



INOVAÇÃO, ACESSIBILIDADE E SUSTENTABILIDADE: A IMPRESSÃO 3D DE PRÓTESES BIÔNICAS COMO DIREITO DAS PESSOAS COM DEFICIÊNCIA

INNOVATION, ACCESSIBILITY, AND SUSTAINABILITY: 3D PRINTING OF BIONIC PROSTHESES AS A RIGHT FOR PEOPLE WITH DISABILITIES

Ana Carolina Dantas Rocha¹

RESUMO: Este artigo analisa a impressão 3D de próteses biônicas como solução inovadora, sustentável e acessível para promover inclusão social de pessoas com deficiência no Brasil, alinhada aos direitos de acessibilidade e dignidade. Por meio de revisão bibliográfica e análise comparativa, o estudo examina o papel da tecnologia assistiva na mobilidade e autonomia, os benefícios da impressão 3D (custos de R\$200–R\$2.000 versus R\$38.000 das próteses tradicionais, maior personalização e uso de materiais sustentáveis como PLA biodegradável), os desafios éticos e normativos em contextos vulneráveis, e o arcabouço jurídico que respalda a inovação. Conclui-se que a impressão 3D amplia o acesso a dispositivos assistivos, mas enfrenta barreiras como regulamentação, infraestrutura e desigualdades regionais, demandando políticas públicas para equidade.

PALAVRAS-CHAVE: Inovação. Acessibilidade. Próteses biônicas. Inclusão social. Sustentabilidade.

ABSTRACT: This article analyzes 3D printing of bionic prostheses as an innovative, sustainable, accessible solution to promote social inclusion for people with disabilities in Brazil, aligned with fundamental rights to accessibility and human dignity. Through a literature review and comparative analysis, the study examines the role of assistive technology in mobility and autonomy, the benefits of 3D printing (costs of R\$200–R\$2,000 versus R\$38,000 for traditional prostheses, greater customization and use of sustainable materials like biodegradable PLA), ethical and regulatory challenges in vulnerable contexts, and the legal framework supporting innovation. It concludes that 3D printing expands access to assistive devices but faces barriers like regulation, infrastructure, and regional inequalities, requiring public policies for equity.

¹ Graduada em Engenharia de Controle e Automação pelo Centro Universitário de Maceió (UNIMA). Graduanda em Direito pelo Centro Universitário CESMAC. E-mail: carolinadantasr24@gmail.com

KEYWORDS: Innovation. Accessibility. Bionic prostheses. Social inclusion. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica, impulsionada pela Revolução Industrial e intensificada na atual era da Indústria 4.0, transformou as dinâmicas sociais, políticas e econômicas globais. Nesse contexto, a inovação se tornou essencial para combater desigualdades, especialmente na promoção de acessibilidade e inclusão para pessoas com deficiência. A Quarta Revolução Industrial, com a integração de tecnologias digitais, físicas e biológicas, exige não só o desenvolvimento de novas soluções, mas também sua democratização, principalmente quando envolvem direitos fundamentais garantidos pela Constituição.

De acordo com o Censo 2022, divulgado pelo IBGE em 2025, o Brasil tem 14,4 milhões de pessoas com deficiência com 2 anos ou mais, o que representa 7,3% da população nessa faixa etária (IBGE, 2025). Esses números destacam a urgência de políticas e iniciativas que garantam acessibilidade e participação plena na sociedade. A tecnologia assistiva é chave nesse processo, ao fornecer ferramentas que melhoram a autonomia, mobilidade e dignidade.

Entre essas tecnologias, a impressão 3D de próteses biônicas se destaca como alternativa inovadora, sustentável e de baixo custo, comparada às próteses tradicionais, que podem custar mais de R\$38.000 (Cycor, 2020). Esse alto preço torna o acesso impossível para populações vulneráveis, como as classes C, D e E, com renda familiar de até 10 salários mínimos, segundo o IBGE. Assim, a impressão 3D surge como um avanço que pode ampliar o acesso a tecnologias essenciais para inclusão, reduzindo desperdícios e utilizando materiais recicláveis.

Essa discussão se insere na efetivação de direitos fundamentais, como a dignidade da pessoa humana (artigo 1º, inciso III) e o direito à saúde (artigo 196) da Constituição Federal de 1988. Ela também se alinha a compromissos internacionais, como a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (Decreto nº 6.949/2009) e a Lei Brasileira de Inclusão (Lei nº 13.146/2015), que obrigam o Estado e a sociedade a promover acessibilidade e tecnologias inclusivas.

O problema de pesquisa deste trabalho é: Em que medida a impressão 3D de próteses biônicas pode ser considerada um direito das pessoas com deficiência no Brasil, considerando os desafios normativos, éticos, sociais e de sustentabilidade para sua implementação em contextos de desigualdade? Essa questão implica analisar não apenas os benefícios técnicos, mas também as implicações jurídicas e sociais, propondo recomendações para superar

barreiras e tornar a tecnologia uma ferramenta efetiva de inclusão. Para responder a isso, a pesquisa analisa a impressão 3D como ferramenta que une inovação e acessibilidade, discute barreiras e propõe caminhos para sua efetivação.

2 O DIREITO À ACESSIBILIDADE COMO DIREITO FUNDAMENTAL

A acessibilidade é essencial para garantir direitos fundamentais das pessoas com deficiência. Ela é um desdobramento do princípio da dignidade da pessoa humana, previsto no artigo 1º, inciso III, da Constituição Federal de 1988 (Brasil, 1988). Como explica Sarlet (2020), a dignidade é o fundamento ético-jurídico que protege o indivíduo, especialmente em situações vulneráveis. No Brasil, a acessibilidade vai além de remover barreiras físicas: inclui acesso a tecnologias, serviços e oportunidades para inclusão social plena. Nesse sentido, a impressão 3D de próteses biônicas é uma inovação que apoia esse direito, ao oferecer soluções acessíveis e sustentáveis que melhoram autonomia e mobilidade. Isso implica que, sem regulamentação adequada, o potencial inclusivo da tecnologia permanece limitado, perpetuando desigualdades.

A Constituição Federal, em seu artigo 5º, garante igualdade sem discriminação, e no artigo 196, define a saúde como dever do Estado para reduzir desigualdades (Brasil, 1988). A acessibilidade ajuda a concretizar esses direitos para os 14,4 milhões de brasileiros com deficiência, conforme o Censo 2022 (IBGE, 2025). A Lei Brasileira de Inclusão (LBI), Lei nº 13.146/2015, reforça isso ao definir acessibilidade como "possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e comunicação" (Brasil, 2015). Inspirada no modelo social da deficiência, a LBI reconhece que as barreiras estão nas estruturas sociais, não só no indivíduo. Portanto, a adoção de tecnologias como a impressão 3D poderia transformar esse modelo em prática, mas exige políticas que priorizem equidade.

Internacionalmente, o Brasil adotou a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (CDPD) pelo Decreto nº 6.949/2009, com status constitucional (Brasil, 2009). O artigo 9 da CDPD destaca a acessibilidade como direito fundamental, exigindo medidas para eliminar barreiras e promover tecnologias assistivas (Organização das Nações Unidas, 2006). O artigo 4, inciso g, incentiva pesquisa em soluções inovadoras, como a impressão 3D, de baixo custo e personalizáveis. Isso é complementado pela Convenção Interamericana para a Eliminação de Todas as Formas de Discriminação contra as Pessoas com Deficiência, ratificada em 1999, que exige medidas para inclusão (Organização dos Estados Americanos,

1999). Como nota Rocha (2021), esses tratados impõem o controle de convencionalidade, alinhando políticas brasileiras a padrões internacionais. Essa obrigatoriedade sugere que o Brasil deve investir mais em inovações sustentáveis para cumprir esses compromissos, evitando apenas declarações formais.

A impressão 3D exemplifica a união entre acessibilidade e inovação. Projetos como e-NABLE, que produz próteses de baixo custo, e Regenera, que integra ciência e inclusão, mostram como a tecnologia atende às exigências legais (Enabling the Future, 2023; Regenera, 2023). No entanto, há desafios: a Anvisa não tem regulamentações específicas para próteses 3D, criando insegurança jurídica e limitando a integração ao SUS (Cycor, 2020). Além disso, desigualdades regionais, destacadas pelo Censo 2022, dificultam o acesso em áreas rurais e periféricas, onde a infraestrutura é fraca (IBGE, 2025). Esses obstáculos revelam que, sem ação integrada, a tecnologia agrava desigualdades em vez de resolvê-las.

A jurisprudência brasileira reforça a acessibilidade como direito fundamental. O STF interpreta a Constituição e a LBI para exigir ações afirmativas, como fornecer tecnologias assistivas no SUS (Souza; Entender Direito, 2024). Mas a implementação é prejudicada por falta de recursos e incentivos fiscais para inovações como próteses 3D. O podcast "Entender Direito: Acessibilidade e Compromissos Internacionais" enfatiza a importância da educação jurídica para práticas inclusivas (Souza; Entender Direito, 2024). Iniciativas acadêmicas, como projetos no Instituto Federal do Espírito Santo, desenvolvem próteses 3D e formam profissionais sensíveis às demandas sociais (Instituto Federal do Espírito Santo, 2024). Assim, essas iniciativas demonstram que a educação e a inovação podem impulsionar mudanças, mas dependem de apoio estatal para a escala.

Em resumo, o direito à acessibilidade, baseado na Constituição, LBI e tratados internacionais, posiciona a impressão 3D como ferramenta estratégica para inclusão. Sua realização plena exige superar barreiras normativas, econômicas e regionais via políticas integradas, unindo arcabouço jurídico, inovação e participação social para equidade e dignidade. Em análise, isso significa que o Estado deve priorizar investimentos em tecnologias sustentáveis para transformar direitos formais em realidades concretas.

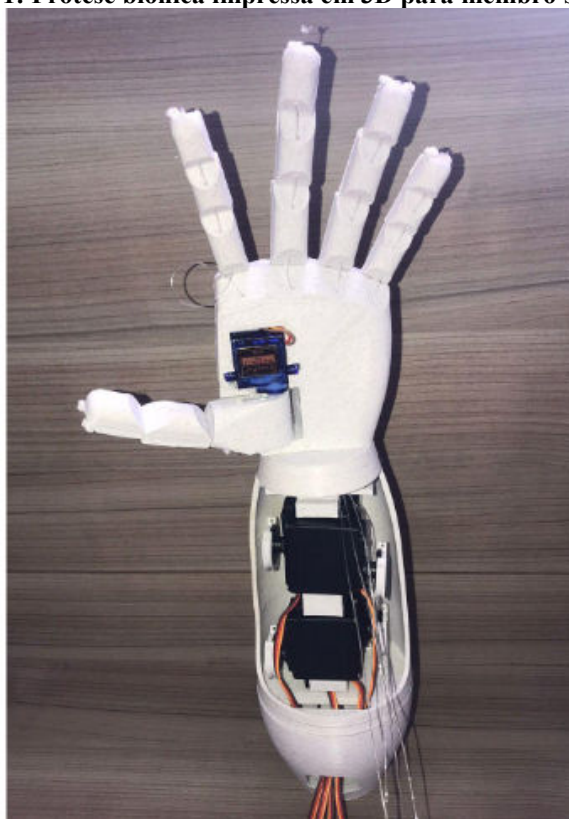
3 TECNOLOGIA ASSISTIVA E A IMPRESSÃO 3D COMO FERRAMENTA DE INCLUSÃO

A inclusão de pessoas com deficiência via tecnologias assistivas é central em políticas públicas e direitos fundamentais no Brasil. A Lei Brasileira de Inclusão (LBI), Lei nº 13.146/2015, estabelece diretrizes para igualdade e inclusão social plena (Brasil, 2015).

Tecnologia assistiva inclui produtos, recursos, metodologias e serviços que promovem funcionalidade, autonomia, independência e qualidade de vida (Brasil, 2021). O avanço da impressão 3D permite dispositivos personalizados, sustentáveis e de baixo custo, como próteses e órteses. Isso representa uma mudança significativa para produção mais ecológica, reduzindo desperdício de materiais.

A impressão 3D, ou manufatura aditiva, cria objetos 3D a partir de modelos digitais, usando materiais como PLA (biodegradável) e ABS. Softwares como Blender e escaneamento 3D permitem ajustes precisos. A Figura 1 mostra uma prótese de membro superior impressa em 3D.

Figura 1: Prótese biônica impressa em 3D para membro superior



Fonte: Acervo pessoal da Autora (2025)

Comparadas às tradicionais, que custam a partir de R\$38.000 e demoram semanas (Cycor, 2020; Vicentin; Salazar, 2020), as próteses 3D custam R\$200 a R\$2.000 e são

produzidas em horas a dias (Enabling the Future, 2023). A personalização é maior, via modelagem digital (Vicentin; Salazar, 2020; Zuniga *et al*, 2015). Analisando, essa eficiência não só reduz custos, mas promove sustentabilidade ao minimizar recursos usados.

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre próteses tradicionais e impressas em 3D, destacando os principais aspectos:

Tabela 1: Comparação entre próteses tradicionais e impressas em 3D

Aspecto	Prótese Tradicional	Prótese 3D
Custo	A partir de R\$38.000	R\$200–R\$2.000
Tempo de Produção	Semanas a meses	Horas a dias
Personalização	Limitada, requer moldes físicos	Alta, via modelagem e escaneamento digital
Durabilidade	Alta (materiais médicos especializados)	Alta, via modelagem e escaneamento digital

Fonte: Elaboração própria (2025), com base em Cycor (2020), Enabling the Future (2023), Vicentin; Salazar (2020), e Zuniga *et al*. (2015).

A Tabela 1 ilustra as vantagens da impressão 3D como alternativa viável para a produção de próteses de membros superiores, como mãos mecânicas, em comparação com métodos tradicionais. Os dados de custo, estimados em R\$200 a R\$2.000 for próteses 3D, foram baseados em Enabling the Future (2023), com valores em dólares (US\$50–US\$500) convertidos para reais usando a taxa de $US\$1 \approx R\$5,60$ (2025), enquanto os custos das próteses tradicionais, a partir de R\$38.000, foram obtidos de Cycor (2020). Os tempos de produção, que variam de horas a dias para próteses 3D e de semanas a meses para tradicionais, refletem processos descritos em Vicentin; Salazar (2020) e Enabling the Future (2023). A personalização, limitada em próteses tradicionais devido à dependência de moldes físicos, é significativamente maior na impressão 3D, que utiliza escaneamento e modelagem digital (Vicentin; Salazar, 2020; Zuniga *et al.*, 2015). Já a durabilidade, alta em próteses tradicionais por conta de materiais médicos especializados, é utilizada em próteses 3D, devido ao uso de materiais como PLA, que são sujeitos a desgaste (Zuniga *et al.*, 2015). Esses dados reforçam a relevância da impressão 3D para a inclusão, alinhando-se ao objetivo de promover tecnologias assistivas acessíveis e personalizáveis.

Apesar dessas vantagens, as próteses 3D enfrentam limitações técnicas. Materiais como PLA, comumente usados em impressoras 3D acessíveis, têm menor resistência em

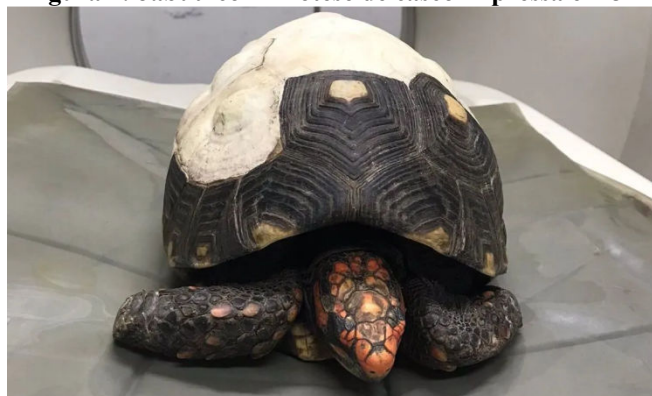
comparação com polímeros médicos de próteses tradicionais, exigindo substituições ou manutenções mais frequentes. Além disso, a produção de próteses 3D depende de infraestrutura tecnológica, como impressoras de qualidade, filamentos adequados e energia estável, o que pode ser um obstáculo em regiões periféricas.

A aplicação da impressão 3D em dispositivos assistivos é observada em projetos sociais e iniciativas comunitárias. O movimento internacional e-NABLE, por exemplo, reúne voluntários para produzir e doar próteses de membros superiores impressas em 3D, democratizando o acesso a essa tecnologia em comunidades de baixa renda (Enabling the Future, 2023). No Brasil, a empresa Regenera, sediada em Curitiba, tem se destacado na fabricação de próteses e biomodelos personalizados, integrando ciência, tecnologia e inclusão social (Regenera, 2023).

Essas iniciativas estão em consonância com a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência, incorporada ao ordenamento jurídico brasileiro pelo Decreto nº 6.949/2009. O artigo 4º da Convenção incentiva os Estados a desenvolverem e promoverem tecnologias assistivas acessíveis e de baixo custo (Brasil, 2009). A impressão 3D, ao viabilizar dispositivos acessíveis, contribui para a efetivação de direitos fundamentais, como igualdade, educação, trabalho e dignidade, consagrados na Constituição Federal de 1988 (Sarlet, 2020).

Um exemplo complementar da versatilidade da impressão 3D é o caso de um jabuti que, após perder 85% de seu casco em um incêndio no cerrado em 2015, recebeu uma prótese impressa em 3D. Modelada digitalmente e produzida por uma equipe interdisciplinar, a prótese garantiu a mobilidade do animal, demonstrando o potencial da tecnologia em contextos diversos (Bernades, 2023).

Figura 2: Jabuti com Prótese de casco impressa em 3D



Fonte: CNN Brasil, 2023

Apesar dos avanços, a adoção da impressão 3D em tecnologia assistiva enfrenta desafios estruturais e técnicos. A falta de políticas públicas específicas para popularizar a tecnologia, a ausência de regulamentações sanitárias claras e as dificuldades de acesso a equipamentos e formação técnica em regiões periféricas limitam sua escalabilidade. Além disso, a durabilidade dos materiais e a necessidade de manutenção especializada representam obstáculos adicionais, especialmente em contextos de vulnerabilidade socioeconômica.

No ambiente acadêmico, universidades e institutos federais têm desenvolvido projetos de extensão voltados à produção de próteses e adaptações assistivas com impressão 3D, contribuindo para a formação cidadã dos estudantes e o atendimento de demandas sociais. Esses projetos demonstram que a união entre conhecimento técnico, sensibilidade social e tecnologias emergentes pode transformar realidades, promovendo a inclusão de maneira prática e acessível.

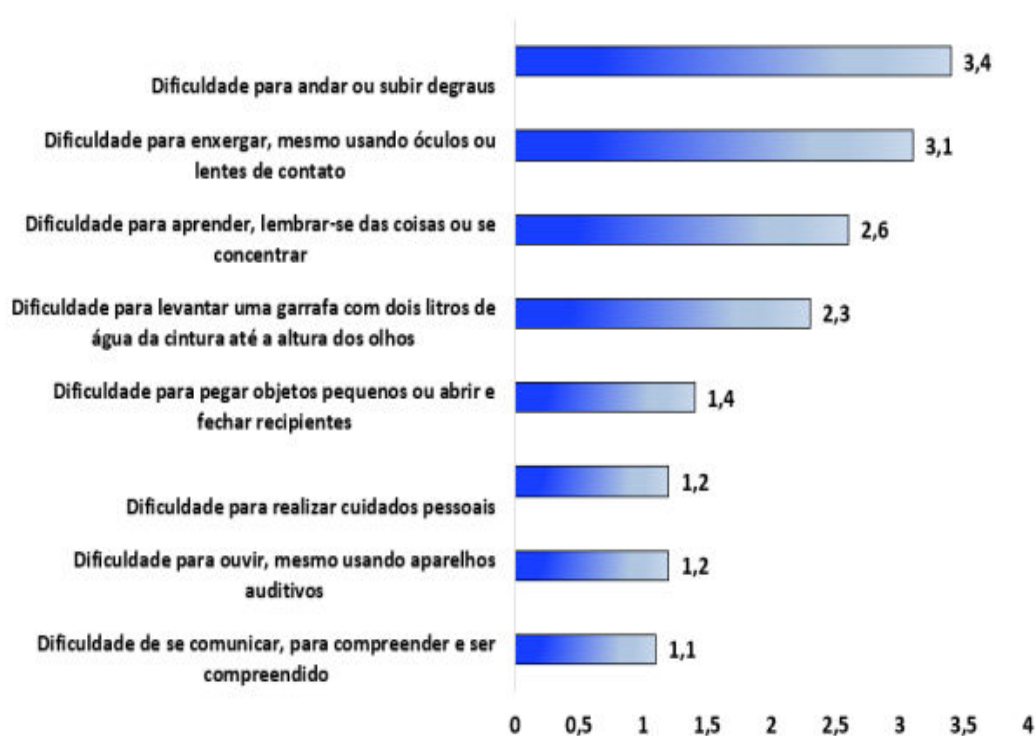
A impressão 3D destaca-se como um instrumento de cidadania e inclusão, oferecendo dispositivos assistivos acessíveis, personalizados e de baixo custo, especialmente quando comparada às próteses tradicionais. Iniciativas como o e-NABLE e a Regenera exemplificam o potencial da tecnologia para superar barreiras de acesso, enquanto desafios como a durabilidade dos materiais e a falta de infraestrutura exigem maior atenção. Este capítulo evidencia a relevância da impressão 3D para a promoção da autonomia e dignidade de pessoas com deficiência, contribuindo para a discussão mais ampla sobre políticas públicas e inovação tecnológica abordada nos demais capítulos deste trabalho.

4 DESIGUALDADE SOCIAL E A BARREIRA ECONÔMICA ÀS PRÓTESES CONVENCIONAIS

A impressão 3D tem emergido como uma tecnologia revolucionária na produção de próteses biônicas, oferecendo soluções personalizadas e de baixo custo para pessoas com deficiência, especialmente em contextos de vulnerabilidade socioeconômica. No Brasil, onde as desigualdades sociais e regionais agravam o acesso a dispositivos assistivos, essa tecnologia promete democratizar a inclusão, mas enfrenta desafios significativos. Este capítulo reflete sobre os obstáculos sociais, éticos, e normativos que dificultam a ampla disseminação de próteses biônicas impressas em 3D, analisando barreiras estruturais, questões de equidade, e lacunas regulatórias. A análise considera o contexto brasileiro, com foco em comunidades de baixa renda, e propõe caminhos para superar essas limitações, alinhando-se ao objetivo de promover a acessibilidade e a cidadania.

A prevalência de deficiências no Brasil evidencia a urgência de soluções acessíveis. Conforme dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) 2022, divulgados pelo IBGE e pelo Ministério dos Direitos Humanos e da Cidadania (MDHC), aproximadamente 18,6 milhões de brasileiros com 2 anos ou mais possuem algum tipo de deficiência, equivalente a 8,9% da população nessa faixa etária (IBGE, 2023; Brasil, 2023). O Gráfico 1, um gráfico de barras baseado em amostragem nacional, ilustra a proporção por tipo de dificuldade funcional, destacando a deficiência visual (3,4%) e motora (2,7%) como as mais prevalentes. Esses dados sublinham a demanda por próteses biônicas, especialmente para membros superiores, mas também revelam o desafio de atender populações em contextos de vulnerabilidade, onde o acesso a tecnologias assistivas é limitado.

Gráfico 1: Proporção de pessoas com deficiência de 2 anos ou mais, por tipo de dificuldades funcionais no Brasil em 2022.



Fonte: Brasil. Ministério dos Direitos Humanos e da Cidadania (2023). Relatório CGIE PCD: Pessoas com Deficiência – Resultados da PNAD Contínua 2022.

Do ponto de vista social, a democratização das próteses biônicas enfrenta barreiras estruturais significativas. A falta de infraestrutura tecnológica, como impressoras 3D acessíveis, filamentos de qualidade, e energia elétrica estável, é um obstáculo em comunidades rurais e periféricas, onde a pobreza agrava a exclusão (Vicentin; Salazar, 2020). Além disso, a desigualdade na distribuição de recursos assistivos resulta em priorização de

áreas urbanas, deixando populações vulneráveis desatendidas. Projetos como o e-NABLE, que promove próteses 3D gratuitas, são promissores, mas sua escalabilidade é limitada pela dependência de voluntários e doações (Enabling the Future, 2023). A alfabetização digital e o treinamento técnico também são desafios, pois usuários e famílias precisam de capacitação para manter ou ajustar as próteses, o que nem sempre é viável em contextos de baixa escolaridade.

Os desafios éticos são igualmente críticos. A equidade no acesso às próteses biônicas levanta questões sobre quem é beneficiado, especialmente em comunidades vulneráveis onde a demanda excede a oferta. A ausência de processos participativos pode marginalizar os usuários, que muitas vezes não são consultados sobre design ou funcionalidade, comprometendo o consentimento informado e a dignidade (Zuniga *et al.*, 2015). Além disso, próteses de baixa qualidade, feitas com materiais como PLA, podem gerar estigmatização ou insatisfação, afetando a autoestima dos usuários. Iniciativas como a Regenera, que integra ciência e inclusão, tentam mitigar esses problemas, mas a falta de diretrizes éticas claras para projetos comunitários permanece um obstáculo (Regenera, 2023).

No âmbito normativo, a ausência de regulamentações específicas para próteses biônicas impressas em 3D é uma barreira significativa. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) não possui normas claras para validar dispositivos produzidos por manufatura aditiva, o que gera insegurança jurídica e limita a adoção em sistemas de saúde públicos (Cycor, 2025). A Lei Brasileira de Inclusão (LBI, Lei nº 13.146/2015) estabelece a acessibilidade como direito, mas não detalha incentivos fiscais ou políticas para tecnologias assistivas inovadoras, como a impressão 3D (Brasil, 2015). Essa lacuna regulatória dificulta parcerias público-privadas e a integração de próteses 3D no Sistema Único de Saúde (SUS), essencial para alcançar populações vulneráveis. A comparação com próteses tradicionais, que custam a partir de R\$38.000 (Cycor, 2025), reforça a necessidade de regulamentação para viabilizar alternativas acessíveis.

Para superar esses desafios, são necessárias estratégias integradas. Políticas públicas, como subsídios para impressoras 3D e filamentos, e programas de capacitação comunitária, podem ampliar o acesso em áreas vulneráveis. Parcerias entre universidades, startups, e o SUS, inspiradas em modelos como a Regenera, podem fomentar a inovação e a escalabilidade. No campo ético, diretrizes para projetos participativos, que envolvam usuários no desenvolvimento, são essenciais para garantir equidade e dignidade. Normativamente, a Anvisa e o Ministério da Saúde devem estabelecer regulamentações específicas, alinhadas à LBI, para validar próteses 3D e integrá-las ao sistema de saúde. Essas medidas, articuladas a

iniciativas globais como a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (CDPD), podem transformar a impressão 3D em uma ferramenta de inclusão (Brasil, 2009).

Em síntese, a impressão 3D de próteses biônicas oferece um caminho promissor para a inclusão, mas sua democratização em contextos de vulnerabilidade socioeconômica exige enfrentar desafios complexos. As barreiras sociais, como infraestrutura e desigualdade, os dilemas éticos de equidade e dignidade, e as lacunas normativas, como a ausência de regulamentação, demandam ações coordenadas. Ao articular políticas públicas, parcerias inovadoras, e diretrizes éticas, o Brasil pode avançar na garantia do direito à acessibilidade, promovendo a cidadania e a qualidade de vida para milhões de pessoas com deficiência.

5 FUNDAMENTAÇÃO JURÍDICA E COMPROMISSOS INTERNACIONAIS

A construção de políticas públicas inclusivas no Brasil está alicerçada em uma base jurídica sólida, composta por normas constitucionais, infraconstitucionais e compromissos internacionais. A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 5º, assegura a igualdade de direitos a todos os cidadãos, sem discriminação, enquanto o artigo 227 estabelece a proteção especial às crianças e adolescentes com deficiência, destacando a responsabilidade conjunta do Estado, da sociedade e da família em garantir uma convivência digna (Brasil, 1988).

No âmbito infraconstitucional, a Lei Brasileira de Inclusão (Lei nº 13.146/2015) representa um marco ao promover os direitos e liberdades fundamentais das pessoas com deficiência em condições de igualdade (Brasil, 2015). Inspirada no modelo social da deficiência, essa lei enfatiza a importância da acessibilidade e da tecnologia assistiva como instrumentos de inclusão e autonomia.

No plano internacional, o Brasil é signatário da Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (CDPD) da ONU, incorporada ao ordenamento jurídico com status de emenda constitucional pelo Decreto nº 6.949/2009 (Brasil, 2009). A CDPD, em seu artigo 4, inciso g, impõe aos Estados a obrigação de promover a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias assistivas, incluindo soluções inovadoras e acessíveis, como a impressão 3D, que têm potencial para ampliar a mobilidade e a autonomia das pessoas com deficiência. Além disso, o artigo 9 destaca a acessibilidade como pilar essencial para a inclusão, enquanto o artigo 20 reforça a necessidade de facilitar a mobilidade pessoal por meio de dispositivos acessíveis, como próteses produzidas com tecnologias de baixo custo.

Outro instrumento relevante é a Convenção Interamericana para a Eliminação de Todas as Formas de Discriminação contra as Pessoas com Deficiência, da Organização dos

Estados Americanos (OEA), ratificada pelo Brasil em 1999. Esse tratado complementa os compromissos internacionais ao exigir medidas legislativas e sociais que eliminem barreiras e promovam o acesso a tecnologias assistivas (Organização dos Estados Americanos, 1999).

Esses tratados possuem aplicabilidade imediata no Brasil, conforme o princípio do controle de convencionalidade, que obriga o alinhamento das políticas públicas aos direitos humanos reconhecidos internacionalmente (Rocha, 2021). A jurisprudência brasileira tem reforçado essa tendência, mas a implementação prática enfrenta desafios significativos. Um deles é a ausência de políticas públicas específicas para financiar a pesquisa e a produção de tecnologias assistivas de baixo custo, como próteses impressas em 3D. Essa lacuna compromete a efetividade das normas, especialmente em contextos de vulnerabilidade socioeconômica, onde o acesso a soluções tradicionais é limitado.

A disseminação do conhecimento sobre esses temas é crucial para a conscientização e a formação de uma cultura inclusiva. Nesse sentido, o podcast “Entender Direito: Acessibilidade e Compromissos Internacionais”, disponível no Spotify, oferece uma análise acessível e didática sobre os fundamentos jurídicos da acessibilidade e os tratados internacionais firmados pelo Brasil. Produzido por especialistas, o episódio destaca a importância da educação jurídica para a consolidação dos direitos das pessoas com deficiência, promovendo a reflexão sobre o papel das leis e das tecnologias assistivas na construção de uma sociedade mais equitativa (Souza; Entender Direito, 2024). Iniciativas como essa são fundamentais para traduzir os marcos legais em uma linguagem acessível ao público, fortalecendo a cidadania e o engajamento social.

Portanto, o arcabouço jurídico brasileiro, combinado aos compromissos internacionais, oferece uma base sólida para a inclusão das pessoas com deficiência. Contudo, a concretização desses direitos exige a superação de barreiras práticas por meio de políticas públicas efetivas, como o incentivo à produção e distribuição de tecnologias assistivas acessíveis, a exemplo da impressão 3D. Somente assim os marcos legais poderão cumprir seu papel de garantir equidade e dignidade, especialmente para os mais vulneráveis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo explorou a impressão 3D de próteses biônicas como uma solução inovadora, acessível e sustentável para promover a inclusão social de pessoas com deficiência no Brasil, alinhando-se aos direitos fundamentais de acessibilidade e dignidade humana. Ao responder ao problema de pesquisa central, em que medida essa tecnologia pode ser

considerada um direito das pessoas com deficiência, considerando os desafios normativos, éticos, sociais e de sustentabilidade para sua implementação em contextos de desigualdade? O estudo adotou uma abordagem analítica que vai além da descrição, integrando revisão bibliográfica, análise comparativa e reflexões críticas sobre o potencial transformador da inovação.

Os principais achados revelam que a impressão 3D não apenas reduz drasticamente os custos (de R\$200 a R\$2.000, em comparação com R\$38.000 das próteses tradicionais), mas também oferece maior personalização e rapidez na produção, promovendo autonomia e mobilidade. Essa tecnologia se alinha perfeitamente aos marcos jurídicos nacionais e internacionais, como a Constituição Federal de 1988 (artigos 1º, III, e 196), a Lei Brasileira de Inclusão (LBI, Lei nº 13.146/2015) e a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (CDPD, Decreto nº 6.949/2009), que enfatizam a obrigação do Estado em garantir tecnologias assistivas acessíveis. Exemplos práticos, como os projetos e-NABLE e Regenera, demonstram sua viabilidade em contextos reais, enquanto casos inovadores, como a prótese para o jabuti, ilustram a versatilidade da impressão 3D além do âmbito humano. Ademais, o aspecto sustentável é central: materiais como o PLA biodegradável minimizam impactos ambientais, reduzindo desperdícios e alinhando a inovação às metas globais de desenvolvimento sustentável, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Entretanto, as barreiras identificadas destacam a complexidade da efetivação dessa tecnologia como um direito pleno. Normativamente, a ausência de regulamentações específicas pela Anvisa cria insegurança jurídica e limita a integração ao Sistema Único de Saúde (SUS). Socialmente, desigualdades regionais e econômicas, agravadas pelos dados do Censo 2022, que apontam 14,4 milhões de brasileiros com deficiência (7,3% da população com 2 anos ou mais), restringem o acesso em periferias e áreas rurais, onde a infraestrutura tecnológica é precária. Eticamente, questões de equidade surgem quando processos de design excluem a participação dos usuários, potencializando estigmatização e perpetuando vulnerabilidades. No âmbito da sustentabilidade, embora promissora, a durabilidade limitada de materiais ecológicos demanda mais investimentos em pesquisa para equilibrar eficiência ambiental com longevidade. Essa análise crítica revela que, sem intervenções integradas, a impressão 3D corre o risco de beneficiar apenas elites urbanas, reforçando em vez de mitigar as desigualdades estruturais no Brasil.

Para superar esses obstáculos e concretizar o direito à acessibilidade, recomendam-se ações concretas e multifacetadas: (I) a elaboração de regulamentações específicas pela Anvisa

e Ministério da Saúde, incorporando padrões de sustentabilidade e integração ao SUS; (II) incentivos fiscais e subsídios para produção ecológica, priorizando materiais recicláveis e de baixo impacto; (III) parcerias entre Estado, universidades, startups e sociedade civil para fomentar inovação inclusiva, como projetos de extensão acadêmica; (IV) programas de capacitação comunitária com foco em alfabetização digital e sustentabilidade, garantindo que comunidades vulneráveis possam manter e adaptar as próteses. Essas medidas não apenas democratizaram o acesso, mas também fortaleceriam a justiça social, promovendo uma inclusão que respeita a diversidade humana e preserva o meio ambiente.

Em perspectiva futura, pesquisas adicionais poderiam investigar impactos quantitativos da impressão 3D na qualidade de vida, incluindo métricas de sustentabilidade como redução de emissões de carbono e análise de ciclo de vida dos materiais. Além disso, estudos comparativos com regulamentações internacionais poderiam oferecer insights para políticas brasileiras mais robustas. Em síntese, a impressão 3D de próteses biônicas transcende o mero avanço técnico: ela representa um paradigma de inovação responsável, capaz de transformar a acessibilidade em uma realidade efetiva e equitativa. Ao investir nessa tecnologia, o Brasil não só cumpre seus compromissos constitucionais e internacionais, mas também constrói uma sociedade mais digna, inclusiva e sustentável para os 14,4 milhões de cidadãos com deficiência, pavimentando o caminho para um futuro onde a deficiência não seja sinônimo de exclusão, mas de empoderamento coletivo.

REFERÊNCIAS

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília: DF, Presidência da República, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 15 abr. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 6.949, de 25 de agosto de 2009**. Promulga a Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência e seu Protocolo Facultativo, assinados em Nova York, em 30 de março de 2007. Diário Oficial da União, Brasília: DF, 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6949.htm. Acesso em: 15 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 10.741, de 1º de outubro de 2003**. Dispõe sobre o Estatuto da Pessoa Idosa e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília: DF, 2003. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2003/l10.741.htm. Acesso em: 15 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015**. Institui a Lei brasileira de inclusão da pessoa com deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Diário Oficial da União, Brasília: DF,

2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/113146.htm. Acesso em: 14 abr. 2025.

BRASIL. Ministério dos Direitos Humanos e da Cidadania. **Relatório Pessoas com Deficiência**: Diagnóstico com base nos dados e informações disponíveis em registros administrativos, pesquisas e sistemas do Governo Federal. Governo Federal, Brasília: MDHC, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mdh/pt-br/navegue-por-temas/pessoa-com-deficiencia/publicacoes/copy_of_Relatorio_CGIE_PCD_.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025.

BRASIL. Ministério dos Direitos Humanos e da Cidadania. Plano Nacional de Tecnologia Assistiva reúne 24 iniciativas executadas pelo Governo Federal. **GOV**, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdh/pt-br/assuntos/noticias/2021/dezembro/plano-nacional-de-tecnologia-assistiva-reune-24-iniciativas-executadas-pelo-governo-federal>. Acesso em: 11 abr. 2025.

BERNARDES, Vinícius. Jabuti atingido por incêndio ganha novo casco feito em impressora 3D. **CNN Brasil**, 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/jabuti-atingido-por-incendio-ganha-novo-casco-feito-em-impressora-3d/>. Acesso em: 20 abr. 2025. CYCOR. Prótese de mão biônica. Disponível em: <https://www.cycor.com.br/proteses>. Acesso em: 10 abr. 2025.

ENABLING THE FUTURE. About e-NABLE. [S.l.]: e-NABLE, 2023. Disponível em: <http://enablingthefuture.org/about/>. Acesso em: 10 abr. 2025.

BRASIL. Ministério dos Direitos Humanos e da Cidadania. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua. Brasília: **GOV**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mdh/pt-br/assuntos/noticias/2023/julho/brasil-tem-18-6-milhoes-de-pessoas-com-deficiencia-indica-pesquisa-divulgada-pelo-ibge-e-mdhc>. Acesso em: 23 abr. 2025.

IMPRESSORA 3D auxilia na criação de órteses para pessoas com limitações físicas. **IFES**, 2024. Disponível em: <https://www.ifes.edu.br/noticias/21431-impressora-3d-auxilia-na-criacao-de-orteses-para-pessoas-com-limitacoes-fisicas>. Acesso em: 24 abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Convenção sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência. Nova York: **ONU**, 2006. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/disabilities/convention-on-the-rights-of-persons-with-disabilities.html>. Acesso em: 9 abr. 2025.

ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS. **Convenção Interamericana para a Eliminação de Todas as Formas de Discriminação contra as Pessoas com Deficiência**. Guatemala, 1999. Disponível em: <https://www.oas.org/juridico/portuguese/tratados/a-65.html>. Acesso em: 9 abr. 2025.

PRADO, Vanderlei Marcos do; SOGABE, Milton Terumitsu. Impressão 3D no desenvolvimento de produtos de Tecnologia Assistiva: contribuições do design. **Projética**, v. 13, n. 1, p. 15-35, 2022. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/projetica/article/view/42893>. Acesso em: 23 abr. 2025. REGENERA. Curitiba: Regenera, 2023. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Startup-apoiada-pelo-Governo-produz-digitalmente-proteses-faciais-e-biomodelose>. Acesso em: 23 abr. 2025.

SARLET, Ingo Wolfgang. **Dignidade da pessoa humana e direitos fundamentais na Constituição Federal de 1988**. 10. ed. Porto Alegre: Livraria do Advogado, 2020.

SILVA, Victoria Miyasshiro. **Design e tecnologia assistiva**: estudo de materiais e processos para o desenvolvimento de próteses de membro superior por impressão 3D. Orientador: Medola, Fausto Orsi. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Design de Produto) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/0462c111-0ee1-402b-ad56-3cf9ef88c971>. Acesso em: 23 abr. 2025.

SOUZA, Amanda; ENTENDER Direito. **Acessibilidade e Compromissos Internacionais**. Spotify, 2024. Podcast. Disponível em: <https://open.spotify.com/episode/entender-direito-acessibilidade>. Acesso em: 23 abr. 2025.

ROCHA, Maria Elizabeth Guimarães Teixeira. O controle de convencionalidade e sua projeção no ordenamento jurídico brasileiro: uma análise da eficácia dos tratados de direitos humanos na positivação nacional. **Revista Pan-americana de Direito**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. e016, 2021. DOI: 10.37497/RPD.v1i.16. Disponível em: <https://periodicosfapad.emnuvens.com.br/rtpj/article/view/16>. Acesso em: 23 abr. 2025.

VICENTIN, D.; SALAZAR, R. Low-cost prosthesis gives Brazil cancer survivor a new face. *Medical Xpress*, 7 jan. 2020. Disponível em: <https://medicalxpress.com/news/2020-01-low-cost-prosthesis-brazil-cancer-survivor.html>. Acesso em: 9 abr. 2025.

MYBURGH, Johannes. Low-cost prosthesis gives Brazil cancer survivor a new face. **Medical Xpress**, 2020. Disponível em: <https://medicalxpress.com/news/2020-01-low-cost-prosthesis-brazil-cancer-survivor.html>. Acesso em: 9 abr. 2025.

ZUNIGA, J. *et al.* Cyborg beast: a low-cost 3D-printed prosthetic hand for children. **BioMedical Engineering Online**, v. 14, n. 1, p. 1–10, 2015. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4522140/>. Acesso em: 11 abr. 2025.