

**U**

ma prótese transtibial – um dispositivo para pessoas que passaram por amputação da perna abaixo do joelho – feita de bambu e resina de mamona está perto de virar um produto comercial por um preço mais acessível do que os aparelhos construídos com insumos importados de fibra de carbono e resina epóxi, como as próteses disponibilizadas pelo Sistema Único de Saúde (SUS). A tecnologia, desenvolvida na Universidade Estadual Paulista (Unesp), foi patenteada pela Agência Unesp de Inovação (Auin) e já há uma negociação avançada com uma empresa interessada em fabricá-la.

“Avaliamos que poderemos vender a prótese de bambu por menos de R\$ 2 mil, a depender do porte da linha produtiva e da capacidade fabril, enquanto as de fibra de carbono custam três vezes mais ao SUS”, afirma o designer de produtos João Victor Gomes dos Santos, idealizador do projeto. De acordo com o pesquisador, que fez graduação, mestrado e doutorado na Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design (FAAC) da Unesp, *campus* de Bauru, o bambu apresenta propriedades mecânicas muito parecidas com as da fibra de carbono, com a vantagem de ser um biomaterial barato e abundante no Brasil.

A oferta de uma prótese nacional com preço mais acessível, avalia Santos, poderá permitir ao SUS reduzir a fila de espera pelo equipamento. “Hoje, um amputado leva um ano ou mais até ser contemplado”, afirma. Segundo a Sociedade Brasileira de Angiologia e Cirurgia Vascular, apenas em 2022 um total de 31.190 pessoas passaram por amputações de pés ou pernas na rede pública de saúde, uma média de 85 por dia.

Equipamentos acessíveis

Novos centros de pesquisa impulsionam o desenvolvimento de próteses, exoesqueletos e cadeiras de rodas que buscam melhor custo-benefício

DOMINGOS ZAPAROLLI

Na fabricação de compósitos reforçados por bambu, explica o designer, as fibras são retiradas da região externa do vegetal próxima à casca e coladas com resina de mamona. “Além de ecológicamente corretos, recicláveis e econômicos em comparação às fibras sintéticas, os compósitos poliméricos reforçados por fibras são adequados a algumas aplicações específicas”, escreveram Santos e colegas em artigo publicado no livro *Design, artefato e sistema sustentável* (Blucher, 2018). Essa versatilidade se dá porque o compósito pode ser personalizado conforme a necessidade de uso e ter a capacidade de ser moldado em formatos complexos não obtidos facilmente por outros materiais.

Em outro artigo do grupo, publicado nos anais da 6th International Conference on Integrity-reliability-failure, realizado em Portugal, em 2018, eles concluíram, por meio de estudos de simulação computacional, que a prótese transtibial de bambu era resistente para atender satisfatoriamente às necessidades mecânicas de pessoas com até 100 quilogramas.

TECNOLOGIAS ASSISTIVAS

A inovação desenvolvida por Santos é um dos projetos escolhidos para ser apoiado pelo Centro Multidisciplinar para o Desenvolvimento de Tecnologia Assistiva (CMDTA), um dos dois novos Centros de Ciência para o Desenvolvimento (CCD) criados pela FAPESP em 2024 com o propósito de elaborar tecnologias voltadas para pessoas com deficiências que limitam o esforço físico. O outro CCD é o Centro de Tecnologias Assistivas para as Atividades da Vida Diária (CTecvida), sediado na Universidade de São Paulo (USP).

O CMDTA tem sede na Unesp de Bauru e é composto por 42 pesquisadores de 17 diferentes

laboratórios da Unesp, USP e das universidades federais de São Carlos (UFSCar) e do ABC (UFABC). A unidade também mantém parcerias com o Centro Especializado em Reabilitação Sorri-Bauru, a Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais (Apae) e o Hospital Amaral Carvalho, presente em Bauru e em Jaú (SP).

“Hoje, os pesquisadores trabalham isolados, cada um cuida de seu projeto. Com o centro, nossa proposta é incentivar o intercâmbio e a cooperação entre especialistas de diversas áreas do conhecimento para fomentar a inovação”, diz o físico Carlos Roberto Grandini, da Faculdade de Ciências da Unesp de Bauru e diretor do CMDTA.

O projeto da prótese de bambu é um exemplo da cooperação apregoada por Grandini. Desenvolvido no Laboratório de Ergonomia e Interfaces da FAAC-Unesp, ele receberá recursos do CMDTA para a produção de protótipos que serão testados em pacientes do Sorri-Bauru.

Muitos dos projetos apoiados pelo CMDTA já estão em andamento nos laboratórios associados. Um exemplo é uma prótese transradial, para pessoas que passaram por amputação no braço, abaixo do cotovelo, produzida durante o mestrado do designer Bruno Borges Silva. Elaborada em processo de codesign – sistema em que o usuário participa da criação do produto –, utiliza a prototipagem rápida, na qual o modelo é confeccionado com base em dados digitais e finalizado por meio de impressão tridimensional. A prótese é dotada de um sistema mioelétrico, em que sensores captam sinais naturalmente emitidos pelos músculos sobre a intenção de movimento do usuário. Essa informação é transmitida por bluetooth para a prótese completar o movimento, como segurar um copo ou abrir uma embalagem.

Prótese transtibial (à dir. e na página ao lado) feita a partir de fibras de bambu e resina de mamona





Protótipo de prótese transradial destinada a pessoas que sofreram amputação no braço

“Os sensores capturam o sinal da atividade elétrica muscular em um ponto anterior ao coto [ponto da amputação], no caso, no braço do usuário. É aí que eles são instalados”, informa o designer Luís Carlos Paschoarelli, professor de design da FAAC-Unesp. “A princípio, o sistema poderia captar os sinais diretamente do cérebro, mas isso exigiria novos estudos e investimentos.” Sensores e bluetooth, explica o pesquisador, formam um conjunto integrado à prótese.

O codesign, diz Paschoarelli, é uma estratégia inovadora no desenvolvimento de tecnologias assistivas e tem a capacidade de ampliar a aceitabilidade da prótese pelo usuário. Em artigo publicado em 2020 na revista *Educação Gráfica*, o pesquisador avalia a relação da estética de equipamentos assistivos e a autoestima de pessoas com deficiência. “A prótese customizada melhora a qualidade funcional do produto e atende também a desejos estéticos dos usuários, minimizando a rejeição e o abandono do dispositivo”, afirma o pesquisador.

A expectativa de Paschoarelli é que o intercâmbio entre as diferentes áreas de pesquisas impulse o projeto por meio de sugestões sobre os materiais mais adequados para as próteses e outras tecnologias assistivas. O primeiro protótipo foi construído com ácido polilático (PLA), um termoplástico biodegradável de origem natural. “Esse material é ótimo para impressão 3D, mas se mostrou pesado para o dia a dia do usuário”, avalia.

JOELHO MECÂNICO E DESAFIOS

Outro projeto do CMDTA é o de um joelho mecânico monocêntrico, ou seja, com um único eixo de rotação, que agrupa funcionalidades inexistentes nas próteses fornecidas pelo SUS. Entre as inovações há um sistema que permite ao usuário flexibilizar o movimento do joelho. Nas próteses tradicionais, o joelho, quando em marcha, está sempre estendido.

O novo modelo apresenta um sistema de bloqueio controlado pelo usuário, que pode optar entre travar a prótese no modo joelho estendido ou desbloquear e permitir que seja flexionado. “É um recurso que hoje só está disponível em joelhos mecânicos de alta performance, voltados para atletas”, diz o fisioterapeuta Guilherme Eleutério Alcalde, um dos idealizadores do projeto.

O joelho mecânico tem um mecanismo de mola que amortece os impactos durante a marcha, reduzindo dores no coto. “Esses dois sistemas que incorporamos ao equipamento geram conforto, naturalidade na marcha e permitem maior velocidade no deslocamento”, diz Alcalde.

A dissertação de mestrado apresentada em 2024 por Marcelo Alves de Macedo, um dos coautores do projeto, apresenta uma comparação entre idosos que utilizaram por seis meses a prótese tradicional e um grupo da mesma faixa etária que usou a nova



Pesquisador da Poli-USP trabalha em exoesqueleto robótico para membros inferiores

versão da equipe da Unesp. Os resultados indicaram que o novo protótipo favoreceu a redução do gasto energético, aumentando a eficiência na locomoção. Além disso, foi observada uma melhora na simetria da marcha, fator crucial para a diminuição do risco de quedas e lesões. Os usuários da nova prótese também conseguiram realizar atividades diárias com menor esforço e dor.

Segundo Grandini, que é coordenador do projeto, a estratégia para oferecer um produto com mais qualidade e preços compatíveis com os modelos tradicionais é a substituição da matéria-prima utilizada. Os joelhos mecânicos oferecidos pelo SUS são produzidos 100% em aço inoxidável. O protótipo da Unesp é de aço inoxidável e polipropileno, mais barato. Uma nova versão, em liga de titânio, está em desenvolvimento. A composição da liga está sendo mantida em segredo até que um depósito de patente seja efetivado. “Nossa prótese deverá ter uma relação custo-benefício muito boa”, afirma o diretor do CMDTA.

A maior dificuldade para a criação de uma prótese que permita flexibilizar o joelho, explica o fisioterapeuta Rafael Oliveira, responsável pela construção do protótipo, é garantir que o seu tamanho seja semelhante ao da articulação humana e que ela tenha toda a tecnologia associada para garantir o caminhar com segurança e equilíbrio. “O controle mecânico para auxiliar a marcha depende principalmente de um sistema de amortecimento de impacto e resistência que permita a adequada flexão e extensão do joelho. Esses parâmetros variam de uma pessoa para outra, o que torna desafiador projetos de joelhos mecânicos”, diz.

Alunas do Laboratório de Elasticidade e Biomateriais da Unesp realizam análise mecânica de liga biomédica usada em joelho monocêntrico



FOTOS 1 BRUNO BORGES DA SILVA/UNESP 2 E 3 LÉO RAMOS CHAVES/REVISTA PESQUISA FAPESP

Assim como ocorre em outras áreas de pesquisa, um desafio para os desenvolvedores de tecnologias assistivas no país é transpor a fase de projeto para o da industrialização. Um problema é o perfil das poucas empresas brasileiras dedicadas ao setor. “Predominam micro e pequenos fabricantes”, observa a economista Amanda Amorim Rodrigues, do Laboratório de Inovação de Tecnologia em Saúde da Escola Paulista de Medicina da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp).

Rodrigues é coautora de artigo publicado em 2024 no *Jornal Brasileiro de Economia da Saúde* que analisa as perspectivas econômicas do mercado de tecnologia assistiva. Nele, ela relaciona a escassez da oferta de produtos à falta de incentivo e financiamento no país para pesquisa, desenvolvimento e industrialização.

“Infelizmente, o que dispomos hoje em termos de tecnologia assistiva nacional é bastante tímido”, reconhece a médica fisiatra Linamara Rizzo Battistella, diretora do Instituto de Medicina Física e de Reabilitação (IMREA) do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP e ex-secretária estadual dos Direitos das Pessoas com Deficiência.

Battistella avalia que o Brasil tem centros de inovação capacitados e potencial para produzir e distribuir o que os pacientes precisam. Por outro lado, o SUS, com seu poder de compra, representa uma grande oportunidade para os fornecedores. “Ainda assim, em vários itens temos uma grande dependência de importação, seja de insumos ou de componentes”, diz a médica fisiatra.

Para a médica fisiatra, os centros de pesquisas brasileiros precisam estar alinhados com a indústria, para que a inovação e o desenvolvimento surgidos em seus laboratórios se transformem em produtos de mercado oferecidos pelo SUS. “Falta conversa entre o setor público e os representantes das empresas”, diz.

FOCO EM DEMANDAS REAIS

Realizar essa aproximação é uma das propostas do CTecvida, com sede na USP. “Queremos integrar os diferentes atores necessários para tornar viável uma produção de tecnologia assistiva de qualidade e competitividade”, diz o engenheiro Arturo Forner-Cordero, coordenador do Laboratório de Biomecatrônica da Escola Politécnica (Poli) da USP.

Além da Poli e do IMREA, o CTecvida agrupa a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), a Secretaria de Estado dos Direitos da Pessoa com Deficiência, o Instituto Mara Gabrilli, voltado para a inclusão de pessoas com deficiência, e a startup Volta Fitness. “Vamos desenvolver tecnologias que atendam às reais demandas dos

usuários. E também queremos atrair os fabricantes que levarão esses equipamentos ao mercado”, diz Forner-Cordero.

Entre os projetos já em andamento do CTecvida abrigados na Poli e na EESC estão dois modelos de exoesqueletos robóticos para os membros inferiores, destinados a vítimas de acidente vascular cerebral (AVC), doença de Parkinson, lesão da medula espinhal, entre outras. Ao contrário dos equipamentos tradicionais de origem europeia e norte-americana – sistemas de grande porte que realizam todo o movimento para os usuários –, os exoesqueletos nacionais propõem estruturas enxutas e combinam o esforço do usuário com o apoio mecânico. Para isso, são dotados de softwares que interpretam a intenção de movimento e comandam o equipamento para que este complemente a ação necessária (ver Pesquisa FAPESP nº 301).

Agora, os cientistas do CTecvida estão empenhados em desenvolver exoesqueletos compostos de peças modulares, que permitam aos usuários adquirir o aparelho completo ou apenas os equipamentos necessários para sua principal deficiência, por exemplo, restrições de mobilidade no joelho, no tornozelo ou em ambas as articulações.

Forner-Cordero relata que o complemento da estratégia competitiva é garantir que as peças modulares sejam compatíveis, podendo ser usadas em estruturas de exoesqueletos de diferentes fornecedores. Para isso, planejam criar peças-padrão e normas produtivas, que deverão orientar o desenvolvimento e a fabricação dos módulos para que sejam intercambiáveis. Os requisitos para o design integrado de um exoesqueleto modular que geram segurança ao usuário foram apresentados por Forner-Cordero em artigos publicados nos anais da 6ª IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, em 2016. Mais recentemente, os resultados de ensaios com o exoesqueleto foram divulgados na IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics.

O CTecvida também trabalha na criação de cadeiras de rodas modulares que proporcionem mais conforto aos usuários e uma relação custo-benefício vantajosa. A tarefa está a cargo do Laboratório de Estruturas Leves da Unidade de Materiais Avançados (LEL-UNMA) do IPT, em São José dos Campos (SP), em parceria com o IMREA. O projeto está dividido em três etapas distintas.

A primeira, foco da atenção atual, prevê o desenvolvimento de uma cadeira de rodas convencional, com materiais mais anatômicos, mas preço final compatível com os valores pagos pelo SUS em suas aquisições do equipamento. O projeto prevê a substituição do encosto, acento e apoio do braço, fabricados hoje em formatos-padrão com materiais poliméricos. No lugar deles, serão usadas peças anatômicas feitas com espumas termomoldáveis produzidas com material compósito de base polimérica reforçado por fibras sintéticas ou naturais. “É uma solução que se adapta à geometria do corpo e proporciona conforto”, diz o engenheiro industrial Alessandro Guimarães, gerente técnico do LEL.

A princípio, a substituição da matéria-prima tradicional por materiais mais nobres levaria a um aumento de custo. A estratégia para contornar o problema é o uso da técnica de simulação estrutural para analisar o impacto dos carregamentos mecânicos na peça, a ser moldada sob medida. “Usaremos os materiais mais nobres nas partes da peça em que realmente tragam benefícios e vamos compor o restante com material mais econômico”, descreve o pesquisador.

Em um segundo momento, a equipe do LEL desenvolverá uma cadeira modular, que permita o uso do mesmo chassi para receber peças diferentes de acordo com a evolução do paciente. “Uma mesma estrutura poderá acompanhar as diferentes fases de crescimento de uma criança, gerando economia para os pais”, diz Guimarães. A terceira etapa do projeto será integrar a cadeira de rodas aos exoesqueletos modulares da Poli e EESC, permitindo ao usuário intercambiar de forma autônoma um equipamento para outro. “Sentado em sua cadeira de rodas, o usuário poderá vestir seu exoesqueleto pela frente e fazer movimentos em pé. Cansado, poderá sentar e despir o exoesqueleto”, vislumbra Forner-Cordero. ●



Cadeira de rodas modular projetada no IPT de São José dos Campos

FOTO LEANDRO APARECIDO DA SILVA ALBINO/IPT