

A fabricação digital como ferramenta para a personalização e ressignificação de próteses de membros inferiores

Raissa Gonçalves Caselas

Universidade de São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/3240675359768108>

raissacaselas@gmail.com

Paulo Eduardo Fonseca de Campos

Universidade de São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/1619825923860178>

Resumo:

Pessoas que passam por cirurgias de amputação de membros podem apresentar sintomas como ansiedade e depressão, advindos da brusca mudança em seus corpos e a partir do uso de próteses. Nesse sentido, para além da adequação ergonômica e funcional destes artefatos, a satisfação e o valor simbólico a eles atribuídos pelos usuários podem ser influenciados por sua aparência estética. O presente artigo aborda as possíveis vantagens advindas do uso das tecnologias de fabricação digital para a personalização e ressignificação de próteses de membros inferiores. Inicialmente, toma-se como base um breve levantamento genérico e assistemático relacionando próteses e capas protéticas, desde os períodos pós-Guerras Mundiais até os tempos atuais. Na sequência, verifica-se que na atualidade, apesar das inúmeras possibilidades oferecidas pelas tecnologias de fabricação digital para o desenvolvimento estético das próteses, o usuário ainda se vê limitado a selecionar e combinar características pré-determinadas para configurar o produto, não estando direta ou remotamente envolvido na concepção do projeto. Conclui-se buscando vislumbrar novos cenários e perspectivas, onde a inserção dos usuários no processo de desenvolvimento destes produtos possa levá-los à condição de cocriadores destes artefatos que fazem parte do seu cotidiano.

Palavras-chave:

Próteses de membros inferiores; fabricação digital; personalização; ressignificação; valor simbólico

Eixo temático:

Design, materiais e tecnologias

Usage of digital fabrication technologies as a tool for personalizing and redefining lower limb prostheses

Abstract:

People who undergo limb amputation surgeries may experience symptoms such as anxiety and depression, arising from the sudden change in their bodies and from the use of prostheses. In this sense, in addition to the ergonomic and functional suitability of these artifacts, the satisfaction and symbolic value attributed to them by users can be influenced by their aesthetic appearance. This article addresses the possible advantages arising from the use of digital fabrication technologies for the customization and re-signification of lower limb prostheses. Initially, a brief generic and unsystematic survey is taken as a basis, relating prostheses and prosthetic covers, from the post-World War periods to the present day. Next, it appears that currently, despite the countless possibilities offered by digital manufacturing technologies for the aesthetic development of prostheses, the user is still limited to selecting and combining predetermined characteristics to configure the product, not being directly or remotely involved in project design. It concludes by seeking a glimpse of new scenarios and perspectives, where the insertion of users in the development process of these products can lead them to the condition of co-creators of these artifacts that are part of their daily lives.

Keywords:

Lower limb prostheses; digital fabrication; personalization; resignification; symbolic value

1 Introdução

As próteses de membros inferiores fazem parte da categoria de produtos médicos denominada tecnologia assistiva, e têm como função principal a viabilização da mobilidade e a autonomia de seu usuário. Dentre os produtos desta categoria, vale destacar, além das próteses que complementam um membro ausente, as órteses, que auxiliam na mobilidade do membro existente, e as cadeiras de rodas, dentre diversos outros dispositivos, técnicas e recursos.

Os artefatos protéticos possibilitam aos seus usuários a reabilitação após um trauma, promovendo a reinserção dessa pessoa ao meio social por meio da reaquisição da mobilidade, autonomia e auxílio à autoestima. Ainda que seja incerto quando surgiram as primeiras próteses, tais objetos, no decorrer dos últimos séculos, sofreram mudanças em seu modo de fabricação, materiais e aparência estética, principalmente devido às Grandes Guerras Mundiais.

Até séculos recentes, as pessoas com deficiências físicas aparentes eram vistas com maus olhos devido ao estigma envolvendo as deficiências de forma geral. Os corpos “diferentes” destas pessoas eram encarados como uma espécie de “punição divina” por seus pecados. Entretanto, no decorrer do século XIX, com o avanço do conhecimento científico a respeito de doenças, da anatomia e da fisiologia humana, foi possível que essa concepção de “castigo divino” fosse mitigada (Thomson, 2017, p. 47; Ott et al., 2002, p. 10).

O presente artigo propõe um recorte abrangendo pessoas que adquiriram deficiências de membro inferiores, visto que tal condição pode alcançar a qualquer um. Na história, de acordo com a literatura, as revoluções industriais trouxeram com elas, além de meios de transporte mais modernos e velozes, como os veículos com motor a combustão, um aumento relevante no número de pessoas que adquiriram deficiências devido a acidentes. As deficiências físicas relacionadas à mobilidade, costumeiramente difíceis de serem completamente “disfarçadas”, geravam inicialmente estranhamento não somente à pessoa deficiente, mas inclusive aos que a cercavam, provocando reações das mais diversas.

1.1 Objetivos

No que tange à aparência das próteses e aos recursos de tecnologias assistivas, segundo Fallon (2018), as diferentes percepções acerca do uso das bengalas nos Estados Unidos da América, por volta do século XIX, permitem depreender que quanto mais próxima a aparência estética do objeto à de um aparato médico, mais seu usuário é visto com um olhar de comiseração ou como uma pessoa debilitada. O mesmo não ocorre quando o artefato [bengala] é produzido com características de um produto de luxo, a partir do que seu usuário adquire características requintadas, intelectuais e cultas.

De acordo com Thomson (2017) essas pessoas à margem da sociedade, ora ostracizadas ora vistas com olhar de curiosidade, tendem a se esconder e buscar refúgio em meio à multidão, entre os *normates*. Este termo cunhado por Thomson, que em uma tradução literal poderia ser equivalente a “normativo” ou associado à expressão “passabilidade”, segundo a qual a pessoa com deficiência não é vista com o olhar do diferente, mas misturando-se e camuflando-se em meio aos demais, mitigando e de certa forma modificando seu status (FLANNERY, FARIA, 1999).

Como objetivo central do presente artigo, aborda-se a ressignificação das próteses, particularmente as de membros inferiores, antes vistas essencialmente como aparatos médicos, e que, atualmente, por meio de ferramentas digitais de projeto e de fabricação digital, podem dar margem a uma conexão emocional com seus usuários, influenciando positivamente na sua imagem corporal, autoestima e saúde psicológica, além de estimular o uso mais frequente destes artefatos.

2 Fundamentação teórica

Um aumento exponencial de pessoas com deficiências físicas se deu concomitantemente às revoluções industriais e aos conflitos ou guerras globais. Um número crescente de novos amputados se deu, inicialmente, principalmente durante a Primeira Guerra Mundial, mesmo que à época muitos viessem a óbito devido a técnicas de amputação pouco desenvolvidas ou por conta de infecções.

Os países envolvidos diretamente nos conflitos precisaram, inclusive, dar conta dessa demanda de uma forma mais ampla, apelando à produção em larga escala de próteses. Considerando que cada usuário teria uma necessidade particular de encaixe e de tipo específico de prótese, um rápido desenvolvimento pôde ser observado à época, ainda que nem sempre o produto se adequasse perfeitamente ao usuário. No decorrer da Segunda Guerra Mundial, a descoberta da penicilina foi um divisor de águas, ao possibilitar a diminuição de óbitos devido a uma menor incidência de infecções e permitir que um número ainda mais expressivo de soldados fosse reabilitado, quando em comparação à Primeira Guerra Mundial (Ott et al., 2002, p. 47). Entre as duas Grandes Guerras, a necessidade para estes novos usuários, advindos do campo de batalha, era essencialmente a de uma prótese funcional, que possibilitasse a reabilitação social e de mobilidade, de maneira relativamente rápida. Entretanto, os materiais da época, quando em comparação aos materiais atuais, eram bastante rudimentares.

No entanto, as próteses só passaram a evoluir esteticamente após as décadas que sucederam às Grandes Guerras, sendo que, em um primeiro momento, a preocupação projetual se concentrasse principalmente na busca de uma ergonomia adequada destes produtos. Embora a ornamentação de um objeto não constitua funções estritamente práticas ou utilitárias, é com o tratamento destas características estéticas que o artefato tem sua percepção modificada aos olhos do usuário, tornando-se então, possivelmente, mais desejado, bem como criando diferentes sentimentos e relações psicológicas, nessa relação usuário-objeto. Apesar de que Adolf Loos e Le Corbusier, dentre outros grandes arquitetos modernistas, fossem contrários à ornamentação e a associassem à falta de qualidade na fabricação de um objeto (PAIM, 2000, p. 99-100), é possível perceber na literatura que os conceitos relativos ao design emocional se mostram diretamente associados ao design centrado no usuário. E ainda,

o design com foco no produto e em seus aspectos objetivos passou a dar lugar a um design centrado e direcionado ao modo do ser humano ver, interpretar e conviver com o mundo. O autor destaca os aspectos referencial e simbólico, que constituem, com o operacional e o funcional, os quatro vértices do sentido tecnológico, instâncias tanto imprecisas quanto variáveis e presentes em todo o processo produtivo (e para além dele), portanto passíveis do intermédio do designer. Com o tempo os designers perceberam que sua atuação transcendia à mera projeção de produtos, relacionando-se com "práticas sociais, símbolos e preferências" dos usuários, e que estes não reagiam apenas às qualidades físicas das coisas, mas para além do racional, buscavam significações nos objetos. (KRIPPENDORFF, 2000 apud DE FREITAS, DE CARVALHO; MENESCAL, 2010, p. 2)

De acordo com Tonetto e Xavier da Costa (2011, p. 138) os autores Norman, Jordan e Desmet, estudiosos da cognição humana que abordam, de diferentes perspectivas, o design emocional, estes juízos de valor, ainda que sejam variáveis e dependam dos observadores, são componentes valiosos para imbuir aos objetos diferentes conotações e torná-los desejados e relevantes para seus usuários.

Tais conceitos não se restringem ao design de produtos, mas abarcam, também, o design de marcas e a indústria da moda que, segundo Cardoso (2016, p. 108), domina com maestria a arte de manipular a comunicação visual por meio do valor simbólico. Dessa forma, o usuário escolhe produtos com os quais se identifica e, assim, mesmo que em algum momento escolha o mesmo que os outros escolham, sua aparência carrega um significado para si. Cabe ainda, salientar que,

[...] significação é um processo dinâmico, ou seja: que os significados não são estáveis, mas sujeitos à transformação contínua. Por outro lado, foi sugerido que há um aspecto concreto dos artefatos – correspondente à sua aparência, configuração e morfologia – que se mantém mais ou menos constante. Parafraseando Flusser: as ideias geram objetos, e estes permanecem no mundo mesmo depois que as ideias mudam. As ideias têm de mudar, necessariamente, até porque reagem aos objetos gerados. (CARDOSO, 2016, p. 151)

Ainda que a atribuição de significado não seja algo que o designer controle completamente, visto que tais significados podem, no limite, ser sugeridos e estejam relacionados diretamente à bagagem individual de cada usuário, estando então aberto a interpretações, o estudo do valor simbólico, das

características estéticas e da composição projetual, torna-se relevante no âmbito das próteses, ao se ter em vista que este artefato tem influência direta na reabilitação plena após o trauma. O uso frequente da prótese, por sua vez, auxilia na manutenção da mobilidade, bem como a sua personalização possibilita uma maior identificação do usuário com o objeto, podendo exercer uma influência positiva em questões psicológicas como a recuperação da autoestima e da imagem corporal.

3 Metodologia

A metodologia utilizada no presente artigo baseia-se em um levantamento bibliográfico assistemático, com perfil de levantamento, que segundo Gil (2017, p. 33), apesar de sua inadequação para aprofundamento dos aspectos psicológicos e psicossociais mais complexos, é bastante eficaz para estudos como o comportamento do consumidor [usuário]. As técnicas de coleta de dados envolveram levantamento bibliográfico e web gráfico assistemático, cópias e capturas de imagens das referidas próteses e produtos. As fontes foram provenientes de pesquisas e estudos previamente realizados, de fontes bibliográficas, consistindo em literatura especializada, artigos, livros, sites, a respeito dos diferentes tipos de produtos e tecnologias assistivas em próteses de membros inferiores, desenvolvidos no Brasil e no exterior. Os dados utilizados consistem em dados secundários ou terciários, e imagens de próteses de membros inferiores, organizadas e selecionadas sistematicamente.

4 Levantamentos realizados e resultados

Por meio dos levantamentos realizados, pode-se compreender que as técnicas de cirurgias de amputação de membros tiveram uma função essencial no desenvolvimento das próteses, bem como os materiais utilizados para a fabricação desses objetos. O número exponencial de novos usuários advindos de grandes conflitos mundiais também foi um fator determinante para o desenvolvimento de políticas públicas que facilitassem a aquisição das próteses, bem como o desenvolvimento de um acompanhamento mais completo, feito por diversos profissionais, especialmente na Europa e na América do Norte (Ott, 2002).

A evolução tecnológica também permitiu que materiais mais resistentes fossem utilizados na fabricação, e novas técnicas de manufatura permitiram o desenvolvimento de soquetes – região da prótese que se conecta diretamente ao coto do usuário – mais adequados ao uso prolongado e cotidiano, de maneira que não causasse tanto desconforto e que não infeccionassem facilmente por conta do atrito, possibilitando assim maior aderência ao uso e um caminhar mais fluído.

No decorrer das décadas seguintes à Segunda Guerra, além dos fatores formais e utilitários que as tecnologias trouxeram para o desenvolvimento de próteses mencionado anteriormente, a ampla disseminação de tecnologias industriais e de manufatura aditiva, bem como a utilização de softwares para modelagens, auxiliou na evolução projetual de próteses e carenagens que, não somente protegem as estruturas das próteses, mas também conferem características personalizáveis a estes objetos. A seguir, apresentam-se alguns projetos selecionados que evidenciam as características já mencionadas e salientam a forma e os materiais utilizados.

4.1 Breve levantamento de próteses de membros inferiores do período entre Guerras

A medicina, da mesma forma que o poder bélico das nações envolvidas nos conflitos, evoluiu. Dessa maneira, novas técnicas foram desenvolvidas para tratar soldados feridos que voltavam dos *fronts*. Com a alta demanda de reabilitação destas pessoas, as próteses também evoluíram, tanto na sua forma e função, como nos materiais utilizados para sua produção.

Nas figuras a seguir é possível observar que os projetos selecionados, apresentam características formais semelhantes ao membro “de carne”, mantendo a silhueta da coxa, da panturrilha e do pé. Em sua composição possuem materiais como metais, couro e madeira, nos modelos apresentados, nas figuras 1, 2 e 3. Tais próteses seriam adequadas para amputações de nível transfemoral, tipo de amputação realizada, usualmente, à altura da metade da coxa, necessitando de uma junta que se

assemelhe ao joelho de carne, de forma a permitir e facilitar a mobilidade do usuário de uma maneira mais fluida.

Caso seja possível, segundo a literatura, o ideal seria preservar o joelho o máximo possível, visto que a mecânica usual do membro de carne é bastante complexa e eficiente, evitando assim, a necessidade da adaptação mecânica. Cabe observar que o soquete que liga a prótese ao coto de seu usuário, apresenta formas pouco orgânicas e que, possivelmente, devido a sua composição não maleável e por ter partes de metal, podem causar desconforto no uso, bem como aparentemente não sejam passíveis de ajustes recorrentes. É interessante atentar-se que, caso o atrito da prótese com o coto seja intenso, pode gerar, além de desconforto, uma nova lesão ou infecção no usuário, sendo por vezes necessária uma nova cirurgia de amputação.



Figura 1: Prótese de membro inferior direito, “Bird Cage”, Europa, 1913-1923. Science Museum Group Coleção Online. Disponível em: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co476554/artificial-bird-cage-rig>. Acesso em: 11 out. 2022.



Figura 2: Prótese de membro inferior direito, Roehampton, Inglaterra, 1934. Science Museum Group Coleção Online. Disponível em: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co476576/artificial-right-leg>. Acesso em: 11 out. 2022.



Figura 3: Prótese de membro inferior direito, Paris, França, 1946. Science Museum Group Coleção Online. Disponível em: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co476543/artificial-right-leg-paris-france-1946-artificia>. Acesso em: 28 nov. 2022.

A seguir são apresentados projetos selecionados que fazem uso de ferramentas de fabricação digital em sua produção, bem como modelos de próteses desenvolvidos utilizando tecnologias digitais.

4.2 Tecnologias de fabricação digital como agente de personalização e ressignificação de próteses

Outro nível de amputação de membro inferior bastante comum e que é preferível, caso exista possibilidade, é a amputação de nível transtibial, sendo realizada na altura da metade da panturrilha. Este nível de amputação torna-se preferível por preservar a articulação natural do joelho, sendo assim dispensado o uso de um joelho protético.

Nas figuras 4, 5 e 6, é possível observar que diferentemente dos projetos apresentados anteriormente, as próteses mais atuais são compostas de módulos, permitindo ao técnico protesista ortopédico, ao cirurgião e ao usuário, definirem juntos qual a combinação ideal de acordo com as necessidades do usuário no seu uso cotidiano, dentro do valor disponível para aquisição dos produtos, bem como facilitar a reposição em casos de manutenção.

Tais modelos foram fabricados pela empresa alemã Ottobock¹, que fornece módulos e peças globalmente. Existem, disponíveis, joelhos e pés mecânicos ou microprocessados. Os produtos que possuem tecnologia de microprocessamento funcionam a base de bateria e permitem que o usuário caminhe sobre os mais diversos terrenos, prevenindo tropeços ou quedas. Dentre os materiais utilizados pela Ottobock vale destacar o uso da fibra de carbono, microprocessadores, termoplásticos, metais resistentes a corrosão e metais leves.

¹ Disponível em: <https://www.ottobock.com/en-gb/fabrication-service>. Acesso em: 14 abr. 2023.



Figura 4: À esquerda: Sistema Aerolink de soquetes para próteses de membro inferiores desenvolvido pela empresa alemã Ottobock. Disponível em: <https://www.ottobock.com/en-gb/socket-technology>. Acessado em: 28 nov. 2022. Itens enumerados: 1 - 6Y100 AeroLink Hybrid Liner com aba de vácuo; 2 – Encaixe interno ThermoLyn; 3 - Pino com válvula de escape integrada; 4 – Soquete externo; 5 – Disco de laminação; 6 - 6A50 Conector AeroLink com opção de conexão ao Harmony System; 7 – Adaptador deslizante 6A54.

Figura 5: Ao centro: Joelho microprocessado Genium e Adaptador tubular AXON desenvolvido pela empresa alemã Ottobock. Disponível em: <https://www.ottobock.com/pt-br/product/3B1-3>. Acessado em: 28 nov. 2022.

Figura 6: À direita: Prótese de pé Triton Vertical Shock, desenvolvido pela empresa alemã Ottobock. Disponível em: <https://www.ottobock.com/pt-br/product/1C61#modal=media-gallery&nr=0>. Acesso em: 28 nov. 2022

Em um comparativo às próteses apresentadas na seção anterior, é possível perceber que tais produtos não são mais construídos em um projeto único, ou seja, nos modelos mais recentes como a seleção apresentada nos gráficos acima, a prótese é construída e personalizada de forma modular, permitindo ao seu usuário ter suas necessidades mais urgentes atendidas. Os chamados *liners* são desenvolvidos com materiais de auxiliam na transpiração da pele, bem como permitem a compressão do coto de forma a evitar encaixes frouxos que podem vir a machucar o usuário e afetar negativamente sua marcha. Assim, considera-se que, ao solucionar problemas essenciais para a perfeita adaptação ergonômica da prótese ao corpo, abre-se espaço para questões estéticas, de gosto pessoal e de valor simbólico.

Com a crescente utilização de tecnologias CAD/CAM (desenho assistido por computador/ manufatura assistida por computador) tornou-se possível também, o desenvolvimento de carenagens personalizáveis, utilizadas não somente para fornecer maior proteção à estrutura da prótese, mas também para que seus usuários possam realizar a escolha de ornamentações, cores, acabamentos e formatos. Nas figuras 7, 8 e 9, observa-se diferentes modelos selecionados, disponíveis por três empresas: a brasileira IdEthnos, a canadense Alleles, e a estadunidense UNYQ. A utilização de polímeros e fibra de carbono tornou estas capas mais leves, resistentes e personalizáveis, mantendo a forma da panturrilha, os produtos apresentados são mais adequados nos casos de amputações transradiais.



Figura 7: Cartela de cores disponíveis do modelo Confetti da marca IdEthnos. Disponível em: <https://www.idethnos.com/produtos/confetti/>. Acesso em: 25 nov. 2022.



Figura 8: Catálogo de modelos da marca Alleles. Disponível em: <https://alleles.ca/cover-designs>. Acesso em: 25 nov. 2022.



Figura 9: Modelo de capa protética Cocoon da marca UNYQ. Disponível em: <https://unyq.com/product/259/>. Acesso em: 25 nov. 2022.

Além das possibilidades projetuais de acabamentos, outros fatores possíveis por meio do uso da fabricação digital é a modelagem tridimensional, realizada por meio de softwares, com o uso de parâmetros e de escaneamento do corpo do usuário, o projetar de tais produtos torna-se tarefa menos artesanal, como apresentado nas figuras 10 e 11, a seguir.

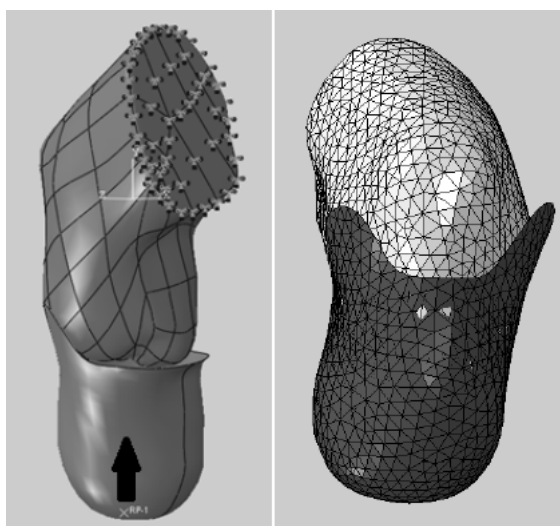


Figura 10: Modelo de soquete de prótese de membro inferior desenvolvido por meio de CAD/CAM por COLOMBO, Giorgio *et al.* 2011.

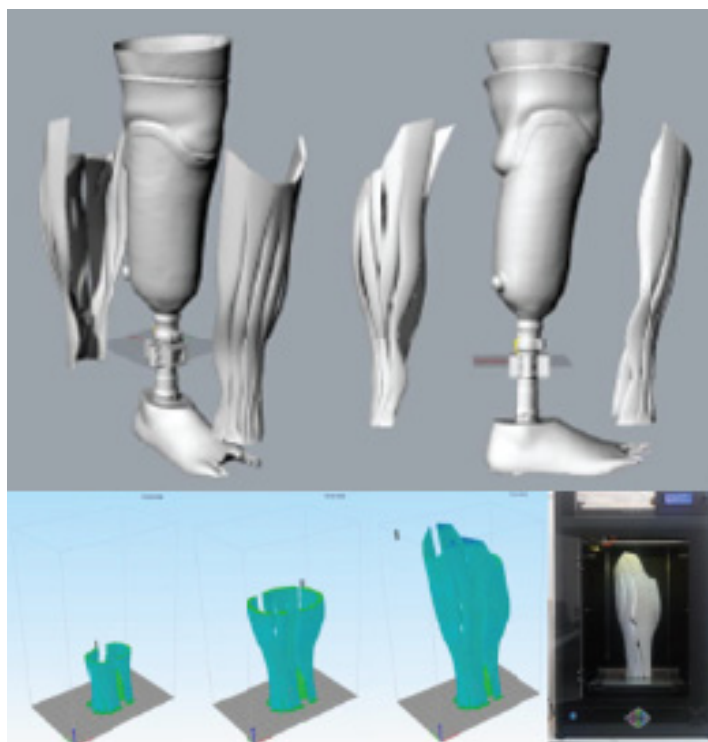


Figura 11: Projeto desenvolvido em Rhinoceros e produzido por meio de manufatura aditiva, PORSANI, 2020, p. 76

Assim, torna-se possível inserir o usuário no processo de criação do projeto, considerando suas preferências estéticas e permitindo que crie uma conexão com o projeto desde sua concepção, tendo um tratamento mais individualizado, mesmo que por meio da seleção de opções de catálogos

De acordo com a literatura, depreendeu-se que a não identificação do usuário com a prótese, após tendo a questão ergonômica resolvida, pode ser um dos fatores de insatisfação. A não utilização da prótese, em alguns casos, pode levar a novos riscos para a saúde física e emocional. (LUZA et al, 2020; ONG, IRAWAN, 2019). Interessante também, salientar que a utilização destas tecnologias de fabricação digitais possibilita o barateamento da produção destes produtos personalizados, além de possibilitar a utilização de materiais diversos (ZAGEL et al. 2017).

5 Discussão

Como visto, com a evolução tecnológica, questões centradas no usuário passaram a ser cada vez mais consideradas no desenvolvimento de próteses. A prótese, antes apenas um produto desenvolvido para “solucionar um problema” de mobilidade, agora, com a inserção do gosto pessoal do usuário e considerando fatores estéticos como parte influente e igualmente relevante no seu processo de reabilitação, tem recebido esse novo olhar em pesquisas recentes.

Por meio de pesquisas na área da saúde e da psicologia, mais especificamente, relacionadas aos níveis de satisfação dos usuários com respeito a esses produtos, pode-se deduzir que a imagem corporal e a percepção que o usuário tem em relação às características estéticas de sua prótese influenciam na frequência de uso e, por conseguinte, na adaptação ergonômica, visto que, devido ao atrito e ao uso, o coto eventualmente se conforma ao soquete.

A utilização das tecnologias de fabricação digital como uma ferramenta para a personalização agiliza o processo e permite o envolvimento do usuário na escolha e na decisão da aparência de um objeto que ficará conectado ao seu próprio corpo, Flannery e Faria (1999) salientam ainda que os distúrbios corporais entre pessoas com deficiência física podem se dar devido ao fato destas pessoas se apegarem à sua imagem corporal anterior ao trauma, tendo em sua percepção a idealização de um corpo que já não existe mais, não aceitando assim a mudança.

Ao imbuir tais projetos de valores simbólicos, tornando-os caros aos seus usuários, evitam-se ainda sintomas como ansiedade e depressão em usuários que não têm uma relação estreita com a prótese, e ainda, segundo Luza et al. (2019), os ajustes psicossociais destes usuários são mais difíceis do que os ajustes funcionais e influenciam diretamente na qualidade de vida.

6 Conclusão

Por meio dos levantamentos apresentados pode-se depreender que a inserção de tecnologias de fabricação digital, como CAD/CAM e prototipação rápida por deposição, foram fatores que influenciaram positivamente na produção e desenvolvimento de projetos e pesquisas, no que tange à personalização e à ampliação de possibilidades estéticas de capas, carenagens, soquetes e próteses. Além da evolução nos materiais presentes nos projetos destes produtos, com a utilização de polímeros mais leves e resistentes, e da inclusão da participação dos usuários nas escolhas das características funcionais que seriam mais adequadas para as atividades recorrentes presentes no seu cotidiano, como o tipo de joelho ou módulo de pé.

Ainda que por meio da utilização de tecnologias de fabricação digital muito se tenha avançado no desenvolvimento das próteses, o processo de personalização continua sendo feito, predominantemente, por meio da seleção e combinação de opções presentes em um portfólio. Entende-se, então, que a possibilidade oferecida pelas tecnologias digitais, de o usuário participar ativamente na concepção do modelo e não somente na escolha dos ornamentos e acabamentos possíveis para sua capa/carenagem, como um fator fundamental para a personalização real das próteses, a ser perseguido de forma constante no seu desenvolvimento.

Como limitações relacionadas à utilização de tecnologias digitais na fabricação de próteses, entende-se que o intercâmbio e a colaboração entre as áreas especializadas ainda se encontra em uma fase inicial, especialmente no tocante à sua aplicação em produtos médicos, bem como considera-se incipiente a coparticipação do usuário na fase projetual, podendo haver ainda mais oportunidades para que o design venha a ser, de fato, centrado no usuário e tenha a sua ativa intervenção no desenvolvimento de produto.

Referências

- CARDOSO, Rafael. **Design para um mundo complexo**. São Paulo: Ubu Editora, 2016.
- COLOMBO, Giorgio et al. Physically based modelling and simulation to innovate socket design. **Computer-Aided Design and Applications**, v. 8, n. 4, p. 617-631, 2011.

DE FREITAS, Ranielder Fábio; DE CARVALHO, Cintya Oliveira; MENESCAL, Richarley Evangelista. Design Emocional e o designer como interpretador de desejos e necessidades: Revisão de Literatura. Rio de Janeiro: **Revista Estudos em Design**, v. 18, n. 1, 2010.

FALLON, Cara Kiernan. **Forever Young: The Social Transformation of Aging in America Since 1900**. Tese (Doutorado em História da Ciência), Faculdade de Arte e Ciência, Harvard University, Cambridge, 2018. Versão eletrônica.

FLANNERY, Jeanne C.; FARIA, Sandra H. Limb loss: Alterations in body image. **Journal of vascular nursing**, v. 17, n. 4, p. 100-106, 1999.

LUZA, Lisiane Piazza et al. Psychosocial and physical adjustments and prosthesis satisfaction in amputees: a systematic review of observational studies. **Disability and Rehabilitation: Assistive Technology**, v. 15, n. 5, p. 582-589, 2020.

NORMAN, Donald A. **Design emocional: por que adoramos (ou detestamos) os objetos do dia-a-dia**. Rio de Janeiro: Rocco, 2008.

ONG, Sze Xian; IRAWAN, Indera. **A case study on identifying the aesthetic values of lower limb prosthetic**/Ong Sze Xian and Indera Irawan. 2019.

OTT, Katherine et al. (Ed.). **Artificial parts, practical lives: modern histories of prosthetics**. Nova Iorque: NYU Press, 2002.

PAIM, Gilberto. **A beleza sob suspeita**. Rio de Janeiro: Zahar, 2000.

PORSANI, Rodolfo Nucci. **Avaliação do design na experiência emocional do usuário por meio da produção de carenagens customizáveis para próteses transtibiais**. Dissertação (Mestrado em Design) – Faculdade de Artes Arquitetura e Comunicação”, UNESP, Bauru, 2020. Versão eletrônica.

THOMSON, Rosemarie Garland. **Extraordinary bodies: Figuring physical disability in American culture and literature**. Nova Iorque: Columbia University Press, 2017.

TONETTO, Leandro Miletto; XAVIER DA COSTA, Filipe Campelo. Design Emocional: conceitos, abordagens e perspectivas de pesquisa. **Strategic Design Research Journal**, v. 4, n. 3, 2011.

ZAGEL, Christian et al. 3DPro—Development of Low-Cost Prosthetics Using 3D Printing Technologies. In: **Advances in The Human Side of Service Engineering**. Springer, Cham, 2017. p. 93-99.