

Desenvolvimento e validação de recursos terapêuticos para reabilitação de fraturas relativas aos membros superiores através do uso de impressão 3D

Development and validation of therapeutic resources for the rehabilitation of fractures related to the upper limbs through the use of 3D printing

Helder Clay Fares dos Santos Júnior^{1*}, Tatiane Costa Quaresma², Ana Paula Marques Ribeiro³, Jorge Lopes Rodrigues Júnior⁴.

¹ Residente do Programa de Residência Multiprofissional em Atenção Integral em Ortopedia e Traumatologia, Universidade do Estado do Pará (UEPA).; ² Doutora em Biologia Parasitária, Docente efetiva, Adjunto I no curso de Medicina da Universidade do Estado do Pará (UEPA).; ³ Especialista em Educação na Saúde para preceptores no SUS, Terapeuta Ocupacional do Centro Especializado de Terapias, CET (UNIMED).; ⁴ Doutor em Doenças Tropicais, Professor TIDE do curso de Terapia Ocupacional da Universidade do Estado do Pará (UEPA)

Resumo

Introdução: os membros superiores são estruturas vinculadas ao esqueleto apendicular, anexas ao esqueleto axial. Todavia, quando esse segmento passa por um evento de trauma, podem ser instalados diferentes déficits relacionados ao comprometimento de suas estruturas. **Objetivo:** objetiva-se, com este estudo, apresentar as possibilidades de desenvolvimento e confecção de recursos de reabilitação para fraturas relativas aos membros superiores em pacientes adultos, a partir da impressão tridimensional. **Metodologia:** trata-se de um estudo quantitativo, analítico, descritivo e transversal, sem intervenção. O desenvolvimento dos recursos foi realizado a partir de softwares do tipo Computer Aided Design (CAD) e de fatiamento. A validação foi feita a partir de uma escala Likert de cinco pontos, aplicada em forma de questionário com dez juizes especialistas. **Resultados:** foram elaborados três recursos terapêuticos e, para corroborar a aplicação do questionário, construiu-se um estudo de custo, obtendo-se o valor final de R\$ 63,05. Com a coleta das respostas dos juizes e a análise de suas respostas à escala, pôde-se validar os dispositivos com média geral de 77,5%. **Discussão:** com isso, afirma-se que foram produzidos equipamentos capazes de atuar na reabilitação do público-alvo, com características como peso reduzido, baixo-custo, design e estética satisfatórios, somadas à sua empregabilidade na clínica de reabilitação. **Conclusão:** com o desenrolar deste estudo, foi possível a validação e a criação de referenciais com custo-benefício satisfatório para o aprimoramento pessoal e da pesquisa científica nacional e internacional, contribuindo como subsídio para investigações de mesmo cunho que, porventura, sejam idealizadas futuramente.

Palavras-chave: Impressão tridimensional; reabilitação; fraturas ósseas; estudo de validação.

Abstract

Introduction: the upper limbs are structures linked to the appendicular skeleton, attached to the axial skeleton. However, when this segment undergoes a traumatic event, different deficits related to the impairment of its structures can be installed. **Objective:** this study aims to present the possibilities of developing and manufacturing rehabilitation resources for upper limb fractures in adult patients using three-dimensional printing. **Methodology:** this is a quantitative, analytical, descriptive and cross-sectional study that does not involve intervention. The development of the resources was carried out using Computer Aided Design (CAD) and slicing software. Validation was performed using a five-point Likert scale, applied in the form of a questionnaire with ten expert judges. **Results:** three therapeutic resources were developed, and to support the application of the questionnaire, a cost study was constructed, obtaining a final value of R\$ 63.05. Collecting the judges' responses and analysing their responses to the scale made it possible to validate the devices with an overall average of 77.5%. **Discussion:** With this, it is affirmed that equipment capable of acting in the rehabilitation of the target audience was produced, with characteristics such as reduced weight, low cost, satisfactory design and aesthetics added to its employability in the rehabilitation clinic. **Conclusion:** with the development of this study, it was possible to validate and create references with satisfactory cost-benefit for personal improvement and national and international scientific research, contributing as a subsidy for investigations of the same nature that may be idealised in the future.

Keywords: Three-dimensional printing; Rehabilitation; Bone fractures; Validation study.

INTRODUÇÃO

Os membros superiores (MMSS), estruturas do esqueleto apendicular, são anexas ao esqueleto axial. Dividem-se em ombro, braço, antebraço e mão, os quais, ao se moverem em sinergia e com objetivo, direcionam-se ao desenvolvimento de atividades do cotidiano

Correspondente/Corresponding: *Helder Clay Fares dos Santos Júnior.
– End: Rua Itapuã, 70, Aeroporto Velho. CEP 68020-035 – Santarém. –
E-mail: fareshelder18@gmail.com

complexas e essenciais à vida. De forma geral, os demais constituintes dos MMSS agem para que a extremidade distal possa executar as ações¹.

Essa extremidade possui características únicas que atribuem ao ser humano um diferencial na família *Hominidae*, como é demonstrado pela presença do polegar em oposição aos demais dedos, o que contribui para um maior número de movimentos passíveis de serem realizados. Além disso, a região anatômica, em sua totalidade, possui maior coeficiente de sensibilidade, em comparação a outros segmentos, o que permite ter maior destreza e manipular objetos de pequena escala².

O componente anatômico relativo à extremidade superior é um dos principais responsáveis pelo desempenho ocupacional no cotidiano, pois, majoritariamente, o desempenho perpassa pela necessidade de seu envolvimento. Com os membros superiores, indivíduos, como seres ocupacionais, desenvolvem suas atividades de vida diária (AVD), atividades instrumentais de vida diária (AIVD), atividades laborais e de lazer³.

Para a efetivação satisfatória dessas atividades, são demandadas habilidades próprias desses componentes, cognitivas e (ou) físico-funcionais, como coordenação motora fina e global, coordenação viso-motora e habilidades de coordenação bimanual. Além disso, necessita-se de um grau de força superior a 4, na escala do *Medical Research Council* (MRC), amplitude de movimento (ADM) articular com, pelo menos, 90% da amplitude total e integridade dos dermatômos⁴.

Todavia, quando esse segmento passa por um evento de trauma, podem ser instalados diferentes déficits relacionados ao comprometimento de suas estruturas. Uma das principais consequências advindas do trauma – seja por agressão, acidente automobilístico ou queda da própria altura – são as fraturas ósseas, principalmente as voltadas para os membros superiores. Esse tipo de injúria pode cursar com a perda de mobilidade, com consequente redução dos padrões funcionais do membro. Em se tratando dos MMSS, essas injúrias impossibilitam, ainda, a execução de ações que exijam maior destreza e habilidades manuais^{5,6}.

Além dos problemas de ordem físico-funcional decorrentes dessa situação, ocorrem, da mesma forma, empecilhos de ordem social, pois os acometidos por essa condição de saúde terão de ser amparados por normas estatais para promover seus cuidados e receber auxílios do Estado. Com o recebimento desse auxílio, e em meio ao processo de reabilitação, o indivíduo estará afastado e impossibilitado de realizar suas atividades laborais, bem como de executar, de forma independente, atividades básicas para sua sobrevivência^{7,8}.

Com isso, buscando a recuperação das capacidades e potencialidades do indivíduo que apresenta lesões nesse membro, a equipe multiprofissional necessita estar capacitada e instrumentalizada acerca das principais abordagens e recursos que podem ser utilizados para prover essa atenção⁹.

Os recursos terapêuticos são considerados meios para a promoção de auxílio e de saúde para pessoas que apresentem demandas relativas a suas condições salutaras. Tais recursos podem ser atividades, objetos, técnicas e métodos baseados e testados cientificamente como detentores de potencial terapêutico. São empregados para proporcionar o incremento da funcionalidade e da independência pessoal, viabilizando o desenvolvimento das atividades cotidianas¹⁰.

Esses recursos podem ter diferentes meios de aplicação e serem constituídos por distintos materiais. No caso de fraturas que atinjam os MMSS, o emprego dos recursos de reabilitação estará focado na relação direta da incapacidade gerada pelo trauma, visto que o curso desse evento tem alto índice de redução da ADM, da força muscular e da destreza manual associadas¹¹. Porém, devido ao alto custo, à baixa disponibilidade e a dificuldades vinculadas a sua implementação no sistema de saúde, tais recursos se tornam escassos, bem como seu uso, na clínica, é pouco frequente.

Tendo isso em vista, novas maneiras de produção desses equipamentos emergem, com a premissa de disponibilizá-los a custos acessíveis, de fácil adaptação e manuseio, como é o exemplo do advento da indústria 4.0 e da impressão tridimensional. Essa última tem um fator impulsionador para pesquisas de desenvolvimento e de testes de novas possibilidades em saúde. O seu emprego vem trazendo um aporte teórico-científico que está permitindo sua inserção em diferentes áreas do conhecimento para a apresentação de novos produtos e meios, especialmente em reabilitação¹².

Destaca-se a criação de equipamentos adaptativos e de reabilitação por esse método, devido a seu alto grau de especificidade e seu custo-benefício, aliando tempo de produção a gasto potencial. Essa característica, em serviços públicos de saúde, favorece maior acesso da população atendida, a um custo reduzido, tornando-se uma oportunidade crescente em serviços de reabilitação¹³.

Sendo assim, entendendo o potencial efetivo da tecnologia tridimensional para o âmbito da saúde – que se constitui como uma alternativa potencial para a confecção e disponibilização desses dispositivos –, objetiva-se, com este estudo, desenvolver e validar dispositivos impressos em 3D para reabilitação pós-traumática dos membros superiores.

METODOLOGIA

Desenho do estudo

A presente pesquisa se caracteriza como quantitativa, analítica, descritiva e transversal, sem intervenção. Foi desenvolvida nos setores de clínica médica e cirúrgica de um hospital geral da região do Oeste do estado do Pará, tendo como avaliadores dos produtos dez juízes especialistas nas categorias de Terapia Ocu-

pacional e Fisioterapia, com expertise e atuação na área de reabilitação em ortopedia e traumatologia há, pelo menos, dois anos.

Submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), o projeto foi aprovado sob o número de parecer 5.957.176.

Modelagem e impressão tridimensional

Foi utilizado, para a modelagem tridimensional, o aplicativo do tipo *Computer Aided Designe* (CAD), da empresa *Autodesk* chamado *Fusion 360™*, licença educacional (*Autodesk*, Califórnia, CA), no qual foi concebida a forma tridimensional virtual. Além disso, se utilizou, para o fatiamento e preparação das peças para impressão, o denominado *Prusa Slicer* versão 2.6.1, aplicativo responsável pelas configurações de parâmetros para obtenção das peças físicas na impressora 3D, de modelo KP3S (*Kingroon*, Shenzhen, CN). O material empregado para sua construção foi o ácido polilático (PLA).

Optou-se pelo uso do PLA devido a sua característica biodegradável e à facilidade de manuseio para impressão, reduzindo a taxa de erros por influências externas (como por variação de temperatura ambiente e por características hidrosscópicas, muito comuns no acrilonitrila butadieno estireno, ABS, e polietileno tereftalato de etileno glicol, PETG, respectivamente). Além disso, os parâmetros de impressão do bioplástico PLA eram aplicáveis em impressoras de entrada, com temperaturas para o *hotend* e mesa aquecida, figurando entre 195°-210° e 50°-60°, sucessivamente.

Para a confecção, foram utilizados os seguintes padrões para fabricação: (1) velocidade de 45 mm/s (milímetros/segundo); (2) preenchimento de 10% no formato giroide; (3) uso de suportes de sustentação do tipo grade; (4) altura de camada de 0,2 mm (milímetros); (5) quatro perímetros horizontais de impressão; (6) seis camadas superiores e inferiores; (7) reforço entre camadas de pontes; e (8) temperatura de bico de 195° e mesa a 50.

Cálculo de custo e depreciação

Para o cálculo real dos custos de fabricação dos dispositivos, foram contabilizados os gastos com material (levando-se em consideração o valor de R\$ 130,00 para 1 quilograma, kg, de filamento), consumo de energia (com a cotação de custo de R\$ 0,9/KWh em Santarém, PA) e itens adjacentes empregados em sua montagem. Foi usada ainda a fórmula de depreciação proposta por Lopes¹⁴ (2021), sendo ela o desgaste da impressora 3D a cada hora de uso. Utilizou-se tal conceito visto que não se deve expressar o custo integral da impressora 3D para apenas uma peça. Então, essa forma demonstrou ser a mais coerente para expor os custos de aquisição desse maquinário. O cálculo dessa representação é feito pela seguinte fórmula:

$$\text{Depreciação} = \frac{\text{Valor novo} - \text{Valor sucateado}}{\text{Vida útil (em horas - h)}}$$

Vida útil (em horas - h)

Assim, tem-se a equação:

$$\text{Depreciação} = \frac{\text{R\$ 1.000,00} - \text{R\$ 200,00}}{3.750 \text{ h}}$$

3.750 h

$$\text{Depreciação} = \text{R\$ 0,21/h}$$

Foi assumido, como vida útil da impressora, o tempo de 3.750 h, conforme o estudo de Dwamena¹⁵ (2020). Com isso, solucionando a fórmula, se obteve o custo em reais de R\$ 0,21 a cada hora de impressão, que se adicionou ao valor final dos produtos.

Validação dos produtos

Foi aplicado com os especialistas, em encontro único, um questionário de dez afirmativas, com demandas sobre sua avaliação a respeito da qualidade de construção, *design*, peso, conforto e usabilidade dos equipamentos na prática clínica. Essas questões foram subdivididas em dois grupos: cinco questões relativas às características estruturais dos equipamentos e cinco questões que investigavam os benefícios para os pacientes.

Para cada uma das afirmações, foi conferida uma pontuação baseada na Escala Likert de 5 pontos (Tabela 1). As respostas dadas ao questionário foram submetidas à análise individual de suas assertivas e, posteriormente, submetidas a uma análise global, realizada da seguinte forma: a cada assertiva de números ímpares foi subtraído 1 da resposta dos avaliadores; já os itens pares tiveram o número 5 menos o valor da resposta dos avaliadores. Ao final, somaram-se todos os valores obtidos, que foram multiplicados por 2,5, alcançando-se um resultado que variou de zero a 100 pontos, que representava a satisfação com os dispositivos¹⁶.

Considerou-se como um item bem avaliado quando a concordância entre os respondentes foi maior ou igual a 70¹⁷. Para avaliar a consistência interna relacionada ao questionário da pesquisa, se calculou o valor α de *Cronbach*, considerando valores do coeficiente $\geq 0,70$ como satisfatórios para a validação os produtos. A análise foi feita através do *software Jamovi 2.3.28* (*Jamovi*, Amsterdam, NL).

Tabela 1 – Protocolo de pesquisa baseado na Escala Likert de 5 pontos.

Domínio relacionado às características estruturais dos equipamentos	
Questão	Respostas
1. <i>Design</i> e estética dos dispositivos	1 – Discordo totalmente. 2 – Discordo. 3 – Não concordo nem discordo. 4 – Concordo. 5 – Concordo totalmente.
2. Valor de construção dos dispositivos	1 – Discordo totalmente. 2 – Discordo. 3 – Não concordo nem discordo. 4 – Concordo. 5 – Concordo totalmente.
3. Adequabilidade dimensional dos dispositivos	1 – Discordo totalmente. 2 – Discordo. 3 – Não concordo nem discordo. 4 – Concordo. 5 – Concordo totalmente.
4. Higienização dos dispositivos	1 – Discordo totalmente. 2 – Discordo. 3 – Não concordo nem discordo. 4 – Concordo. 5 – Concordo totalmente.
5. Peso dos dispositivos	1 – Discordo totalmente. 2 – Discordo. 3 – Não concordo nem discordo. 4 – Concordo. 5 – Concordo totalmente.
Domínio relacionado aos benefícios analisados para os pacientes	
Questão	Respostas
1. Conforto e usabilidade dos dispositivos	1 – Discordo totalmente. 2 – Discordo. 3 – Não concordo nem discordo. 4 – Concordo. 5 – Concordo totalmente.
2. Empregabilidade dos dispositivos na reabilitação	1 – Discordo totalmente. 2 – Discordo. 3 – Não concordo nem discordo. 4 – Concordo. 5 – Concordo totalmente.
3. Emprego dos dispositivos na reabilitação dos componentes de força muscular, ADM e destreza manual	1 – Discordo totalmente. 2 – Discordo. 3 – Não concordo nem discordo. 4 – Concordo. 5 – Concordo totalmente.
4. Uso no estímulo com enfoque nas atividades de vida diária e desempenho ocupacional	1 – Discordo totalmente. 2 – Discordo. 3 – Não concordo nem discordo. 4 – Concordo. 5 – Concordo totalmente.
5. Incremento na qualidade de vida	1 – Discordo totalmente. 2 – Discordo. 3 – Não concordo nem discordo. 4 – Concordo. 5 – Concordo totalmente.

Fonte: elaboração dos autores, 2023.

RESULTADOS

Com base no uso da tecnologia tridimensional, foram desenvolvidos três recursos terapêuticos para a reabilita-

ção dos MMSS pós-fratura, sendo eles: 1 prono-supinador com três graduações de estimulação sensorial, aplicadas em sua estrutura física (A); 1 preensor de pinça (B); e 1

preensor palmar (C) (Figura 1). O primeiro dispositivo é composto por duas peças principais: uma barra central para colocação da mão e um arco exterior acoplado à primeira, que, por meio do deslocamento medial e lateral do punho no plano frontal, favorece a prono-supinação do antebraço. O seu foco é o treino dessa movimentação específica e a ampliação de sua ADM.

Já o preensor de pinça foi idealizado também com duas partes, pois o movimento que será treinado é o de oponência interdigital, em que um dedo vai de encontro ao outro unindo as faces digitais. Esse deslocamento das estruturas metacarpofalangeanas possui alta especificidade, e, com o uso de ligas de tração, é possível realizar resistência contrária à ação almejada, contribuindo para o ganho de força e amplitude.

De outro modo, o preensor palmar é formado por quatro partícipes, que promovem a mobilização dos cinco quirodáctilos em direção à palma da mão. Isso é possível pela colocação de uma barra fixa e outra móvel na parte inferior, unidas por uma conexão em “U” e agindo em sinergia para o acionamento da peça superior, que realiza o movimento em garra, treinando a ADM e a força muscular das regiões envolvidas.

Para conferir sua validação por meio da aplicação do questionário com os juízes especialistas, foi realizado

o estudo da relação tempo *versus* custo *versus* material gasto, associado e somado aos cálculos de consumo energético e depreciação (Tabela 2).

Figura 1 – Apresentação física dos dispositivos construídos



Legenda – A: prono-supinador (e suas variações); B: preensor de pinça; C: preensor palmar.

Fonte: elaboração dos autores, 2023.

Tabela 2 – Avaliação de custo de produção dos recursos idealizados para a reabilitação dos MMSS pós fratura.

Variável	Preensor palmar	Preensor de pinça	Prono-supinador (e suas variações)	
Tempo de impressão	4 h	2 h	18 h	
Filamento gasto (em gramas, g)	55,73 g	33,85 g	206,76 g	
Gasto em reais, R\$	R\$ 7,24	R\$ 4,40	R\$ 26,87	
Gasto energético	R\$ 3,20	R\$ 1,60	R\$ 14,4	
Depreciação	R\$ 0,84	R\$ 0,42	R\$ 3,78	
Dimensões dos dispositivos em centímetros, cm	11,40cm X 19,2cm X 1,5cm	5,0cm X 14,3cm X 1,5cm	13,1cm X 13,1 X 5,0cm	
Insumos para montagem (ligas e ou guia de cobre)	R\$ 0,25	R\$ 0,05	-	
Total	R\$ 11,53	R\$ 6,47	R\$ 45,05	R\$ 63,05

Fonte: elaboração dos autores, 2023.

Com esses dados, foi feito o convite aos profissionais que eram colaboradores nos setores referidos para o preenchimento do questionário de validação, compondo a amostra de avaliadores três terapeutas ocupacionais (30%) e sete fisioterapeutas (70%), que tiveram o acesso físico aos dispositivos confeccionados, podendo manipulá-los e realizar os testes de funcionalidade, além de poderem visualizar a capacidade de higienização e suas características físico-mecânicas (peso, resistência, conforto e adequabilidade a diferentes dimensões da extremidade dos MMSS).

Dentro do primeiro estrato de afirmativas, que tratam dos aspectos estruturais dos equipamentos produzidos, a questão que apresentou melhor aprovação foi relacionada à facilidade de higienização, com 92,5%, seguido pelo valor de custo, com 85%. A terceira mais bem avaliada foi o aspecto relacionado ao peso, com 77,5%. Assim, essas nuances são apontadas como de

grande relevância e confiabilidade, demonstrando serem pontos diferenciais em sua concepção.

Adiante, quando em análise os questionamentos que tratavam dos benefícios para os pacientes e para sua qualidade de vida, bem como os que estavam voltados para a reabilitação dos componentes de força muscular, ADM e destreza manual, sobressaíram frente aos demais, com pontuação de 85%. O segundo lugar foi ocupado pelas afirmativas que questionavam o manuseio e a empregabilidade na reabilitação dos pacientes após fratura de MMSS, e o incremento em sua qualidade de vida, com 77,5% cada. Em última instância, ficaram posicionados os demais dois fatores: conforto e usabilidade e estímulo, com enfoque nas AVD e desempenho ocupacional, que obtiveram 70% de concordância cada.

No que tange à avaliação dos domínios, no primeiro grupo, representando pelas questões relativas às características estruturais dos equipamentos, foi possível à

obtenção de 79% de aprovação, e, no segundo, que era composto por questões que investigavam os benefícios analisados para os pacientes, alcançou-se 76%. No geral, foi alcançada a pontuação de 77,5%, sendo considerados validados os produtos. Os dados se encontram na Tabela 3.

Por fim, a consistência interna geral do questionário foi verificada pelo coeficiente de 0.870, considerando-se como validados os produtos e o formulário como representante da realidade das respostas. Outrossim, pode-se afirmar que a presença de resultados com valores acima de 0.81 revelam uma consistência excelente, o que pode sugerir que as características dos dispositivos têm potencial para o uso no contexto almejado.

Tabela 3 – Porcentagem de aprovação por afirmativa e domínio.

Domínio relacionado às características estruturais dos equipamentos	
Questão	% Aprovação
1. <i>Design</i> e estética dos dispositivos	70%
2. Valor de construção dos dispositivos	85%
3. Adequabilidade dimensional dos dispositivos	70%
4. Higienização dos dispositivos	92,5%
5. Peso dos dispositivos	77,5%
Total	79%
Domínio relacionado aos benefícios analisados para os pacientes	
Questão	% Aprovação
1. Conforto e usabilidade dos dispositivos	70%
2. Empregabilidade dos dispositivos na reabilitação	77,5%
3. Emprego dos dispositivos na reabilitação dos componentes de força muscular, ADM e destreza manual	85%
4. Uso no estímulo com enfoque nas atividades de vida diária e desempenho ocupacional	70%
5. Incremento na qualidade de vida	77,5%
Total	76%

Fonte: elaboração dos autores, 2023.

DISCUSSÃO

Segundo o estudo de Zhang et al.¹⁸ (2023), realizado no período de 2015 a 2022, em um Centro de Trauma Nível I, ocorre a incidência de 313 casos de fraturas de membros superiores por 100 mil habitantes, com o maior número de notificações relacionadas ao rádio, com 84,2 relatos por 100 mil habitantes, seguido pelo úmero, com 57,5 episódios de fratura, e pela ulna, com 57.

Esses tipos de injúrias são responsáveis por considerável porcentagem dos índices de incapacidades e déficits de desempenho ocupacional, sendo possível evidenciar as dificuldades no desempenho de habilidades uni ou bilaterais e na coordenação motora fina¹⁹. Essas problemáticas impedem o desenvolvimento de papéis ocupacionais e da participação social, tendo o potencial de causar danos socioeconômicos graves ao paciente.

Seu acometimento cursa com diferentes sintomas, como redução da mobilidade articular, perda de força muscular, alterações sensoriais e rigidez. Tais sintomas alteram a fisiologia e a sinergia corporal, o que exige um processo de reabilitação coeso e intrincado com as demandas apresentadas pelo caso. Assim, é necessária a preparação da equipe multiprofissional para realizar o atendimento especializado e promover a correta reabilitação dos pacientes. Existe ainda a demanda de materiais e de recursos terapêuticos que possam incrementar as abordagens e sejam voltados para esse público.

No entanto, devido à dificuldade de acesso e à baixa disponibilidade de serviços que produzam recursos terapêuticos personalizados, eles não apresentam expressividade de uso durante a prestação de atendimento à população. Nesse sentido, para o desenvolvimento e produção de recursos com essa finalidade, utilizam-se de meios alternativos para a sua efetivação.

Entre esses meios, destaca-se o uso da tecnologia tridimensional ou prototipagem rápida, impressão e modelagem 3D, que se caracterizam pela idealização e confecção em pequena escala de equipamentos projetados em um ambiente virtual. Dessa forma, é possível a fabricação de tais dispositivos de forma customizada, adequando suas dimensões às necessidades de cada paciente, tornando-os mais confortáveis e funcionais²⁰⁻²².

Tendo isso em vista, os recursos para reabilitação dos MMSS após fraturas foram idealizados e confeccionados utilizando-se essa tecnologia, o que permitiu a promoção de testes funcionais e pré-impressão, com redução da taxa de erros na manufatura. Além disso, possibilitou a customização apurada das características individuais de cada dispositivo, com singularidades que favorecem seu uso, como a presença de curvaturas que não geram pontos de pressão nas mãos, tamanho adequado a diferentes preensões e reforços estruturais em regiões de possíveis quebras, bem como diminuição da quantidade de material excedente para reduzir os gastos e baratear o custo.

Como é visto no estudo de Santos Júnior, Ribeiro, Rodrigues Júnior²³ (2023), a viabilidade de testar a eficácia de impressão, em momentos anteriores à sua real concepção, reduz consideravelmente a métrica de desperdício relativo à produção, contribuindo também para o aprimoramento físico-mecânico dos equipamentos. Permite também a testagem de diferentes disposições espaciais, posicionamento de alavancas e pontos de apoio que auxiliam a desvelar o que é exequível para cada apresentação de produto.

Contribuindo para o processo de reabilitação, assim como afirmam Patterson et al.²⁴ (2020), essa tecnologia permite o acompanhamento da evolução das capacidades funcionais dos indivíduos que são assistidos por meio desse tipo de recurso. Assim, é possível aumentar a amplitude do movimento treinado, modificando suas peças, as regiões de articulação e também alterando o estilo de preensão, podendo ser inseridos diferentes tipos de encaixe do segmento anatômico envolvido.

E ainda, com o planejamento de elaboração e impressão, foram concebidos recursos leves, que têm pouca ou nenhuma interferência na biomecânica do movimento da região trabalhada, conferindo resistência somente pelo uso das ligas elásticas em oposição à movimentação. Aplicar essa particularidade ao que é desenvolvido auxilia, especialmente nos primeiros momentos da atenção à pessoa que apresenta fraturas em MMSS, pois é o momento em que existe o menor coeficiente de força muscular, com grande perda de massa e ADM. Então, colaborar para o ganho ponderal desses componentes, sem a interferência do peso, é um fator primordial para sua recuperação²⁵.

Levando em consideração as referidas características, que podem se apresentar na condição de saúde, podem ser associadas outras metodologias de atenção, com a inserção de itens que façam a reabilitação assistida do membro acometido, como é discutido por Rätz et al.²⁶ (2021), que propuseram o uso da impressão 3D em concomitância ao uso de servomotores e eixos de movimentação autônoma, provendo o *neurofeedback* sem a necessidade de mobilização ativa.

Essas premissas podem ser inseridas na presente proposta, especialmente para o caso do prono-supinador, onde, devido à gravidade do acidente, podem ser comprometidos componentes neurológicos que atenuam o potencial de recuperação. Assim, o uso de motores automatizados, que estimulem a mobilização e a realização assistida da atividade, pode funcionar como auxiliar do dispositivo-padrão, tendo maior efetividade para públicos específicos.

A utilização dessa metodologia permitiu também a construção de equipamentos com *design* e estética diferenciais, porém simples, o que promove um uso intuitivo e de fácil manuseio, possibilitando seu emprego em qualquer fase e nível de atenção à saúde. Esses aspectos são relevantes, pois a fabricação de produtos que possam gerar dúvidas, ou empecilhos instrucionais, pode interferir na experiência do usuário, e, consequentemente, na sua reabilitação e habilitação funcional, além de requisitar maior conhecimento da tecnologia por parte do profissional que irá aplicá-la^{27,28}.

A avaliação de custos relacionados à produção dos dispositivos revelou um custo-benefício associado à sua usabilidade em serviços públicos de saúde, estando em um estrato de baixo custo, acessível ao Sistema e à população. O valor de R\$ 63,05 necessita ser verificado junto ao custo-efetividade, mediante testes específicos de alteração (ou não) relacionada à funcionalidade, em congruência com o gasto de manufatura. Porém se postula que a chegada a esse preço pode favorecer a disponibilidade e a reprodutividade em maior escala para emprego dentro da assistência em reabilitação desse público.

Esse custo, associado à produção e à dispensação, converge com o apresentado por Keller et al.²⁹ (2021), que verificou a viabilidade de uso da manufatura aditiva para

produção de dispositivos para reabilitação da mão e do punho em um ambiente intra-hospitalar. Nessa investigação foram integradas tecnologias de escaneamento e impressão tridimensional. Chegou-se ao valor final de 6 US\$ por dispositivo (algo em torno de R\$ 34,00 em cotação nacional), reafirmando as perspectivas favoráveis de emprego dentro dos serviços de saúde.

Contudo a presente pesquisa apresentou, como limitações, a não aplicação da tecnologia com o público-alvo para reabilitação, ainda não tendo parâmetros da real eficiência nas condições de saúde dos pacientes que apresentem fraturas nos membros superiores. Ademais, não foram utilizados outros meios de impressão tridimensional para efeitos comparativos de melhor usabilidade. O mesmo se repete para os diferentes tipos de filamento que podem ser empregados.

CONCLUSÃO

Com este estudo, objetivou-se aprofundar o arcabouço teórico relativo à impressão tridimensional e saúde, além de idealizar e produzir recursos terapêuticos para as fraturas relacionadas aos membros superiores. Em seu desenrolar, foi possível a validação, em apenas uma aplicação, do instrumento avaliativo, sem a necessidade de modificações dos dispositivos, e a criação de referenciais de custo-benefício para o aprimoramento pessoal e da pesquisa científica nacional e internacional. Contribuiu, da mesma forma, como subsídio para investigações de mesmo cunho que, porventura, sejam idealizadas futuramente.

Portanto, pode-se afirmar que foi construído um panorama acerca das possibilidades interventivas com a prototipagem rápida nos serviços de saúde e com a produção de recursos que podem auxiliar na recuperação funcional e na melhora do desempenho ocupacional de pessoas que sejam acometidas por essa injúria. Com isso, também edificou perspectivas para a cientificidade amazônica, trazendo novas tecnologias para a Rede de Atenção à Saúde que abrange essa região.

REFERÊNCIAS

1. Abreu BJGA, França IM, Montello MB, Santos WHB, Correia DCNC, Dantas JEA, et al. Guia ilustrado de anatomia humana para o aparelho locomotor. Natal: EDUFRRN; 2018. 178 p.
2. Moura TBMA. Cinesiologia e biomecânica. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A; 2018. 172 p.
3. Karagiannis C, Savva C, Mamais I, Adamide T, Georgiou A, Xanthos T. Treinamento de membros superiores e atividades da vida diária em pacientes com DPOC: revisão sistemática de ensaios controlados randomizados. J Bras Pneumol [Internet]. 2020 [citado em 2023 Out 25];46(6):1-8. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.36416/1806-3756/e20190370> doi: 10.36416/1806-3756/e20190370
4. Roman NA, Miclaus RS, Nicolau C, Sechel G. Customized Manual Muscle Testing for Post-Stroke Upper Extremity Assessment. Brain Sci [Internet]. 2022 [citado em 2023 Out 25];12(4):1-18. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/brainsci12040457> doi: 10.3390/brainsci12040457

5. Golshani K, Cinque ME, O'Halloran P, Softness K, Keeling L, Macdonell JR. Upper Extremity Weightlifting Injuries: diagnosis and management. *J Orthop* [Internet]. 2018 [citado em 2023 Out 25];15(1):24-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jor.2017.11.005> doi: 10.1016/j.jor.2017.11.005
6. Ribak S, Oliveira EJM, Rosolino GP, Orru Neto P, Tietzmann A. Epidemiology of Traumatic Injuries of the Upper Limbs in a University Hospital. *Acta Ortop Bras* [Internet]. 2018 [citado em 2023 Out 25];26(6):370-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-785220182606180607> doi: 10.1590/1413-785220182606180607
7. Stinner D, Dafydd E. Surgical Management of Musculoskeletal Trauma. *Surg Clin North America* [Internet]. 2017 [citado em 2023 Out 25];97(5):1119-31. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.suc.2017.06.005> doi: 10.1016/j.suc.2017.06.005
8. Ministério da Economia (BR). Dados abertos da previdência social – Tabelas do Anuário Estatístico da Previdência Social. Brasília: Instituto Nacional do Seguro Social; 2018. 1048 p.
9. Ministério da Saúde (BR). Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. Diretrizes de Atenção à Pessoa com Lesão Medular. 2. ed. Brasília: Ministério da Saúde; 2015. 70 p.
10. Recuperarte. Recursos Terapêuticos [Internet]. 2018. [citado 2023 Out 25]. Disponível em: http://recuperarte.com.br/?page_id=2959
11. Silva AR, Sime MM. Barriers and facilitators to return to work post-acute orthopedic trauma in upper limbs: an integrative literature review. *Cad Bras Ter Ocup* [Internet]. 2019 [citado em 2023 Out 25];27(2):426-37. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/2526-8910.ctoAR1601> doi: 10.4322/2526-8910.ctoAR1601
12. Javaid M, Haleem A, Singh RP, Suman R. 3D printing applications for healthcare research and development. *Glob Health J* [Internet]. 2022 [citado em 2023 Out 25];6(4):217-26. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2022.11.001> doi: 10.1016/j.glohj.2022.11.001
13. Schwartz J, Fermin A, Fine K, Hickey K, Iglesias N, Peralta J, et al. A 3D-printed assistive technology intervention: A phase I trial. *Am J Occup Ther* [Internet]. 2018 [citado em 2023 Out 25];72(1):7211515279p1. Disponível em: <https://doi.org/10.5014/ajot.2018.72S1-RP302B> doi: 10.5014/ajot.2018.72S1-RP302B
14. Lopes H. Custeando impressões e precificando produtos. *Impresso3D* [Internet]. 2021 [citado em 2023 Out 27];9:14-16. Disponível em: <https://impresso3d.com.br/category/ebook/>
15. Dwamena M. How Long Does a 3D Printer Last? *Creativity Ender 3 & Others* [Internet]. 2020 [citado 2023 Out 27]. Disponível em: <https://3dprinterly.com/how-long-does-a-3dprinter-last-creativity-ender-3-others/>
16. Tenório JM, Cohrs FM, Sdepanian VL, Pisa IT, Marin HF. Desenvolvimento e Avaliação de um Protocolo Eletrônico para Atendimento e Monitoramento do Paciente com Doença Celíaca. *Rev Infor Teórica Apl* [Internet]. 2011 [citado em 2023 Out 27];17(2):210–20. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/2175-2745.12119> doi: 10.22456/2175-2745.12119
17. Korall AMB, Godin J, Feldman F, Cameron ID, Leung P, Sims-Gould J, et al. Validation and psychometric properties of the commitment to hip protectors (C-HiP) index in long-term care providers of British Columbia, Canada: a cross-sectional survey. *BMC Geriatr* [Internet]. 2017 [citado em 2023 Out 27];17(1):1-13. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12877-017-0493-5> doi: 10.1186/s12877-017-0493-5
18. Zhang J, Stevenson A, Lu V, Zhou A, Bradshaw F, Duchniewicz M, et al. 1106 Epidemiology and Incidence of Upper Limb Fractures, a UK Level 1 Trauma Centre Perspective. *Br J Surg* [Internet]. 2023 [citado em 2023 Out 28];110(Suppl 7):znad258.007. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/bjs/znad258.007> doi: 10.1093/bjs/znad258.007
19. Napora JK, Demyanovich H, Mulliken A, Oslin K, Pency R, Slobogean G, et al. Patients' preferences for occupational therapy after upper extremity fractures: a discrete choice experiment. *BMJ Open* [Internet]. 2020 [citado em 2023 Out 28];10(10):e039888. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2020-039888> doi: 10.1136/bmjopen-2020-039888
20. Zadpoor A, Malda J. Additive Manufacturing of Biomaterials, Tissues, and Organ. *Ann Biomed Eng* [Internet]. 2017 [citado em 2023 Out 28];45(1):1-11. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10439-016-1719-y> doi: 10.1007/s10439-016-1719-y
21. Silva NR. Projeto de uma prótese mioelétrica de baixo custo manufaturada via impressão 3D [Trabalho de Conclusão de Curso]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2018. 107 p.
22. Rajkumari K, Chandra P, Balaji P. Three-Dimensional Printing A Revolutionary Technology. *J Clin Diagn Res* [Internet]. 2018 [citado em 2023 Out 28];12(12):12-8. Disponível em: <https://doi.org/10.7860/JCDR/2018/37752.12410> doi: 10.7860/JCDR/2018/37752.12410
23. Santos Júnior HCF, Ribeiro APM, Rodrigues Júnior JL. O desenvolvimento e confecção de recursos para reabilitação de lesões relativas à mão e ao membro superior através do uso de impressão 3D. *REAS* [Internet]. 2023 [citado em 2024 Set 02];23(4):e12048. Disponível em: <https://acervomais.com.br/index.php/saude/article/view/12048> doi: <https://doi.org/10.25248/reas.e12048.2023>
24. Patterson RM, Salatin B, Janson R, Salinas SP, Mullins MJS. A current snapshot of the state of 3D printing in hand rehabilitation. *J Hand Reab* [Internet]. 2020 [citado em 2024 Set 02];33(2):156-63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jht.2019.12.018>
25. Deus AKG, Lima EF, Saad OT, Costa NM, Dourado EP, Souza ALR. Atendimento fisioterapêutico em paciente com sequelas motoras decorrente de fratura de olecrano – relato de experiência. *Braz J Develop* [Internet]. 2019 [citado em 2023 Out 28];5(12):30451-6. Disponível em: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n12-166> doi: 10.34117/bjdv5n12-166
26. Rätz R, Conti F, Müri RM, Marchal-Crespo L. A Novel Clinical-Driven Design for Robotic Hand Rehabilitation: Combining Sensory Training, Effortless Setup, and Large Range of Motion in a Palmar Device. *Front Neurobot* [Internet]. 2021 [citado em 2024 Set 02];20(15):748196. doi: 10.3389/fnbot.2021.748196
27. Lin H, Shi L, Wang D. A rapid and intelligent designing technique for patient-specific and 3D-printed orthopedic cast. *3D Print Med* [Internet]. 2016 [citado em 2023 Out 28];2(1):1-10. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s41205-016-0007-7> doi: 10.1186/s41205-016-0007-7
28. Joseph M, Constant R, Rickloff M, Mezzio A, Valdes K. A survey of client experiences with orthotics using the QUEST 2.0. *J Hand Ther* [Internet]. 2018 [citado em 2023 Out 28];31(4):538-43. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jht.2018.07.002> doi: 10.1016/j.jht.2018.07.002
29. Keller M, Guebali A, Thieringer F, Honigmann P. In-hospital professional production of patient-specific 3D-printed devices for hand and wrist rehabilitation. *Hand Surg Rehabil* [Internet]. 2021 [citado em 2024 Set 02];40(2):126-33. doi: 10.1016/j.hansur.2020.10.016

Submetido em 29/11/2024

Aceito em 08/10/2024