The photogrammetric scanner showed greater accuracy ($-0.664 \pm 1.056\text{mm}$) compared to the structured light scanner ($-1.010 \pm 1.556\text{mm}$). With the protocol adopted in the third stage, it was possible to qualitatively assess the effects of BT during treatment.

Keywords: Imaging, three-dimensional. Anthropometry. Photogrammetry. Botulinum toxins, type A.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	09
2 PROPOSIÇÃO	18
3 PUBLICAÇÕES	19
3.1 Publicação 1	19
3.2 Publicação 2	40
3.3 Publicação 3	57
4 CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS	72
APÊNDICE A	77
APÊNDICE B	78
ANEXO A.....	79
ANEXO B.....	80

1 INTRODUÇÃO

Na odontologia, um exame clínico minucioso, modelos de estudo de boa qualidade, radiografias e fotografias intra e extraorais são ferramentas essenciais para o diagnóstico, planejamento e prognóstico em tratamentos que envolvam alterações morfológicas da face. Nos últimos tempos, ferramentas que envolvem tecnologia digital como escaneamento intraoral, planejamentos virtuais, cirurgias guiadas e impressões tridimensionais (3D) trouxeram vantagens como maior previsibilidade do tratamento escolhido, melhores resultados e facilidade de comunicação com o paciente^{1,2}.

A procura por procedimentos estéticos, também na odontologia, tem crescido em grande escala. Observa-se que cirurgiões-dentistas (CD) e pacientes tem buscado outros aspectos além da estética dental como um fator de complemento para procedimentos restauradores estéticos focando também na estética da face. Dessa forma, tratamentos como ortodontia, cirurgia ortognática, harmonização orofacial e de malformações genéticas ou patológicas requerem cada vez mais uma avaliação precisa e completa da face³⁻⁵.

A evolução digital, citada anteriormente, estendeu-se para o campo extraoral com a análise quantitativa facial realizada com tecnologias tridimensionais^{6,7}. Métodos tradicionais como o paquímetro e fitas métricas se mostram cada vez mais obsoletos, já que, por serem dependentes do operador estão sujeitos a erros inerentes de calibração e de reprodutibilidade. Além disso, requerem um certo tempo para serem realizadas com cautela o que pode fadigar ou causar desconforto para o paciente interferindo nas medições⁸.

Fotografias digitais também tem sido usadas como ferramentas para análise facial. Entretanto, a face humana possui natureza tridimensional com estruturas geométricas de diferentes profundidades e texturas e este método não permite sua reprodução fidedigna por proporcionando falhas na estimativa de distâncias e volumes^{8,9}. Como consequência, a previsibilidade dos resultados e do diagnóstico é limitada⁸. Além disso, a dificuldade de padronização dos registros, alteração de luminosidade torna a comparação do antes e depois do tratamento não confiável¹⁰.

Os sistemas 3D têm surgido para suprir a deficiência inerente a fotografia para a avaliação qualitativa e quantitativa de tratamentos estéticos principalmente os que envolvem alteração volumétrica da face. Fundamentalmente, a tecnologia 3D, no que

se refere a análise facial, possibilita a reprodução de pontos nos planos X, Y e Z. Estes são usados para cálculos de distâncias lineares, volume e ângulos¹⁰. A tomografia computadorizada facial é um exemplo de método que permite a análise tridimensional da face, entretanto ela só permite o detalhamento de superfícies e volume ósseo, informações como textura e cor são então falhas¹¹.

Um método de análise facial deve ser não invasivo, de baixo custo, rápido, possibilitar a criação de um banco de dados digital e promover visualização, simulação de procedimentos e análises quantitativas¹². Scanners faciais são então instrumentos favoráveis para a análise facial quantitativa já que permitem a medição óptica da face sem contato físico e sua posterior reconstrução e digitalização em arquivo 3D^{13,14}. São também mais seguros, isentos de radiação, menos invasivos e confiáveis para avaliar a morfologia facial^{7,13-17}. A obtenção do modelo facial 3D permite sua análise por software auxiliar para obtenção de medidas lineares, quantificação de área, volume e ângulos além da comparação de padrões de pontos de referência ou de faces inteiras^{6,18,19}. Assim, o diagnóstico e o planejamento clínico podem ser realizados digitalmente, facilitando comunicação com o paciente, armazenamento de dados e otimização do tempo do profissional^{6,20}.

Esses equipamentos têm sido introduzidos de forma cada vez mais econômica no mercado, através do desenvolvimento de dispositivos mais simples, práticos e efetivos²¹. Características como cor real da pele, textura e morfologia da face são então reproduzidas digitalmente, e a partir delas o profissional pode ser auxiliado no diagnóstico e planejamento dos seus casos. Pelo fato de não haver contato físico entre o equipamento e o paciente, os scanners faciais não causam a alteração de posição das estruturas bem como promove o controle da biossegurança, diferente de outras técnicas de análise facial como paquímetro, fita métrica e régua^{10,22}.

A avaliação do desempenho de cada scanner é importante para garantir sua aplicação clínica segura e torná-lo uma ferramenta eficiente para a análise quantitativa facial^{15,22-26}. Para isso, a norma ISO 5725-1 define parâmetros importantes que devem ser avaliados em equipamentos de medição. A acurácia de um equipamento pode ser medida pela veracidade e precisão. No caso dos scanners, a veracidade está relacionada à capacidade de fornecer um modelo 3D o mais próximo possível do modelo real. Precisão refere-se à capacidade de fornecer as mesmas medidas ao capturar as mesmas imagens em momentos diferentes e em situações semelhantes²⁷.

Muitos fatores podem influenciar na precisão do scanner 3D, como a capacidade de registrar detalhes, textura, alcance de varredura e iluminação^{28,29}.

Quantificando o limite dessa acurácia para análise facial, alguns autores consideram aceitável um limite de erro de até 3mm, outros definem com mais rigor um erro de apenas 1 mm³⁰⁻³². A maioria das pesquisas realizadas com o objetivo de validar scanners defendem que aquele equipamento que apresenta um erro de até 2mm pode ser utilizado com confiabilidade clínica^{12,26,30,33,34}. Vale ressaltar que, a depender do grau de exigência estética do procedimento a ser realizado, o profissional deve avaliar criteriosamente a segurança que o equipamento irá trazer para o resultado final²².

Com base no tipo de equipamento um scanner pode ser fixo ou portátil. Os fixos são aqueles onde os dispositivos ópticos são estabilizados em tripés ou outros tipos de suporte. Algumas de suas desvantagens são a necessidade de espaço físico para o seu funcionamento e de calibração frequente do equipamento. Os portáteis, são aqueles compactos e sem fio. São mais práticos, devido a facilidade de transporte. Entretanto, são mais frágeis com relação ao risco de danos ao equipamento^{12,17}. Em uma revisão sistemática publicada recentemente, os pesquisadores não encontraram diferença estatística entre os dois tipos de scanner no que diz respeito as medidas lineares aferidas a partir dos modelos 3D gerados por cada um. As configurações do scanner, o protocolo de escaneamento, controle de movimentos faciais involuntários e identificação correta dos pontos de referência são fatores que influenciaram mais na acurácia do equipamento¹².

Duas tecnologias de escaneamento vêm sendo amplamente usadas na prática clínica incluindo a ortodontia, cirurgia ortognática e odontologia estética. A fotogrametria, que tem se popularizado devido à rapidez na aquisição das imagens e facilidade de uso, sem a necessidade de treinamento complexo³⁰. Sistemas com essa tecnologia capturam imagens 2D de um objeto em diversos ângulos e as sobrepõem, formando o modelo 3D²³. A rápida aquisição de imagem é uma das principais vantagens da fotogrametria, visto que as imagens são capturadas em menos de 1 segundo, diminuindo a ocorrência de movimentos involuntários durante o escaneamento e consequente distorção da imagem⁶.

A fotogrametria pode ser dividida em duas classificações. A estereofotogrametria, na qual as imagens são capturadas simultaneamente por várias câmeras em diferentes posições em relação ao objeto, e a fotogrametria

monoscópica, quando uma única câmera realiza capturas sequenciais em diferentes alturas e ângulos do objeto, nesse caso aumenta-se o tempo de captura das imagens^{35,36}.

A estereofotogrametria tem sido amplamente utilizada no ramo das pesquisas e no ambiente clínico. Fatores como posicionamento facial neutro do paciente, iluminação adequada, remoção de objetivos refletivos, como os metálicos, cabelo e remoção da oleosidade do rosto do paciente, podem aumentar a qualidade de escaneamento desses sistemas. O operador também pode, se necessário, realizar capturas adicionais da imagem, a fim de registrar melhor áreas não visíveis³⁵.

Outro tipo de tecnologia empregada no escaneamento facial é a de luz estruturada, na qual padrões de luz são projetados sobre o objeto, e a partir da deformação dessa luz constroem o modelo 3D⁶. Esse padrão de luz pode ser visível ou não (infravermelho), e apresentar cores que variam de azul a branca.³⁶ Nessa tecnologia, o tempo de escaneamento costuma ser maior, o que facilita a ocorrência de movimentos involuntários que podem causar distorção no modelo 3D. Além disso, demanda destreza do operador na movimentação ou estabilização do paciente durante o processo de captura⁶.

Pesquisas que comparam as duas tecnologias mostram que não existem diferenças entre elas no que diz respeito a confiabilidade e reprodutibilidade das mesmas^{23,31}. Entretanto, novos scanners são constantemente introduzidos no mercado com diferenciais como melhor resolução das câmeras, amplitude de varredura e número de imagens capturadas. Portanto, é interessante avaliar a viabilidade do seu uso clínico bem como o seu custo-benefício²².

Como exemplo de scanner recentemente desenvolvido, tem-se a cabine de escaneamento facial Cloner (dOne 3D) que utiliza a tecnologia de fotogrametria (estereofotogrametria). Nesse equipamento 16 câmeras fazem a captura simultânea da imagem em aproximadamente 0,4 segundos possibilitando maior precisão e confiabilidade do escaneamento. A sobreposição das imagens ocorre a partir da seleção de pontos semelhantes entre elas. O equipamento possui uma dimensão de 70 x 104 x 50 cm e peso de 38kg (sem a mesa de suporte). O equipamento tem sido amplamente usado no Brasil, porém, ainda não existem pesquisas clínicas avaliando o seu desempenho.

A facilidade de padronização das capturas realizadas neste equipamento é uma de suas vantagens. Linhas de laser (verticais e horizontais) projetadas na face

do paciente auxiliam no posicionamento do paciente. Ao realizar a captura as 16 imagens são projetadas na tela do computador, tablet ou celular, e o operador tem a oportunidade de avaliar a sua qualidade, presença de erros ou mal posicionamento, e, caso necessário, repetir a captura. A combinação de aquisição rápida e cobertura superficial expandida (até 180 graus) contribui para a obtenção de modelos 3D de alta qualidade e resolução através deste scanner.

O Bellus 3D Face Camera Pro é um scanner de luz estruturada que se destaca pela sua pequena dimensão, tornando-o mais prático já que não precisa de um espaço físico extenso para o seu uso. Esse aparelho é composto por dois sensores infravermelhos de 1 MP (1280x800), um sensor de 2MP a cores (1600x1200) e um foco fixo. Estudos recentes investigaram a acurácia deste scanner e encontraram bons resultados^{26,38}. Entretanto, não existem ainda estudos que comparem a performance deste scanner com scanners fotogramétricos. O Bellus 3D realiza o procedimento de escaneamento em aproximadamente 14 segundos, e durante este tempo é necessário que o paciente mantenha a mesma expressão facial, o que torna o procedimento complexo, e com maiores possibilidades de interferências²⁶. O software responsável por esse processamento é o Bellus3D Face Camera Android e Windows SDK. O aparelho deve ser utilizado acoplado a um tablet ou aparelho celular.

O processamento da imagem 3D se inicia com a captura da imagem pelo scanner seguido por pré-processamento, o qual envolve a filtragem de ruídos da imagem e de distorções geométricas causadas pelo sensor, além de separar o objeto principal do plano de fundo. Então, obtém-se uma nuvem de pontos 3D desorganizados distribuídos nos três planos (X, Y e Z). O software de reconstrução interliga esses pontos formando uma malha 3D formada por triângulos ou polígonos que juntos formam o modelo 3D³⁹.

O escaneamento facial com smartphone tem ganhado popularidade nas práticas de desenho digital do sorriso e de educação do paciente, por ser uma alternativa rápida, fácil acesso e manipulação. Esta tecnologia é favorável para profissionais que atuam na clínica geral e buscam aprimoramento nos seus atendimentos e comunicação com o paciente⁴⁰.

As vantagens e desvantagens de cada scanner estão relacionadas ao tempo de escaneamento, calibração, custo e manutenção do equipamento influenciado diretamente pela tecnologia de escaneamento³⁷. Dessa forma, comparar a efetividade

ao realizar mensurações faciais de cada scanner é fundamental para buscar melhor aproveitamento profissional, juntamente com um excelente custo-benefício^{37,41}.

Uma revisão sistemática e metanálise comparou a acurácia das tecnologias de escaneamento, incluindo fotogrametria, luz estruturada e scanners a laser. O estudo incluiu vinte e nove artigos, a maioria deles tendo como grupo controle a antropometria direta feita com o paquímetro digital. Os autores não encontraram superioridade de nenhuma tecnologia. Fatores como a iluminação, escolha dos pontos de referência, micromovimentos involuntários e posição do paciente parecem ser mais importantes do que a tecnologia de escaneamento. Além disso, os autores indicaram que uma acurácia de 0,6mm seria o ideal para consolidar o uso do scanner no dia-a-dia clínico⁴².

Os modelos 3D são armazenados em arquivos que codificam a geometria e aparência dos mesmos. Dentre eles os mais comumente utilizados são: o STL (Standart Triangle Language) que é o mais compatível com a maioria dos sistemas e possui o processamento mais rápido já que é simples e menor. Considerado o formato de arquivo padrão para impressão 3D. Entretanto, tem menos resolução já que armazena apenas dados de geometria e não reproduz cores e textura. Além disso, pode ter falhas na triangulização e fornecer uma escala não exata do objeto³⁹.

Outro tipo de formato, o OBJ (Object File Wavefront 3D) suporta a geometria não só de triângulos, mas também de outros polígonos permitindo contornos mais suaves além da reprodução de cores e texturas. Apesar da compatibilidade limitada por possuir dados complexos, este tipo de arquivo armazena dados com mais precisão. O formato PLY (Polygon File Format) possui características mais amplas como melhor resolução e capacidade de identificar transparências. Entretanto, é o mais complexo entre eles³⁹.

Para analisar um modelo 3D é preciso de um software específico para esse processo. Através deles é possível mensurar distâncias lineares, ângulos, curvaturas, volume e área^{3,29,43}. Dentre eles, o CloudCompare se destaca por ser de livre acesso e proporcionar o processamento rápido de imagens 3D em nuvem de pontos permitindo assim a quantificação de distância, estimativa de características como densidade, curvatura e rugosidade, desde que as imagens tenham sido captadas de maneira homogênea, com a mesma padronização⁴⁴.

Um estudo in vitro, comparou a eficiência de quatro softwares (Geomagic control X, GOM Inspect, Cloudcompare, e Materialise 3-matic) na análise 3D de um

arco dental completo, meio arco e apenas uma região do arco com um dente preparado para coroa total. Os autores fizeram as análises através do alinhamento dos modelos 3D a outro modelo de referência, então calcularam as distâncias entre os pontos de cada nuvem 3D. Quando áreas menores foram comparadas, alguns softwares apresentaram resultados diferentes, e quanto maior era a área avaliada, mais semelhantes eram os resultados fornecidos pelos quatro programas. Dessa forma, os autores concluíram que o software de análise deve ser escolhido com base no seu objetivo, para assim garantir melhor precisão. Essas diferenças existem por causa do algoritmo de análise de cada programa⁴⁵.

Diante do exposto, ficam evidentes as inúmeras possibilidades que a tecnologia facial 3D traz para a área médica e odontológica. Na área da ortodontia de cirurgia bucomaxilofacial, a análise e quantificação de assimetrias faciais proporcionada pelo uso de um scanner juntamente com um software de análise é uma ferramenta auxiliar importante, já que essas condições podem representar alterações patológicas, como tumores, que devem ser avaliados com cautela⁴⁶. Este recurso, permite a comparação das lesões em diferentes estágios avaliando, assim, a efetividade do tratamento.⁴⁷ Com esse propósito, destaca-se tratamentos realizados em pacientes com fissura labiopalatais. Diversos estudos têm mostrado que a avaliação do tratamento destes utilizando um scanner facial tem ajudado no planejamento e maior previsibilidade dos casos^{33,48}.

Com relação a Ortodontia, especificamente, o armazenamento de dados digitais, incluindo modelos faciais 3D, dispensa a necessidade de estocagem de materiais que ocupam um espaço físico considerável dentro de um consultório. Além disso, a simulação de alterações de tecidos moles da face causada por movimentos ortodônticos facilita o planejamento e a comunicação com o paciente^{46,47}.

Relatos clínicos sobre a integração do escaneamento extraoral e intraoral tem sido cada vez mais comum, o que traz diversas vantagens para a área da reabilitação⁴⁹. A sobreposição dos dois modelos torna possível o planejamento e enceramento digital avaliando quesitos como o paralelismo da linha interpupilar com a prótese e relação entre a linha média facial e dental diretamente no modelo 3D⁵⁰.

Na área da odontologia estética, também pode-se observar as vantagens que estão atreladas ao escaneamento facial^{16,51}. Nesse campo, destaca-se a área da harmonização orofacial (HOF) que ganhou força desde a divulgação da Resolução CFO-198/2019 que reconheceu a mesma como uma especialidade odontológica

refletindo a demanda da sociedade e a necessidade de expansão da classe profissional⁵². Dessa forma, a realização de práticas como o uso de preenchedores faciais, toxina botulínica, bioestimuladores e fios de sustentação passaram a ser legalizadas para o cirurgião dentista desde que o mesmo tenha conhecimento da anatomia cabeça e pescoço e da farmacologia e farmacoterapia dos produtos utilizados.

A HOF dentro da odontologia engloba procedimentos cosméticos e terapêuticos com o enfoque de devolver função e estética para o paciente^{53,54}. Algumas aplicações de toxina botulínica (TB) podem por exemplo suavizar rugas e linhas de expressão, corrigir o sorriso gengival e reduzir a severidade dos sintomas do bruxismo^{55,56}. O ácido hialurônico (AH) usado como preenchedor facial aumenta a hidratação e sustentação da pele além de melhorar o contorno facial^{54,57,58}. Como ação terapêutica o AH tem um uso promissor na periodontia com relação ao tratamento da gengivite, periodontite e reconstrução da papila gengival^{59,60}. Os bioestimuladores que incluem a hidroxiapatita e os fios de sustentação responsáveis pela estimulação de produção de colágeno pelo organismo possuem papel importante no reposicionamento de tecidos e melhoria da aparência do rosto⁶¹.

Dessa forma, devido à grande diversidade de procedimentos incluídos na HOF o diagnóstico e o planejamento de cada caso são de suma importância para o sucesso do tratamento²¹. Em vista disso, a associação de um sistema de captura de imagens 3D, e um software comparativo podem minimizar as dificuldades no diagnóstico e na avaliação dos resultados dos tratamentos de HOF. Assim, essa integração dessas tecnologias poderia proporcionar, além da captura, a análise de medidas quantitativas relacionadas a face. Além disso, essa integração proporcionaria possibilidade de desenvolvimento de protocolo a fim de padronizar esse tipo de análise. Entretanto, existe uma carência de protocolo de escaneamento reproduzível e simplificado utilizando um scanner mais acessível e prático para o uso de profissionais da odontologia.

Nessa mesma linha, o alinhamento de modelos 3D para a comparação de antes e depois dos tratamentos faciais seria bastante útil para a HOF. O alinhamento é feito a partir da seleção de pontos em comum de cada modelo 3D e então o algoritmo do software escolhido faz a comparação. Os pontos podem ser demarcados previamente ou selecionado conforme as estruturas anatômicas no modelo 3D^{62,63}.

A pesquisa e o aprimoramento de protocolos de escaneamento associados a métodos comparativos de modelo 3D é válida e favorece as mais diversas áreas dentro da odontologia. A tecnologia facial 3D pode ser uma ferramenta clínica de uso diário, desde que os equipamentos sejam validados quanto a sua acurácia e medidas sejam tomadas para melhorar a aquisição das imagens^{42,62}.

2 PROPOSIÇÃO

Avaliar a acurácia de um novo scanner fotogramétrico, a cabine de escaneamento facial Cloner (Cloner scanning cabin, dOne 3D – Ribeirão Preto – SP – Brasil) na aferição de medidas lineares juntamente com a análise da concordância intra-examinador para análise as imagens obtidas, comparando-o com um sistema de luz estruturada (Bellus3D Face Camera Pro-Bellus3D, Inc. Los Gatos, CA, USA). Em um segundo momento, relatar clinicamente o uso scanner estudado com um software analítico, através do escaneamento de comparação dos modelos 3D adquiridos durante o tratamento de HOF.

3 PUBLICAÇÕES

A seguir estão dispostas três publicações elaboradas a partir dos resultados desta tese de doutorado.

3.1 Publicação 1*

Scanner facial fotogramétrico Cloner 3D: Avaliação da acurácia em um estudo clínico controlado

Resumo

Objetivo: Avaliar a acurácia das medidas faciais em imagens tridimensionais obtidas por meio de um novo scanner fotogramétrico. **Material e métodos:** Onze participantes foram incluídos no estudo. Nove etiquetas adesivas personalizadas foram utilizadas para identificar os pontos faciais: Triquion (Tri), Glabella (G), Exocanto direito (Exr) e esquerdo (Exl), Pronasal (Pn), Subnasal (Sn), Ângulo da boca direito (Chr) e esquerdo (Chl) e Mentoniano (Me). Dois examinadores treinados e calibrados foram responsáveis por realizar sete medidas lineares para cada participante (Tri-G, Sn-Me, Exr-Exl, Chr-Chl, Exr-Chr, Exl-Chl, Pn-Sn) primeiro com paquímetro digital e posteriormente com um modelo tridimensional obtido após a digitalização com tecnologia fotogramétrica. O coeficiente de correlação intraclasse (ICC), a média da diferença, o desvio padrão e a correlação de Bland-Altman foram utilizados para comparar as medidas realizadas. **Resultados:** A confiabilidade intra e interexaminadores foi excelente ($ICC > 0,9$). De modo geral, as medidas apresentaram uma variação menor de 2,0 mm. No entanto, apenas três medidas (Sn-Me, Exr-Exl e Exr-Chr) estavam fora da faixa de aceitabilidade clínica. **Conclusões:** O scanner 3D Cloner mostrou acurácia clinicamente aceitável comparável ao paquímetro digital com uma variação de $-0,8\text{mm} \pm 1,2\text{mm}$. Também foi observada concordância inter e intraexaminadores nas medidas digitais.

Descritores: Fotogrametria; Imagem Tridimensional; Antropometria; Precisão dos dados; Reprodutibilidade dos Resultados.

* Artigo redigido segundo as normas do periódico *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry* no qual foi publicado.

Cf. <https://doi.org/10.1111/jerd.12987>

Relevância clínica: Scanners com reproduções precisas de modelos 3D associados a medições digitais confiáveis fornecem um diagnóstico mais preciso e um melhor planejamento no tratamento orofacial.

Introdução

Ao longo dos anos, a odontologia digital avançou desenvolvendo equipamentos mais seguros, livres de radiação, menos invasivos e mais confiáveis para avaliar a morfologia facial.¹⁻⁵ Entre eles, os scanners faciais 3D permitem a medição óptica da face sem contato físico e sua subsequente reconstrução e digitalização em um arquivo 3D.⁵⁻¹² A obtenção do modelo facial 3D permite sua análise por software adicional para obter medições lineares e quantificação de área, volume e ângulos.^{5,13-20} Assim, o diagnóstico e o planejamento clínico podem ser realizados digitalmente, facilitando a comunicação com o paciente, o armazenamento de dados e otimizando o tempo do profissional.^{5,6} (Tabela 1)

O equipamento que funciona utilizando a tecnologia de fotogrametria se destaca por sua rápida e simultânea aquisição de imagens, o que contribui para a confiabilidade e qualidade da digitalização.^{5,11,21} Essa tecnologia obtém modelos 3D a partir da captura simultânea de imagens 2D de diferentes ângulos e, em seguida, um software examina características comuns de cada imagem e constrói o modelo 3D a partir de sua superposição.²²⁻²⁴

Os scanners com essa tecnologia também permitem um protocolo padronizado de captura de imagem, melhorando a avaliação longitudinal de cada caso.²⁵ A captura rápida de imagens evita os efeitos de movimentos involuntários da cabeça, reduzindo o ruído e possíveis erros do operador, o que pode acontecer quando são utilizados paquímetros ou fotografia digital.^{1,19,26-28}

Novos scanners são constantemente introduzidos no mercado, e a avaliação de sua precisão e confiabilidade são variáveis essenciais para garantir sua aplicação clínica segura.^{1,12,22,29-33} Com base na ISO 5725-1, a acurácia de um equipamento pode ser medida pela sua confiabilidade e precisão. No caso dos scanners, a confiabilidade está relacionada à capacidade de fornecer um modelo 3D o mais próximo possível do modelo real. Precisão refere-se a fornecer as medidas exatas ao capturar as mesmas imagens em momentos diferentes e em situações semelhantes.³⁴

Este estudo teve como objetivo avaliar a acurácia do scanner facial Cloner 3D quando comparado à medição manual com paquímetro digital na análise facial. E também verificar a concordância intra e interexaminadores na análise dos dados.

Tabela 1: Vantagens e desvantagens da tecnologia de escaneamento facial

Tecnologia de escaneamento	Vantagens	Desvantagens
Escaneamento a laser	Boa precisão Não invasivo	Tempo de aquisição lento Requisitos operacionais complexos
Fotogrametria	Boa precisão e confiabilidade Tempo de aquisição rápido Cobertura de superfície expandida Boa representação de cor e textura Não invasivo	Calibração Necessidade de espaço físico para o equipamento
Escaneamento de luz estruturada	Não invasivo Fácil de usar	Inexatidão Necessidade de várias capturas
Luz estruturada com sensor infravermelho	Não invasivo Fácil de usar	Necessidade de boa iluminação

Materiais e métodos

Trata-se de um estudo experimental prospectivo para validar o uso do scanner Cloner 3D como instrumento de mensuração de medidas faciais lineares. A aprovação foi obtida do Comitê de Ética em Pesquisa local da Faculdade de Odontologia de Araraquara da Universidade Estadual Paulista (UNESP) (CAAE: 23867019.3.0000.5416). O protocolo de pesquisa foi realizado e descrito de acordo com a diretriz CONSORT (35).

1ª etapa: Calibração dos examinadores

Para avaliar se o protocolo de mensuração das estruturas faciais neste estudo é confiável e reproduzível, dois cirurgiões-dentistas, um com mais experiência com o scanner testado (BN) e outro aprendiz no manuseio do equipamento (JC), realizaram um treinamento prévio em um modelo de silicone utilizando a simulação das medidas que seriam concluídas. Foi realizada uma explicação teórica do protocolo e discussão para definir os pontos utilizados como referência.

Em seguida, onze participantes, 5 homens (45,45%) e 6 (54,55%) mulheres, maiores de 18 anos, foram selecionados arbitrariamente com base nos seguintes critérios de inclusão: ausência de deformidades faciais, trauma facial recente e pelos faciais excessivos que pudessem interferir no limite dos marcos. Os participantes foram informados sobre os procedimentos do estudo e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

As medidas faciais foram realizadas por dois examinadores em um período independente, cego, randomizado, em dois momentos de análise, com um período de washout de 7 dias entre eles (T0 e T7), conforme descrito na Figura 1. Foi utilizado, de acordo com o fabricante, um paquímetro digital (Digital Caliper 316119, MTX® - Guarulhos - SP - Brasil) com precisão de 2 casas decimais e precisão de 0,02 mm.

Durante as medidas, solicitou-se ao participante que permanecesse sentado, mantendo uma posição natural da cabeça, com músculos faciais relaxados, olhos abertos, sem expressão facial e na máxima intercuspidação habitual (MIH). Para evitar distorção, a ponta do paquímetro foi levemente posicionada nos pontos marcados, sem pressão sobre os tecidos moles durante a medição. O examinador foi colocado na frente do participante durante o procedimento.

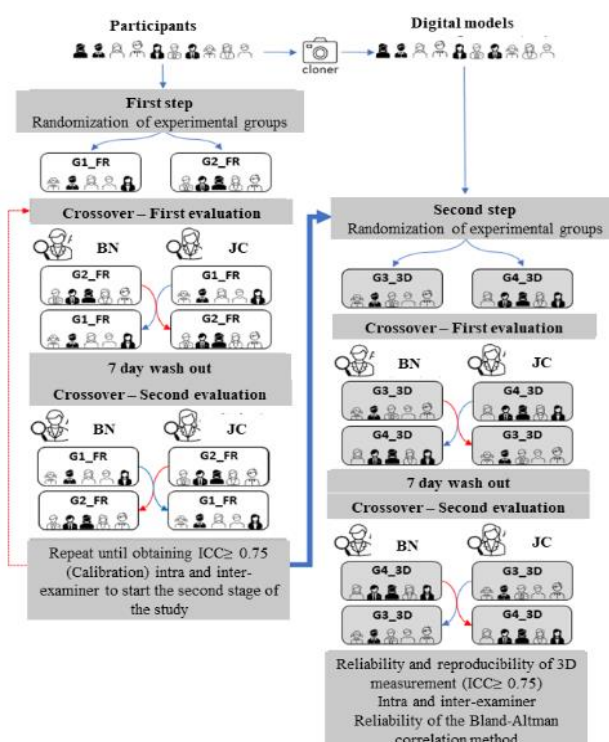


Figura 1: Esboço da primeira e segunda fase da pesquisa

Os seguintes pontos de referência foram marcados na face dos voluntários com etiquetas adesivas personalizadas de 1cm de diâmetro para servir de referência para a mensuração das dimensões estudadas (figura 2):

- Tri - Triquion: ponto da linha do cabelo na linha média da fonte.
- G - Glabela: ponto mais proeminente da linha média entre as sobrancelhas
- Ex - Exocanto direito (Exr) e esquerdo (Exl): ponto no canto lateral do olho direito e esquerdo.
- Pn – Pro nasal: o ponto central da ponta do nariz, determinado por inspeção visual.
- Sn – Subnasal: ponto localizado na confluência da margem inferior da base do nariz com o lábio superior.
- Ângulo da boca - Direito (Chr) e esquerdo (Chl): ponto no canto mais externo da boca na junção do vermelhão do lábio com a pele dos lados direito e esquerdo.
- Me - Mentoniano: ponto mais baixo no contorno dos tecidos moles que recobre a sínfise mandibular

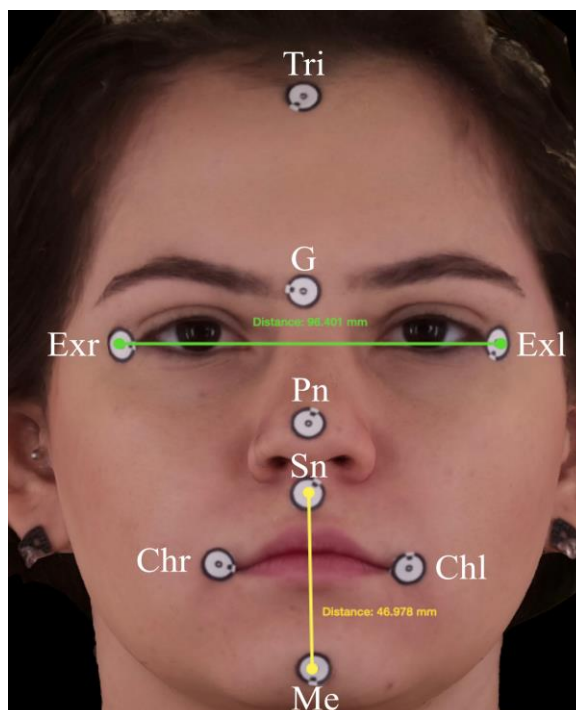


Figura 2: Pontos de referência antropométricos marcados com o auxílio de um adesivo em cada paciente.

Foram analisadas, respectivamente, as seguintes dimensões faciais verticais, horizontais, transversais e de profundidade: comprimento da testa (Tri-G); dimensão do terço facial inferior (Sn-Me); distância entre os olhos (Exr-Exl); largura da boca (Chr-Chl); distância/inclinação entre olhos e boca (Exr-Chr), Distância/inclinação entre olhos e boca (Exl-Chl); Medida da profundidade e alinhamento da ponta do nariz ao subnasal (Pn-Sn).

A segunda etapa do estudo só seria realizada se os examinadores estivessem devidamente calibrados (Intra e inter), considerando um coeficiente de correlação interclasse (ICC) $\geq 0,75$.

2ª etapa: Análise dos modelos 3D

O segundo objetivo foi analisar se a cabine de escaneamento facial Cloner 3D gera modelos 3D confiáveis para medição facial. O equipamento opera através de um sistema de fotogrametria. Neste sistema, 16 câmeras capturam simultaneamente a imagem em aproximadamente 0,4 segundos. Os arquivos são processados em ".OBJ" por software específico e armazenado em uma nuvem de dados. O equipamento

tem uma dimensão de 70 x 104 x 50 cm, e para ser usado precisa ser conectado a um computador por rede wi-fi (2GHz/5GHz) (Figura 3) (Tabela 2).



Figura 3: Equipamento Cloner 3D (Cabine de digitalização do clonador, dOne 3D - Ribeirão Preto - SP - Brasil).

Para facilitar a padronização da captura de imagens, o scanner testado conta com um aparelho a laser que forma duas linhas verticais (lado direito e esquerdo) e horizontais que auxiliam no posicionamento do participante. Cada participante foi posicionado a cerca de 40 cm da parte frontal da cabine para que as linhas horizontais e verticais ficassem entre as linhas formadas pelo laser do scanner ao observar a imagem formada no computador.

Após o acesso à nuvem de dados, os examinadores realizaram as medições exatas no modelo 3D usando o software CloudCompare (CloudCompare v.2.6.1; CloudCompare). Este software de livre acesso fornece processamento em nuvem de pontos de imagens 3D, permitindo assim a quantificação das dimensões analisadas.

Tabela 2: Especificações Cloner 3D fornecidas pelo fabricante

Característica	Descrição
Dimensões sem a mesa	70 x 104 x 50 cm
Dimensões com a mesa	70 x 105 x 121-163 cm (com ajuste de altura)
Peso sem mesa	38 kg
Peso com mesa	63 kg
Tempo de captura	0,4 segundos
Número de câmeras	16
Resolução das câmeras	8 MP
Conectividade	Wi-Fi (2ghz/5ghz), Ethernet
Exportação	.JPG
Exportação pós-processamento (formato de arquivo)	. OBJ. PLY, FBX
Energia	110V - 240V

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Jamovi, versão 2.3.9. A concordância intra e interexaminadores foi determinada pelo Coeficiente de Correlação (ICC). O valor ICC varia de 0 (sem confiabilidade) a um (confiabilidade perfeita). Em consonância com pesquisas anteriores, neste estudo, < 0,4 indica baixa confiabilidade, 0,4-0,75 indica confiabilidade moderada e 0,75 indica excelente confiabilidade.³⁶ Foram calculadas média das diferenças e desvios-padrão (DP) entre as medidas lineares realizadas diretamente nos participantes e as medidas realizadas em imagens 3D. O grau de concordância entre os métodos foi calculado por meio da análise de Bland-Altman. O gráfico gera três linhas de referência horizontais sobrepostas a um gráfico de dispersão: uma linha representa a diferença média entre as medidas, e as linhas superior e inferior marcam os limites superior e

inferior do intervalo de confiança de 95%. Para esta análise, dois critérios devem ser atendidos para estabelecer um acordo entre os métodos. Primeiro, as diferenças médias devem ser pequenas e próximas de 0. Em segundo lugar, o DP dessa diferença deve ser pequeno.³⁷ Para esta análise, um desvio total de $\pm 2,0$ mm foi definido como clinicamente aceitável.^{30,33}

Resultados

Na primeira fase, para certificar a calibração intra e interexaminadores, foi calculado o coeficiente de correlação intraclass (ICC) para cada ponto de referência. A confiabilidade foi excelente ($ICC > 0,9$), indicando que eles foram treinados quanto aos pontos de referência marcados na face de cada paciente.

Na segunda fase, ao avaliar a reprodutibilidade do scanner, o índice permaneceu elevado ($ICC > 0,9$) para todas as medidas de ambos os avaliadores quando estas foram analisadas no modelo 3D em ambos os momentos de avaliação (Tabela suplementar).

As Figuras 4 e a Tabela 3 referem-se à análise de concordância de Bland-Altman entre o scanner e o paquímetro digital. Nota-se que a média das diferenças foi próxima de zero e que a faixa de variação foi curta. No geral, as medidas variaram de $-0,8 \pm 1,2$ mm.

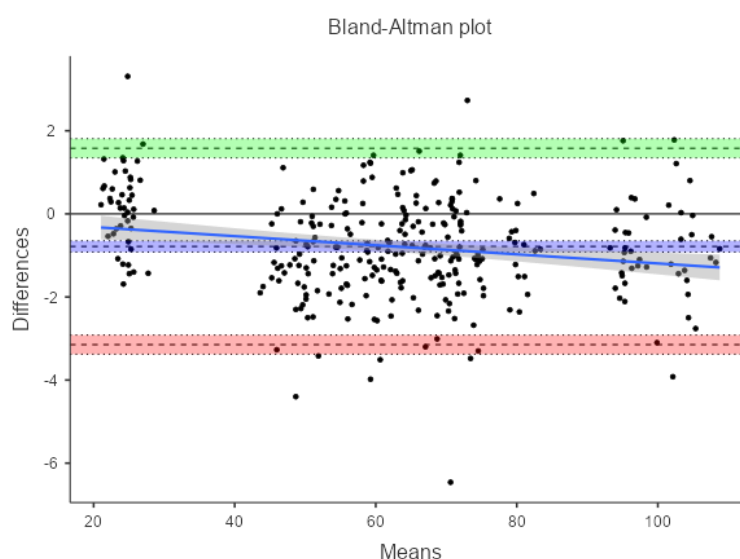


Figura 4: Método de Bland-Altman para análise de concordância de valores de todas as medidas realizadas com um paquímetro e software de análise de modelos 3D.

Tabela 3: Valores em milímetros referentes aos limites superior e inferior, desvio padrão e intervalo de confiança da análise de Bland-Altman

	Média das diferenças	Intervalo de Confiança de 95%		Desvio padrão
		Inferior	Superior	
Viés (n=308)	-0.8	-0.9	-0.6	
Limite inferior	-3.1	-3.4	-2.9	1.2
Limite superior	1.6	1.3	1.3	

A Figura 5 e Tabela 4 representam a análise realizada individualmente para as medidas. A medida Pn-Sn mostrou maior concordância do que a medida Sn-Me. Considerando a média das diferenças e o desvio padrão, as medidas Sn-Me, Exr-Exl e Exr-Chr excederam o limite de aceitabilidade clínica utilizado.

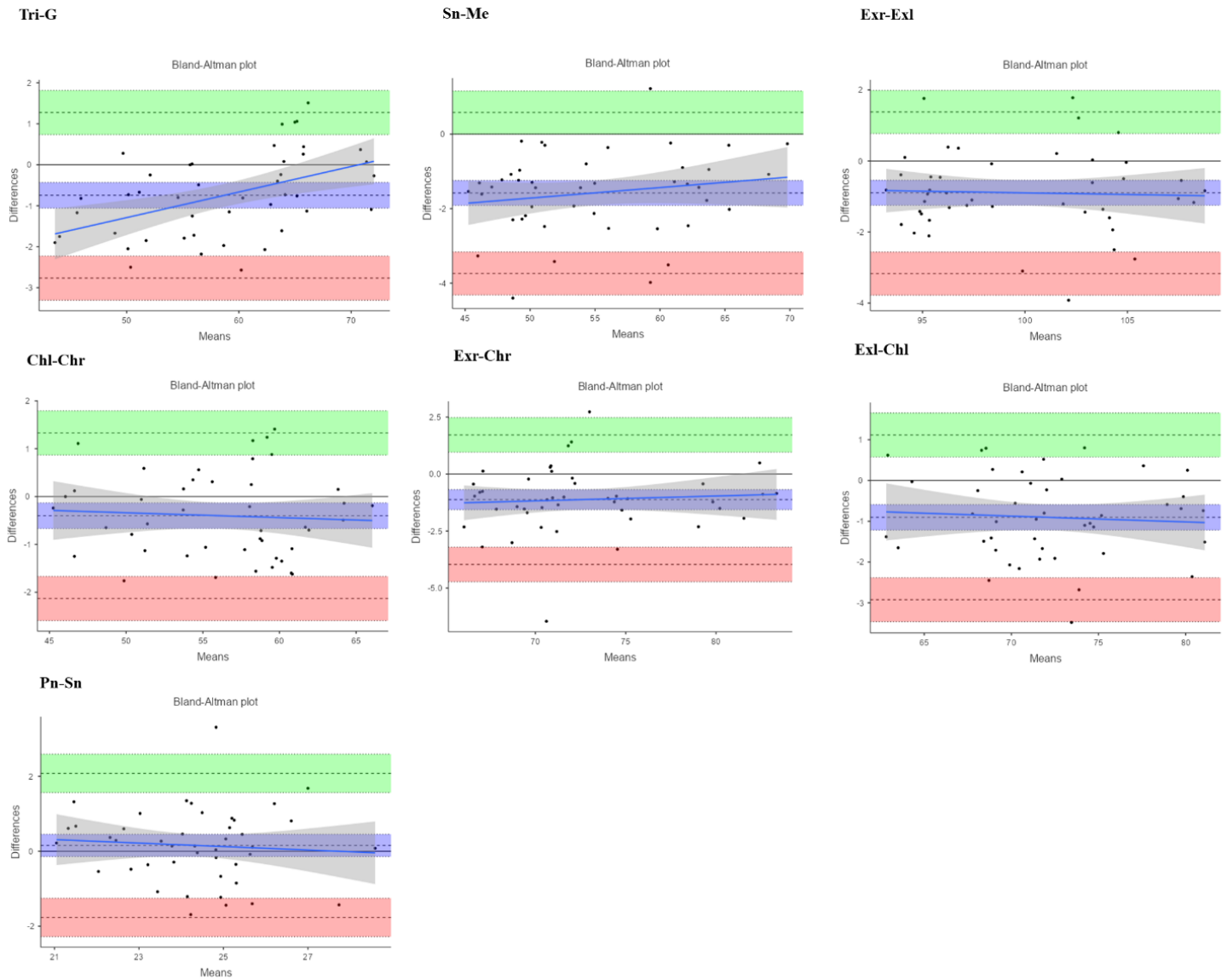


Figura 5 - Método de Bland-Altman para análise de concordância entre os valores de cada medida com um paquímetro e um software de análise de modelos 3D.

Tabela 4. Valores em milímetros referentes aos limites superior e inferior de cada medida, desvio padrão e intervalo de confiança da análise de Bland-Altman.

Medida	Bland-Altman	Média das diferenças	Intervalo de Confiança de 95%		Desvio padrão
			Inferior	Superior	
Tri-G	Viés (n=44)	-0.7	-1.1	-0.4	1.0
	Limite inferior	-2.8	-3.3	-2.2	
	Limite superior	1.3	0.7	1.8	
Sn-Me	Viés (n=44)	-1.6	-1.9	-1.2	1.1
	Limite inferior	-3.7	-4.3	-3.2	
	Limite superior	0.6	0.0	1.2	
Exr-Exl	Viés (n=44)	-0.9	-1.2	-0.5	1.2
	Limite inferior	-3.2	-3.8	-2.6	
	Limite superior	1.4	0.8	2.0	
Chl-Chr	Viés (n=44)	-0.4	-0.7	-0.1	0.9
	Limite inferior	-2.1	-2.6	-1.7	
	Limite superior	1.3	0.9	1.8	
Exr-Chr	Viés (n=44)	-1.1	-1.6	-0.7	1.4
	Limite inferior	-3.9	-4.7	-3.2	
	Limite superior	1.7	0.9	2.5	

Exl-Chl	Viés (n=44)	-0.9	-1.2	0.6	1.0
	Limite inferior	-2.9	-3.5	-2.4	
	Limite superior	1.1	0.6	1.7	
Pn-Sn	Viés (n=44)	0.2	-0.1	0.5	1.0
	Limite inferior	-1.8	-2.3	-1.2	
	Limite superior	2.1	1.6	2.6	

Discussão

Técnicas como ultrassom, varredura a laser e tomografia computadorizada podem ser usadas para analisar características faciais 3D em três dimensões. Ainda assim, a fotogrametria tornou-se uma tecnologia confiável e fácil de usar para esse fim.^{14,38} Foram confirmadas as hipóteses testadas neste estudo envolvendo um novo scanner fotogramétrico. Portanto, o scanner avaliado pode ser usado como uma ferramenta para auxiliar no diagnóstico, planejamento e prognóstico em várias áreas da odontologia.

A análise de Bland-Altman para todas as medições indicou que os dados manuais e digitais concordam. Observa-se que a média das diferenças é próxima de 0 (-0,8mm), o que evidencia a confiabilidade dos dados. Alguns pontos fora da faixa podem indicar um erro isolado na medida e não sugerem baixa concordância, uma vez que o intervalo de confiança foi curto. Utilizamos esse método estatístico porque ele nos permite avaliar adequadamente a concordância entre os dois métodos de aferição. Enquanto o coeficiente de correlação apenas verifica a associação das medidas. A linha de viés da diferença média indicou que quanto maior o valor da medida, menor a média das diferenças. Isso pode mostrar um erro sistemático, pois medidas mais extensas, como a distância entre os cantos externos dos olhos, foram menos precisas no momento do tamanho, uma vez que são medidas mais extensas.

Nossos resultados mostraram que a discrepância entre as medidas manuais e digitais foi de $-0,8 \pm 1,2$ mm, clinicamente aceitável^{13,30,33} e consistente com outros achados realizados com scanners fotogramétricos.^{15,33} Alguns autores consideram aceitável um limite de erro de até 3 mm; outros definem mais estritamente um erro de

apenas 1 mm como bom.^{14,15} Lubbers e colaboradores identificaram que erros de até 1,5 mm não eram perceptíveis nas estruturas faciais, mesmo para examinadores mais experientes identificarem sem o auxílio de dispositivos.¹⁹

Dada a variabilidade das tecnologias e características dos scanners atuais, a comparação entre eles torna-se válida. Revilla-León *et al.* analisaram um sistema fotogramétrico mais simples (quatro câmeras) em comparação com o presente estudo e encontraram valores aceitáveis de confiabilidade e precisão, 0,532-0,555mm e 0,353-0,368mm.²⁴ No entanto, os autores utilizaram manequins estáticos, diferentemente do nosso estudo em que consideramos a ocorrência de movimentos involuntários realizados por indivíduos vivos. Liu *et al.* encontraram valores mais discrepantes ($1,95 \pm 0,33$ mm), mas ainda clinicamente aceitáveis, comparando as medidas lineares do scanner fotogramétrico, com seis câmeras, em indivíduos vivos.³⁹ Um novo scanner de tecnologia de luz estruturada, avaliado no estudo de Piedra-Cascon *et al.*, também se mostrou aceitável para a prática clínica ($0,91 \pm 0,32$ mm), apesar de ter encontrado valores estatisticamente diferentes daqueles realizados com o paquímetro digital, possivelmente por se tratar de um scanner que requer movimento durante a varredura que também é realizado em muito tempo.³⁰ Portanto, também é necessário avaliar características como custo, estrutura física e utilidade do equipamento antes de escolher um scanner facial.

O fato de o valor de confiabilidade encontrado para o scanner avaliado neste estudo ser negativo mostra que, quando as medidas digitais são comparadas com as medidas manuais feitas com o paquímetro, a primeira tende a ter valores inferiores às medidas manuais. Apesar disso, todas as imagens tridimensionais obtidas foram fisicamente semelhantes à aparência dos participantes da pesquisa. Portanto, com base em estudos de alinhamento de modelos 3D, acreditamos que tal achado não influenciaria esse processo. A marcação prévia dos pontos faciais, a região analisada e a precisão do scanner são os aspectos mais relevantes para o alinhamento dos modelos.^{23,24}

As medidas foram analisadas separadamente para verificar quais poderiam ter melhores ou piores resultados. No geral, as medidas mostraram boa concordância. No entanto, destacam-se as medidas Sn-Me, Exr-Exl e Exr-Chr, que apresentaram uma discrepância total maior que 2 mm. Regiões como olhos e lábios são mais sujeitas a movimentos involuntários.³⁰ Enquanto isso, a parte inferior do nariz (Sn) é uma área muitas vezes de difícil identificação e pode sofrer algumas alterações na

varredura, pois representa uma região com geometria mais complexa.¹⁶ Essa discrepância observada para essas medidas provavelmente está relacionada a isso. Portanto, sugere-se que as medidas realizadas nesses pontos sejam feitas com cautela.

Muitos fatores influenciam a precisão do scanner 3D, como a capacidade de registrar detalhes, textura, faixa de digitalização e iluminação.^{13,40} Cloner 3D possui 16 câmeras distribuídas em um raio de 180 graus para capturar as imagens, o que justifica a qualidade da imagem em reproduzir fielmente a realidade em todos os planos. A captura rápida de imagens, principal característica da fotogrametria, reduz a chance de o paciente se mover durante a varredura e causar distorções de imagem.^{5,14} O scanner testado por nós possui um tempo de captura de 0,4 segundos, o que favorece a estabilização do paciente e reduz a ocorrência de movimentos involuntários que geralmente ocorrem principalmente na boca e nos olhos.³³ Isso também seria vantajoso para pacientes com dificuldades motoras e baixa cooperação, como crianças, pacientes com necessidades especiais e idosos.

Em nosso estudo, comparamos as medidas digitais realizadas por software com as medidas manuais realizadas com um paquímetro digital com base na metodologia de outros estudos.^{14,16,30} Na literatura, ainda não existe um padrão-ouro sobre o qual o método antropométrico deva ser utilizado como referência para comparação. Diferentes estudos utilizam outros scanners validados, justificando que as medidas do paquímetro podem gerar distorções, pois há contato físico com tecidos moles.^{1,12} Apesar disso, ainda não existe um scanner de referência para a realização de pesquisas semelhantes às nossas.

Erros na identificação de pontos de referência e captura de imagens são as principais fontes de erro nas técnicas de varredura facial.³⁰ O treinamento prévio realizado neste estudo também abordou esse viés. Os examinadores identificaram em conjunto em um manequim os marcos anatômicos que guiaram as marcações de pontos de referência no rosto de cada participante e foram treinados para realizar a captura padronizada de imagens. Portanto, foi possível avaliar tanto a calibração dos examinadores quanto a acurácia do equipamento. Isso sugere que os pontos adotados neste estudo são reprodutíveis para diferentes examinadores e podem até ser utilizados para sobrepor as imagens em softwares para comparação com mapas coloridos.

As vantagens do scanner sobre o paquímetro digital são favoráveis à prática clínica. Além da maior agilidade durante as medições, o scanner permite o armazenamento digital de dados e modelos 3D, facilitando o acompanhamento longitudinal dos casos, bem como seu planejamento e comunicação com o paciente.^{17,32} Portanto, esse equipamento é uma valiosa ferramenta de investimento para o profissional, e seu custo-benefício é favorável.

Um scanner reprodutível permite o acompanhamento longitudinal de tratamentos que alteram a conformação óssea facial e de tecidos moles.^{5,18} O alto ICC intra e interexaminador deste estudo pode ser explicado pelas características do software específico do scanner, que possibilita a padronização da captura de imagens. Antes de capturar as imagens, o operador pode visualizar a imagem e, se necessário, ajustar a posição do paciente com a ajuda de linhas verticais e horizontais projetadas por um laser de posicionamento do próprio scanner.

Uma limitação do nosso estudo foi o perfil da amostra. Foram avaliados apenas pacientes com sistema normotípico e sem dificuldades motoras, capazes de permanecer estáveis durante a captura da imagem. Seria válido avaliar a acurácia desse scanner em pacientes não cooperativos, como crianças e pacientes especiais, para verificar se esse fator poderia modificar os resultados. Para avaliar seu custo-benefício, seria interessante comparar a precisão do Cloner 3D com um scanner já validado de tecnologia semelhante ou diferente.

Conclusão

Através da metodologia deste estudo, conclui-se que o scanner avaliado apresentou acurácia clinicamente aceitável sobre o paquímetro digital. Além disso, houve concordância inter e intraexaminadores na análise das medidas faciais.

Referências

1. Ceinos R, Tardivo D, Bertrand MF, Lupi-Pegurier L. Inter- and Intra-Operator Reliability of Facial and Dental Measurements Using 3D-Stereophotogrammetry. *J Esthet Restor Dent.*, 2016;28(3):178–189.
2. Li C, Barreto A, Chin C, Zhai J. Biometric identification using 3D face scans. *Biomed Sci Instrum.* 2006; 42:320–325.

3. Hong C, Choi K, Kachroo Y, et al. Evaluation of the 3dMDface system as a tool for soft tissue analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2017; 20:119–124.
4. Gibelli D, Codari M, Rosati R, et al. A Quantitative Analysis of Lip Aesthetics: The Influence of Gender and Aging. *Aesthetic Plast Surg*. 2015;39(5):771–776.
5. Petrides G, Clark JR, Low H, et al. Three-dimensional scanners for soft-tissue facial assessment in clinical practice. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2021;74(3):605–614.
6. Cattoni F, Teté G, Calloni AM, et al. Milled versus molded mock-ups based on the superimposition of 3D meshes from digital oral impressions: a comparative in vitro study in the aesthetic area. *BMC Oral Health*. 2019;19(1):230.
7. Da Silveira AC, Martinez O, Da Silveira D, et al. Threedimensional technology for documentation and record-keeping patients with facial clefts. *Clin Plast Surg*. 2004;31(2):141-148.
8. Sidequersky FV, Verze L, Mapelli A, et al. quantification of facial movements by optical instruments: surface laser scanning and optoelectronic threedimesional motion analyzer. *J Craniofac Surg*. 2014;25(1): e65-70
9. Tzou CH, Artner NM, Pona I, et al. comparison of three-dimensional surfaceimaging systems. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2014;67(4):489-497.
10. Al-Anezi T, Khambay B, Peng MJ, et al. A new method for automatic tracking of facial landmarks in 3D motion captured images (4D). *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2013;42(1):9-18.
11. Heike CL, Upson K, Stuhau E, Weinberg SM. 3D digital stereophotogrammetry: A practical guide to facial image acquisition. *Head and Face Med*. 2010;6(1):1–11.
12. Zhao YJ, Xiong YX, Wang Y. Three-dimensional accuracy of facial scan for facial deformities in clinics: A new evaluation method for facial scanner accuracy. *PLoS ONE*. 2017; 12(1):e0169402.
13. Matta RE, Adler W, Wichmann M, Heckmann SM. Accuracy of impression scanning compared with stone casts of implant impressions. *J Prosthet Dent*. 2017;117(4):507–512.
14. Ye H, Lv L, Liu Y, Liu Y, Zhou Y. Evaluation of the Accuracy, Reliability, and Reproducibility of Two Different 3D Face-Scanning Systems. *Int J Prosthodont*. 2016;29(3):213–8.

15. Düppe K, Becker M, Schönmeier B. Evaluation of Facial Anthropometry Using Three-Dimensional Photogrammetry and Direct Measuring Techniques. *J Craniofac Surg.* 2018;29(5):1245–1251.
16. Amornvit P, Sanohkan S. The accuracy of digital face scans obtained from 3D scanners: An in vitro study. *Int J Environ Res Public Health.* 2019;16(24).
17. Menezes M de, Rosati R, Allievi C, Sforza C. A photographic system for the three-dimensional study of facial morphology. *Angle Orthodontist.* 2009;79(6):1070–1077.
18. Seo SW, Jung YS, Baik HS. Three-Dimensional Analysis of Midfacial Soft Tissue Changes after Maxillary Posterior Impaction and Intraoral Vertical Ramus Osteotomy for Mandibular Setback in Class III Patients. *J Craniofac Surg.* 2017;28(7):1789–1796.
19. Lübbers HT, Medinger L, Kruse AL, et al. The influence of involuntary facial movements on craniofacial anthropometry: a survey using a three-dimensional photographic system. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2012;50(2):171–175.
20. Dindaroğlu F, Kutlu P, Duran GS, Görgülü S, Aslan E. Accuracy and reliability of 3D stereophotogrammetry: A comparison to direct anthropometry and 2D photogrammetry. *Angle Orthod.* 2016;86(3):487–494.
21. D'Ettorre G, Farronato M, Candida E, Quinzi V, Grippaudo C. A comparison between stereophotogrammetry and smartphone structured light technology for three-dimensional face scanning. *Angle Orthod.* 2022;93(2):358–363.
22. Metzler P, Sun Y, Zemmann W, et al. Validity of the 3D VECTRA photogrammetric surface imaging system for cranio-maxillofacial anthropometric measurements. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014;18(3):297–304.
23. Raffone C, Gianfreda F, Pompeo MG, et al. Chairside virtual patient protocol. Part 2: Management of multiple face scans and alignment predictability. *J Dent.* 2022; 1;122.
24. Revilla-León M, Pérez-Barquero JA, Barmak BA, et al. Facial scanning accuracy depending on the alignment algorithm and digitized surface area location: An in vitro study. *J Dent.* 2021;1;110.
25. Deli R, Galantucci LM, Laino A, et al. Three-dimensional methodology for photogrammetric acquisition of the soft tissues of the face: A new clinical-instrumental protocol. *Prog Orthod.* 2013;14(1):1–15.

26. Sforza C, Dimaggio FR, Dellavia C, et al. Two-dimensional vs three-dimensional assessment of soft tissue facial profile: a noninvasive study in 6-year-old healthy children. *Minerva Stomatol.* 2007;56(5):253–265.
27. Ozsoy U, Demirel BM, Yildirim FB, et al. Method selection in craniofacial measurements: advantages and disadvantages of 3D digitization method. *J Craniomaxillofac Surg.* 2009;37(5):285–90.
28. Weinberg SM, Naidoo S, Govier DP, et al. Anthropometric Precision and Accuracy of Digital Three-Dimensional Photogrammetry: Comparing the Genex and 3dMD Imaging Systems with One Another and with Direct Anthropometry. *J Craniofac Surg.* 2006;17(3).
29. Özsoy U, Sekerci R, Hizay A, et al. assessment of reproducibility and reliability of facial expressions using 3D handheld scanner. *J Craniomaxillofac Surg.* 2019;47(6):895–901.
30. Piedra-Cascón W, Meyer MJ, Methani MM, Revilla-León M. Accuracy (trueness and precision) of a dual-structured light facial scanner and interexaminer reliability. *J Prosthet Dent.* 2020;1–8
31. Wong JY, Oh AK, Ohta E, et al. Validity and reliability of craniofacial anthropometric measurement of 3D digital photogrammetric images. *Cleft Palate Craniofac J.* 2008;45(3):232–239.
32. Weinberg SM, Scott NM, Neiswanger K, et al. Digital three-dimensional photogrammetry: evaluation of anthropometric precision and accuracy using a Genex 3D camera system. *Cleft Palate Craniofac J.* 2004;41(5):507–518.
33. Liu C, Artopoulos A. Validation of a low-cost portable 3-dimensional face scanner. *Imaging Sci Dent.* 2019;49(1):35–43.
34. ISO 5725-1:1994(en) Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions [Internet]. [cited 2020 Nov 15]. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5725:-1:ed-1:v1:en>
35. Schulz KF, Altman DG, Moher D. CONSORT 2010 Statement: Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMJ (Online).* 2010;340(7748):698–702.
36. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med.* 2016;15(2):155–163.

37. Martin Bland J, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*. 1986 Feb 8;327(8476):307–10.
38. Park JM, Jeon J, Koak JY, et al. Dimensional accuracy and surface characteristics of 3D-printed dental casts. *J Prosthet Dent*. 2021;126(3):427–437.
39. Liu S, Srinivasan M, Mörzinger R, et al. reliability of a three-dimensional facial camera for dental and medical applications: A pilot study. *J Prosthet Dent*. 2019;122(3):282–287.
40. Park HN, Lim YJ, Yi WJ, et al. A comparison of the accuracy of intraoral scanners using an intraoral environment simulator. *J Adv Prosthodont*. 2018;10(1):58–64.

Dados suplementares

Tabela suplementar: Concordância intra-examinador das medidas digitais feitas pelo examinador 1 (ICC 1) e examinador 2 (ICC 2). Concordância inter-examinador (ICC).

Medida	ICC 1	ICC 2	ICC
Tri-G	0.995	0.993	0.997
Sn-Me	0.985	0.978	0.986
Exr-Exl	0.995	0.975	0.976
Chr-Chl	0.986	0.982	0.971
Exr-Chr	0.991	0.946	0.983
Exl-Chl	0.990	0.975	0.977
Pn-Sn	0.891	0.838	0.970

3.2 Publicação 2*

Acurácia de modelos digitais 3D gerados por diferentes tecnologias: comparação entre fotogrametria e luz estruturada

RESUMO

Objetivo: Comparar a confiabilidade clínica do scanner fotogramétrico (Cloner) e do scanner de luz estruturado (Bellus 3D) para gerar modelos faciais 3D. **Materiais e Métodos:** 10 participantes foram incluídos no estudo. Os pontos faciais foram marcados com etiquetas adesivas antes da varredura: Trichion (Tri), Glabella (G), exocanto direito (Exr) e esquerdo (Exl), pronasal (Pn), Subnasal (Sn), Ângulo da boca direito (Chr) e esquerdo (Chl) e Mento (Me). Dois examinadores realizaram a mensuração das medidas lineares (Tri-G, Sn-Me, Exr-Exl, Chr-Chl, Exr-Chr, Exl-Chl, Pn-Sn) com um paquímetro digital e, em seguida, através do modelo 3D obtido por cada scanner. A análise de Bland Altman foi realizada para comparar as medidas, adotando-se a média das diferenças, desvio padrão e limites superior e inferior como valores. **Resultados:** O scanner fotogramétrico apresentou maior acurácia entre as medidas ($-0,664 \pm 1,056\text{mm}$) em relação ao scanner de luz estruturado ($-1,010 \pm 1,556\text{mm}$). Apenas uma medida feita por Bellus apresentou confiabilidade clínica ($<2\text{mm}$). **Conclusão:** O scanner fotogramétrico foi mais preciso que o scanner de luz estruturado.

Palavras-chave: fotogrametria; Antropometria; Precisão dos dados; Reprodutibilidade dos Resultados; Precisão de Medição Dimensional.

INTRODUÇÃO

A análise da morfologia facial é um dos primeiros passos realizados em diferentes tratamentos odontológicos.¹ Com os avanços tecnológicos, novas ferramentas de análise facial foram desenvolvidas, perseguindo o nível de análise bidimensional (2D) para tridimensional (3D).^{2,3} Entre esses avanços, os scanners faciais têm se destacado, esses equipamentos fazem uma medição óptica da face

* Formatação de acordo com as normas do periódico *The Angle Orthodontist* para o qual foi submetido.

sem contato físico e sem radiação ionizante.⁴⁻⁶ A imagem capturada é então digitalizada em um modelo 3D reproduzindo características como cor real da pele, dimensões, textura e morfologia, auxiliando o profissional a diagnosticar e planejar casos clínicos.⁷⁻⁹

Os modelos digitais permitem realizar medições lineares, volumétricas, angulares, de área e/ou comparação de padrões de referência ou faces inteiras.¹⁰⁻¹² Essas medições são realizadas utilizando softwares que podem ser nativos do sistema de digitalização, ou de livre acesso, facilitando o uso dessa tecnologia.¹³ Devido à ausência de contato físico entre o equipamento e o paciente, os scanners faciais não alteram a posição das estruturas, aumentando a biossegurança do procedimento, tornando a análise facial mais segura e confiável, ao contrário de outras técnicas como paquímetro, fita métrica e régua.^{14,15}

Duas tecnologias de varredura têm sido amplamente utilizadas na prática clínica, incluindo ortodontia, cirurgia ortognática e odontologia estética. Fotogrametria, que o sistema captura imagens de um objeto em diferentes ângulos e as sobrepõe, formando o modelo 3D.⁴ Tecnologia de malha estruturada, que usa scanners de luz estruturados que projetam padrões de luz no objeto. Em seguida, a deformação dessa luz é capturada e o modelo 3D é formado.¹¹

Estudos comparando as duas tecnologias mostraram que não há diferenças entre elas em termos de sua precisão.^{4,16-18} No entanto, novos scanners estão constantemente sendo introduzidos no mercado com diferenciais como melhor resolução da câmera, amplitude de digitalização e número de imagens capturadas.¹⁹ Considerando que cada equipamento possui características específicas que estão relacionadas às suas vantagens e desvantagens, como tempo de digitalização, calibração, custo e manutenção do equipamento.¹⁵ Portanto, é interessante avaliar a viabilidade de seu uso clínico, bem como seu custo-efetividade.

Bellus 3D Face Camera Pro é um scanner de luz estruturado que se destaca por seu pequeno tamanho, tornando-o mais prático, pois não precisa de um extenso espaço físico para seu uso. Este dispositivo consiste em dois sensores infravermelhos de 1MP (1280x800), um sensor de cor de 2MP (1600x1200) e um foco fixo. Seu tempo de varredura é de cerca de 14 segundos e requer movimento do paciente durante este período.²⁰ Um estudo recente investigou a precisão deste scanner e encontrou bons resultados para o seu uso clínico.⁷ No entanto, ainda não há estudos comparando o desempenho do scanner com scanners fotogramétricos.

A cabine de digitalização facial Cloner (dOne 3D) usa tecnologia de fotogrametria e seu tempo de captura é de aproximadamente 0,4 segundos. Existem dezesseis câmeras com alta resolução atuando simultaneamente em diferentes ângulos e fáceis de manusear. No entanto, o sistema precisa de uma maior infraestrutura operacional, e a compilação de imagens requer maior capacidade de processamento. Assim, comparar a efetividade ao realizar medidas faciais nesses dois sistemas de scanner é essencial para buscar um melhor uso profissional, aliado a um excelente custo-benefício.

Portanto, o objetivo deste estudo é comparar, com base em medidas lineares, a acurácia da geometria 3D obtida por meio de dois tipos de scanners faciais. A primeira, uma tecnologia de luz estruturada (Bellus) e a segunda uma tecnologia de fotogrametria (Cloner) em comparação com a medição manual realizada com um paquímetro digital. A hipótese nula é que não há diferenças entre as medidas realizadas por cada um dos três métodos.

METODOLOGIA

Amostra

Dez participantes (5 homens e 5 mulheres) com idades entre 18 e 65 anos foram incluídos neste estudo. Os critérios de inclusão estabelecidos foram: ausência de deformidades faciais, trauma facial recente e ausência de pelos faciais, o que poderia interferir na demarcação dos pontos de referência. A aprovação ética foi concedida pelo Comitê de Ética em Pesquisa local sob o protocolo 23867019.3.0000.5416. Todos os participantes concordaram e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

Digitalização e aquisição de dados

Dois examinadores treinados e calibrados foram responsáveis pela aquisição de imagens e medidas manuais. Nove pontos de referência foram marcados na face de cada participante com etiquetas adesivas específicas medindo 1 cm de diâmetro com um ponto localizador no centro, a fim de facilitar a localização central. Os pontos de referência são descritos na tabela 1.

Tabela 1: Lista dos pontos de referência utilizados no estudo.

Ponto de referência	Abreviação	Definição
Trichion	Tri	Ponto da linha do cabelo na linha média da fonte.
Glabela	G	Ponto mais proeminente da linha média entre as sobrancelhas
Exocanto direito e esquerdo	Exr/Exl	Canto lateral do olho direito e esquerdo.
Ponta do nariz	Pn	Ponto médio da ponta do nariz, determinado por inspeção visual.
Subnasal	Sn	Ponto localizado na confluência da borda inferior da base do nariz com o lábio superior.
Ângulo da boca direita e esquerda	Abr/Abl	Canto mais externo da boca na junção do vermelhão labial com a pele dos lados direito e esquerdo.
Mentoniano	Me	Ponto inferior no contorno do tecido mole que cobre a sínfise mandibular

As imagens foram capturadas por meio de dois tipos de scanner. O primeiro, o Bellus 3D Face Camera Pro (Bellus3D, Inc. Los Gatos, CA, EUA) (Figura 1). O fabricante recomenda que a varredura seja realizada a uma distância de 25 a 60 cm do objeto, com a distância ideal entre 30 a 45 cm. O tempo de digitalização varia entre 15 e 25 segundos e o tempo de processamento da imagem entre 7 e 30 segundos. O software responsável por esse processamento é o Bellus3D Face Camera Android e o Windows SDK. O dispositivo foi usado acoplado a um tablet Samsung GalaxyTab S3 com sistema Android (Samsung Electronics Co., Ltd) conforme indicado pelo fabricante.

O participante foi solicitado a permanecer sentado, mantendo uma posição neutra da cabeça, músculos faciais relaxados, olhos abertos, sem expressão facial e em máxima intercuspidação habitual (MIH). Durante a captura da imagem, foi-lhe pedido que movimentasse a cabeça, mantendo a mesma posição, partindo de um lado, passando em torno de 180° para o lado contralateral, conforme o indicativo na tela de exibição do tablet.

Em seguida, o paciente foi posicionado na cabine de varredura facial Cloner (Cabine de varredura Cloner, dOne 3D - Ribeirão Preto - SP - Brasil) (Figura 2). O posicionamento ocorreu com o auxílio de linhas de laser projetadas na face que indicam a posição correta para a digitalização. Este sistema captura a imagem por fotogrametria. O equipamento tem sua posição regulada através de uma mesa ajustável que realiza o movimento para cima e para baixo do scanner. Após os ajustes necessários do equipamento, solicitou-se ao paciente que repetisse o posicionamento do scanner anterior, sem mover a cabeça, uma vez que esse processo não é necessário neste dispositivo.

Utilizando os mesmos pontos de referência, as medidas manuais foram realizadas com paquímetro digital (Digital paquímetro 316119, MTX®) com precisão de 2 casas decimais e acurácia de 0,02mm. A ponta de cada extremidade do paquímetro foi levemente posicionada sobre os pontos marcados durante a medição, de modo que não ocorressem distorções devido à deformação dos tecidos moles.



Figura 1: Bellus3D Face Camera Pro (Bellus3D, Inc. Los Gatos, CA, EUA)



Figura 2: Cabine de digitalização do clonador, dOne 3D - Ribeirão Preto - SP
– Brasil

Aquisição de dados digitais e manuais

Os arquivos obtidos pelos dois scanners foram processados em ". OBJ" e os modelos 3D foram analisados utilizando o software Cloudcompare (CloudCompare v.2.6.1; CloudCompare) que permite a quantificação de distâncias lineares.

Para este estudo, foram consideradas as seguintes distâncias para as medidas manuais e digitais: Tri-G, Sn-Me, Exr-Exl, Abr-Abl, Exr-Abr, Exl-Abr e Pn-Sn. Os dois examinadores realizam as medidas de forma padronizada e cega entre si. As medidas digitais foram realizadas colocando-se o cursor no centro do adesivo e seu par correspondente.

Análise estatística

Para verificar qual dos equipamentos oferecia os modelos virtuais 3D mais fiéis, foi utilizado o teste de Bland Altman, tendo como padrão-ouro as medidas manuais obtidas com paquímetro digital. Essa análise estatística leva em conta a média das diferenças entre as medidas obtidas pelos dois métodos e o desvio padrão. Quanto menor a média das diferenças, mais veracidade o método tem, e quanto maior o desvio padrão, menor será sua precisão, pois os limites superior e inferior serão maiores²¹. A partir desses valores obtêm-se os limites superior e inferior da variação. Para esta análise, um desvio total de $\pm 2,0$ mm foi definido como o limite apropriado para indicar a relevância clínica da diferença nas medidas entre os métodos^{22,23}. As

análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software JAMOV (<https://www.jamovi.org/>).

RESULTADOS

A Tabela 2 e a figura 3 mostram a análise geral, incluindo todas as medidas realizadas com Cloner e Bellus, em comparação com o controle (paquímetro). Há maior variabilidade dos dados feitos com Bellus considerando os limites superior e inferior do gráfico. A média das diferenças entre as medidas realizadas com o Cloner é mais próxima de zero, o que indica melhor concordância. Com relação a Bellus, a linha que representa o viés no gráfico indica que quanto menor a medida, maior a sua concordância, pois essa linha é próxima de zero.

Tabela 2: Valores em milímetros referentes aos limites superior e inferior, desvio padrão e intervalo de confiança da análise de Bland-Altman

Método	Bland-Altman	Média das diferenças	Intervalo de Confiança de 95%		Desvio padrão
			Inferior	Superior	
Cloner	Viés (n=140)	-0.664	-0.841	-0.488	1.056
	Limite inferior	-2.735	-3.038	-2.433	
	Limite superior	1.407	1.104	1.709	
Bellus	Viés (n=140)	-1.010	-1.270	-0.749	1.556
	Limite inferior	-4.060	-4.500	-3.614	
	Limite superior	2.040	1.600	2.487	

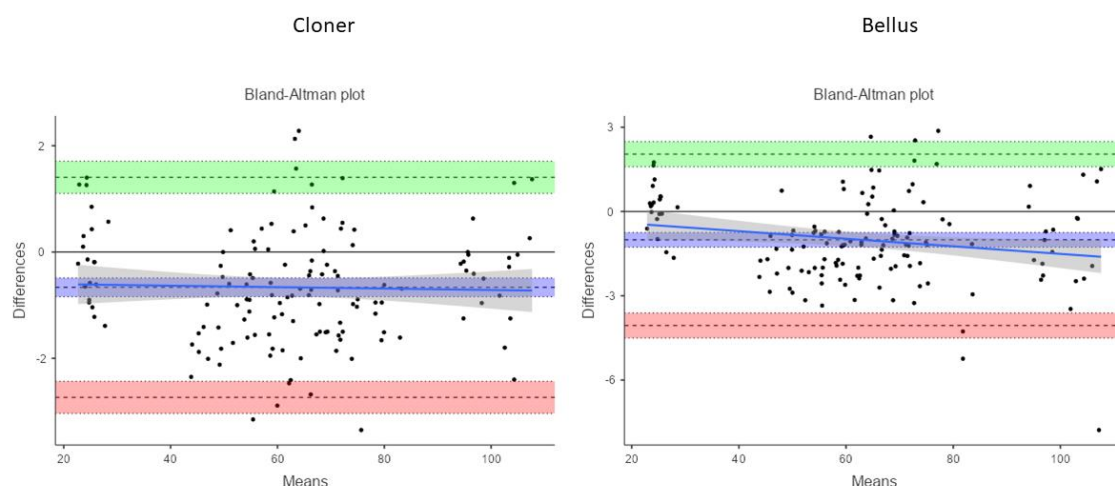


Figura 3: Método de Bland-Altman para análise de concordância entre os valores de cada medida com um paquímetro e um software de análise de modelos 3D. A linha azul refere-se ao viés e indica o comportamento da variável. As faixas coloridas representam o intervalo de confiança da média das diferenças, limites superior e inferior do gráfico.

As sete medidas também foram avaliadas individualmente por meio da concordância de Bland-Altman (Tabela 3). A medida Pn-Sn foi a única que apresentou bons resultados para Bellus. Enquanto o Cloner teve um desempenho melhor na maioria deles. Corroborando o gráfico quanto à alta concordância para medidas menores realizadas com o Bellus, o valor médio das diferenças para a medida Pn-Sn, a menor das médias medidas, foi na verdade a mais próxima de zero.

Tabela 3: Valores em milímetros referentes aos limites superior e inferior, desvio padrão e intervalo de confiança da análise de Bland-Altman para cada medida realizada pelos dois scanners.

Medir	Método	Bland-Altman	Média das diferenças	Intervalo de Confiança de 95%		Desvio padrão
				Abaixar	Superior	
Tri-G	Cloner	Viés (n=20)	-0.906	-1.356	-0.457	0.960
		Limite inferior	-2.790	-3.572	-2.008	
		Limite superior	0.977	0.195	1.759	
	Bellus	Viés (n=20)	-1.190	-1.829	-0.557	1.359
		Limite inferior	-3.860	-4.964	-2.752	
		Limite superior	1.470	0.366	2.578	

Sn-Me	Cloner	Viés (n=20)	-0.930	-1.581	-0.280	1.390
		Limite inferior	-3.655	-4.786	-2.524	
		Limite superior	1.794	0.663	2.925	
	Bellus	Viés (n=20)	-1.781	-2.203	-1.359	0.902
		Limite inferior	-3.549	-4.284	-2.815	
		Limite superior	-0.012	-0.747	0.722	
Exr-Exl	Cloner	Viés (n=20)	-0.930	-1.581	-0.280	0.969
		Limite inferior	-3.655	-4.786	-2.524	
		Limite superior	1.794	0.663	2.925	
	Bellus	Viés (n=20)	-1.280	-2.260	-0.307	2.088
		Limite inferior	-5.380	-7.080	-3.679	
		Limite superior	2.820	1.120	4.508	
Chl-Chr	Cloner	Viés (n=20)	-0.898	-1.549	-0.246	0.956
		Limite inferior	-3.627	-4.760	-2.494	
		Limite superior	1.832	-0.699	2.965	
	Bellus	Viés (n=20)	-0.898	-1.549	-0.246	1.392
		Limite inferior	-3.627	-4.760	-2.494	
		Limite superior	1.832	0.699	2.965	
Exr-Chr	Cloner	Viés (n=20)	-0.948	-1.491	-0.404	1.161
		Limite inferior	-3.225	-4.170	-2.279	
		Limite superior	1.330	0.384	2.275	
	Bellus	Viés (n=20)	-1.583	-2.046	-1.120	0.989
		Limite inferior	-3.523	-4.328	-2.720	
		Limite superior	0.357	-0.448	1.160	
Exl-Chl	Cloner	Viés (n=20)	-0.582	-1.033	-0.130	0.965
		Limite inferior	-2.473	-3.258	-1.688	
		Limite superior	1.320	0.525	2.095	
	Bellus	Viés (n=20)	-0.470	-1.430	0.487	2.044
		Limite inferior	-4.477	-6.140	-2.814	
		Limite superior	3.537	1.870	5.201	
Pn-Sn	Cloner	Viés (n=20)	-0.095	-0.494	0.304	0.852
		Limite inferior	-1.765	-2.459	-1.072	
		Limite superior	1.575	0.882	2.269	
	Bellus	Viés (n=20)	0.148	-0.264	0.560	0.880
		Limite inferior	-1.578	-2.294	-0.861	
		Limite superior	1.874	1.157	2.590	

O desvio padrão para as medidas obtidas com o scanner Cloner foi sempre menor que o scanner Bellus, com exceção de uma medida (Pn-Me), indicando

também maior variabilidade nas medidas realizadas com ele, o que é confirmado pela avaliação dos limites superior e inferior para cada medida.

DISCUSSÃO

Este estudo investigou a veracidade de um scanner fotogramétrico e de um scanner de tecnologia de luz estruturada. A análise geral das medidas mostrou uma superioridade do scanner fotogramétrico, Cloner ($-0,664 \pm 1,056$ mm), em relação ao scanner de luz estruturada, Bellus ($-1,010 \pm 1,556$ mm). Além disso, considerando os critérios adotados neste estudo, as medidas realizadas com o Bellus estão fora do limite de aceitabilidade clínica relatado na literatura. A rápida aquisição de imagens no scanner fotogramétrico pode justificar esse resultado, pois reduz a ocorrência de movimentos involuntários durante a varredura e, conseqüentemente, a distorção da imagem.¹¹

Nosso resultado difere de outros estudos existentes com objetivo semelhante. Zhao *et al.* compararam as medidas de modelos faciais com deformidades usando ambos os tipos de scanners e encontraram uma precisão de $0,58 \pm 0,11$ mm e $0,57 \pm 0,07$ mm para os scanners de fotogrametria e luz estruturada, respectivamente, sem diferença estatística entre eles.⁴ Ye *et al.* chegaram à mesma conclusão ao comparar as duas tecnologias de varredura. Nesse estudo, os autores também encontraram alta concordância quando utilizaram o paquímetro digital como controle para comparar medidas. No entanto, os scanners testados por esses autores tinham outra metodologia de varredura, diferente da Bellus.¹⁶

Um estudo recente avaliou a superfície 3D de modelos gerados pelo aplicativo Bellus3D, um sistema semelhante ao usado neste estudo, que usa a tecnologia de câmera “true depth” do smartphone¹⁸. A comparação foi feita com os modelos gerados por um scanner fotogramétrico. Os autores encontraram discrepância entre 0,5 e 1 mm. No entanto, a comparação foi feita com base na sobreposição de modelos, que é um método mais sensível e menos utilizado para esse fim, uma vez que requer o uso e domínio de softwares específicos.^{18,24}

Algumas análises estatísticas encontradas em estudos que comparam dois métodos de medição podem não ser apropriadas. A análise de correlação, comumente usada, não expressa a concordância exata entre os métodos, mas sim a sua relação. Para contornar essa limitação, um método apropriado para esta análise

foi utilizado neste estudo: a análise de Bland-Altman, que quantifica adequadamente a variação entre os dois métodos, fornecendo os limites de variação, a média de variação e a linha de viés. Este último permite observar o comportamento da variável à medida que ela cresce ou diminui, revelando possíveis tendências. Por isso, as comparações entre este estudo e outros devem ser feitas com cautela.²⁵

Analisando as medidas individualmente, enquanto Cloner não apresentou resultados dentro da aceitabilidade clínica de 2mm em apenas duas medidas (Sn-Me e Exr-Chr), Bellus apresentou resultados aceitáveis em apenas uma medida (Pn-Sn) localizada na região central da face. Um estudo sugere maior precisão dos modelos na representação de partes mais centrais da face, devido à própria geometria da região. O mesmo estudo comparou um scanner de luz estruturada (FaceApp; Bellus3D Inc) com outro scanner fotogramétrico (ReCap Photo; Autodesk Inc.) e encontrou menor acurácia para áreas laterais da face para os dois sistemas.²⁶

O scanner de luz estruturada testado requer o movimento do paciente para digitalizar o rosto. Mesmo que o examinador o instrua a permanecer com uma expressão facial neutra, involuntariamente, podem ocorrer movimentos oculares, como rastrear o examinador. Movimentos involuntários, principalmente na região dos olhos e da boca, podem ser fatores que contribuíram para a discrepância entre as medidas. Há também uma dificuldade para o paciente manter a cabeça em equilíbrio, no mesmo plano, por 14 segundos referente ao procedimento com Bellus 3D. No scanner fotogramétrico, o tempo necessário é bastante reduzido, diminuindo consideravelmente a possibilidade de movimentos involuntários. O tempo de captura do Cloner é apenas 0,4 segundos, reduzindo a chance de erros como esses.^{10,27,28}

A linha de viés do gráfico de Bland Altman para o Bellus 3D indica que quando as medidas foram de menor valor, a média das diferenças se aproximou de zero, o que indica que esse equipamento tem um melhor desempenho para pequenas medições. Medidas maiores tendem a variar mais usando esse equipamento. A menor medida aferida neste estudo foi relacionada à altura do nariz (Pn-Sn), e corroborando o achado da linha de viés, esta foi a que apresentou a menor média de diferenças para os dois scanners. Portanto, sugere-se que o uso de Bellus seja seguro para medidas menores que 40mm, como mostra o gráfico. Dessa forma, esse scanner pode ser utilizado para diagnóstico e planejamento envolvendo pequenas regiões centrais do rosto, como o sorriso, lábio e nariz.

Em uma revisão sistemática comparando scanners faciais de diferentes tecnologias, incluindo fotogrametria e luz estruturada, a fotogrametria mostrou excelentes resultados para análise facial quantitativa, sendo uma técnica com alta confiabilidade. No entanto, alguns fatores, como a necessidade de espaço físico, calibração em cada uso, custo e manutenção, dificultam seu uso acessível na rotina clínica.¹¹ O Cloner, mesmo sendo um scanner fotogramétrico, não requer calibração diária e possui uma interface fácil de aprender, o que elimina a necessidade de um profissional técnico específico para o equipamento.

A varredura gera uma nuvem de pontos que é convertida em um modelo 3D através da triangulação.²⁹ A diferença entre a densidade das nuvens de pontos entre os dois scanners também pode interferir na qualidade do modelo 3D, como pode ser visto na Figura 4. Outra diferença óbvia entre os scanners é a facilidade de posicionar o paciente para a digitalização no Cloner, pois possui um laser de posicionamento e não requer movimento do paciente durante a digitalização.²⁷

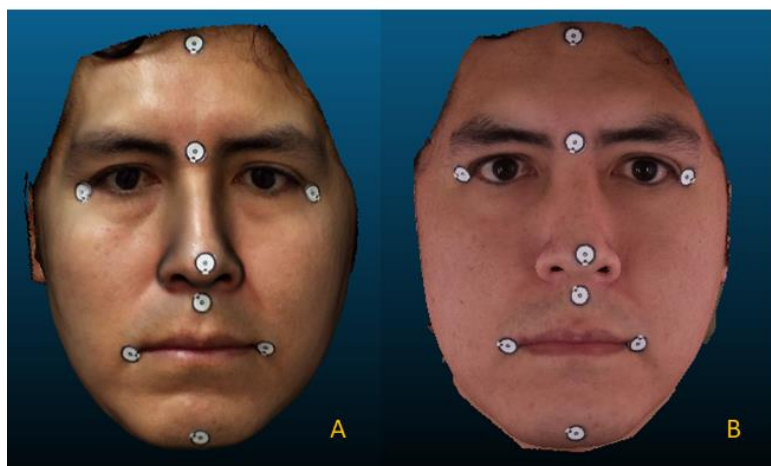


Figura 4: As imagens A e B, representam os modelos 3D gerados com os scanners Bellus e Cloner, respectivamente. Há maior representação de textura e cor na imagem B e maior quantidade de sombra na imagem A.

Um estudo recente realizado com o Bellus 3D Face Camera Pro avaliou medições lineares feitas com o paquímetro digital e o scanner em 20 participantes. Os autores encontraram diferenças significativas nas medidas manuais e digitais, com discrepância de $0,91 \pm 0,32\text{mm}$ entre elas. Nosso estudo encontrou uma maior faixa de discrepância para Bellus ($-1,010 \pm 1,556\text{mm}$). Possivelmente, a escolha das medidas

lineares medidas explica esses resultados divergentes. No referido estudo, os autores avaliaram quatro medidas verticais e apenas uma horizontal ⁷. Ao avaliar medidas transversais e de profundidade, como feito neste estudo, principalmente com o paquímetro, o examinador pode encontrar dificuldades devido às estruturas anatômicas da face, como nariz e olhos, tendo dificuldade em posicionar corretamente o equipamento. O paquímetro digital foi utilizado como controle devido à sua conhecida precisão e dentro da aceitabilidade clínica e porque ainda não existe um instrumento de medida facial padrão-ouro para esse fim.³⁰ Como seu uso está mais sujeito a erros de medida, pois depende da proficiência, foi realizado treinamento prévio com o examinador, a fim de reduzir as deformações dos tecidos moles causadas pela ponta do instrumento.^{9,31,32} Essa medida também já foi recomendada por outros autores.^{9,28}

Para minimizar o viés de aferição, todos os pontos faciais foram demarcados com etiquetas adesivas antes da digitalização e medição com o paquímetro. Embora seja possível identificar os pontos faciais digitalmente com os dois scanners, esse protocolo foi adotado para aumentar a acurácia das medidas. ^{7,16} É importante ressaltar que as etiquetas eram formadas por um círculo preto com um círculo branco em seu centro, o círculo menor serviu de referência tanto para as medidas realizadas digitalmente quanto para aquelas feitas com o paquímetro.^{16,33} Outros estudos também utilizaram metodologia semelhante pelos mesmos motivos. Embora os scanners forneçam aos modelos digitais com clareza suficiente para identificar pontos anatômicos digitalmente, a literatura já mostrou que a demarcação prévia de pontos reduz a chance de erros de aferição. ^{16,28,31}

Um ponto importante do nosso estudo, em comparação com outros que também avaliaram sistemas de varredura, é que usamos pessoas reais e não manequins ^{26,34}. Portanto, fatores como movimentos involuntários, distorções de luz e irregularidades cutâneas foram considerados ao avaliar o desempenho dos scanners. No entanto, nosso estudo teve a limitação de avaliar apenas pacientes sem deformidades ou alterações faciais. Seria interessante avaliar qual tecnologia de scanner é mais adequada para esse grupo. ²⁶

CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia deste estudo e os tipos de dispositivos utilizados, é possível concluir que o scanner fotogramétrico apresentou desempenho superior, em termos de acurácia, quando comparado ao scanner de luz estruturada. Clinicamente, o scanner de luz estruturada avaliado não é recomendado quando se trata de medições maiores.

REFERÊNCIAS

1. Magne P, Magne M, Belser U. The diagnostic template: a key element to the comprehensive esthetic treatment concept. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 1996;16(6):560–9.
2. Zhu S, Yang Y, Khambay B. A study to evaluate the reliability of using two-dimensional photographs, three-dimensional images, and stereoscopic projected three-dimensional images for patient assessment. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2017; 46(3):394–400.
3. Naini FB, Akram S, Kepinska J, Garagiola U, McDonald F, Wertheim D. Validation of a new three-dimensional imaging system using comparative craniofacial anthropometry. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*. 2017;39(1):23.
4. Zhao YJ, Xiong YX, Wang Y. Three-dimensional accuracy of facial scan for facial deformities in clinics: a new evaluation method for facial scanner accuracy. *PLoS One*. 2017;
5. Liu S, Srinivasan M, Mörzinger R, Lancelle M, et al. Reliability of a three-dimensional facial camera for dental and medical applications: a pilot study. *J Prosthet Dent*. 2019;122(3):282–7.
6. Volonghi P, Baronio G, Signoroni A. 3D scanning and geometry processing techniques for customised hand orthotics: an experimental assessment. *Virtual Phys Prototyp*. 2018;13(2):105–16.
7. Piedra-Cascón W, Meyer MJ, Methani MM, Revilla-León M. Accuracy (trueness and precision) of a dual-structured light facial scanner and interexaminer reliability. *J Prosthet Dent*. 2020;1–8.
8. Ceinos R, Tardivo D, Bertrand MF, Lupi-Pegurier L. Inter- and Intra-Operator Reliability of Facial and Dental Measurements Using 3D-Stereophotogrammetry. *J Esthet Restor Dent*. 2016;28(3):178–89.

9. Liu C, Artopoulos A. Validation of a low-cost portable 3-dimensional face scanner. *Imaging Sci Dent*. 2019;49(1):35–43.
10. Bakirman T, Gumusay MU, Reis HC, et al. Comparison of low-cost 3D structured light scanners for face modeling. *Appl Opt*. 2017; 56(4):985–92.
11. Petrides G, Clark JR, Low H, Lovell N, Eviston TJ. Three-dimensional scanners for soft-tissue facial assessment in clinical practice. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2021; 74(3):605–14.
12. Salazar-Gamarra R, Seelaus R, Lopes Da Silva JV, Moreira Da Silva A, Lauria Dib L. Monoscopic photogrammetry to obtain 3D models by a mobile device: a method for making facial prostheses. 2016; 45:33.
13. Cassola VF, Lima VJ de M, Kramer R, Khoury HJ. FASH and MASH: female and male adult human phantoms based on polygon mesh surfaces: I. Development of the anatomy. *Phys Med Biol*. 2010;55(1):133–62.
14. Ozsoy U, Demirel BM, Yildirim FB, Tosun O, Sarikcioglu L. Method selection in craniofacial measurements: advantages and disadvantages of 3D digitization method. *J Craniomaxillofac Surg*. 2009; 37(5):285–90.
15. Wong JY, Oh AK, Ohta E, et al. Validity and reliability of craniofacial anthropometric measurement of 3D digital photogrammetric images. *Cleft Palate Craniofac J*. 2008; 45(3):232–9.
16. Ye H, Lv L, Liu Y, Liu Y, Zhou Y. Evaluation of the Accuracy, Reliability, and Reproducibility of Two Different 3D Face-Scanning Systems. *Int J Prosthodont*. 2016;29(3):213–8.
17. Antonacci D, Caponio VCA, Troiano G, Pompeo MG, Gianfreda F, Canullo L. Facial scanning technologies in the era of digital workflow: a systematic review and network meta-analysis. *J Prosthodont Res*. 2022;
18. D'Ettorre G, Farronato M, Candida E, Quinzi V, Grippaudo C. A comparison between stereophotogrammetry and smartphone structured light technology for three-dimensional face scanning. *Angle Orthodontist*. 2022; 93(2):358–63.
19. Weinberg SM, Naidoo S, Govier DP, Martin RA, Kane AA, Marazita ML. Anthropometric Precision and Accuracy of Digital Three-Dimensional Photogrammetry: comparing the Genex and 3dMD Imaging Systems with One Another and with Direct Anthropometry. *J Craniomaxillofac Surg*. 2006;17(3).
20. Bellus3D Inc. High-quality 3D face scanning [Internet]. 2019. Disponível em: <https://www.bellus3d.com/>

21. Martin Bland J, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*. 1986; 327(8476):307–10.
22. Dindaroğlu F, Kutlu P, Duran GS, Görgülü S, Aslan E. Accuracy and reliability of 3D stereophotogrammetry: a comparison to direct anthropometry and 2D photogrammetry. *Angle Orthod*. 2016; 86(3):487–94.
23. de Menezes M, Rosati R, Ferrario VF, Sforza C. Accuracy and reproducibility of a 3-dimensional stereophotogrammetric imaging system. *J Oral Maxillofac Surg*. 2010; 68(9):2129–35.
24. Maués CPR, Casagrande MVS, Almeida RCC, Almeida MAO, Carvalho FAR. Three-dimensional surface models of the facial soft tissues acquired with a low-cost scanner. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2018; 47(9):1219–25.
25. Doğan NÖ. Bland-Altman analysis: A paradigm to understand correlation and agreement. *Turk J Emerg Med*. 2018;17;18(4):139-41.
26. Gallardo YNR, Salazar-Gamarra R, Bohner L, de Oliveira JI, Dib LL, Sesma N. Evaluation of the 3D error of 2 face-scanning systems: an in vitro analysis. *J Prosthet Dent*. 2021;1–7.
27. White JD, Ortega-Castrillon A, Virgo C, et al. Sources of variation in the 3dMDface and Vectra H1 3D facial imaging systems. *Sci Rep*. 2020;10(1):4443.
28. Gibelli D, Pucciarelli V, Cappella A, Dolci C, Sforza C. Are Portable Stereophotogrammetric Devices Reliable in Facial Imaging? A Validation Study of VECTRA H1 Device. *J Oral Maxillofac Surg*. 2018; 76(8):1772–1784.
29. Mandelli F, Gherlone E, Gastaldi G, Ferrari M. Evaluation of the accuracy of extraoral laboratory scanners with a single-tooth abutment model: a 3D analysis. *J Prosthodont Res*. 2017; 61(4):363–370.
30. Knoops PGM, Beaumont CAA, Borghi A, Rodriguez-Florez N, et al. Comparison of three-dimensional scanner systems for craniomaxillofacial imaging. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2017; 70(4):441–9.
31. Düppe K, Becker M, Schönmeier B. Evaluation of facial anthropometry using three-dimensional photogrammetry and direct measuring techniques. *J Craniofac Surg*. 2018; 29(5):1245–51.
32. Mai HN, Kim J, Choi YH, Lee DH. Accuracy of portable face-scanning devices for obtaining three-dimensional face models: a systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(1):1–15.

33. Piedra-Cascón W, Methani MM, Quesada-Olmo N, Jiménez-Martínez MJ, Revilla-León M. Scanning accuracy of nondental structured light extraoral scanners compared with that of a dental-specific scanner. *J Prosthet Dent*. 2020;1–5.
34. Amornvit P, Sanohkan S. The accuracy of digital face scans obtained from 3D scanners: an in vitro study. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(24).

3.2 Publicação 3*

Protocolo de escaneamento e comparação de modelos 3D em Harmonização Orofacial: relato de casos

Resumo

Este relato de casos clínicos descreve um protocolo de escaneamento e comparação de modelos 3D, em um software de livre acesso, durante o tratamento de harmonização orofacial (HOF). Foi realizada aplicação de toxina botulínica (TB) no terço superior da face de duas pacientes. Através de um escâner facial, já validado, foram feitos registros antes e durante o tratamento para avaliar a efetividade da toxina. Os modelos 3D foram alinhados conforme seus pontos em comum e a função de comparação de nuvens foi utilizada. Um mapa de cor foi gerado e interpretado para cada comparação. Verificou-se que foi possível avaliar qualitativamente quais músculos foram afetados pela TB, bem como, a inativação do seu efeito com o passar do tempo.

Palavras-chave: Imageamento Tridimensional; Toxinas Botulínicas Tipo A; Expressão Facial; Estética.

Introdução

Envelhecer é um processo biológico inevitável influenciado por fatores intrínsecos e extrínsecos. O aumento do anseio de pacientes por uma aparência mais jovem levou a descoberta de tratamentos cirúrgicos e não cirúrgicos para essa finalidade.¹ Dentro da odontologia a Harmonização orofacial (HOF) tem sido cada vez mais requisitada para esse fim. Um tratamento pouco invasivo que ganhou destaque, e que desde 2002 quando foi aprovado pela FDA, é a aplicação de toxina botulínica (TB) do tipo A, mais conhecida como Botox®.^{2,3}

A TB atua no terminal nervoso bloqueando a liberação pré-sináptica da acetilcolina, resultado em uma diminuição das contrações musculares.⁴ Esta ação permite uma redução de rugas faciais, já que produz uma paralisia variável nos músculos mímicos da face.⁵ O tempo de duração do efeito do tratamento é uma das

* Formatação de acordo com as normas do periódico *Imaging Science in Dentistry* para o qual será submetido.

principais medidas de eficácia da toxina. Estudos relatam que os efeitos da toxina podem ainda ser notados até quatro meses após a sua aplicação e que fatores como dose, técnica e músculo aplicado podem influenciar na durabilidade.^{4,6}

Alguns métodos clínicos baseados na profundidade da ruga, atividade muscular e textura da pele permitem a quantificação do efeito da toxina.⁷⁻⁹ Entretanto esses métodos não trazem uma avaliação precisa e reproduzível do tratamento.⁵ Dessa forma, a tecnologia tridimensional (3D), com o advento dos scanners faciais, tem sido cada vez mais usada para este fim. Essa tecnologia tem como vantagens a ausência de contato físico entre o equipamento e o paciente, diminui a alteração de posição dos tecidos moles como o que ocorre com o paquímetro, controle da biossegurança e permite criar um banco de dados com os modelos 3D diminuindo a necessidade de espaço físico para tal.^{5,10}

Através do escaneamento facial e reconstrução 3D é possível extrair medidas antropométricas dos pacientes por meio de mensurações lineares, volumétricas, angulares ou de área e/ou comparação de padrões de pontos de referência ou de faces inteiras.¹¹ Tal fato é possível ao associar um scanner facial a um software específico para aferições quantitativas. Esse software pode ser nativo do sistema de escaneamento ou não.¹²⁻¹⁴

Em complemento a captura da imagem existem softwares capazes de proporcionar a comparação entre as mesmas, como exemplo o Software CloudCompare se destaca por ser de livre acesso e proporcionar o processamento rápido de imagens 3D em nuvem de pontos permitindo assim a quantificação de distância, estimativa de características como densidade, curvatura e rugosidade, desde que as imagens tenham sido captadas de maneira homogênea e padronizada. Outra ferramenta disponível neste software é a comparação entre duas nuvens de pontos o que gera um mapa de cor juntamente com a escala indicando a distância entre as nuvens.¹⁵

Com tudo, a associação de um sistema de captura de imagens 3D, e um software comparativo é útil para avaliar os tratamentos de HOF, incluindo com toxina botulínica que visa amenizar as rugas dinâmicas. Portanto, o presente estudo tem o objetivo de descrever um protocolo de alinhamento e comparação de modelos 3D obtidos durante o tratamento com TB.

Relato de casos

Obtenção das imagens

As imagens foram obtidas utilizando cabine de escaneamento facial Clonerr 3D (Clonerr scanning cabin, dOne 3D - Ribeirão Preto - SP - Brazil). Cada participante foi posicionado de forma padronizada seguindo as luzes de orientação do próprio scanner. Foi solicitado que o participante realizasse a mímica de levantar as sobrancelhas ou franzi-las para que as rugas da região de aplicação da toxina botulínica ficassem visíveis. O mesmo protocolo de escaneamento foi seguido nas visitas seguintes.

A aplicação clínica da toxina botulínica foi realizada por um profissional experiente na área da harmonização orofacial. Os casos foram diagnosticados e planejados pelo mesmo e sem interferência da equipe que realizou os escaneamentos. Cada participante concordou com os procedimentos realizados e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

Alinhamento e comparação dos modelos 3D

A comparação dos modelos 3D foi feita através do software (CloudCompare v.2.6.1; CloudCompare) que realiza o processamento de nuvens de pontos 3D. É um software gratuito e compatível com a maioria dos sistemas operacionais e pode ser facilmente adquirido por download pelo link <http://www.danielgm.net/cc/release/>. Os desenvolvedores do software também disponibilizam um manual e diversos tutoriais em vídeo.

Ao abrir os modelos 3D no formato “OBJ.” no programa CloudCompare os mesmos foram identificados com os números 1, 2, 3 ou 4 de acordo com a sequência de tratamento (1ª, 2ª, 3ª e 4ª avaliação). O software permite a visualização de mais de dois modelos 3D. Porém, só é possível realizar o alinhamento de dois de cada vez. Em seguida, pressionando a tecla “Ctrl”, os dois modelos foram selecionados na barra lateral esquerda e selecionou-se a opção “Aligns two clouds”. A nuvem 1 foi determinada como modelo de referência, já que esta representa o início de tratamento, a nuvem 2 será a alinhada.

O programa abre uma janela na lateral direita indicando qual será a nuvem de referência e qual será a alinhada, esta será utilizada como base para selecionar pelo menos 3 pontos de cada nuvem para realizar o alinhamento. Foram selecionados

pontos correspondentes nos dois modelos. Na janela referente a este procedimento é possível selecionar qual nuvem será demarcada primeiramente clicando em “show ‘to align’ entities” ou “show ‘reference’ entities”. Após a marcação, clicou-se em “Align” e o alinhamento foi avaliado quanto a estar satisfatório. Em seguida foi selecionado o ícone check (✓). Caso o alinhamento não estivesse satisfatório, os pontos foram selecionados novamente.

Foram selecionados pontos que não estão sujeitos à movimentação em consequência da mímica do participante. Como a região de análise foi o terço superior da face, optou-se por selecionar pontos fixos na região dos olhos como canto interno e externo. Outros pontos fixos que seriam úteis em outras situações seriam: papila gengival, ponto de contato dental, ângulo incisal e base do nariz. Além disso, para ser o mais preciso possível, o ideal é utilizar o zoom durante a marcação dos pontos.

Com as nuvens alinhadas, foi feito o recorte ou segmentação da área de interesse que será comparada. Selecionou-se as duas nuvens de pontos e a opção “segmentation”. A ferramenta permite desenhar um polígono demarcando a área desejada e após clicar em “segment in” para recortar apenas a imagem selecionada na parte interna do polígono, finalizou-se o recorte. Feito isso as duas nuvens estavam alinhadas e recortadas seguindo a mesma forma.

Em seguida, foi feita a comparação das duas nuvens e com a finalidade de obter um mapa de cor que indicará as diferenças entre elas. Selecionou-se as duas nuvens recortadas e a opção “compute cloud/mesh distance”. O programa abrirá uma janela para selecionar a nuvem que será comparada e a que será a referência. Selecionou-se a nuvem referente a última avaliação (depois) para ser a comparada, em seguida, “ok”, “compute” e “ok” novamente.

O mapa de cor ficou visível ao selecionar a nuvem 2, no lado esquerdo da tela, na janela “properties”, na sessão “color scale”, clicou-se na opção “visible” para tornar visível a escala de cor no lado direito da tela. A escala também é numérica, e cada número, seja ele positivo ou negativo, representa uma cor. A análise feita foi qualitativa, observando prioritariamente a predominância das cores e não o seu valor correspondente.

Caso 1

Neste caso a paciente, sexo feminino, 58 anos, se incomodava com o excesso de rugas na região da testa principalmente nos momentos em que realizava o levantamento das sobrancelhas. Foi realizada a aplicação de 76U da toxina Botulift, pelo especialista, no terço superior da face. As imagens foram capturadas adotando o protocolo citado e os modelos 3D foram manipulados para fins de comparação.

Na Figura 1 é possível observar a comparação entre a imagem inicial e após 14 dias, quando a toxina tem atingido o seu efeito esperado. Observa-se a predominância da cor verde e uma pequena quantidade de cor azul. Seguindo a escala gerada pelo software, percebe-se que essas cores indicam uma diferença negativa entre os modelos 3D. Isso sugere que o relevo formado pela anatomia da ruga foi removido. A predominância dessas cores passa a diminuir na segunda e na terceira avaliação (Figuras 2 e 3), indicando a diminuição do efeito da toxina com o passar do tempo.

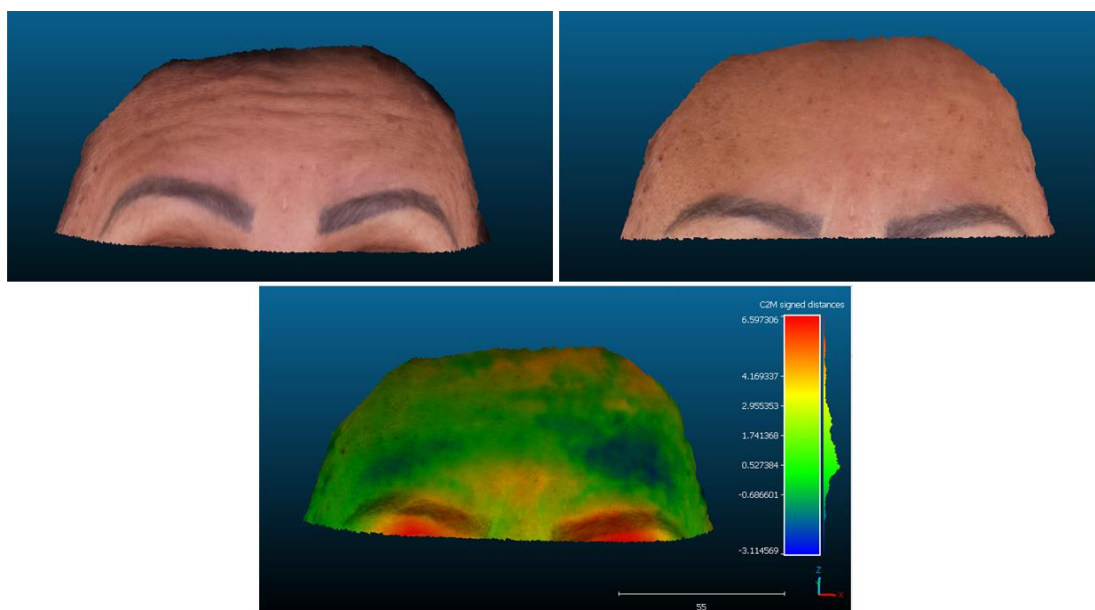


Figura 1: Comparação entre os modelos 3D referentes a primeira (inicial) e segunda (15 dias) avaliação (caso 1).

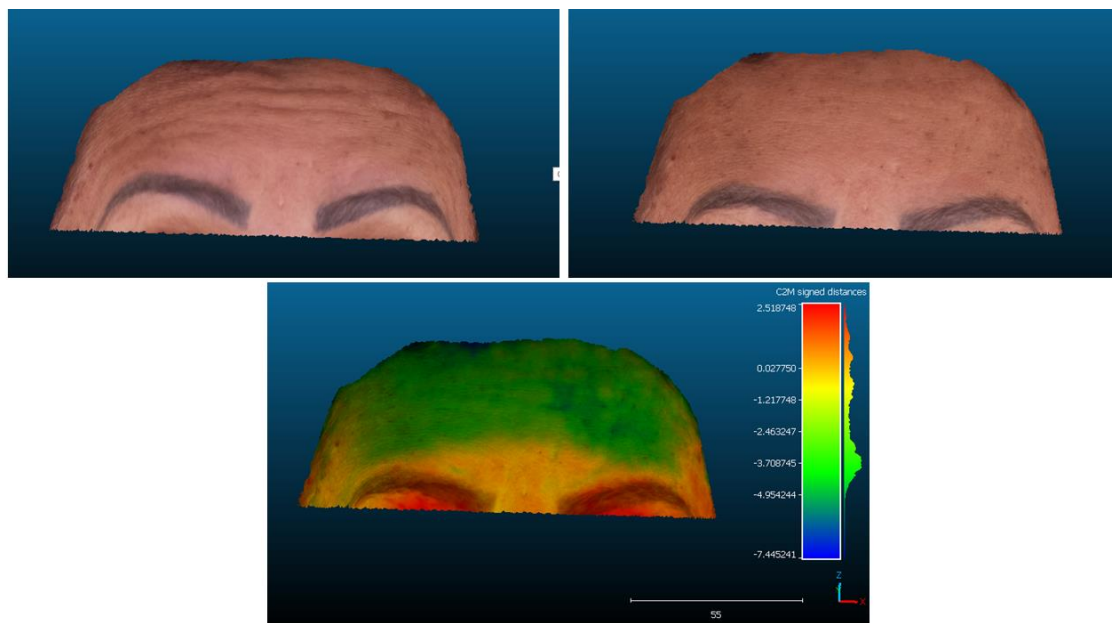


Figura 2: Comparação entre os modelos 3D referentes a primeira (inicial) e terceira (60 dias) avaliação (caso 1).

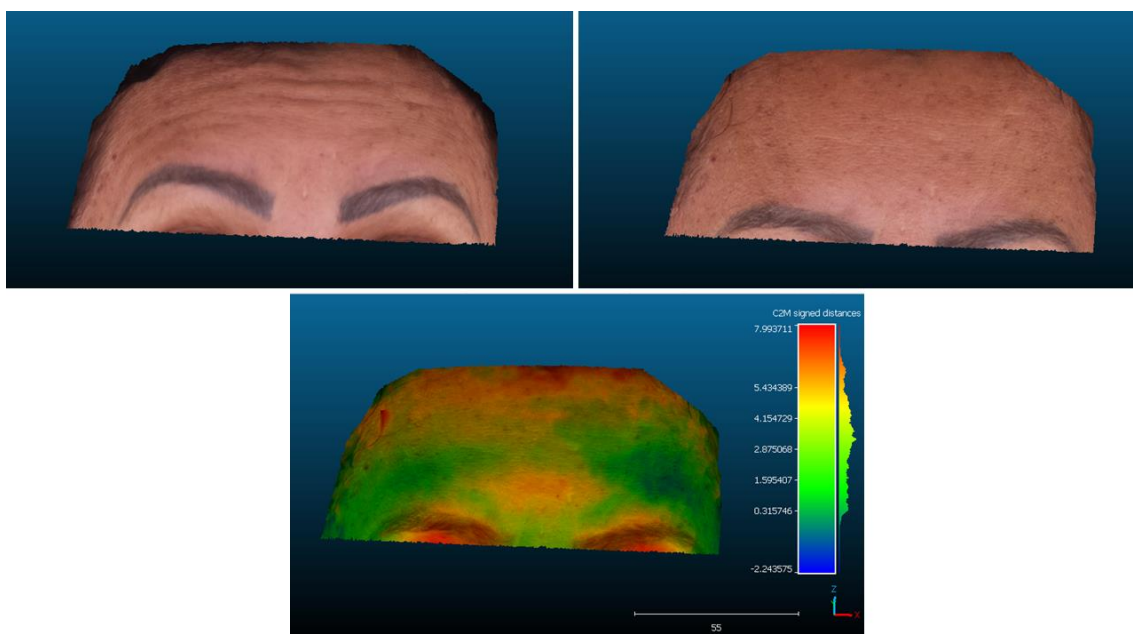


Figura 3: Comparação entre os modelos 3D referentes a primeira (inicial) e quarta (90 dias) avaliação (caso 1).

Caso 2

A paciente de 57 queixava-se do excesso de expressão ao franzir a testa. Foram aplicadas 72U de toxina, também no terço superior da face, com a finalidade de

minimizar, principalmente, a força muscular do prócero. Como a queixa era diferente do caso anterior, o registro de imagens também foi feito de forma diferente. Solicitou-se que a paciente franzisse a testa, simulando uma “cara de brava”. Na primeira comparação (imagem 4) observa-se a predominância da coloração vermelha, que por ser negativa, segundo a escala, indica uma redução de volume. Isso se justifica, pela diminuição da quantidade de tecido mole que se deslocou para a região frontal durante o movimento.

Nesse caso o acompanhamento foi apenas até os 60 dias. Na imagem 5, que mostra a comparação após esse período de tempo, observa-se que o valor da escala é menor, comparado a imagem anterior. Além disso, observa-se uma redução na quantidade da cor vermelha no mapa, confirmando a diminuição do efeito da toxina.

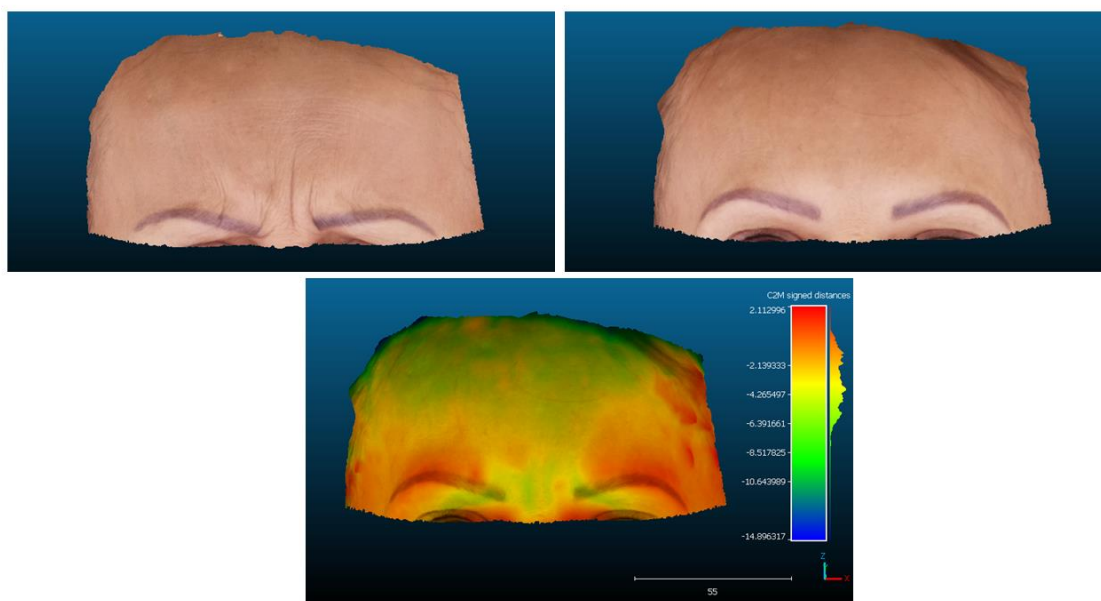


Imagem 4: Comparação entre os modelos 3D referentes a primeira (inicial) e segunda (15 dias) avaliação (caso 2).

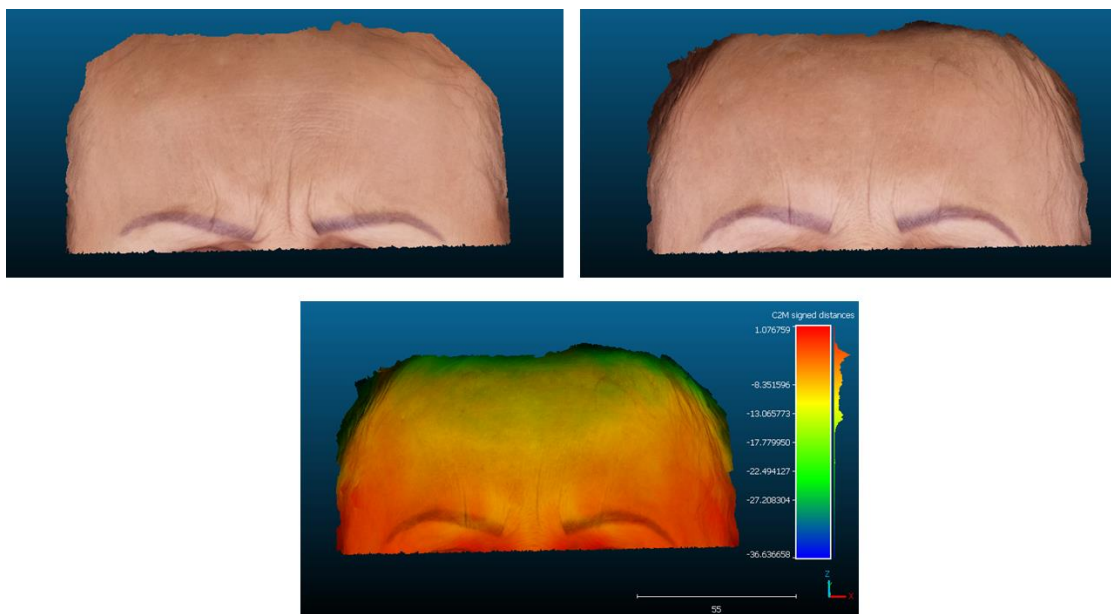


Imagem 5: Comparação entre os modelos 3D referentes a primeira (inicial) e terceira (60 dias) avaliação (caso 2).

Discussão

A implementação de scanners faciais dentro da área estética melhora bastante a comunicação com o paciente, facilitando também o diagnóstico, planejamento e acompanhamento de cada caso.^{16,17} Neste estudo, o que se observa é a viabilidade de avaliar qualitativamente o efeito da toxina botulínica nos dois casos relatados, o que facilita a tomada de decisão e previsibilidade do tratamento.

O software de escolha para as análises deste estudo foi o CloudCompare, por ser um programa específico para manipulação de nuvens de pontos e completamente gratuito. Outros softwares estão disponíveis no mercado, porém em versão paga ou semi-gratuita. Um estudo *in vitro* comparou a análise de superfície 3D feita por quatro softwares, incluindo o CloudCompare. Não foi encontrada diferença significativa entre os mesmos com relação a suas aferições. Portanto, o CloudCompare se sobressai pela sua gratuidade e facilidade de uso.¹⁸

A interface do software é bastante intuitiva e de fácil utilização, apesar de não ser um software exclusivamente voltado para o uso na área odontológica e afins. A empresa desenvolvedora também disponibiliza um manual gratuito para o usuário em seu site.

A análise de modelos 3D é uma ferramenta importante dentro de várias áreas da odontologia incluindo cirurgia, odontologia forense e ortodontia.¹⁹⁻²² A harmonização orofacial também pode se beneficiar deste recurso, já que o uso de outras ferramentas como a fotografia e o paquímetro digital se tornaram obsoletas por serem técnicas operadoras dependentes e custosas com relação ao tempo. A possibilidade da construção de um paciente virtual e o uso de um fluxo digital tem tornado a tecnologia de escaneamento facial mais acessível.²³ No mercado atual, rotineiramente são lançados novos equipamentos para escaneamento, com custo, qualidade e tecnologias variáveis.

O scanner facial fotogramétrico, utilizado neste estudo, tem como vantagem a rápida aquisição da imagem, realizada em 0,4 segundos. Dessa forma o risco ocorrência de movimentos involuntários, que atrapalhassem a acurácia do modelo 3D, é reduzido. Outros scanners, de tecnologia diferente, também podem ser utilizados com esta finalidade, desde que gerem um arquivo compatível com o CloudCompare.^{24,25} É importante observar qual a acurácia do scanner que será utilizado, e se, esta é aceita clinicamente. De acordo com estudos prévios, um scanner pode ser usado clinicamente quando este apresenta uma acurácia limite de até 2mm, sendo a acurácia ideal 0,6mm.^{23,26,27} O Clonerr 3D preenche esse requisito.²⁸ Além disso, o uso deste scanner favorece o acompanhamento longitudinal dos casos, já que possui em sua interface linhas de orientação para a captura da imagem, facilitando a padronização das imagens.²⁸

A padronização das imagens tem grande influência na comparação e alinhamento dos modelos 3D. A comparação entre modelos é mais precisa quando eles apresentam pontos em comum. As linhas guias de posicionamento do scanner facilitam esse processo. Além disso, uma interface que permite o usuário conferir se o posicionamento está correto para a obtenção de imagens de qualidade.²⁸

O recorte dos modelos alinhados foi necessário e é recomendado, já que reduz ruídos na imagem permitindo que o software trabalhe apenas na região de interesse e com mais precisão.¹⁸ Dessa forma, o clínico tem a opção de selecionar a região que deseja avaliar de acordo com o tratamento e sua finalidade. Em casos de tratamento com ácido hialurônico no terço inferior da face, por exemplo, o mesmo procedimento pode ser adotado. É importante também, selecionar pontos faciais relativamente fixos, como o canto dos olhos, faces dos dentes, nevos melanócitos, ou, fixar adesivos na face do paciente.

A escala de cores gerada pelo software pode ser personalizada. Entretanto, para esse estudo foi utilizada a escala convencional para demonstrar que o uso dessa ferramenta pode ser simplificado, se o objetivo for realizar uma análise qualitativa. Caso seja necessário personalizar a escala, o processo é bem descrito no manual.

Por ser um software que não foi projetado para o uso exclusivo da odontologia ou área média, identificou-se algumas inconsistências durante o seu uso. O protocolo relatado foi o único que mostrou resultados lógicos, já que por vezes, alterando a nuvem que seria a comparada ou a alinhada, o mapa de cores resultou em apenas uma coloração, sugerindo que a comparação feita foi muito exagerada e os resultados não eram fidedignos. Portanto, mais estudos poderiam ser feitos a fim de buscar outros softwares mais compatíveis com a odontologia, ou, novos plugins dentro do CloudCompare poderiam ser criados.

A toxina botulínica atua seletivamente no terminal nervoso periférico colinérgico, inibindo a liberação de acetilcolina e impedindo o impulso nervoso que gera o movimento muscular. Posteriormente, novos receptores para a acetilcolina são repostos e o efeito da toxina é revertido.²⁹ A análise feita com esse protocolo foi basicamente qualitativa, mas possibilitou uma análise clara da efetividade do tratamento.

O efeito máximo da toxina é alcançado após 15 dias de sua aplicação. Por isso, recomenda-se uma avaliação do seu efeito após esse período, a fim de avaliar a necessidade de retoques.^{30,31} Nos dois casos avaliados, os retoques foram feitos nas regiões que a escala indicou uma coloração próxima ao valor 0 (verde ou amarelo). Dessa forma, a comparação de modelos permite que o profissional realize uma análise mais objetiva, podendo inclusive reduzir a quantidade de toxina aplicada.

Ao diminuir a quantidade de toxina é possível diminuir a sua imunogenicidade. Vários fatores afetam a imunogenicidade das neurotoxinas botulínicas, incluindo fatores relacionados ao produto, como o processo de fabricação, a carga de proteína antigênica e a presença de proteínas acessórias, bem como fatores relacionados ao tratamento, como a dose geral de toxina e aplicações de retoque.³²

Com as comparações realizadas no software também foi possível avaliar qualitativamente a redução do efeito da toxina com o passar do tempo. Tal fato justifica-se pela recuperação dos terminais nervosos atingidos. Esse processo inicia-se com o surgimento de brotos axônios, em resposta a fatores de crescimento, e formam sinapses imaturas com o músculo onde a toxina foi injetada.²⁹ É possível

observar, clinicamente, a redução do efeito da toxina aproximadamente 3 a 4 meses após sua aplicação. No nosso estudo também foi possível observar esse fato através do mapa de cor gerado pelo software. Nas imagens correspondentes às últimas avaliações, nos dois casos, observa-se a predominância de cores correspondentes a valores próximos de zero.

Diante do exposto, apesar das limitações citadas, este estudo mostra um protocolo simples, acessível e viável para o seu uso durante tratamentos estéticos. A análise qualitativa descrita, também pode ser usada em outras áreas da odontologia, como por exemplo: ortodontia, cirurgia ortognática e reabilitação.

Com base no protocolo descrito neste estudo, conclui-se que a comparação de modelos 3D através do software utilizado é viável clinicamente para avaliar qualitativamente os tratamentos adotados.

Referências

1. Ilankovan V. Anatomy of ageing face. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2014; 52(3):195–202.
2. Ihde SKA, Konstantinovic VS. The therapeutic use of botulinum toxin in cervical and maxillofacial conditions: an evidence-based review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2007; 104(2):e1-11.
3. Jaspers GWC, Pijpe J, Jansma J. The use of botulinum toxin type A in cosmetic facial procedures. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2011; 40(2):127–33.
4. Gallagher CJ. Basic science: BOTOX® Cosmetic. 2017;
5. Cavallini M, Papagni M, Gazzola R. An objective method to assess the improvements of skin texture roughness after botulinum toxin type a treatment of crow's feet. *Skin Res Technol*. 2019; 25(1):54–9.
6. Warren H, Welch K, Coquis-Knezek S. AbobotulinumtoxinA for facial rejuvenation: what affects the duration of efficacy? *Plast Surg Nurs*. 2020;40(1):37–44.
7. Blitzler A BMF. Management of hemifacial spasm and facial synkinesis with local injections of botulinum toxin. *Oper Tech Otolaryngol Head Neck Surg*. 2004; 15:103-106.
8. Ascher B, Klap P, Marion MH, Chanteloub F. Botulinum toxin in the treatment of frontoglabellar and periorbital wrinkles. An initial study. *Ann Chir Plast Esthet*. 1995; 40(1):67–76.

9. Lowe NJ, Maxwell A, Harper H. Botulinum A exotoxin for glabellar folds: a double-blind, placebo-controlled study with an electromyographic injection technique. *J Am Acad Dermatol*. 1996;35(4):569—72.
10. Wong JY, Oh AK, Ohta E, et al. Validity and reliability of craniofacial anthropometric measurement of 3D digital photogrammetric images. *Cleft Palate Craniofac J*. 2008; 45(3):232–9.
11. Cassola VF, Lima VJ de M, Kramer R, Khoury HJ. FASH and MASH: female and male adult human phantoms based on polygon mesh surfaces: I. Development of the anatomy. *Phys Med Biol*. 2010;55(1):133—62.
12. Hong C, Choi K, Kachroo Y, et al. Evaluation of the 3dMDface system as a tool for soft tissue analysis. *Orthod Craniofac Res*. 2017; 20:119–24.
13. Gibelli D, Codari M, Rosati R, et al. A Quantitative Analysis of Lip Aesthetics: The Influence of Gender and Aging. *Aesthetic Plast Surg*. 2015;39(5):771–6.
14. Piedra-Cascón W, Methani MM, Quesada-Olmo N, Jiménez-Martínez MJ, Revilla-León M. Scanning accuracy of nondental structured light extraoral scanners compared with that of a dental-specific scanner. *J Prosthet Dent*. 2020; 126(1):110-14.
15. Girardeau-Montaut D. CloudCompare: 3D point cloud and mesh processing software. Webpage: <http://www.cloudcompare.org>. 2015;
16. Wang P, Xu H, Gu R, Zhu L, Bai D, Xue C. Integrating maxillary dentition and 3D facial photo using a modified CAD/CAM facebow. *BMC Oral Health*. 2022; 26;22(1):365.
17. Hassan B, Gimenez Gonzalez B, Tahmaseb A, Greven M, Wismeijer D. A digital approach integrating facial scanning in a CAD-CAM workflow for complete-mouth implant-supported rehabilitation of patients with edentulism: a pilot clinical study. *J Prosthet Dent*. 2017;117(4):486–92.
18. Son K, Lee WS, Lee KB. Effect of different software programs on the accuracy of dental scanner using three-dimensional analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(16).
19. Brons S, Meulstee JW, Loonen TGJ, et al. Three-dimensional facial development of children with unilateral cleft lip and palate during the first year of life in comparison with normative average faces. *PeerJ*. 2019; 7(7).

20. Quast A, Santander P, Kahlmeier T, Moser N, Schliephake H, Meyer-Marcotty P. Predictability of maxillary positioning: a 3D comparison of virtual and conventional orthognathic surgery planning. *Head Face Med.* 2021; 17(1).
21. Rozov RA, Trezubov VN, Popov VL, Kovalev A v., Kuvakin VI. Automated digital superimposition of the 3D model and archival photographs of full removable dentures in forensic dentistry. *Stomatologiia (Mosk).* 2022;101(3):61–69.
22. Al-Dboush R, Al-Zawawi E, El-Bialy T. Do orthodontic treatments using fixed appliances and clear aligner achieve comparable quality of occlusal contacts? *Evid Based Dent.* 2022;23(4):160–1.
23. Mai HN, Kim J, Choi YH, Lee DH. Accuracy of portable face-scanning devices for obtaining three-dimensional face models: a systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(1):1–15.
24. Brons S, Meulstee JW, Loonen TGJ, et al. Three-dimensional facial development of children with unilateral cleft lip and palate during the first year of life in comparison with normative average faces. *PeerJ.* 2019;2019(7).
25. Raffone C, Gianfreda F, Pompeo MG, Antonacci D, Bollero P, Canullo L. Chairside virtual patient protocol. Part 2: management of multiple face scans and alignment predictability. *J Dent.* 2022;122.
26. Piedra-Cascón W, Meyer MJ, Methani MM, Revilla-León M. Accuracy (trueness and precision) of a dual-structured light facial scanner and interexaminer reliability. *J Prosthet Dent.* 2020; 124(5):567-574.
27. Antonacci D, Caponio VCA, Troiano G, Pompeo MG, Gianfreda F, Canullo L. Facial scanning technologies in the era of digital workflow: A systematic review and network meta-analysis. *J Prosthodont Res.* 2022.
28. Nogueira BR, Oliveira Junior OB, de Sousa Gomes Costa JL, Zanetti TF, Pretel H. Clonerr 3D photogrammetric facial scanner: Assessment of accuracy in a controlled clinical study. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry.* 2022.
29. 4 Basic science: BOTOX ® Cosmetic.
30. Lowe NJ, Glaser DA, Eadie N, Daggett S, Kowalski JW, Lai PY. Botulinum toxin type A in the treatment of primary axillary hyperhidrosis: a 52-week multicenter double-blind, randomized, placebo-controlled study of efficacy and safety. *J Am Acad Dermatol.* 2007;56(4):604–11

31. Dmochowski R, Chapple C, Nitti VW, et al. Efficacy and Safety of OnabotulinumtoxinA for Idiopathic Overactive Bladder: a Double-Blind, Placebo Controlled, Randomized, Dose Ranging Trial. *J Urol*. 2010;184(6):2416–22.
32. Naumann M, Boo LM, Ackerman AH, Gallagher CJ. Immunogenicity of botulinum toxins. *J Neural Transm*. 2013;120(2):275-90.

4 CONCLUSÃO

A presente tese testou a possibilidade de utilizar dois scanners, recentemente desenvolvidos e com tecnologias e características diferentes, como instrumentos de aferição de medidas lineares faciais. Inicialmente, buscou-se validar o scanner fotogramétrico. Este por sua vez, apresentou resultados favoráveis e que viabilizam o seu uso clínico.

Quando comparado ao scanner de luz estruturada, o scanner fotogramétrico mostrou resultados superiores. Portanto, o uso desta tecnologia é preferível quando se pretende realizar a análise facial como base para diagnóstico e planejamento.

Com o scanner fotogramétrico validado e de posse de um software gratuito para a comparação de modelos, foi possível desenvolver-se um protocolo para análise qualitativa de tratamentos estáticos. Conclui-se que, a análise facial pode ser feita com tecnologia 3D, desde que esta tenha acurácia clinicamente aceitável e que se utilize softwares e protocolos de escaneamento adequados.

REFERÊNCIAS*

1. Joda T, Gallucci GO. The virtual patient in dental medicine. *Clin Oral Implants Res.* 2015; 26(6): 725–6.
2. Mangano C, Luongo F, Migliario M, Mortellaro C, Mangano FG. Combining intraoral scans, cone beam computed tomography and face scans: the virtual patient. *J Craniofac Surg.* 2018; 29(8): 2241–6.
3. Tzou CHJ, Artner NM, Pona I, Hold A, Placheta E, Kropatsch WG et al. Comparison of three-dimensional surface-imaging systems. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2014; 67(4): 489–97.
4. Metzger TE, Kula KS, Eckert GJ, Ghoneima AA. Orthodontic soft-tissue parameters: a comparison of cone-beam computed tomography and the 3dMD imaging system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013; 144(5): 672–81.
5. Fink M, Medelnik J, Strobel K, Hirschfelder U, Hofmann E. Metric precision via soft-tissue landmarks in three-dimensional structured-light scans of human faces. *J Orofac Orthop.* 2014; 75(2): 133–43.
6. Petrides G, Clark JR, Low H, Lovell N, Eviston TJ. Three-dimensional scanners for soft-tissue facial assessment in clinical practice. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2021; 74(3): 605–14.
7. Sforza C, Dimaggio FR, Dellavia C, Grandi G, Ferrario VF. Two-dimensional vs three-dimensional assessment of soft tissue facial profile: a non-invasive study in 6-year-old healthy children. *Minerva Stomatol.* 2007; 56(5): 253–65.
8. Pinto P, Jacometti V, Pereira J, Silva M, Silva R. Comparative analysis between linear measures from bidimensional and three-dimensional images of the face for human identification purpose: a pilot study. *J Orofac Sci.* 2021;13(1):19–27.
9. Plooij JM, Maal TJJ, Haers P, Borstlap WA, Kuijpers-Jagtman AM, Bergé SJ. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011; 40(4): 341–52.
10. Ozsoy U, Demirel BM, Yildirim FB, Tosun O, Sarikcioglu L. Method selection in craniofacial measurements: advantages and disadvantages of 3D digitization method. *J Craniomaxillofac Surg.* 2009; 37(5): 285–90.
11. Seo SW, Jung YS, Baik HS. Three-dimensional analysis of midfacial soft tissue changes after maxillary posterior impaction and intraoral vertical ramus osteotomy for mandibular setback in class III patients. *J Craniofac Surg.* 2017; 28(7): 1789–96.
12. Mai HN, Kim J, Choi YH, Lee DH. Accuracy of portable face-scanning devices for obtaining three-dimensional face models: a systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2021; 18(1): 1–15.

* De acordo com o Guia de Trabalhos Acadêmicos da FOAr, adaptado das Normas Vancouver. Disponível no site da Biblioteca: <http://www.foar.unesp.br/Home/Biblioteca/guia-de-normalizacao-atualizado.pdf>

13. Li C, Barreto A, Chin C, Zhai J. Biometric identification using 3D face scans. *Biomed Sci Instrum.* 2006; 42: 320–5.
14. Runte C, Dirksen D, Deleré H, Thomas C, Runte B, Meyer U et al. Optical data acquisition for computer-assisted design of facial prostheses. *Int J Prosthodont.* 2002; 15(2): 129–32.
15. Ceinos R, Tardivo D, Bertrand MF, Lupi-Pegurier L. Inter- and intra-operator reliability of facial and dental measurements using 3D-stereophotogrammetry. *J Esthet Restor Dentist.* 2016; 28(3): 178–89.
16. Hong C, Choi K, Kachroo Y, Kwon T, Nguyen A, McComb R et al. Evaluation of the 3dMDface system as a tool for soft tissue analysis. *Orthod Craniofac Res.* 2017; 20 (suppl 1): 119–24.
17. Gibelli D, Pucciarelli V, Cappella A, Dolci C, Sforza C. Are portable stereophotogrammetric devices reliable in facial imaging? a validation study of VECTRA H1 device. *J Oral Maxillofac Surg.* 2018; 76(8): 1772–84.
18. Aldridge K, Boyadjiev SA, Capone GT, DeLeon VB, Richtsmeier JT. Precision and error of three-dimensional phenotypic measures acquired from 3dMD photogrammetric images. *Am J Med Genet A.* 2005; 138A (3): 247–53.
19. Nkenke E, Vairaktaris E, Kramer M, Schlegel A, Holst A, Hirschfelder U et al. Three-dimensional analysis of changes of the malar-midfacial region after LeFort I osteotomy and maxillary advancement. *Oral Maxillofac Surg.* 2008; 12(1): 5–12.
20. Cattoni F, Teté G, Calloni AM, Manazza F, Gastaldi G, Capparè P. Milled versus moulded mock-ups based on the superimposition of 3D meshes from digital oral impressions: a comparative in vitro study in the aesthetic area. *BMC Oral Health.* 2019; 19(1): 230.
21. Bakirman T, Gumusay MU, Reis HC, Selbesoglu MO, Yosmaoglu S, Yaras MC et al. Comparison of low-cost 3D structured light scanners for face modeling. *Appl Opt.* 2017; 56(4): 985–92.
22. Wong JY, Oh AK, Ohta E, Hunt AT, Rogers GF, Mulliken JB et al. Validity and reliability of craniofacial anthropometric measurement of 3D digital photogrammetric images. *Cleft Palate Craniofac J.* 2008; 45(3): 232–9.
23. Zhao YJ, Xiong YX, Wang Y. Three-dimensional accuracy of facial scan for facial deformities in clinics: a new evaluation method for facial scanner accuracy. *PLoS One.* 2017; 12(1): e0169402.
24. Özsoy U, Sekerci R, Hizay A, Yildirim Y, Uysal H. Assessment of reproducibility and reliability of facial expressions using 3D handheld scanner. *J Craniomaxillofac Surg.* 2019; 47(6): 895–901.
25. Metzler P, Sun Y, Zemmann W, Bartella A, Lehner M, Obwegeser JA et al. Validity of the 3D VECTRA photogrammetric surface imaging system for cranio-maxillofacial anthropometric measurements. *Oral Maxillofac Surg.* 2014; 18(3): 297–304.
26. Piedra-Cascón W, Meyer MJ, Methani MM, Revilla-León M. Accuracy (trueness and precision) of a dual-structured light facial scanner and interexaminer reliability. *J Prosthet Dent.* 2020; 124(5) :567-74.

27. ISO 5725-1:1994(en) Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results: part 1: general principles and definitions. Online Browsing Platform [cited 2020 Nov 14]. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5725:-1:ed-1:v1:en>.
28. Matta RE, Adler W, Wichmann M, Heckmann SM. Accuracy of impression scanning compared with stone casts of implant impressions. *J Prosthet Dent*. 2017; 117(4): 507–12.
29. Park HN, Lim YJ, Yi WJ, Han JS, Lee SP. A comparison of the accuracy of intraoral scanners using an intraoral environment simulator. *J Adv Prosthodont*. 2018; 10(1): 58–64.
30. Düppe K, Becker M, Schönmeyr B. Evaluation of facial anthropometry using three-dimensional photogrammetry and direct measuring techniques. *Journal of craniofacial surgery*. 2018; 29(5): 1245–51.
31. Ye H, Lv L, Liu Y, Liu Y, Zhou Y. Evaluation of the accuracy, reliability, and reproducibility of two different 3D face-scanning systems. *Int J Prosthodont*. 2016; 29(3): 213–8.
32. Liu S, Srinivasan M, Mörzinger R, Lancelle M, Beeler T, Gross M et al. Reliability of a three-dimensional facial camera for dental and medical applications: A pilot study. *J Prosthet Dent*. 2019; 122(3): 282–7.
33. Wong KWF, Keeling A, Achal K, Khambay B. Using three-dimensional average facial meshes to determine nasolabial soft tissue deformity in adult UCLP patients. *Surgeon*. 2019; 17(1): 19–27.
34. Piedra-Cascón W, Methani MM, Quesada-Olmo N, Jiménez-Martínez MJ, Revilla-León M. Scanning accuracy of nondental structured light extraoral scanners compared with that of a dental-specific scanner. *J Prosthet Dent*. 2021; 126(1):110-114.
35. Heike CL, Upson K, Stuhaug E, Weinberg SM. 3D digital stereophotogrammetry: A practical guide to facial image acquisition. *Head Face Med*. 2010; 6(1): 1–11.
36. Gallardo YNR, Salazar-Gamarra R, Bohner L, de Oliveira JI, Dib LL, Sesma N. Evaluation of the 3D error of 2 face-scanning systems: an in vitro analysis. *J Prosthet Dent*. 2023; 129(4): 630-36.
37. Weinberg SM, Naidoo S, Govier DP, Martin RA, Kane AA, Marazita ML. Anthropometric precision and accuracy of Digital Three-Dimensional Photogrammetry: Comparing the Genex and 3dMD Imaging Systems with One Another and with Direct Anthropometry. *J Craniofac Surg*. 2006; 17(3):477-83.
38. Marques D, Alves R, Pinto R, Caramês J, Francisco H, Caramês J. Facial scanner accuracy with different superimposition methods: an in vivo study. *Int J Prosthodont*. 2021; 34(5): 578–84.
39. Acharya T, Ray AK, Gallagher AC. Image processing: principles and applications. *J Electronic Imaging*. 2006; 15: 39901.

40. Dayer R, Ardu S, Vjero O, Krejci I. 3D digital smile design with a mobile phone and intraoral optical scanner. *Compend Contin Educ Dent*. 1995 [acesso 2023 Jan 2]; 39: e5-e8. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/325501774_3D_Digital_Smile_Design_With_a_Mobile_Phone_and_Intraoral_Optical_Scanner.
41. Knoops PGM, Beaumont CAA, Borghi A, Rodriguez-Florez N, Breakey RWF, Rodgers W et al. Comparison of three-dimensional scanner systems for craniomaxillofacial imaging. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2017; 70(4): 441–9.
42. Antonacci D, Caponio VCA, Troiano G, Pompeo MG, Gianfreda F, Canullo L. Facial scanning technologies in the era of digital workflow: a systematic review and network meta-analysis. *J Prosthodont Res*. 2022;
43. Nagle-McNaughton T, Cox R. Measuring change using quantitative differencing of repeat structure-from-motion photogrammetry: the effect of storms on coastal boulder deposits. *Remote Sens*. 2020; 12(1).
44. Girardeau-Montaut D. CloudCompare: 3D point cloud and mesh processing software. 2015 [acesso 2020 Nov 14]. Disponível em:
<http://www.cloudcompare.org/doc/qCC/CloudCompare%20v2.6.1%20-%20User%20manual.pdf>.
45. Son K, Lee WS, Lee KB. Effect of different software programs on the accuracy of dental scanner using three-dimensional analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18(16).
46. Verhoeven T, Xi T, Schreurs R, Bergé S, Maal T. Quantification of facial asymmetry: a comparative study of landmark-based and surface-based registrations. *J Craniomaxillofac Surg*. 2016; 44(9): 1131–6.
47. Codari M, Pucciarelli V, Stangoni F, Zago M, Tarabbia F, Biglioli F, et al. Facial thirds-based evaluation of facial asymmetry using stereophotogrammetric devices: application to facial palsy subjects. *J Craniomaxillofac Surg*. 2017; 45(1): 76–81.
48. Brons S, Meulstee JW, Loonen TGJ, Nada RM, Kuijpers MAR, Bronkhorst EM, et al. Three-dimensional facial development of children with unilateral cleft lip and palate during the first year of life in comparison with normative average faces. *PeerJ*. 2019; 7: e7302.
49. lo Russo L, di Gioia C, Salamini A, Guida L. Integrating intraoral, perioral, and facial scans into the design of digital dentures. *J Prosthet Dent*. 2020; 123(4): 584–8.
50. Park JM, Oh KC, Shim JS. Integration of intraoral digital scans with a 3D facial scan for anterior tooth rehabilitation. *J Prosthet Dent*. 2019; 121(3): 394–7.
51. Petrides G, Clark JAR, Low H, Lovell N, Eviston TJ. Three-dimensional scanners for soft-tissue facial assessment in clinical practice. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2021; 74(3): 605–14.

52. Conselho Federal de Odontologia (Brasil). Resolução nº 198, de 29 de janeiro de 2019. Reconhece a Harmonização Orofacial como especialidade odontológica, e dá outras providências. Disponível em: <http://cfo.org.br/website/wpcontent/uploads/2019/01/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CFO-198-2019.pdf>. [Acesso: 22 Fev 2021]
53. Susmita A, Kolli NND, Meka S, Chakravarthi SP, Kattimani VS, Lingamaneni KP et al. An evaluation of use of botulinum toxin type a in the management of dynamic forehead wrinkles - a clinical study. *J Clin Diagn Res*. 2016; 10(10): ZC127–31.
54. Attenello NH, Maas CS. Injectable fillers: Review of material and properties. *Facial Plast Surg*. 2015; 31(1): 29–34.
55. Warren H, Welch K, Coquis-Knezek S. Abobotulinumtoxin A for facial rejuvenation: what affects the duration of efficacy? *Plast Surg Nurs*. 2020; 40(1): 37–44.
56. Ihde SKA, Konstantinovic VS. The therapeutic use of botulinum toxin in cervical and maxillofacial conditions: an evidence-based review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2007; 104(2): e1-11.
57. Suwanchinda A, Webb KL, Rudolph C, Hladik C, Custozzo A, Muste J, et al. The posterior temporal supraSMAS minimally invasive lifting technique using soft-tissue fillers. *J Cosmet Dermatol*. 2018; 17(4): 617–24.
58. Sudha PN, Rose MH. Beneficial effects of hyaluronic acid. *Adv Food Nutr Res*. 2014; 72: 137–76.
59. Becker W, Gabitov I, Stepanov M, Kois J, Smidt A, Becker BE. Minimally invasive treatment for papillae deficiencies in the esthetic zone: a pilot study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2010; 12(1): 1–8.
60. Tanwar J, Hungund SA. Hyaluronic acid: hope of light to black triangles. *J Int Soc Prev Community Dent*. 2016;6(5):497-500.
61. Loghem J Van, Yutskovskaya YA, Philip Werschler W. Calcium hydroxylapatite: over a decade of clinical experience. *J Clin Aesthet Dermatol*. 2015; 8(1): 38–49.
62. Raffone C, Gianfreda F, Pompeo MG, Antonacci D, Bollero P, Canullo L. Chairside virtual patient protocol: part 2: management of multiple face scans and alignment predictability. *J Dent*. 2022; 122: 104123.
63. Brons S, Meulstee JW, Loonen TGJ, Nada RM, Kuijpers MAR, Bronkhorst EM, et al. Three-dimensional facial development of children with unilateral cleft lip and palate during the first year of life in comparison with normative average faces. *PeerJ*. 2019; 30;7:e7302.

APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado(a) para participar, como voluntário, em uma pesquisa. Você precisa decidir se autoriza a sua participação ou não. Por favor, leia cuidadosamente o que se segue e pergunte ao responsável pelo estudo sobre qualquer dúvida que você tiver. Após ser esclarecido(a) sobre as informações a seguir, no caso de aceitar participar do estudo, assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa você não será penalizado. Se achar necessário qualquer outro tipo de esclarecimento você pode procurar o Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia de Araraquara pelo telefone (16) 3301-6459

ESCLARECIMENTOS SOBRE A PESQUISA:

O projeto de pesquisa intitulado “**Desenvolvimento de tecnologia de análise facial 3D**” tem por objetivo desenvolver um protocolo de escaneamento da face para obter imagens em 3D. O estudo constará de uma avaliação com aplicação de um questionário para verificar se você está dentro dos critérios de inclusão do estudo. Em seguida, o participante será escaneado com equipamentos que não emitem radiação e não causam danos à saúde, além de não promover o contato físico entre o escâner e o participante, o que reduz riscos de contaminação. Os dados fornecidos assim como os resultados individuais serão mantidos em sigilo. Seu nome e identidade serão mantidos em sigilo. A menos que requerido por lei ou por sua solicitação, somente o pesquisador e a equipe do estudo, Comitê de Ética independente e inspetores de agências regulamentadoras do governo (quando necessário) terão acesso a suas informações para verificar os dados do estudo. Em qualquer parte do estudo, você terá acesso aos profissionais responsáveis pela pesquisa para estabelecimento de eventuais dúvidas. Os riscos dessa pesquisa são mínimos e está resumido a um possível constrangimento durante a aplicação do questionário. Para que isso não ocorra tudo será feito em um local reservado onde você poderá ficar bem à vontade. Como benefício, você participará um de banco de dados de imagens em 3D o que auxiliará no diagnóstico e no planejamento de tratamentos relacionados a harmonização orofacial, caso venha a necessitar do mesmo.

Pesquisador Responsável: Hermes Pretel. Telefone para contato (inclusive ligações a cobrar): (16) 98111-8756

♦ Nome e Assinatura do pesquisador _____

Eu, _____, portador(a) do RG: _____, CPF: _____, abaixo assinado, autorizo a minha participação no estudo “Desenvolvimento de tecnologia de análise facial 3D”. Tive pleno conhecimento das informações que li ou que foram lidas para mim.. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, os riscos, forma de reduzi-los e as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que a minha participação é isenta de despesas e que tenho garantia do acesso à pesquisa.

Local: _____

Data: ____/____/____

Nome e Assinatura do participante: _____

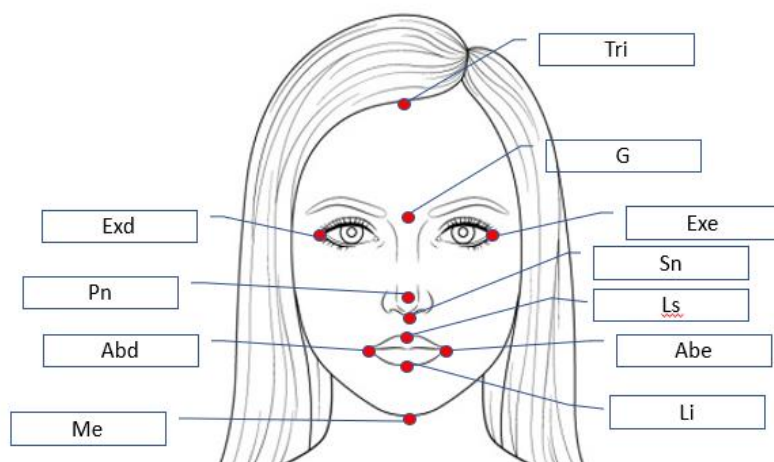
Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com: Comitê de Ética em Pesquisa – FOAr– Rua Humaitá, 1680 – Centro CEP. 14801-903 - ARARAQUARA – SP. Fax: (16) 3301-6459. E-mail: cep.foar@unesp.br

APÊNDICE B – FICHA DE AVALIAÇÃO DE MEDIDAS

NOME: _____

IDADE: _____

DATA DA
AVALIAÇÃO: _____ AVALIADOR: _____



Medidas verticais:

- Tri-G: _____
- Sn-Me: _____
- Ls-Li: _____

Medidas horizontais:

- Exd-Exe: _____
- Abd-Abe: _____

Medidas transversais:

- Exd-Abd: _____
- Exe-Abe: _____

Medida de profundidade:

- Pn-Sn: _____

ANEXO A – APROVAÇÃO NO COMITÊ DE ÉTICA

DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA	
Título da Pesquisa: Desenvolvimento de tecnologia de análise facial tridimensional Pesquisador Responsável: HERMES PRETEL Área Temática: Versão: 9 CAAE: 23867019.3.0000.5416 Submetido em: 18/08/2021 Instituição Proponente: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO Situação da Versão do Projeto: Aprovado Localização atual da Versão do Projeto: Pesquisador Responsável Patrocinador Principal: Financiamento Próprio	 Comprovante de Recepção:  PB_COMPROVANTE_RECEPCAO_1771418

DADOS DA NOTIFICAÇÃO

ANEXO B – DIREITOS AUTORAIS (PUBLICAÇÃO 1)

WILEY

 Pesquise na rede Wiley o que você procura

Bibliotecas de pesquisa ▾

Serviços de publicação ▾

Recursos educacionais ▾

Desenvolvimento profissional ▾

licenças de reutilização comercial. Os direitos legais concedidos para reutilização de conteúdo em publicações não comerciais, como uma tese ou dissertação, são diferentes dos direitos exigidos por editores comerciais para republicar legalmente conteúdo de terceiros.

Preciso solicitar permissão para usar meu próprio trabalho como minha dissertação?

Se você é o autor de um artigo Wiley publicado, você tem o direito de reutilizar o texto completo de seu artigo publicado como parte de sua tese ou dissertação. Nessa situação, você não precisa solicitar permissão da Wiley para esse uso.

Se sua instituição ainda exigir uma licença de reutilização neste caso, siga as etapas abaixo para solicitar sua licença por meio do RightsLink.

Não autorizo a publicação deste trabalho pelo prazo de 2 anos após a data da defesa (somente após 10 de março de 2025)

Direitos de publicação reservado ao autor

Araraquara, 10 de março de 2023

Básia Rabelo Nogueira