

COMPARATIVO ENTRE OS MÉTODOS DE PRODUÇÃO MANUAL E DIGITAL EM UM LABORATÓRIO DE PRÓTESE DENTÁRIA

Marina Michelin Morás (mymaiy.marina@gmail.com)

Professora Fabiane Cristina Brand (fabiane.brand@bento.ifrs.edu.br)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Bento Gonçalves

RESUMO

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão tridimensional ou prototipagem rápida, tornou-se conhecida pelo método de trabalho utilizado, qualidade apresentada, com alta eficiência e personalização na impressão de diversos objetos, desde brinquedos infantis, casas, protótipos de produtos até órgãos humanos. Com o tema da manufatura aditiva, o objetivo principal deste trabalho é entender como acontece, na prática, a mudança e a adaptação no processo produtivo, com a utilização de uma nova tecnologia: a impressora 3D, que substituiu processos manuais em um laboratório de próteses dentárias, localizado em Bento Gonçalves, com atuação no ramo odontológico desde 2000. Na pesquisa bibliográfica, é apresentada uma análise sobre os métodos de produção analógico e o digital e quais as aplicações disponíveis para a impressão 3D, comparando os processos entre si. A pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de formato descritivo e exploratório e conduzida por meio de um Estudo de Caso. Para a coleta de dados, foram feitas entrevistas semiestruturadas com a equipe do laboratório, para entender como o processo era e como ficou, quais foram as vantagens e desvantagens desta tecnologia e mudanças necessárias na adaptação dos processos. Na conclusão, com a análise e interpretação das informações coletadas, há a comparação entre os dois métodos de trabalho, em que se constatou que foi necessária a adaptação da equipe com a nova tecnologia, treinamentos e novos aprendizados. Porém, a adesão da impressora 3D ao processo de trabalho do laboratório foi positiva, com aumento da qualidade da entrega final, ganho de produção, produzindo mais, em menos tempo, com mais qualidade e sem perdas.

Palavras - chave: Manufatura Aditiva, Prototipagem, impressão 3D, próteses dentárias.

1. Introdução

Com o avanço da tecnologia e a busca constante por maior qualidade e personalização, a impressão 3D mostra-se cada vez mais presente e importante no cotidiano das empresas e em seus processos, na operação de tarefas que pareciam ser impossíveis de ser realizadas ou que dependiam de um trabalho manual, com alto grau de falhas, muitas repetições, desperdício de matéria-prima e alto custo. A utilização da prototipagem está em constante crescimento desde os setores da medicina, confecção de próteses ortopédicas, órgãos, esqueletos, impressão de células cancerígenas para estudo do câncer até o desenvolvimento de protótipos de produtos, brinquedos, roupas, automóveis e casas.

Focado no setor da saúde, o tema deste estudo é voltado para o uso da impressão tridimensional no setor odontológico, no laboratório de próteses dentárias KS, de Bento Gonçalves/RS, que, desde o segundo semestre de 2019, adquiriu a impressão 3D para o seu

processo produtivo.

A realização da pesquisa delimita-se na avaliação de dois métodos de produção diferentes para a confecção de próteses dentárias: o processo analógico e o digital. O objetivo geral do estudo é apresentar um comparativo entre os dois fluxos, com base na literatura sobre o assunto e com a experiência que o laboratório KS possui na área. Os objetivos específicos são: I) conhecer o laboratório e o seu fluxo de trabalho; II) apontar vantagens e desvantagens entre o processo analógico e o digital, com a utilização da impressão tridimensional; III) avaliar em conjunto com a equipe do laboratório, através de entrevistas, como foi a adaptação e a inclusão da nova tecnologia 3D, assim como mudanças que foram necessárias.

Os dados coletados nas entrevistas com a equipe do laboratório e os materiais bibliográficos disponíveis acerca do assunto foram a base para a construção deste estudo de caso e para comparar os prós e contras de cada processo, entender impactos em relação ao custo da operação, tempo de produção e entrega, capacidade de produção, qualidade do material e conhecimentos necessários para adaptação à nova tecnologia.

Partindo do princípio do processo de confecção, o mesmo item do laboratório de próteses pode ser realizado a partir de duas técnicas, definidas como: formato analógico (conhecido também como manual) ou formato digital (conhecido pela impressão 3D, prototipagem rápida ou manufatura aditiva). No formato analógico, o paciente que vai até o consultório odontológico realiza uma moldagem de sua arcada dentária. Essa moldagem é feita de forma totalmente manual pelo dentista, com o uso de uma moldeira e alginato (material em pó, que com a adição de água, se torna gelatinoso e maleável por, aproximadamente, 45 segundos, após endurece). Essa moldagem do paciente será vazada em gesso pedra (material em pó, que após a adição de água, endurece totalmente em até 12 horas). Após o tempo de cura do gesso pedra, estará pronto o modelo analógico da arcada dentária do paciente. Este modelo será o instrumento de trabalho para que o laboratório dê sequência nas próximas etapas para confecção da prótese.

No formato digital, o paciente que vai ao dentista realiza um escaneamento da arcada dentária, com o auxílio de um equipamento chamado *scanner* intra-oral, que realiza micro-fotos das condições bucais do paciente, sem a necessidade de qualquer moldagem manual. Estas imagens, processadas por um *software* apropriado, resultam em um arquivo compatível com a impressora 3D, que irá imprimir o modelo digital do paciente e servirá como base para o processo a ser realizado no laboratório.

O que deve estar claro na distinção dos dois métodos de trabalho é que, para o formato analógico, o processo depende de tarefas manuais, moldagens e ajustes que, se mal

manuseadas, podem apresentar falhas, gerando retrabalho. Já no formato digital, tudo acontece de maneira automatizada, desde o escaneamento bucal do paciente, processamento do arquivo via *software* até a impressão 3D do modelo, onde não há falhas de moldagem em relação ao físico e têm-se dimensões fiéis. Comparando estes dois formatos, no analógico o fluxo de trabalho é mais complexo e passível de falhas, demanda maior tempo clínico de atendimento e a transmissão de dados não é efetiva. O formato de atendimento dos dentistas nas últimas décadas vem sendo executado sem grandes inovações no processo, mas este novo fluxo, com a utilização da impressora 3D, exige, dos profissionais, novas capacitações e utilização de ferramentas atuais, para que se mantenham competitivos no mercado (OGLIARI, 2019).

No estudo de Mariz e Chaves (2021), que abordaram a comparação entre o método digital e o analógico na confecção de próteses dentárias, esses autores citam que a impressão tridimensional não está sendo utilizada em grande escala devido ao custo de aquisição da tecnologia, mas que rapidez e personalização são vantagens claras do fluxo digital, assim como exatidão, menor desconforto ao paciente e menos ocupação de espaços físicos, já que os dados estão armazenados em bases digitais.

Na tese de Freitas (2022) sobre a tecnologia digital em próteses totais, o autor fala que, em estudo realizado por Goodacre em 2016, avaliou-se que próteses produzidas no formato digital apresentaram adaptação mais precisa do que as produzidas no método analógico, considerando que foi preciso menos visitas clínicas, menor custo total de materiais e apresentaram alta qualidade e desempenho final, sendo um tratamento mais econômico. A alta precisão milimétrica presente na prototipagem também é uma vantagem que chama a atenção, para as áreas que demandam essa característica.

O estudo apresenta como delimitação a realização de entrevistas com funcionários da empresa, não considerando o resultado e a opinião dos clientes.

2. Referencial Bibliográfico

2.1 Definições da Impressão Tridimensional

O processo de utilização com a impressora 3D (I3D) é encontrado na literatura com outras nomenclaturas como Manufatura Aditiva (MA), Impressão Tridimensional, Prototipagem Rápida, Manufatura por Camada, Manufatura Rápida ou Manufatura Digital Direta. A primeira aplicação ocorreu em meados de 1890, quando Blather desenvolveu a construção de mapas de relevo topográfico em três dimensões. Após esta data, outra aplicação

importante se deu em 1972, por Matsubara, da *Mitsubishi Motors*, que propôs um método de confecção com resina fotopolimerizável. Desde então, a tecnologia no passar dos anos foi passando por avanços até se tornar o eficiente equipamento que é utilizado atualmente, em diversas aplicações e setores. (VOLPATO, 2017).

A prototipagem rápida, conceito importante para a indústria 4.0, é um processo de produção no qual um material sólido, fundido ou em pó é processado em uma impressora, que confecciona um objeto, com suas especificações e dimensões já definidas em *software*. A confecção se dá em finas camadas, camada sobre camada. A aderência do modelo impressão irá depender da matéria prima utilizada no processo, podendo ocorrer pela solidificação de material fundido, aglutinação por adesivo líquido ou polimerização ativada por luz (SILVA, 2017). A MA também é definida por Volpato (2017) como um processo de adição de material em camadas, mediante informações obtidas de uma representação gráfica tridimensional em *software*. Este processo possibilita a fabricação de peças físicas com vários materiais e em diferentes formatos, de forma totalmente automatizada e relativamente rápida, se comparada aos meios tradicionais de fabricação.

A impressão 3D veio para revolucionar principalmente o ramo industrial, com a possibilidade de desenhar um produto com suas particularidades e, após, projetá-lo em formato tridimensional, sem a necessidade de contratar um serviço especializado para a produção de um primeiro molde, considerando os preços elevados deste tipo de serviço, pois não é uma produção com grande volume. Assim, a margem para testes e visualizações com velocidade e exatidão, noções precisas de medidas, possíveis falhas, questões de *design* e funcionalidade de produto podem ser simuladas em *software*, sem a necessidade de muitos moldes, otimizando tempo e matéria-prima (PANKIEWICZ, 2009).

A impressão 3D é uma tecnologia que tem papel essencial para a era digital e moderna desta nova revolução industrial, de acordo com artigo publicado na Revista Mundo Logística (2019), a impressora 3D é capaz de construir um objeto sólido tridimensional, com dimensões personalizadas, a partir de um arquivo digital, podendo ser impresso em plástico, metal, cerâmica, concreto, materiais biológicos, entre outros, onde esta tecnologia não é dependente a moldes complexos e de alto custo, com habilidade na impressão de medidas precisas ou formas complexas e com detalhes.

Volpato (2017) traz a mesma abordagem, indicando que a representatividade da manufatura aditiva acrescenta muito frente a competitividade dos últimos anos, que tem exigido das empresas o aprimoramento em desenvolvimentos de produtos, redução de prazos, aumento da qualidade e presença de mercado. A manufatura aditiva chega para mudar este

cenário. Antes da chegada da impressora 3D, os métodos de fabricação eram baseados na moldagem de material, remoção manual de excessos, com torneamento, fresamento, furação e outras ferramentas realizadas de forma manual, até alcançar o formato desejado. No final da década de 1980, a fabricação baseada no novo princípio da adição de material foi apresentada, conhecida atualmente como a impressão 3D.

A facilidade de automatização e a pouca intervenção manual de um operador durante o processo de confecção de um modelo, são vistas como importantes vantagens desta tecnologia. É necessária a intervenção manual no processo somente para a preparação dos equipamentos, alimentação com a matéria prima e a configuração dos parâmetros da impressora. O *software* será configurado com a quantidade de camadas e espessuras, além do tempo necessário para confecção do objeto. Durante a impressão, a máquina utiliza as coordenadas repassadas do modelo computacional, após isso, a impressora fará todo o processo sem a necessidade de intervenção. Quando pronto e o material totalmente curado, é necessária a retirada e limpeza da peça (VOLPATO, 2017).

Quanto às vantagens e desvantagens da prototipagem, de acordo com Volpato (2017), é visto que a tecnologia proporciona liberdade para fabricação do que for necessário, independente da complexidade, com pouco desperdício de material, utilizando de forma eficiente a energia. Não há necessidade de troca de peças durante o processo da impressão. Referente às limitações, o autor cita que geralmente não se consegue utilizar a mesma matéria-prima empregada no método manual. A impressora 3D designada para uso industrial possui custo elevado com a aquisição e operação do equipamento, o que limita o seu uso. Defeitos podem ser verificados no material, se o processo de impressão não estiver sob controle e totalmente calibrado e, para grandes lotes em escala industrial, a impressora 3D ainda é ineficiente quanto ao tempo de produção se comparada aos métodos tradicionais.

2.2 Aplicações da impressão 3D

A impressão 3D vem sendo aplicada em diversos setores industriais. No aeroespacial, sua utilização permitiu a redução de 50 a 80% no peso de componentes, que permite maior eficiência de voo e menor consumo de combustível. No ramo das máquinas agrícolas ou indústria aeronáutica, onde há peças de alto custo de manutenção e que possuem demanda moderada, a manufatura aditiva auxilia na diminuição das peças em estoque, e são impressas somente quando preciso. Já no ramo de calçados esportivos, empresas inovadoras do mercado passaram a utilizar a tecnologia para a personalização e criação de novos estilos com mais

rapidez, para lançamento ao público (REVISTA MUNDO LOGÍSTICA, 2019).

A prototipagem rápida já beneficia vários setores, desde protótipos para a pesquisa e desenvolvimento de produtos, utilização na indústria aeroespacial e automobilística, áreas de medicina e odontologia, utensílios domésticos, eletrônicos, setores de joalherias, artes, engenharia civil e arquitetura. Percebe-se que à medida que os profissionais tomam conhecimento desta tecnologia, novas aplicações estão surgindo para a impressão 3D (VOLPATO, 2017).

Existem aplicações incomuns e que chamam a atenção, como a construção de uma casa com dois andares, com trezentos e setenta (370) metros quadrados, que foi feita por uma impressora 3D de doze (12) toneladas. Esta construção aconteceu nos Estados Unidos, onde a máquina depositou camadas de concreto para erguer as paredes. O estimado é que sejam necessárias trezentas e trinta (330) horas de impressões com previsão de finalizar as estruturas no segundo semestre de 2023, conforme reportagem do Portal G1 (2023). Outro fato histórico é a construção da primeira ponte do mundo impressa em 3D, em aço inoxidável, com aproximadamente doze (12) metros de comprimento, instalada em Amsterdã, na Holanda, que além de servir como passagem para pedestres, possui vários sensores em sua estrutura para monitorar as vibrações e temperatura em tempo real. A impressão foi executada por quatro (4) robôs industriais e levou seis (6) meses para ser concluída, sendo considerada um marco para a indústria da construção (PANCINI, 2021). Na exploração lunar a impressão 3D também já é escalada, onde a China planeja utilizar a tecnologia para construir uma base na lua com o material que compõe o solo do satélite. A sonda *Chang'e-8*, com previsão de lançamento em 2028, será utilizada na pesquisa do ambiente e composição mineral do solo, para testar tecnologias avançadas e entender como a prototipagem pode ser utilizada na superfície lunar (REVISTA VEJA, 2023), todas estas aplicações vão de encontro as estimativas da Braskem, que indicam que o mercado da impressão 3D deve crescer de 15 milhões de dólares para 78 bilhões de dólares até 2030 (FORBES, 2023).

A Dakota, empresa brasileira no ramo de confecção de calçados, firmou uma parceria com a *UnionTech* 3D, uma das primeiras empresas envolvidas na prática de impressão 3D industrial. Implantaram no processo de moldes a impressora *Lite600* da *UnionTech* e atingiram excelentes resultados, em que o índice de eficiência geral aumentou quase 60%. A solução digital permitiu que a empresa tivesse uma visão diferente, podendo projetar uma variedade de moldes, com conversão rápida, sem a necessidade de intervenção manual e com qualidade de produção. A Dakota estava receosa, pois já haviam adquirido outras impressoras antes e haviam encerrado o processo digital, pois a qualidade era insatisfatória, mas com a

parceria atual, os resultados se mostraram positivos (UNIONTECH 3D, 2023).

No estudo publicado sobre a aplicabilidade da impressora 3D na prática médica contemporânea, o uso da prototipagem destaca-se na impressão de dedos humanos, crânios, peles, células troncos embrionárias, próteses e órteses, protótipos de colunas, todos personalizados, de acordo com a necessidade de cada paciente. Porém, mesmo com tantos avanços, esta tecnologia ainda não está presente nas grandes capitais, pois esbarra no índice de desenvolvimento dos países, custo de confecção dos modelos e matérias primas compatíveis, além do prazo para impressão, que dependendo o caso, não pode ser empregado em situações que demandam urgência (LACERDA et al., 2019).

A utilização da impressão 3D está sendo explorada nas cirurgias plásticas craniofaciais, como na aplicação de enxerto ósseo e reconstrução de mandíbula e maxila. Por exemplo, em reparos de fraturas da órbita, tem um efeito muito positivo, pois a anatomia desta região é complexa, o acabamento precisa ser perfeito, se não, podem ocorrer complicações como visão dupla ou olho projetado para dentro. Estes riscos são praticamente anulados com o uso desta tecnologia. Nos estudos de anatomia, a prototipagem é utilizada para impressão de ossos, com ótima relação custo benefício, pois a obtenção de ossos através de doação é restringida por normas ético-legais, enquanto para cadáveres não há esta restrição devido aos programas de doação (MATOZINHOS, et al., 2017).

Um fato importante divulgado pelo Jornal da USP é que a pele impressa em 3D pode substituir o uso de animais, em testes de cosméticos. Em alguns países ainda é permitido, como em coelhos e ratos. Este avanço é em virtude de um estudo realizado pela Faculdade de Ciências Farmacêuticas, que identificou que os modelos de peles disponíveis pela impressão são fisiologicamente compatíveis com a pele humana, inclusive mais compatíveis do que a pele de animais, pois há diferenças em relação à composição e estrutura das camadas da pele. Há espaço para avanços nestes modelos e desenvolvimento de formatos mais compatíveis, mas de toda a forma a descoberta é positiva (BERNARDES, 2018).

Desde a introdução da prototipagem no ramo da odontologia, a partir de meados de 1980, barreiras tecnológicas foram rompidas, a automação de processos, e utilização de matéria prima biocompatível e de qualidade, demonstram a precisão e praticidade que esta nova tecnologia oferece, se comparada ao método analógico, onde as falhas são praticamente eliminadas. Mas, vale salientar, que a excelência no resultado não se dá devido a utilização de scanner ou impressora 3D, a tecnologia é um meio e não um fim, para se alcançar bons resultados, pois se houver preparos mal executados ou implantes mal posicionados, o acabamento não será de agrado (ALBUQUERQUE, 2018).

Salata (2019) explica que, na medicina dentária, o digital apresentou forte desenvolvimento tecnológico nos últimos anos, e com a introdução de sistemas de produção digitais, pode-se, inclusive, dizer que há uma nova modalidade na odontologia e que, tecnicamente, a impressão dentária diferencia-se pela precisão.

2.3 Fluxo analógico e fluxo digital

O fluxo analógico é o processo de moldagens manuais com o uso de materiais que replicam as estruturas dentárias dos pacientes, moldagens estas que são feitas por dentista em consultório. Se mal manuseados, estes modelos podem apresentar falhas, como bolhas e baixa precisão de medidas comparado ao físico. Estas falhas podem comprometer o resultado final na confecção da prótese dentária. O digital é um novo método de moldagem, que envolve a obtenção do molde do paciente por escaneamento intra-oral, em que através de um *software* gera um modelo tridimensional com fidelidade de medidas e riqueza de detalhes, sem a necessidade de qualquer moldagem manual. Com este desenho em 3D, é feita a impressão do modelo (OGLIARI, 2019).

Ainda existem muitos profissionais que utilizam o fluxo analógico, uma vez que estão culturalmente condicionados, porque foi o formato acadêmico que aprenderam e por já conhecerem as técnicas, sendo mais confortável do que se adaptar ao novo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ODONTOLOGIA DIGITAL, 2022).

Na pesquisa realizada por Rosero (2018), comparando o fluxo convencional e o uso da impressão 3D, o autor identificou vantagens e desvantagens do fluxo digital. Como vantagens, indicou a redução de erros humanos, mais rapidez nos processos, melhorias na organização das informações em conjunto dos dados estarem armazenados em *software* e não ocupando espaços físicos e ser um formato de atendimento que proporciona mais conforto ao paciente. Como desvantagens, identificou: o período de aprendizagem e adaptação ao novo, o custo da aquisição das ferramentas e o constante avanço da tecnologia, que torna os sistemas obsoletos em um curto espaço de tempo.

A respeito das vantagens da prototipagem, também é possível citar o trabalho executado com precisão, conforto ao paciente, agilidade e economia, entendendo que a curva de aprendizagem é fácil e intuitiva requerendo prática e aplicação, assim como qualquer outro processo novo que precisa ser entendido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ODONTOLOGIA DIGITAL, 2022).

Os fluxos analógico e digital possuem diferenças entre si, pois determinam a forma

de confecção de uma prótese dentária. As principais características do processo manual são: a) fluxo de trabalho mais complexo e passível de falhas humanas (como moldagem inconforme, bolhas); b) maior desconforto ao paciente, com ânsia ou dificuldade de manter a cavidade oral aberta por muito tempo; c) mais etapas em laboratório e maior tempo clínico para finalização de um tratamento; d) envio de dados por correio ou *motoboy*, sendo necessários espaços físicos para armazenamento de modelos. Enquanto isso, as características do processo com a impressão 3D são mais simples e efetivas, como: a) fluxo de trabalho descomplicado; b) menor desconforto ao paciente, sem moldagens manuais ou ânsia; c) menos etapas em laboratório e menor tempo clínico para finalização de um tratamento. d) facilidade na transmissão de dados, que acontece de forma digital, sem arquivos físicos (OGLIARI, 2019).

3. Metodologia da Pesquisa

O método escolhido para realização da pesquisa é o estudo de caso, abordando uma unidade individual, aplicado em um laboratório de próteses dentárias localizado na cidade de Bento Gonçalves/RS. Conforme Cervo, Bervian e Silva (2007), o estudo de caso é uma pesquisa sobre determinado indivíduo que seja representativo em seu universo. Segundo o exposto por Mascarenhas (2012, p. 62), “o estudo de caso é uma pesquisa bem detalhada sobre um ou poucos objetos. A ideia é refletir sobre um conjunto de dados para descrever com profundidade o objeto de estudo”. O estudo de caso busca explicar um fenômeno ou evento atual, em que o pesquisador não se envolverá e ficará imparcial e distante do sujeito estudado, a fim de comparar dois métodos de trabalho diferentes, seguindo os objetivos do estudo, sem projeções para cenários futuros ou criação de modelos estatísticos.

A pesquisa realizada caracteriza-se como qualitativa e exploratória, com base na revisão de literatura e entrevistas semiestruturadas com a equipe do laboratório, foco deste estudo de caso.

3.1 Etapas da metodologia

Quanto às etapas e passos seguidos para a realização do estudo, como o método escolhido – Estudo de Caso – não possui uma estrutura rígida, a sua sequência é resumida em quatro fases (conforme Figura 1), que são, respectivamente: I) Planejamento, II) Coleta de dados, III) Seleção, análise e interpretação dos dados e IV) Relatório de resultados. As quatro fases estão descritas a seguir:

I) Planejamento: para este estudo, o tema escolhido foi a inclusão da impressora 3D nos processos odontológicos. A mudança no formato de trabalho que, por tantos anos foi convencional e manual, passa a ter disponível esta tecnologia (3D), que despertou a curiosidade em entender esta mudança na prática, se é positiva ou negativa, que vantagens e desvantagens traz no fluxo de trabalho, considerando que a manufatura aditiva vem se fazendo presente em vários setores e aplicações, que antes não eram cogitadas. Para entender a prática, a coleta de dados foi realizada em um laboratório de próteses dentárias localizado na cidade de Bento Gonçalves, que presta serviços para os dentistas e consultórios odontológicos. Em 2019, foi adquirida uma impressora 3D para implantar o fluxo digital em seu processo, na confecção de próteses. Os objetivos são conhecer o fluxo de trabalho do laboratório, identificar vantagens e desvantagens da prototipagem e compreender como foi a adaptação da equipe com o formato digital.

II) Coleta de dados: essa fase ocorreu, inicialmente por meio de revisão bibliográfica e, em seguida, por entrevistas com os funcionários do laboratório. Para a pesquisa bibliográfica, foram localizados trabalhos acadêmicos que abordam a comparação entre o fluxo analógico e o digital, mas são focados na área técnica da odontologia e não para o fluxo de trabalho e mudança da tecnologia. Além destes, foram acessados materiais com definições sobre impressão 3D, assim como aplicações e descrições do fluxo analógico e digital na Odontologia.

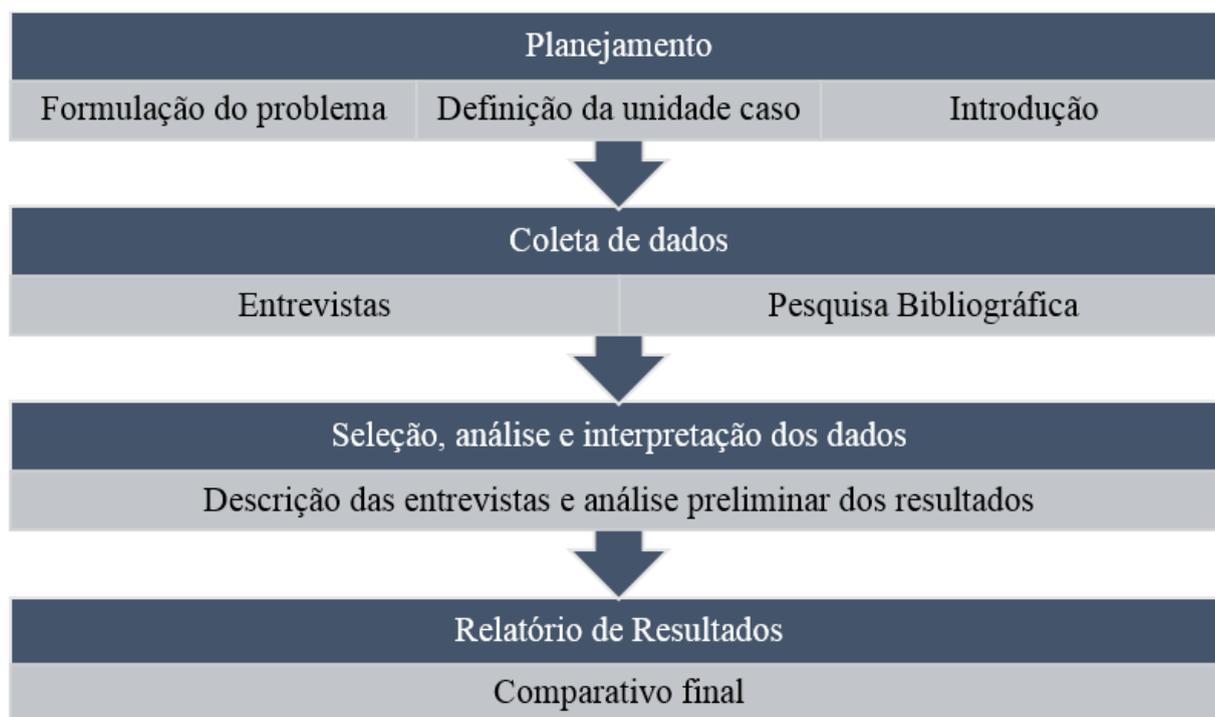
As entrevistas foram realizadas de forma presencial, no dia 02 de dezembro de 2022, em Bento Gonçalves. O roteiro de perguntas foi definido pela autora, com base no seu conhecimento prévio sobre o assunto. A equipe do laboratório é composta por seis (6) pessoas, mas somente três (3) participaram da entrevista, pois foram estas que tiveram seus processos de trabalhos diários transformados com a inclusão da produção digital. Os entrevistados foram: a) a auxiliar de laboratório, com mais de dois anos de experiência na empresa, de acordo com o apêndice A deste artigo; b) a analista de laboratório, com mais de 17 anos de experiência, conforme o apêndice B; c) o proprietário e ceramista do laboratório, que está na empresa desde que iniciou as atividades em 2000, seguindo as perguntas dispostas no apêndice C, que são diferentes do apêndice A e B, pois o proprietário possuía maior conhecimento em outros pontos relevantes para o estudo de caso, em que as outras duas colegas entrevistadas não tinham ciência. As três entrevistas foram feitas de forma individual e duraram, aproximadamente, 1 hora e 30 minutos. Conforme Coelho (2018), a entrevista é uma forma de coleta de dados importante em pesquisas qualitativas, pois podem ser captadas informações que não serão encontradas em pesquisas bibliográficas. A base de dados se dá através da compreensão e visão das pessoas entrevistadas. O formato utilizado foi entrevista

semiestruturada, em que existe um roteiro de perguntas já definidas, as quais podem ser combinadas com perguntas espontâneas, que podem surgir no decorrer do diálogo. Essa forma assemelha-se a uma conversa informal e a sua vantagem é que permite maior interação do entrevistador com o entrevistado. Outro ponto positivo é estudar o tema do trabalho com a visão dos próprios elementos da pesquisa, proporcionando um entendimento amplo e claro sobre o assunto (COELHO, 2018).

III) Seleção, análise e interpretação dos dados: os dados coletados na pesquisa bibliográfica e nas entrevistas foram selecionados e interpretados.

IV) Relatório final: a partir dos dados coletados e analisados, foram redigidos os resultados, conforme seção 4 do presente artigo.

Figura 1 – Processos para realização do estudo de caso



Fonte: autora (2023).

4. Resultados do Estudo de Caso

Os resultados para este estudo de caso vão ao encontro dos objetivos iniciais para a apresentação de um comparativo entre o fluxo analógico e o digital, com base na literatura e nas entrevistas realizadas no laboratório, foco deste estudo de caso, exposto a seguir.

Em relação ao conhecimento do fluxo de trabalho do laboratório, após a utilização da impressora 3D, que iniciou em 2019, como a demanda era baixa e o laboratório possuía

pouco conhecimento da ferramenta, foi ofertado esse formato para casos de pacientes que tinham mais urgência em ser finalizados, além de ser cobrado um adicional no tratamento. Atualmente, não há mais diferenciação de valores, a prototipagem já não é mais uma opção de tratamento, mas sim ela é o tratamento. As moldagens podem ser enviadas no formato do arquivo digital, depois do escaneamento intra-oral feito no paciente, ou enviadas no modelo analógico, moldadas em gesso no consultório e encaminhadas para que o laboratório faça o escaneamento. Quando o modelo é enviado no formato analógico, é realizada uma triagem para verificar se a moldagem está de acordo, ou seja, sem falhas, bolhas ou outras imperfeições que comprometam o resultado final. Se não está conforme, a moldagem retorna para que o dentista refaça e, caso esteja conforme, seguirá o fluxo para manipulação do desenho gráfico bucal no programa *Exocad* (*software* de visão gráfica, criação de desenho). Depois do modelo digital ser manipulado no sistema, as informações de configuração da impressão, fatiamento da peça e impressão dos suportes são encaminhadas para a impressora. Somente processos que realmente precisam ser feitos no formato manual seguem este fluxo; exceto isso, todo o restante é executado no formato digital com a tecnologia 3D.

Como a auxiliar do laboratório iniciou na equipe quando a impressão 3D já havia sido inserida no processo, ela não passou seu relato sobre as vantagens e desvantagens em relação ao fluxo analógico e sobre a adaptação com a nova tecnologia, já que não teve esta experiência, mas sua percepção com o fluxo digital é de que há mais agilidade e economia de tempo. Também teve a vivência com a troca da primeira impressora do laboratório, em que o primeiro modelo comprado foi a *Anycubic Photon 2K*, com investimento aproximado de três mil reais por máquina. Desde o segundo semestre de 2019 até 2022 o laboratório adquiriu três (3) impressoras do mesmo modelo 2K para atender as demandas. Em 2022, com mais conhecimento da ferramenta, constataram que este modelo apresentava falhas e retrabalhos e que haviam melhores opções no mercado. Desta forma, venderam as três (3) impressoras do modelo 2K e compraram a atual que é utilizada, o modelo *Phrozen Sonic Mini 8K*, com investimento aproximado de doze mil reais, que não apresenta falhas ou perdas.

Os entrevistados relataram que tiveram uma experiência negativa com a primeira impressora, pois a marca não tinha estrutura de pós-venda e não prestava suporte, quando o proprietário se frustrou com a aquisição. Com as dificuldades do dia a dia, foram aprendendo a manusear a máquina e a escolher resinas compatíveis com os parâmetros da impressora e, destacam a importância de adquirir um produto de uma empresa que tenha suporte técnico e serviço de atendimento ao cliente disponível. O laboratório programa adquirir outra impressora do mesmo modelo para os próximos meses, pois a ferramenta consegue confeccionar uma matéria-prima por vez, e há peças que possuem resinas diferentes, como a

confeção de modelos e casquetes. Desta forma, as máquinas conseguem operar com duas matérias-primas diferentes, no mesmo momento, vindo a colaborar com a capacidade de produção.

Quanto às desvantagens entre o analógico e o digital, identificou-se que não há pontos negativos, exceto a questão da adaptação da tecnologia e a aceitação do novo. Entende-se que o fluxo digital só traz benefícios, pois consegue-se maior capacidade de produção em menos tempo, com mais qualidade e precisão. Além disso, é um processo menos oneroso que o manual, pois as impressoras são elétricas, com baixa manutenção e, com o modelo atual da impressora utilizada, não há perda de matéria-prima, se comparada à primeira máquina adquirida pelo laboratório, que apresentava 10% de perda.

Há vantagens que se destacam nesta comparação dos processos: a precisão, o menor tempo para execução de serviço e o ganho de produtividade. Em relação à precisão, se a impressão 3D da peça for configurada em 0,5 milímetros, a máquina irá manter este dimensional, enquanto no formato analógico, a mão humana pode variar de 0,4 a 0,7 milímetros, ganhando com o digital em qualidade e velocidade. Em relação ao tempo para execução dos serviços, foram utilizados dois exemplos para demonstrar a diferença: o primeiro exemplo é o casquete, um pequeno molde frontal do dente. Para serem confeccionados 50 casquetes no formato analógico, uma pessoa leva um dia e meio de trabalho, aproximadamente 12 horas, enquanto no processo digital, com a impressora 3D, esta mesma quantidade é produzida em 2 horas e 30 minutos (considerando criação em *software* e processo de impressão). O segundo exemplo é o enceramento diagnóstico, um procedimento da lapidação do molde dentário. No formato analógico, precisa-se de, aproximadamente, 5 horas, enquanto no digital, pode ser concluído em 2 horas e 30 minutos.

O laboratório não alterou seu prazo de entrega final, pois mesmo que seja utilizado o formato digital para a confecção dos modelos, muitas peças passam pelo acabamento final com mão de obra humana, então ainda há limitação mas o elemento provisório é um exemplo em que o laboratório adequou 90% do processo de produção para a tecnologia 3D. Desta forma, o que antes era confeccionado em uma semana, passa a ser concluído em dois dias.

Outro ponto positivo é o aumento da produção, uma vez que a equipe do laboratório manteve-se a mesma, mas a produção cresceu 15% de 2021 para 2022. Já em relação à matéria-prima e resinas utilizadas, o custo é equivalente, seja no analógico ou no digital. Com a ascensão desta tecnologia nos últimos anos, a oferta de fornecimento também aumentou, porém é negativa a variedade disponível, pois quem não possui conhecimento técnico sobre a ferramenta, pode se confundir e não fazer boas escolhas.

Quanto à adaptação da tecnologia, tratando-se de processo, a analista do laboratório foi a que mais sentiu os impactos desta mudança, pois vinha há mais de dez anos fazendo seu trabalho sempre do mesmo jeito, no formato manual, quando, a partir da inclusão desta tecnologia, passou a fazer no digital, basicamente com um computador e uma impressora. É um processo de aceitação do novo. A equipe ainda está em adaptação, aprendendo a manipular o sistema *Exocad*, com investimentos em cursos, treinamentos, aperfeiçoamentos, suporte disponível no *software* e aprendendo com os erros do dia a dia.

Uma frase que marcou a entrevista foi a do proprietário, que disse: “toda mudança em um primeiro momento é um problema”. Assim também foi a experiência que teve a analista, que é quem mais manuseia o *software* e a impressora, pois como possui anos de experiência na área, sempre se considerou uma referência em seu trabalho de qualidade, porém quando começou a executar no digital se frustrou, visto que teve um início marcado por erros e foram necessárias adaptações. Com a grande quantidade de novas informações, a analista precisou de mais suporte e teve um sentimento de confusão mental, pois o que era impresso, era resultado do que ela configurava no *software* e o resultado não estava bom. Precisou treinar sua visão crítica e aprender a diagnosticar as características, dimensões e anatomia das peças no *software*, e não mais por um modelo físico e palpável.

O proprietário explicou que, somente com a prática, conseguem conhecer as máquinas e matérias-primas disponíveis no mercado, que atendem à necessidade de cada atividade, assim como a rapidez no processo se desenvolve com o tempo e depende da impressora que está sendo utilizada, mas destacou que é importante um profissional capacitado que saiba manusear e aferir o dispositivo. Também esclareceu que há uma visão errônea da sociedade, quando a máquina entra em um processo de produção, e, assim, assimila-se esta ideia ao desligamento de colaboradores da equipe, como se a máquina substituísse a mão de obra humana. Ele entende que há uma mudança nas profissões, em que nesta transição para uma nova tecnologia, em específico na empresa estudada, nenhum colaborador da equipe foi desligado por não ter trabalho, mas sim, eles foram direcionados e capacitados para aprender a operar a máquina ou direcionados para a área de acabamento, que garante a qualidade final e estética do modelo, onde a mão de obra humana é indispensável. Sendo assim, o laboratório aumentou a produção, ganhou velocidade com o mesmo quadro de funcionários e diminuiu seus custos. Entende-se, portanto, que a prototipagem acelera seu processo de produção em 70%, e há um gargalo no setor de acabamentos, que é para onde a equipe foi direcionada.

Considerando os pontos expostos até então, com a pesquisa bibliográfica e as entrevistas semiestruturadas relacionados aos dois fluxos de trabalho, reuniu-se um resumo

do que foi apresentado, com os principais tópicos que diferenciam o analógico do digital, vantagens e desvantagens, descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Comparação entre os processos analógico e digital

Comparação entre os processos analógico e digital	
Fluxo analógico	Fluxo digital
<ul style="list-style-type: none">- Fluxo de trabalho complexo e passível de falhas humanas.- Maior desconforto ao paciente com moldagens.- Mais etapas de laboratório e maior tempo clínico para atendimento.- Necessário espaço físico para armazenamento.- Formato de trabalho manual, já conhecido no mercado.- Produção lenta e com variabilidade de medidas, devido processo manual.	<ul style="list-style-type: none">- Fluxo de trabalho simples.- Menor desconforto ao paciente, sem moldagens.- Menos etapas de laboratório e menor tempo clínico para atendimento.- Facilidade na transmissão e armazenamento de dados, sem arquivos físicos.- Curva de aprendizagem, adaptação ao novo, tecnologia em ascensão.- Maior velocidade de produção com precisão e qualidade.- Muita oferta no mercado, com o desconhecimento da ferramenta e da matéria prima, pode levar a escolhas ruins.

Fonte: autora (2023).

5. Conclusão

Diante do conteúdo exposto, os objetivos desta pesquisa foram atingidos, entendendo o fluxo de trabalho do laboratório de prótese dentárias, foco deste estudo de caso, comparando os processos de confecção analógico e digital e avaliando, através de entrevistas semiestruturadas com os colaboradores, como foi a adaptação para a nova tecnologia, assim como referências bibliográficas com a mesma abordagem.

As limitações observadas são em relação às entrevistas com os funcionários, não

considerando a opinião e resultado em clientes finais, assim como a questão de acesso ao laboratório, onde no início deste estudo, a autora era colaboradora de uma clínica dentária, cliente direto do laboratório e, com a mudança de atividade para outra empresa, reduziu o acesso e contato direto com o objeto do estudo.

É evidente que a impressão 3D é uma tecnologia que está cada vez mais presente no dia a dia das empresas e do público em geral, uma vez que sua aplicação é observada para fins que não eram considerados. Trata-se de pensar além, de enxergar novas possibilidades e aceitar o novo, pois este método veio para ficar. Conclui-se, com este estudo, que a prototipagem rápida foi positiva para o formato de trabalho do laboratório, que aprendeu com as dificuldades no período da adaptação, mas que já colhe bons frutos, produzindo mais, em menos tempo, com qualidade e precisão de medidas.

Indica-se, para estudos futuros, avaliar a aplicação da impressão 3D em outros laboratórios, considerando a opinião de clientes finais, assim como empresas que fazem uso da prototipagem em outros setores da economia, como na indústria e para confecção de diferentes produtos, avaliando o retorno do investimento, buscando a abordagem quantitativa com estudo de indicadores e dimensões competitivas.

Referências

ALBUQUERQUE, Marcella Cunningham. **CAD/CAM: Uma revisão de literatura**. Curitiba: Faculdade Sete Lagoas, 2018. Disponível em: <<https://faculadefacsete.edu.br/monografia/files/original/c4d5d8f07d5810d9b5eb1d7c793e20e5.pdf>>. Acesso em 11 jun. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ODONTOLOGIA DIGITAL. **Fluxo digital Vs. Fluxo analógico: entenda as diferenças entre os dois processos**. Recife: ABOD, 2022. Disponível em: <<https://www.abod.com.br/fluxo-digital-vs-fluxo-analogico-entenda-as-diferencas-entre-os-dois-processos/>>. Acesso em 18 jun. 2023.

BERNARDES, Júlio. **Pele impressa em 3D substitui animais em teste de cosméticos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/ciencias/pele-impressa-em-3d-substitui-animais-em-teste-de-cosmeticos>>. Acesso em: 11 jun. 2023.

CERVO, Luiz Amado; BERVIAN, Pedro Alcino; SILVA, Roberto da; **Metodologia científica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/341/epub/0?code=U/SUgu/BHZeE6YdprkrLXxa3hZNnyIfzjdXX11OX8VmH5tefWOpivz+mdtF1E8BdYbvsFBGxpLR1fIO5/1/3gg>>> Acesso em: 31 out. 2020.

FREITAS, Rodrigo Falcão Carvalho Porto. **Tecnologia digital em próteses totais**. Natal: UFRN, 2022. Disponível em:

<https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/50129/1/Tecnologiadigitalproteses_Freitas_2022.pdf>. Acesso em: 28 maio 2023.

FORBES. **Braskem compra empresa de materiais para impressão 3D**. São Paulo: Forbes, 2023. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbes-money/2023/01/braskem-compra-empresa-de-materiais-para-impressao-3d/>> Acesso em: 17 jun. 2023.

LACERDA, Tayla Figueiredo et al. **Aplicabilidade da impressora 3D na prática médica contemporânea**. Curitiba: Brazilian Journal of Health Review, 2020. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/6474/5721>> Acesso em: 11 jun. 2023.

MARIZ, Anna Carlota Mendes; CHAVES, Marcos Vinícios Fonseca. **Análise Comparativa entre Fluxo Analógico e Digital na Confeção de Prótese Fixa: Relato De Caso**. Sete Lagoas: FACSETE, 2021. Disponível em: <http://faculadefacsete.edu.br/monografia/items/show/3681>. Acesso em: 28 maio 2023.

COELHO, Beatriz. Entrevista: **Técnica de coleta em pesquisa qualitativa**. Florianópolis, Blog Mettzer, 2018. Disponível em: <<https://blog.mettzer.com/entrevista-pesquisa-qualitativa/>>. Acesso em: 08 jun. de 2023.

MASCARENHAS, Sidnei Augusto. **Metodologia científica**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/3063/epub/0?code=rb7o0f32Plh57vuxBWB3sjrkeaYTpf883ZMj0fgaQysHzDyLKnEshvksV4cMVXx1ID0vF9bzvywnyRIM19G9Q==>> Acesso em: 31 out. 2020.

MATOZINHOS, Isabela Penido et al. **Impressão 3D: Inovações no campo da Medicina**. Minas Gerais: Revista Interdisciplinar Ciências Médicas, 2017. Disponível em: <<http://revista.fcmmg.br/index.php/RICM/article/view/63/50>> Acesso em 17 jun. 2023.

OGLIARI, F. **Você sabe as diferenças entre o Fluxo Analógico e o Fluxo Digital?** Pelotas: YLLER A Neodent Brand, 2019. Disponível em: <https://www.yller.com.br/voce-sabe-as-diferencas-entre-o-fluxo-analogico-e-o-fluxo-digital/>. Acesso em: 28 maio 2023.

PANCINI, Laura. **Primeira ponte de aço impressa em 3D inaugura em Amsterdã**. São Paulo: Revista Exame, 2021. Disponível em: <<https://exame.com/inovacao/ponte-de-aco-impressa-em-3d/>> Acesso em: 17 jun. 2023.

PANKIEWICZ, Igor. **Como funciona a impressora 3D?** Curitiba: Tecmundo, 2009. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/impressora/2501-como-funciona-a-impressora-3d-.htm>> Acesso em: 08 jun. 2023.

PORTAL G1. **Como está sendo feita a primeira “impressão” 3D de casa com dois andares dos EUA**. Rio de Janeiro: Portal G1, 2023. Disponível em: <<https://g1.globo.com/inovacao/noticia/2023/01/14/como-esta-sendo-feita-a-primeira-impressao-de-casa-com-dois-andares-dos-eua.ghtml>> Acesso em: 17 jun. 2023.

REVISTA MUNDO LOGÍSTICA. **Indústria 4.0 e suas implicações nas cadeias de suprimento**. Edição 70. Disponível em:

<https://drive.google.com/file/d/1dLBzXxqL8dJgSUABB6hmxHkK_Vx1CzsX/view>. Acesso em: 18 nov. 2020.

REVISTA VEJA. **China planeja usar tecnologia em impressão 3D para construir base na Lua.** São Paulo: Revista Veja, 2023. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/ciencia/china-planeja-usar-tecnologia-em-impressao-3d-para-construir-base-na-lua>> Acesso em: 17 jun. 2023.

ROSEIRO, Alexandra Ortega. **Comparação entre impressão convencional e scanner intraoral em prótese fixa.** Gandra/Portugal: Instituto Universitário de Ciências da Saúde, 2019. Disponível em: <https://repositorio.cespu.pt/bitstream/handle/20.500.11816/3129/MIMD_RE_22882_alexandraroero.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 18 nov. 2020.

SALATA, Maksym. **Utilização de tecnologia de impressão 3D na produção das próteses removíveis.** Gandra/Portugal: Instituto Universitário de Ciências da Saúde, 2019. Disponível em: <https://repositorio.cespu.pt/bitstream/handle/20.500.11816/3312/MIMD_RE_26672_MaksymSalata.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 18 nov. 2020.

SILVA, Heber Castro. **Sistemas Integrados de Manufatura.** Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 208 p. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/129878/pdf/0?code=s/CucXFoDq2rH+vNUOTNacrV/7KNfW2RoB6Hxp0F/Qsb+ZyGn/1KvAtnS+i0vb6QLmkMWeV5b00+qr8a6dyicw==>>> Acesso em: 31 out. 2020.

UNIONTECH 3D. **Tecnologia de ponta, precisa e sensível: a solução de impressão 3D da UnionTech resolve problemas de produção para a empresa brasileira de calçados Dakota.** Xangai: UnionTech 3D, 2023. Disponível em: <<https://www.uniontech3d.com/technologically-driven-precise-and-sensitiveuniont.html>> Acesso em: 17 jun. 2023.

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva: tecnologia e aplicações da impressão 3D.** São Paulo: Blucher, 2017. 400 p. Disponível em: <<https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/158964/pdf/28?code=3md9Fxm3/eX6dmzglotJlqEWT1FN3TwzMsfKEZQarsXxs5l98oNWnKJVPVV1lOX7SoPxrBxHjsKRkC9fmxaxg==>>> Acesso em: 31 out. 2020.

APÊNDICE A - Roteiro da entrevista semiestruturada realizada para a auxiliar de laboratório

Função: Auxiliar de laboratório

Tempo de empresa: 2 anos

Questões:

- 1 - Como é o fluxo de trabalho com a impressora 3D?
- 2 - Que vantagens e desvantagens vê entre o fluxo analógico e o digital?
- 3 - Em relação ao tempo de execução do serviço, como vê o processo analógico e o digital?
- 4 - Por que o laboratório trocou de impressora? Que diferença percebe entre a impressora anterior e a atual?

APÊNDICE B - Roteiro da entrevista semiestruturada realizada para a analista de laboratório

Função: Analista de laboratório

Tempo de empresa: 17 anos

Questões:

- 1 - Como é o fluxo de trabalho com a impressora 3D?
- 2 - Que vantagens e desvantagens vê entre o fluxo analógico e o digital?
- 3 - Em relação ao tempo de execução do serviço, como vê o processo analógico e o digital?
- 4 - Por que o laboratório trocou de impressora? Que diferença percebe entre a impressora anterior e a atual?
- 5 - Como foi a adaptação para a nova tecnologia?

APÊNDICE C - Roteiro da entrevista semiestruturada realizada para o ceramista e proprietário do laboratório

Função: ceramista e proprietário do laboratório

Tempo de empresa: 23 anos

Questões:

- 1 - Por que o laboratório trocou de impressora? Qual o custo entre elas?
- 2 - Com a mudança do processo de produção, vê alguma mudança no resultado final, ou é o

mesmo acabamento para ambos?

3 - Que vantagens e desvantagens vê entre o fluxo analógico e o digital?

4 - Como está sendo o fluxo de trabalho do laboratório atualmente? Que adaptações foram feitas desde o início da utilização da impressora 3D?

5 - Em relação ao tempo de execução do serviço, como vê o processo analógico e o digital?

6 - Relacionado a matéria-prima, qual a percepção? Aumentou o custo no formato digital?

7 - Baseado no seu conhecimento, que curiosidade ou experiência poderia acrescentar com os aprendizados que teve com a impressão 3D?