

PROTOTIPAGEM RÁPIDA: UM APOIO DE PÉS ERGONÔMICO PARA AUXILIAR O RETORNO VENOSO

RAPID PROTOTYPING: AN ERGONOMIC
FOOTREST TO ASSIST VENOUS RETURN

Recebido em: 15 de janeiro de 2021
Aprovado em: 24 de março de 2021
Sistema de Avaliação: Double Blind Review
RCO | a. 13 | v. 2 | p. 114-129 | mai./ago. 2021
DOI: <https://doi.org/10.25112/rco.v2i0.2543>

Juliana Fernandes Pereira juliana.f.pereira@unesp.br

Doutoranda em Design com Ênfase em Ergonomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Bauru/Brasil).

João Eduardo Guarnetti dos Santos joao.guarnetti@unesp.br

Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Botucatu/Brasil).
Professor adjunto e Livre Docente II da Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica,
na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Bauru/Brasil).

RESUMO

O avanço tecnológico crescente das últimas décadas vem trazendo novos conceitos de trabalho, aumentando o serviço realizado à frente de máquinas e computadores, na postura sentada, e, conseqüentemente, aumentando a incidência do sedentarismo, pondo em risco a saúde dos indivíduos que mantêm a mesma postura por longos períodos. Juntamente com este avanço, novas proporções estão se dando quanto a produção e construção de produtos e projetos, que vem se ressignificando por meio das facilidades e qualidades trazidas pela prototipagem rápida. A partir desta problemática quanto à manutenção da postura sentada, e das positivas perspectivas trazidas pela impressão 3D, o presente trabalho buscou encontrar formas para minimizar os aspectos negativos por meio das possibilidades e estudos do design ergonômico multidisciplinar, identificando as características do contexto e buscando soluções em projeto. Com isto, foi desenvolvido um apoio de pés de movimentação ativa para melhorar os aspectos salutaros dos membros inferiores dos indivíduos que permanecem em postura sentada. Esta compreensão foi dada pela avaliação de usabilidade realizada por meio da experiência dos usuários, na finalidade de encontrar características positivas para serem replicadas e negativas para serem descartadas. Após o desenvolvimento do produto por meio da prototipagem rápida, foi avaliada sua eficácia em relação às melhorias quanto à volumetria dos membros inferiores, com um n=60, sendo 30 membros inferiores no grupo controle, os quais não realizaram movimento ativo, e 30 no grupo intervenção, os quais realizaram movimentação ativa com o protótipo. Foi possível observar a diferença entre a volumetria, afirmando que o uso do protótipo gerou melhoria no fluxo sanguíneo dos membros inferiores em relação ao valor basal.

Palavras-chave: Design. Produto. Ergonomia.

ABSTRACT

The increasing technological advance of the last decades has brought new concepts of work, increasing the service performed in front of machines and computers, in the sitting posture, and consequently, increasing the incidence of sedentarism, putting at risk the health of the individuals who maintain the same posture for long periods. Along with this advance, new proportions are taking place regarding the production and construction of products and projects, which has been reframed through the facilities and qualities brought by rapid prototyping. Based on this problem regarding the maintenance of sitting posture, and the positive perspectives brought by 3D printing, the present work sought to find ways to minimize the negative aspects through the possibilities and studies of multidisciplinary ergonomic design, identifying the characteristics of the context and seeking solutions in project. With this, an active movement footrest was developed to improve the salutary aspects of the lower limbs of individuals who remain in a sitting posture. This understanding was given by the usability evaluation carried out through the users' experience, in order to find positive characteristics to be replicated and negative ones to be discarded. After product development through rapid prototyping, its effectiveness in relation to improvements in lower limb volumetry was evaluated, with an n = 60, with 30 lower limbs in the control group, which did not perform active movement, and 30 limbs in the intervention group, who performed active movement with the prototype. It was possible to observe the difference between volumetry, stating that the use of the prototype generated an improvement in the blood flow of the lower limbs in relation to the baseline value.

Keywords: Design. Product. Ergonomics.

1 INTRODUÇÃO

O design ergonômico, inserido à realidade dos postos de trabalho, desempenha um imprescindível papel no desenvolvimento, objetivando melhorias quanto à eficácia na realização de tarefas, bem como, na saúde dos trabalhadores. Isto pode ocorrer por meio de alterações de design feitas em layout de postos de trabalho e em mobiliário, no intuito de promover as mudanças posturais necessárias para a realização de movimentos corporais ideais correspondentes às tarefas exigidas pelas suas funções, promovendo qualidade de vida e garantindo a saúde do trabalhador e sua segurança (IIDA, 2016).

Alguns indivíduos, durante o exercício da sua função no trabalho, mantém por longos períodos, a postura sentada com seus membros inferiores (MMII) na permanência estática. Esta imobilidade momentânea deve ser evitada devido ao fato de que a manutenção de mesma postura pode prolongar a contração muscular (GRANDJEAN, 1998).

Ao ocorrer a contração muscular, tem-se como possível consequência o estrangulamento dos capilares dos membros inferiores, ocasionando em problemas relacionados à irrigação na musculatura. Esta minimização ou ausência da devida irrigação decorre do aumento da pressão interna, dando origem à fadiga muscular. Contudo, caso haja a devida movimentação alternada do músculo da panturrilha, como a contração e o relaxamento, o volume sanguíneo torna-se até vinte vezes maior e mais eficaz em relação ao repouso, melhorando o retorno venoso (IIDA, 2016).

Com base nestas informações iniciais, foi desenvolvida uma pesquisa que teve como objetivo promover, por meio do design ergonômico, melhorias quanto o retorno venoso dos membros inferiores em indivíduos que permanecem por longos períodos na postura sentada durante o serviço. Partindo dessa proposição, foi desenvolvido um protótipo ergonômico de apoio plantar que permite a realização de movimentos ativos dos membros inferiores que tinha o intuito de promover a contração e relaxamento da musculatura da panturrilha. O protótipo foi modelado por meio do software "Solidworks 2017", plataforma que permite a exportação de arquivo para a leitura e impressão 3D, e construído por meio de uma impressora FDM, a fim de possibilitar os testes de usabilidade quanto a sua eficácia, segundo seu propósito. A avaliação dos participantes da pesquisa foi realizada em etapas. A primeira consistiu em exames prévios feitos pelo professor e doutor do laboratório vascular da Faculdade de Medicina da UNESP de Botucatu-SP, e a segunda, o teste de usabilidade do protótipo, avaliando a volumetria dos membros inferiores, com os mesmos participantes de uma empresa de Bauru, cidade localizada no interior do estado de São Paulo, Brasil.

2 A ERGONOMIA NAS ORGANIZAÇÕES

De acordo com a ABERGO – Associação Brasileira de Ergonomia (2000), a Associação Internacional de Ergonomia (IEA) considerou a ergonomia como sendo a disciplina que compreende e estuda as relações sistêmicas entre um objeto e seu usuário, utilizando-se de pesquisas, métodos e testes na finalidade de estimular e garantir a qualidade de vida e o bem-viver do trabalhador no sistema em que atua. Seu estudo se baseia em três principais pilares: a ergonomia física, a cognitiva e a organizacional, que será tratada no presente estudo.

A ergonomia organizacional, segundo as definições da ABERGO (2000) tem como enfoque os estudos dos locais e das formas de trabalho, no intuito de minimizar as imposições relacionadas às áreas físicas, bem como as cognitivas do trabalhador. Seu propósito também se baseia em garantir e promover melhorias aos colaboradores quanto o desempenho produtivo, manutenção de saúde, bem como no auxílio da prevenção de patologias. Junto ao ramo da ergonomia organizacional, tem-se a ergonomia física que também está envolvida em ambientes de trabalho, relacionada às características anatômicas humanas, pelos estudos antropométricos, fisiológicos e biomecânico. Esta biomecânica, por sua vez, braço da ergonomia, vinculada às questões organizacionais do trabalho, tem como finalidade evitar patologias e distúrbios musculoesqueléticos decorrentes da má postura.

Deste modo, compreendendo o objetivo e a importância dos ramos da ergonomia, torna-se imprescindível agregar o estudo ergonômico às metodologias de projetos em design, em testes de usabilidade, em estudos dos ambientes de trabalho e em postos ou bancadas de trabalho, para a obtenção de projetos cada vez mais eficientes (HELANDER, 2006).

2.1 O SEDENTARISMO NAS ORGANIZAÇÕES

Durante últimas décadas, devido aos novos meios tecnológicos e formas de se organizar o trabalho, foi notado um crescente aumento nos fatores que levam ao sedentarismo pelo fato de haver a permanência na postura sentada. Isto se deu pela maciça inserção de novos sistemas automatizados, mecânicos e informatizados que acabaram por requerir novos modos de se trabalhar e viver, bem como novas modificações posturais (COENEN et al., 2017).

As variadas funções atreladas ao desenvolvimento tecnológico do trabalho passaram a solicitar aos trabalhadores, cada vez mais, a permanência em postura sentada por longos períodos (SILVA; NAHAS, 2008). E esta manutenção da postura sentada adotada pelos trabalhadores, pode se tornar prejudicial, principalmente, se tratando das suas consequências nos aspectos salutaros dos membros inferiores quanto o retorno venoso.

O ato de permanecer sentado por longos períodos, pode proporcionar a a contração muscular dos membros inferiores contra uma resistência fixa, seja ela dada por um ou por um conjunto de músculos. Havendo esta permanência, seus capilares sanguíneos podem ser estrangulados, o que poderá resultar em pouco suprimento de sangue nos músculos, causando, como consequência a fadiga muscular (VILELA et al., 2011). Entretanto, este estado pode ser minimizado ou evitado pelo ato de contrair e relaxar a musculatura dos membros inferiores, pois o músculo da panturrilha atua como uma bomba sanguínea ativando a circulação dos capilares, aumentando, por conseguinte, o volume sanguíneo em até vinte vezes em relação ao repouso (IIDA, 2016). Vale ressaltar que o músculo da panturrilha, segundo Hoyle-Vaughan (2006), é considerado a bomba sanguínea mais importante em termos de retorno venoso, devido ao fato de ser responsável pela drenagem do sangue contra a gravidade e por reduzir a pressão intravenosa na parte posterior do pé durante o estado de repouso.

Segundo Campos, Albuquerque e Braga (2008), o movimento ativo em relação ao movimento passivo e à permanência em repouso, produz melhores efeitos para a saúde no âmbito do retorno venoso. Assim, para proporcionar um retorno venoso eficiente, aumentando a volemia dos músculos dos membros inferiores, é necessária a realização de movimentos ativos ou de outras atividades laborais que permitam a movimentação adequada dos membros inferiores durante a jornada de trabalho.

Por se tratar de uma realidade presente na vida da maioria dos indivíduos trabalhadores das últimas décadas, torna-se imprescindível a busca por soluções que possam minimizar os possíveis efeitos do sedentarismo e da postura sentada. E trazendo o universo do design no ato de projetar, aos estudos que englobam melhorias na saúde, torna-se possível compreender determinados fatores em objetos do cotidiano dos trabalhadores que são passíveis de modificação.

O design multidisciplinar, para trazer soluções a partir desta problemática apontada, deverá compreender tudo que envolve o retorno venoso, postura e movimento, estudando os braços da ergonomia, fisioterapia e aspectos correlatos à área vascular.

Deste modo, a partir dessa necessidade apontada, foi desenvolvido um projeto em design cujo objetivo principal baseou-se em possibilitar a movimentação ativa ao indivíduo durante a permanência na postura sentada no cumprimento de sua jornada de trabalho.

3 A PROTOTIPAGEM RÁPIDA E O DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Segundo Iida (2016), existem diversas patologias e desconfortos que podem ser desencadeados pelo sedentarismo ou por posturas inadequadas, principalmente pela a permanência por longos períodos.

Entretanto, a utilização de instrumentos auxiliares como apoios para os pés, ajudam na redução de desconforto possivelmente sentido.

A partir deste conhecimento quanto este tipo de instrumento comentado por Itiro lida (2016), foi realizado um estudo em design ergonômico para juntar a eficácia dos apoios plantares convencionais, com um fator inovador para este produto, a inserção da movimentação ativa total dos membros inferiores, a fim de auxiliar na ativação direta da musculatura da panturrilha para o melhor bombeamento do sangue e de seu retorno venoso.

3.1 O DESENVOLVIMENTO DA IDEIA

O protótipo foi desenvolvido a partir de ideias concebidas em pesquisas anteriores realizadas com trinta e cinco funcionários de uma empresa na cidade de Bauru, que mantém a postura sentada durante a carga horária de serviço. Todos os funcionários da empresa escolhida participaram da pesquisa, sendo ao todo vinte e seis mulheres e nove homens, com idades entre dezoito e sessenta e dois anos. É importante observar que todos os participantes mantinham a postura sentada durante toda a jornada de trabalho (oito horas diárias) e faziam uso de apoios para os pés comuns (apoios que permitem movimentos leves como flexão e leve amplitude do tornozelo) em suas estações de trabalho. O tempo médio de uso, entre todos os sujeitos, foi o equivalente a três anos.

Nesta fase inicial, foi aplicado um questionário quanto os aspectos de usabilidade aos trinta e cinco participantes que avaliaram quatro apoios plantares comerciais. Dentre todos os apoios de pés, três foram escolhidos devido à sua constante aquisição e ao fácil acesso ao mercado brasileiro, enquanto o quarto apoio para os pés foi escolhido pela sua funcionalidade, devido ao fato de este possuir componentes eletrônicos que permitem a movimentação passiva dos membros inferiores.

Figura 1 – Quatro apoios plantares



Fonte: a autora (2019)

Conforme traz a Figura 1, o primeiro apoio para pés apresentado aos participantes permite a leve movimentação dos tornozelos (movimentos de flexão e extensão talocrural). O segundo também proporciona o mesmo movimento ativo dos tornozelos. O terceiro, já não permite nenhum movimento, apenas o descanso dos membros inferiores em uma superfície inclinada a trinta graus em relação ao

chão. E o quarto e último, tratou-se de um apoio para pés eletrônico que permite a movimentação passiva dos membros inferiores. A partir disto, os participantes foram questionados sobre os graus de percepção em termos de usabilidade, como conforto, aspectos ergonômicos, funcionalidade e agradabilidade, por meio de uma escala linear avaliativa não visual abrangendo uma pontuação de 0 a 10. O tempo utilizado nesta avaliação foi determinado por cada participante, a fim de que pudessem obter maior precisão e certeza em suas avaliações. A nota 0 seria atribuída às condições menos favoráveis e a nota 10 às mais favoráveis.

Sobre o resultado inicial referente ao item conforto, foi obtido sobre o primeiro apoio plantar a nota média de 7,62; para o segundo a média de 6,78; o terceiro 5,17 e o quarto 7,34. Também foram solicitadas justificativas descritivas para indicar o motivo da escolha de cada nota com base no relato das experiências de cunho pessoal no uso, a fim de conhecer os aspectos positivos e negativos, para proporcionar futuras melhorias. Deste modo, foi possível compreender os motivos que levaram os usuários às suas escolhas: o primeiro apoio para os pés obteve o melhor índice de avaliação, pelo fato de permitir a realização de exercícios rápidos de flexão plantar, além de possuir texturas massageadoras em sua base de contato com a planta do pé e por possuir uma inclinação adequada de 30 ° em repouso, em relação ao chão. O segundo apoio plantar não foi tão bem avaliado pois não possibilitava ao usuário o repouso dos pés, visto que a estrutura de suporte arredondada entre o chão e a base fazia com que o objeto estivesse em constante movimento, além de sua base não possuir texturas confortáveis, fazendo com que o pé escorregasse da superfície. O terceiro, entretanto, não foi tão bem avaliado em relação aos demais, pelo fato de não permitir movimentos, além de não possuir textura e nem angulação ajustável. Já o quarto apoio para os pés obteve um bom feedback, pois permitia ao usuário a movimentação sem qualquer esforço, tratando-se da movimentação passiva por meio de elementos eletrônicos.

O questionamento quanto o quesito agradabilidade foi baseado no aspecto visual, e suas respostas obtiveram as seguintes pontuações: o primeiro com média de 8,17 e justificado pela composição harmoniosa dos elementos e cores; o segundo com média de 6,84, justificado por possuir componentes simples e pouco atraentes, o terceiro obteve a média de 5,34 devido à simplicidade da forma e tipo de material, e por fim, o quarto com média de 5,84 pelo fato de possuir uma grande dimensão e por não ser desmontável.

Em relação à funcionalidade, o primeiro apoio para os pés obteve média de 8,06 por proporcionar movimentos curtos e, ao mesmo tempo, permitir que os pés repousassem no momento desejado. O segundo obteve pontuação de 7,06 devido a possibilidade de realizar movimentos, contudo, não permitia o descanso com facilidade. O terceiro obteve a média de 5,12 pelo fato de não permitir movimentação e o

quarto, 7,5 devido à possibilidade de realização de movimentos passivos, todavia, não permitia descanso a 30 °.

A última pergunta do questionário aplicado, se deu em relação aos aspectos ergonômicos dos objetos, deste modo, obteve-se como resposta, que o primeiro apoio para os pés atingiu a média de 8,12 devido à altura relativamente adequada, e pelo fato de possuir uma base inclinada de acordo com o grau exigido pela norma regulamentadora nº17 - NR 17, segundo BRASIL (2012). O segundo obteve a média de 7,06 justificado por possuir sua base inclinada segundo a angulação adequada, entretanto, não permitia o descanso por não possuir ranhuras em sua superfície de contato com os pés, proporcionando a possibilidade de escorregar. O terceiro apoio para os pés obteve a média de 5,42, e sua justificativa se deu pelo fato de não possuir regulagem, seja pela inclinação ou altura, e nenhum meio para possibilitar a movimentação. E o quarto obteve média de 8,45 por possuir altura adequada e por auxiliar as articulações com seus movimentos.

A partir das respostas iniciais voltadas à aquisição de parâmetros para o desenvolvimento do projeto do protótipo, foi possível construir um apoio para os pés que pudesse integrar as características exigidas pelos participantes. Características como: sola texturizada, massageadora e antiderrapante; inclinação adequada de acordo com as normas ergonômicas; possibilidade de movimentação ativa, possibilidade de repouso e elementos e cores harmoniosas. Todos esses requisitos foram atendidos no desenvolvimento do protótipo.

Apesar da aplicação do questionário parecer fornecer uma visão subjetiva do assunto, ela de fato, torna a visão do contexto, objetiva, pois o ato de coletar dados sobre a satisfação de vários usuários, segundo Wilson (2010), possibilita o conhecimento dos níveis e dos apontamentos quanto a satisfação, e isto feito em massa, torna os dados adquiridos subjetivos em dados objetivos para a criação de novos objetos.

Após realizada a primeira etapa de coleta de informações, foram coletados os dados sobre o ângulo da articulação talocrural para serem comparados com os resultados obtidos pela pesquisa antropométrica realizada no Brasil pelo Instituto Nacional de Tecnologia (INT) apresentados no Manual Ergokit (2008). Além disto, também foi feito um estudo prévio quanto o peso dos membros inferiores dos participantes, apoiados à superfície do apoio para os pés, bem como as medidas (comprimento e largura) dos pés em centímetros. Como resposta, obteve-se que as medidas da angulação adquiridas pela coleta de dados com os trinta e cinco participantes foram compatíveis com as medidas disponíveis pelo estudo do INT (2008), ou seja, para a melhor inclinação da articulação talocrural a fim de proporcionar ao usuário o conforto e eficiência no movimento proposto, é necessário proporcionar a movimentação com um ângulo baseado

em 10 graus para o movimento de flexão plantar e 15 graus para o movimento de extensão. O peso dos membros inferiores na superfície do apoio para os pés variou entre 8 kg a 22 kg, segundo as amplas características físicas dos participantes, demonstrando a necessidade de inserir à confecção do produto, um material resistente. As medidas dos pés descalços também variaram, com comprimento entre 23,4 cm a 29,0 cm e largura entre 8,5 cm a 12,5 cm. A partir destes conhecimentos e dados adquiridos, o pedal do protótipo foi impresso de acordo com as medidas máximas do pé, admitindo uma pequena margem de 1cm na impressão para considerar o uso com calçados.

3.2 A CONSTRUÇÃO

O protótipo foi inicialmente desenvolvido por meio do software SolidWorks 2017, devido à facilidade que o mesmo proporciona para se obter a ampla visualização do projeto em camadas e vistas ortogonais, e pela possibilidade de exportação do arquivo final direto para a impressora 3D, no formato dado em stl.

Sabe-se que a impressão 3D é uma nova área da engenharia de manufatura cuja principal característica é a construção por meio de um modelo virtual pré-definido (ANDERSON, 2012). Conhecida como prototipagem rápida, é expressada um complexo de tecnologias para a construção de peças sólidas, a partir de um objeto virtual tridimensional (OLIVEIRA et al., 2009). Este tipo de construção possibilita a aplicação dos conceitos de produção, apontado como um precursor da nova Revolução Industrial, pelo fato de permitir a construção e transformação de produtos com rapidez e eficiência, facilitando a produção e auxiliando o desenvolvimento da área científica (LIPSON; KURMAN, 2013).

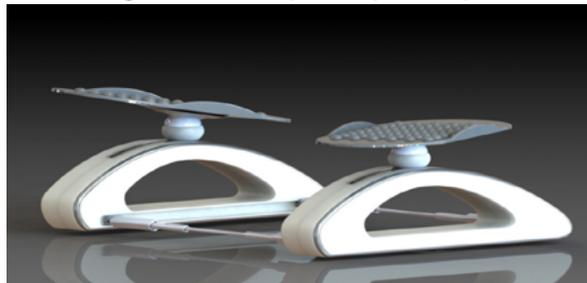
O método de prototipagem rápida escolhido para o desenvolvimento do protótipo, foi o processo de adição de material. Este método tornou-se o mais utilizado devido às técnicas atuais de fabricação 3D, e por ser considerado um processo mais rápido e econômico (reduzindo o desperdício de material, diminuindo os custos de energia e a diminuição do tempo de processo (ALCADE; WILTGEN, 2018).

É importante observar que a qualidade de impressão 3D sólida pode estar suscetível a à diferentes alterações como espessura de cada camada, angulação e tipo de mesa ou superfície, temperatura ambiente a qual a impressão é submetida, alterações específicas das configurações de cada equipamento, orientação do profissional que realiza a impressão, bem como o processo geral de pré e pós-impressão das fases com a retirada do excesso de material (OLIVEIRA et al. 2009).

Dentre as tecnologias atuais para impressões, estão disponíveis: estereolitografia ou SLA, sintetização ou SLS, a laser, e a fusão de deposição ou FDM. A tecnologia FDM foi a escolhida e utilizada para a impressão do protótipo, pois é considerada uma tecnologia de produção de baixo custo pelo fato de possuir modelos de impressoras não profissionais com mesas ou desktops fáceis de serem encontradas

no mercado de impressoras 3D, e adquiridas (ALCADE; WILTGEN, 2018). Segundo os autores, o processo FDM utiliza-se de filamentos termoplásticos que são fundidos e ejetados pelo bico de extrusão do material. Este bico extrusor, assim como a mesa, pode mover-se segundo os eixos verticais (eixo Z) e horizontais (eixos X e Y), proporcionando o depósito do material por camadas sobre camadas.

Figura 2. Protótipo de apoio de pés



Fonte: a autora (2019)

Os materiais utilizados na presente pesquisa para a construção do protótipo foram baseados nos materiais da tecnologia FDM, sendo:

1. ABS (acrilonitrila, butadieno e estireno) um termopolímero formado por um componente elastomérico e dois componentes termoplásticos amorfos. É um polímero muito utilizado devido à sua estética, pois permite a decoração de suas superfícies como hot stamping e a técnica de serigrafia, além de aceitar técnicas de metalização e cromagem (LANDI; SILVA, 2003). Segundo Ultimaker (2017), o ABS tem uma excelente aderência entre as camadas, tornando-o resistente e proporcionando mínimas deformações, portanto, foi escolhido para a base do apoio para os pés para que a superfície pudesse ter um melhor acabamento.
2. PLA, de acordo com Brito et al. (2012) o poli (ácido lático) conhecido como PLA é um poliéster alifático feito pela síntese química provinda do ácido lático na fermentação bacteriana da glicose extraída do milho, ou seja, uma fonte renovável. É um termoplástico, biodegradável, com diversas aplicações e utilizações, além de possuir alta fragilidade e rigidez (KUMAR et al., 2010). Além disto, é resistente à tração tendo boa resolução, deste modo, foi escolhido para a produção do pedal do protótipo (ULTIMAKER, 2017).
3. Nylon, é um material de alta durabilidade pois possui resistência à abrasão e a impactos, além de ser resistente a diversos produtos químicos, facilitando sua limpeza. Devido estas características, foi utilizado para a camada extra da textura do pedal, podendo ter contato direto com solas de calçado (ULTIMAKER, 2017).

A produção das peças, foi realizada por meio de terceiros, utilizando a impressora FDM Moust Builder Mega 3D de volume de 300x200x320 mm (LxPxA). O percentual de preenchimento das peças sólidas variou entre 30 a 50%, com 03 camadas de casca para garantir a resistência, devido ao peso dos membros inferiores e à pressão exercida sobre o material. Para a peça texturizada e flexível acoplada ao pedal, foi utilizada uma configuração de preenchimento de 40% além de 04 camadas de concha para promover resistência. O tempo de produção variou de acordo com a dimensão de cada peça.

Esta configuração possibilitou a criação de um protótipo resistente à função de movimento e pode ser replicada em futuras reimpressões de apoios para os pés, mantendo medidas básicas e ângulos adequados em novos produtos com diversos formatos.

Durante a utilização do apoio para os pés, o usuário pode definir a velocidade com que os pedais se movem, de acordo com o conforto necessário para a movimentação, a fim de simularem o movimento de caminhada, sincronizando o movimento para alternância ou concomitância dos pés na elevação e flexão plantar, bem como nos movimentos de inversão e eversão. A curvatura da base foi criada com uma angulação adequada de acordo com os estudos da NR 17 - Norma Regulamentadora Brasileira nº 17 de Ergonomia (BRASIL, 2012) e INT (2008), que pelo eixo vertical do pedal, também permite movimentos circulares.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES DA AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO

Para a avaliação geral do protótipo foi realizado um ensaio clínico de modo randomizado com os mesmos funcionários da empresa que participaram da primeira pesquisa, entretanto, esta segunda etapa foi aplicada a somente trinta trabalhadores, entre 18 e 60 anos. Cinco participantes foram excluídos em relação ao total de sujeitos da avaliação anterior, em função dos requisitos solicitados para a nova etapa. Os critérios de exclusão utilizados foram pensados no intuito de não ocasionar problemas aos participantes, sendo estes: apresentação de histórico familiar de doença tromboembólica, classificação CEAP de C3 ou acima, estar no período do puerpério, gravidez, obesidade, feridas em membros inferiores, diabetes, fazer uso de anticoagulantes e uso de gesso ou talas nos membros inferiores.

Os trinta indivíduos tiveram seus membros inferiores classificados em dois grupos distintos: grupo intervenção e controle, gerando um total de $n = 60$. Desta forma, um dos membros inferiores realizaria exercícios enquanto o outro permaneceria em repouso.

Primeiramente, todos os participantes foram avaliados pelo USD (Ultrassom Doppler) no laboratório vascular do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da UNESP de Botucatu, para serem verificados

os critérios de exclusão. Após essa etapa inicial, durante a jornada de trabalho na empresa de Bauru, os membros inferiores dos participantes foram avaliados em 3 momentos distintos, no aparelho de pletismografia com água, para avaliação da volumetria dos membros inferiores:

1. Momento anterior ao início do exercício com o protótipo: foi registrado o deslocamento inicial da água de cada membro inferior. Para a padronização do diâmetro do membro, os participantes mergulharam os membros inferiores, um de cada vez na cuba volumétrica com água, e após a medição da volumetria, a área correspondente à panturrilha foi medida por uma fita métrica, 10cm abaixo da crista tibial, e no tornozelo (acima do maléolo).
2. Após as marcações iniciais, cada participante foi submetido ao exercício com apenas um dos membros inferiores (o membro pertencente ao grupo intervenção), deixando o outro membro em repouso (grupo controle). Ao meio do dia, a medição foi realizada novamente.
3. Após a segunda medição, cada participante daria continuidade com o exercício do mesmo modo, para nova medição ao final da jornada de trabalho.

Como resultado desta etapa final, verificou-se que a maioria dos participantes do grupo controle obteve um aumento no volume de membros inferiores, indicando edema em relação ao estado inicial. O grupo controle, com os membros inferiores direito e esquerdo, obteve aumento médio de volume de 58,83ml em relação ao volume inicial. E o grupo intervenção que utilizou o protótipo, garantiu uma melhora no retorno venoso, obtendo a diminuição média do volume do membro inferior de 152ml em relação ao volume inicial.

Foi possível obter os dados estatísticos finais da pesquisa quanto ao volume dos membros inferiores, por meio do software BIOESTAT, indicando uma melhora efetiva no retorno venoso com a utilização do protótipo. Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov para verificar se os dados seriam paramétricos, sob essa perspectiva, a média e o desvio padrão foram obtidos pelas duas amostras independentes com o "Teste T". O "Teste T" teve o intuito de determinar a existência de diferenças significativas entre os dados coletados de dois grupos distintos para que suas características pudessem ser relacionadas. As colunas de dados dos dois grupos Intervenção e Controle foram analisados quanto à volumetria e mensuração das áreas dos membros inferiores.

Com os resultados apresentados em relação ao volume dos membros inferiores, percebeu-se o trabalho com P significativo assumido em 0,05%, gerando dados estatísticos. O nível de significância se baseou no valor de 0,05. Deste modo, justifica-se o dado estatístico pela média adquirida do valor basal da volumetria dos membros inferiores do grupo intervenção que passou de 1926,6 ml a 1790,3 ml após o final de um dia, gerando o $P= 0,025$.

Segundo Campos, Albuquerque e Braga (2008), o fluxo sanguíneo na cinesioterapia ativa é mais eficiente em relação ao estado do repouso. E por meio da demonstração das alterações quanto a volumetria nesta pesquisa, foi possível constatar que o movimento ativo por meio do protótipo, contendo as configurações adequadas para resistência do material em sua função, e medidas antropométricas de acordo com os padrões ergonômicos e biomecânicos, mostrou-se mais eficaz do que a manutenção em repouso dos membros inferiores.

Assim, após os resultados referentes à utilização do protótipo e a diminuição significativa dos dados quanto a volumetria dos membros inferiores foi possível compreender a importância de um apoio para os pés que possibilite o aumento da mobilidade da articulação talocrural e do movimento ativo como simulação de caminhada.

As diferenças entre o protótipo criado e os apoios para os pés já existentes no mercado foram encontradas, sendo elas: o protótipo permite ao usuário a realização do movimento ativo simulando a caminhada, podendo aumentar o tônus muscular, melhorar a mobilidade da articulação talocrural, e que se combinada com a competência da válvula venosa pode melhorar o retorno venoso. Além disso, o pedal do protótipo é multiaxial, que permite, deste modo, não só a flexão e extensão plantar, como a maioria dos apoios de pés existentes, mas maiores amplitudes da articulação talocrural, como os movimentos de eversão plantar e inversão. Além disso, é possível realizar no protótipo a movimentação separada de cada membro inferior alternadamente, ou com os membros inferiores concomitantemente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, a prototipagem rápida vem agregando informação e ampliando o conceito de construção e produção devido sua facilidade, agilidade e qualidade na impressão dos projetos, auxiliando as pesquisas em diferentes áreas.

Por meio de avaliações anteriores, foi possível identificar as características positivas necessárias para a construção de um protótipo de apoio de pés ergonômico, que atendesse aos requisitos básicos das normas regulamentadoras ergonômicas e às características sugeridas e avaliadas pelos usuários de apoios de pés, referindo-se às suas experiências de uso.

A presente pesquisa utilizou-se da tecnologia da prototipagem rápida para produzir o protótipo no intuito de testar sua eficácia.

Sobre os resultados obtidos com o teste de protótipo, de acordo com a amostra da etapa final de coleta de dados, n = 30 do grupo controle, foi possível identificar como funciona o processo físico dos

membros inferiores dos indivíduos que permanecem na postura sentada, quanto ao retorno venoso. A avaliação foi realizada durante um dia de trabalho a fim de simular fielmente a rotina dos trabalhadores. Os mesmos sujeitos que participaram com o membro inferior no grupo controle, também participaram com o outro membro inferior como grupo intervenção, totalizando n = 60 (pelo método de randomização na escolha dos membros inferiores).

Como resultado final, foi possível observar a diferença entre as volumetrias dos grupos, trazendo dados estatísticos sobre a melhoria em relação ao edema.

Por meio desta pesquisa, foi possível afirmar que o movimento ativo pelo protótipo impresso, em relação ao valor basal, gerou melhora no fluxo sanguíneo devido à eficácia da compressão muscular da panturrilha, dada pela contração da musculatura, reduzindo a estase no segmento.

A partir destes resultados positivos iniciais, espera-se criar novos protótipos com designs diferentes, utilizando a configuração de impressão já estipulada nesta pesquisa, adequada para a replicação deste tipo de produto.

AGRADECIMENTOS

Registro o agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

ABERGO. **A certificação do ergonomista brasileiro**. Editorial do Boletim 1/2000, Associação Brasileira de Ergonomia, 2000.

ALCALDE, E.; WILTGEN, F. Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: Passado, Presente e Futuro. **Revista Ciências Exatas**, v. 24, n. 2. 2018.

ANDERSON, C. **Makers the New Industrial Revolution**. Elsevier Brazil. 2012

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Manual de Aplicação da Norma Regulamentadora nº 17 (NR-17)**. 2. ed. Brasília: MET. 2012.

- BRITO, G. F. *et al.* Tenacification of poly (lactic acid) by the addition of the terpolymer (ethylene / methyl acrylate / glycidyl methacrylate). **Poly: Science and Technology**, v. 22, n. 2. 2012.
- CAMPOS, C. C. C; ALBUQUERQUE, P. C; BRAGA, I. J. S. Avaliação do volume de fluxo venoso da bomba sural por ultra-sonografia Doppler durante cinesioterapia ativa e passiva: um estudo piloto. **Revista J. Vasc. Bras.**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 325-332, dez. 2008.
- COENEN, P.; GILSON, N.; HEALY, G. N.; DUNSTAN, D. W.; STRAKER, L. M. A qualitative review of existing national and international occupational safety and health policies relating to occupational sedentary behaviour. **Applied Ergonomics**, n. 60, p. 320-333. 2017.
- DUL, J.; WEERDMEEESTER, B. **Practical Ergonomics**. Traduzido por Itiro lida. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blucher. 2004.
- GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia**: adaptação do trabalho ao homem. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 1998.
- HELANDER, M. **A guide to human factors and ergonomics**. 2. ed. New York: Taylor & Francis Group, 2006.
- HOYLE-VAUGHAN G. **Treatment of leg ulcers**. Emerg Nurse, 2006.
- IIDA, I. **Ergonomia**: Projeto e Produção. 2. ed. São Paulo: E. Blucher. 2016.
- INT. Instituto Nacional de Tecnologia. Divisão de Desenho Industrial. **Ergokit**. 2008. Disponível em: <http://www.int.gov.br/Novo/Desenho_Industrial/ergokit.html>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- KUMAR, M.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K.; PARVAIZ, M. R. **Bioresource Technology**, 101 (21), pp. 8406-8415, 2010. PMID:20573502. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.075>>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- LANDI, T. R. L. *et al.* Study of the effect of ionizing radiation with electron beam on Acrylonitrile Butadiene Styrene-ABS terpolymer. **Journal Mackenzie Engineering and computation**, v. 4, n. 4, 2003.
- LIPSON, H.; KURMAN, M. **Fabricated the New World of 3D Printing**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.

MARTINEZ, A. C. P.; SOUZA, D. L. de; SANTOS, D. M. dos; PEDROTI, L. G.; CARLO, J. C.; MARTINS, M. A. D. Avaliação do comportamento mecânico dos polímeros ABS e PLA em impressão 3D visando simulação de desempenho estrutural. **Gestão & Tecnologia De Projetos**, v. 14, n. 1, 2019.

OLIVEIRA, M. F.; MAIA, I. A.; AL-CHUEYR, T.; PASCHOAL, G. H. L.; BERNARDES, L. F.; MOREIRA, L. C.; SILVA, J. V. L. Explorando os recursos das tecnologias de prototipagem rápida - SLS e FDM - em aplicações especiais. **Anais do 10º congresso brasileiro de polímeros** – Foz do Iguaçu, PR. 2009.

REDWOOD, B.; SCHÖFFER, F.; GARRET, B. **The 3D Printing Handbook** – Technologies, Design and Applications. Arnhem: Coers & Roest 3D Hubs B.V., 2017.

SILVA, D. K.; NAHAS, M. V. Prescrição de exercícios físicos para pessoas com doença vascular periférica. **Rev. Bras. Ciên. e Mov**, Brasília, v. 10, n. 1. 2008.

ULTIMAKER. **Ficha técnica ABS, Nylon e PLA**. Ed. Ultimaker, 2017.

VILELA JUNIOR, G. B.; HAUSER, M. W.; OLIVEIRA, A. L. **Cinesiologia e Biomecânica**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2011.

WILSON, C. **User experience re-mastered** - Your guide to getting the right design. Burlington, MA: Morgan Kauffmann, 2010.