

A vida depois de dar vida: ciclo de vida dos dispositivos biomédicos

Adriana Cavaco

Inês Moreira

Maria Margarida Correia

Universidade do Algarve, Portugal

DOI: <https://doi.org/10.31492/2184-2043.RILP2024.46/pp.119-134>

Resumo

A necessidade do uso de dispositivos biomédicos tem crescido em paralelo ao aumento e envelhecimento da população, resultando numa maior utilização de uma variedade de dispositivos para apoio, prevenção, controlo, diagnóstico, tratamento ou substituição. Os dispositivos biomédicos, equipamentos e *softwares*, de diagnóstico ou terapêutica, contribuem para a saúde e qualidade de vida das populações. Com o desenvolvimento da tecnologia e indústria, os dispositivos estão cada vez mais eficazes e seguros. No entanto, surge a urgência de reduzir os resíduos provenientes desses dispositivos, cujo volume tem aumentado consideravelmente, tornando-se uma preocupação ambiental significativa. Este trabalho de revisão tem como objetivo oferecer uma visão geral das práticas de reutilização, reciclagem e do ciclo de vida desses dispositivos, explorando as suas implicações económicas e ambientais. Além disso, promove uma abordagem mais sustentável e eficiente para lidar com esses dispositivos, visando mitigar os impactos ambientais e otimizar o uso dos recursos disponíveis.

Palavras-chave: Ciclo de vida; Dispositivos biomédicos; Reciclagem; Reduzir; Reutilização.

Abstract

The need for the use of biomedical devices has grown in parallel with the increase and aging of the population, resulting in greater use of a variety of devices for support, prevention, control, diagnosis, treatment or replacement. Medical devices, equipment and *software*, whether diagnostic or therapeutic, contribute to the health and quality of life of populations. With the development of technology and industry, devices are increasingly effective and safe. However, there is an urgency to reduce waste from these devices, the volume of which has increased considerably, becoming a significant environmental concern. This review work aims to offer an overview of the reuse, recycling and life cycle practices of these devices, exploring their economic and environmental implications. Furthermore, it promotes a more sustainable and efficient approach to dealing with these devices, aiming to mitigate environmental impacts and optimize the use of available resources.

Keywords: Life cycle; Biomedical devices; Recycling; Reduce; Reuse.

1. Introdução

Em Portugal, encontram-se registados mais de 130 000 modelos de dispositivos biomédicos, os quais são comercializados por mais de 2600 operadores económicos com portfólios de tamanhos e graus de diferenciação muito díspares. A complexidade do setor é adensada quando se considera que os dispositivos

biomédicos têm um tempo de vida médio entre os 18 e os 24 meses, isto é, o período entre a concepção de um determinado dispositivo médico e o momento em que surge uma nova solução que torna a anterior tecnologia obsoleta. Deste curto ciclo resulta a existência no mercado de dispositivos do mesmo tipo, mas provenientes de gerações distintas (Infarmed, n.d.).

Os dispositivos biomédicos fazem parte da humanidade há milhares de anos. Durante a parte inicial da história, o metal foi o principal material utilizado para preparar dispositivos biomédicos. No final da década de 1920, a cerâmica também era utilizada, principalmente para ortopedia, implantes ósseos e dentários. Algum tempo depois, o vidro começou a ser usado em tubos e armazenamento. Mas alguns dos problemas associados a estes materiais, como o elevado peso, o maior custo de fabrico e a menor biocompatibilidade, abriram caminho para a utilização de plásticos nos cuidados biomédicos. Embora os cientistas tenham feito experiências com plásticos desde o início do século XIX, os plásticos começaram a revolucionar a indústria médica apenas em meados do século XX (Joseph et al., 2021).

O desenvolvimento de novos modelos e materiais tem tornado estes dispositivos mais versáteis e acessíveis, o que contribui para a melhoria da qualidade de vida das populações (Wyss, 2019). No entanto, a quantidade de resíduos produzidos tem aumentado e é hoje uma preocupação ambiental significativa (Deepak *et al.*, 2022). O objetivo principal deste trabalho é abordar, por meio de uma revisão da literatura atual, as práticas vigentes de reutilização, reciclagem e do ciclo de vida dos dispositivos biomédicos, bem como as suas implicações económicas e ambientais. Especificamente, pretende-se abordar os conceitos, funcionalidade e materiais dos principais dispositivos biomédicos, e ainda a sustentabilidade nesta indústria. Neste âmbito é relevante perceber o tempo de vida e diferentes formas de descarte dos principais tipos de dispositivos biomédicos e materiais utilizados atualmente.

2. Metodologia

O presente estudo tem como método a revisão da literatura científica, com o objetivo de, além de enquadrar a importância dos dispositivos biomédicos nos dias de hoje, identificar as práticas de reutilização, reciclagem e do ciclo de vida desses dispositivos, o seu impacto económico e ambiental nas sociedades e abordagens sustentáveis e eficiente.

Primeiramente, foram selecionadas as bases e portais de dados para a realização da pesquisa, tendo sido selecionadas a *PubMed*, *Scholar Google*, *Science Direct* e a biblioteca *SciELO (Scientific Electronic Library Online)*. Após, foram

configurados os descritores apropriados para a questão da pesquisa através dos vocabulários estruturados da área da saúde. Dessa forma, os termos delimitadores da pesquisa foram *biomedical devices AND life cycle AND recycling AND reduce AND reuse*.

A seleção dos artigos científicos atendeu os seguintes critérios de inclusão: ser um artigo original ou revisão, de acesso gratuito, em idioma português ou inglês e que abordasse o ciclo de vida dos dispositivos biomédicos. Já os critérios de exclusão foram: data de publicação anterior a 2020 e/ou artigos duplicados.

Por conseguinte, foi realizada a leitura dos artigos pelo título e resumo e embora tenha-se utilizado os descritores, dos 312 artigos identificados, foram excluídos 56 pois abordavam de maneira superficial ou extremamente específica um dos tópicos, tendo sido selecionados para este estudo 8 artigos científicos, na sua maioria em inglês, e ainda um relatório, que abordam de maneira integrativa o ciclo de vida dos dispositivos biomédicos.

Os artigos científicos em estudo são apresentados na tabela 1. Além da identificação dos artigos, apresenta-se uma breve descrição dos principais objetivos, métodos e conclusões, cujo enquadramento e análise se encontram nos capítulos 3 e 4 deste trabalho.

Tabela 1. Distribuição dos artigos segundo título, autores, ano, objetivos, método, conclusão

Artigo	Título	Autores – Ano	Objetivos	Método	Conclusão
Artigo 1	Recent advances and challenges in recycling and reusing biomedical materials	Kheirabadi S. & Sheikhi A. (2022)	Destacar as desvantagens dos métodos atuais de descarte e o potencial da reutilização e reciclagem de resíduos biomédicos, enfatizando os processos, materiais e produtos químicos envolvidos em cada prática	Revisão	A preocupação com o ambiente e a saúde pública está relacionada com um aumento da preocupação da gestão dos resíduos. As técnicas recentes são ambientalmente e financeiramente benéficas
Artigo 2	Recycling of medical plastics	Joseph B., James J., Kalarikkal N. & Thomas S. (2021)	Esta revisão mostra as grandes quantidades de plástico que são usados na medicina, as suas desvantagens e ainda mostra o potencial de reciclagem dos plásticos biomédicos mais utilizados	Revisão	Os plásticos revolucionaram a indústria médica, mas a sua eliminação provoca várias consequências. Existe um grave problema na sua reciclagem uma vez que são considerados infecciosos. Existem várias estratégias de reciclagem e podem ser ampliadas e integradas com novas alternativas sustentáveis

Artigo	Título	Autores – Ano	Objetivos	Método	Conclusão
Artigo 3	Promoting sustainability in nursing and midwifery clinical laboratories: Strategies for resource reduction, reuse, and recycling	Levet-Jones T., Bonnamy J., Fields L., Maguire J., Tracey Moroney OAM, Pich J., Sheridan L. & Lokmic-Tomkins Z. (2024)	O objetivo geral deste documento é fornecer uma série de exemplos que ilustram iniciativas de sustentabilidade utilizadas em quatro laboratórios de competências clínicas baseados em universidades	Revisão	Este artigo ilustra como a integração de práticas sustentáveis nos laboratórios clínicos pode ajudar a abordar as emissões de gases de efeito estufa a mitigar o impacto das alterações climáticas na saúde planetária. Enfatizamos como a educação clínica em enfermagem e obstetria pode ser realizada de maneira ecologicamente correta e fiscalmente responsável, com soluções educacionais práticas e bem pensadas
Artigo 4	Surgical waste reprocessing: Injection molding using recycled blue wrapping paper from the operating room	B. van Straten, D.R. van der Heiden, D. Robertson, C. Riekwel, F.W. Jansen, M. van der Elst & T. Horeman (2021)	O objetivo deste estudo foi desenvolver um método para reciclar resíduos de WP em novos dispositivos biomédicos	O <i>wrapping paper</i> (WP) foi recuperado do Hospital Maasstad, Holanda, foi fundido em barras, granulado e misturado ao material virgem em diferentes proporções e temperaturas. Foram moldados em formato osso de cão por injeção a partir de volume (v.%) de granulado virgem, misto (%R) e reciclado (100%R), e utilizando uma máquina de teste de tração foram comparadas as propriedades do material antes e depois de dez ciclos de desinfecção no departamento de esterilização. Em seguida, foram confeccionados 25 abridores de instrumentos com material 50%R e circulados por quatro semanas	É viável reciclar resíduos de WP em matéria-prima de alta qualidade para moldagem por injeção de dispositivos biomédicos sem o uso de aditivos. Isto permitiria que os hospitais se tornassem mais compatíveis com a economia circular, permitindo processos circulares e economicamente viáveis que contribuíssem positivamente para processos técnicos mais limpos, produtos sustentáveis e a redução de resíduos biomédicos

Artigo	Título	Autores – Ano	Objetivos	Método	Conclusão
Artigo 5	Sustainable open-source medical devices manufactured with green biomaterials and accessible resources	Andrés Díaz Lantada & Carmelo De Maria (2023)	A possibilidade de utilizar matérias-primas no ponto de atendimento, para a fabricação de filamentos e outras matérias-primas imprimíveis, contribuirá para responder às limitações mencionadas anteriormente para a fabricação de OSMDs mais próximos dos pacientes em todo o mundo	Revisão	Os OSMD estão a surgir com a ambição de promover a boa saúde e o bem-estar para todos, enquanto promovem soluções eco eficientes, técnica e economicamente viáveis, capazes de transformar os cuidados de saúde através da inovação e de contribuir para a criação de trabalho digno, especialmente nos países de baixo e médio rendimento
Artigo 6	Reprocessamento de Marca-Passos em Países de Língua Portuguesa: Uma Reflexão Clínica	Lima, N. de A., Rocha, E. A., Damasceno, A., Costa, I. P., Ricardo, J. R. B., Lopes, F. J., Dias, L., Soares, M. B. dos P. C., Puroll, E., Eagle, K. A., & Crawford, T. C. (2023)	Este artigo revisa e resumir o que se conhece sobre a temática de reutilização de pacemakers, particularmente em regiões de maior dificuldade de acesso a esses aparelhos	Revisão	Há uma enorme disparidade entre países de baixa e média renda e os países de alta renda, especialmente quando se envolve a estimulação cardíaca artificial. O reuso de pacemakers tem se mostrado seguro, ético e eficaz para aqueles que necessitam de dispositivos cardíacos implantáveis e não têm como adquiri-los. Parte dos países de língua portuguesa, especialmente na África, necessitam de uma resposta imediata que beneficie os seus inúmeros pacientes que padecem de arritmias tratáveis. Entretanto, cada nação deve ter uma ampla discussão legal e ética antes de aprovar essa técnica

→

Artigo	Título	Autores – Ano	Objetivos	Método	Conclusão
Artigo 7	A Circular Healthcare Economy: a feasibility study to reduce surgical stainless steel waste	B. van Straten, J. Dankelman, A. van der Eijk & T. Horeman (2021)	Verificar se é possível obter poupanças de custos quando se utilizam a reparação, a renovação e a reciclagem como métodos para chegar a um conceito de fecho do ciclo circular num ambiente hospitalar	Durante um período de quase 6 meses entre 25 de setembro de 2018 e 12 de fevereiro de 2019, foram coletados instrumentos reutilizáveis e descartáveis de aço inoxidável da Sala de Operações dos hospitais afiliados	Os resultados deste projeto piloto circular realizado com 3 hospitais indicaram que o reprocessamento circular de resíduos de aço inoxidável em novas matérias-primas e a (re) fabricação de novos dispositivos biomédicos a partir de resíduos hospitalares de SS são viáveis. Além disso, o reprocessamento circular não só contribui para a prevenção de resíduos, mas também economiza custos relacionados com a eliminação de resíduos hospitalares contaminados e não contaminados
Artigo 8	Lifecycle extension of single-use medical device sensors: Case study of an engineering sustainability transition program	K. Leppälä, L. Vornanen & O. Savinen (2023)	O objetivo é examinar a execução de um programa de transição de sustentabilidade de um grande fabricante de dispositivos biomédicos de um sensor de uso único pós-comercialização	Estudo qualitativo sobre sensor descartável de uso único e sua embalagem	São necessários casos de melhorias em larga escala na engenharia do ciclo de vida, nos materiais e na produção para abordar e impulsionar programas de sustentabilidade tecnológica

Notas: Elaboração própria

3. Dispositivos biomédicos

Dispositivos biomédicos consistem em qualquer instrumento, aparelho, equipamento, *software*, material ou artigo utilizado isoladamente ou em combinação, incluindo o *software* destinado pelo seu fabricante a ser utilizado especificamente para fins de diagnóstico ou terapêuticos e que seja necessário para o bom funcionamento do dispositivo médico, cujo principal efeito pretendido no corpo humano não seja alcançado por meios farmacológicos, imunológicos ou metabólicos, embora a sua função possa ser apoiada por esses meios, destinado pelo fabricante a ser utilizado em seres humanos para fins de:

- i) Diagnóstico, prevenção, controlo, tratamento ou atenuação de uma doença;
- ii) Diagnóstico, controlo, tratamento, atenuação ou compensação de uma lesão ou de uma deficiência;

- iii) Estudo, substituição ou alteração da anatomia ou de um processo fisiológico;
 - iv) Controlo da concepção;
- (Decreto-Lei no 145/2009, de 17 de junho do Ministério da Saúde, 2009)

3.1. Prótese, ortótese e outros dispositivos médicos

Próteses e ortóteses são dispositivos auxiliares comuns que ajudam pessoas com deficiência a atender às suas necessidades biomecânicas. Próteses são usadas para substituir partes do corpo, como os membros inferiores, membros superiores ou outras. As ortóteses, sustentam e modificam as características estruturais e funcionais do sistema músculo-esquelético humano (Wang *et al.*, 2020).

3.2. Funcionalidades e materiais

Os dispositivos biomédicos são construídos com diversos materiais. Esses materiais podem ser plásticos, metais, couros, madeiras, borrachas, espumas, tecidos ou adesivos. As propriedades físicas e estéticas de cada material influenciam o projeto, a durabilidade e o custo, assim como a aceitação do equipamento por parte do paciente. Os materiais diferem em força, flexibilidade, facilidade de moldagem, peso, durabilidade e estética (Bruckner *et al.*, 2006; Fonseca *et al.*, 2015).

As características físicas presentes nos materiais são a resistência (capacidade de um material resistir a forças), a elasticidade (capacidade de um material recuperar suas dimensões originais), a plasticidade (capacidade de um material modificar-se sem romper a sua forma) e a resistência à corrosão (capacidade de um material resistir à deterioração quando expostos a agentes químicos) (Bruckner *et al.*, 2006; Fonseca *et al.*, 2015).

A escolha dos materiais depende de vários fatores, como por exemplo, do tempo de utilização (se é para uso temporário ou para uso permanente), da leveza do material, da durabilidade (se o material deve ser mais resistente, dependente do tempo de uso), das condições financeiras e das reações alérgicas (Bruckner *et al.*, 2006; Fonseca *et al.*, 2015).

4. Sustentabilidade na indústria dos dispositivos

A sustentabilidade é a capacidade de satisfazer as nossas necessidades no presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. A rápida delapidação dos recursos naturais, os impactos que a atividade humana tem nos ecossistemas e na biosfera, os níveis elevados de desigualdades sociais e de pobreza que enfrentamos, e a falta de ética de gestão corporativa são inimigos de um modelo de desenvolvimento sustentável, capaz

de assegurar às gerações futuras as oportunidades e qualidade de vida de que as atuais gerações (ainda) beneficiam (Sustentabilidade – BCSD Portugal, n.d.).

Os cuidados de saúde são o quinto maior emissor global de emissões de gases com efeito de estufa, exigindo esforços significativos para fazer a transição para um futuro ambientalmente sustentável. Todos os anos, toneladas de material hospitalar como máscaras, aventais, luvas, entre outros, acabam em aterros sanitários (Levett-Jones *et al.*, 2024).

4.1. Na Europa e no mundo

O tamanho do mercado global de plásticos biomédicos foi avaliado em cerca de US\$ 22,8 bilhões em 2019 e deverá atingir US\$ 31,7 bilhões até 2024 (Joseph *et al.*, 2021).

Os hospitais nos Países Baixos geram aproximadamente 1,3 milhões de kg de resíduos provenientes do *wrapping paper* (WP) de polipropileno (PP) utilizado para embrulhar instrumentos cirúrgicos todos os anos (van Straten *et al.*, 2021).

Na Ásia, o total de resíduos biomédicos gerados é estimado em cerca de 16659,48 toneladas/dia. Cerca de 5,9 milhões de toneladas de resíduos são geradas por ano em instalações de saúde nos EUA e 1,7 milhão de toneladas são compostas de plásticos. A reciclagem de PVC em hospitais é amplamente realizada na Austrália pelo *Vinyl Council of Australia*. Tavaux (França) possui uma planta piloto de reciclagem química de PVC onde a reciclagem é realizada por gaseificação em banho de escória (Joseph *et al.*, 2021).

Na *Curtin University*, uma equipa de estudantes procurou maneiras novas e originais de reaproveitar plásticos descartáveis e outros itens que não podem ser reutilizados. Esses itens são separados e doados a grupos comunitários, como centros de reciclagem, ou enviados para países com poucos recursos. Este processo é realizado de forma ponderada, reconhecendo que nem todos os artigos de plástico descartáveis serão benéficos e que não é apropriado transferir a responsabilidade da reciclagem ou da gestão de resíduos para países com recursos limitados. É também importante notar que, embora vários plásticos de utilização única, incluindo itens frequentemente utilizados, como máscaras e luvas, possam ser externalizados a terceiros para reciclagem comercial (Levett-Jones *et al.*, 2024).

Um exemplo de reaproveitamento de equipamento médico é a *Penta Medical Recycling*, fundada por estudantes universitários em 2016 para levar cuidados protésicos acessíveis a países de baixo e médio rendimento, enquanto reaproveita o que de outra forma seria considerado lixo médico nos Estados Unidos (Penta-Med, n.d.).

Esta ideia surgiu da constatação de que 85-95% dos 100 milhões de amputados do mundo não têm acesso a cuidados e equipamentos protésicos adequados, enquanto centenas de milhares de próteses funcionais, mas ligeiramente desatualizadas, são substituídas e descartadas nos Estados Unidos todos os anos (PentaMed, n.d.).

Na *Penta Medical Recycling*, descobriram que poderiam resolver esses dois problemas simultaneamente, recolhendo e reaproveitando equipamentos protésicos e ortopédicos usados nos Estados Unidos. Ao fazê-lo, são capazes de eliminar a desordem das casas particulares, aliviar as clínicas da responsabilidade de recolher dispositivos inutilizáveis e também trazer de volta a capacidade de andar, trabalhar e prosperar aos amputados em todo o mundo (PentaMed, n.d.).

A *Penta Medical Recycling* foi formalmente constituída como uma organização sem fins lucrativos em 2018 e, desde então, tornou-se uma operação global que trabalha com organizações governamentais de saúde, instituições de saúde públicas e privadas e outros grupos sem fins lucrativos sediados nos EUA e no exterior. As operações da *Penta* expandiram-se para 16 países diferentes em seis regiões do mundo e continuam a explorar oportunidades de expansão (PentaMed, n.d.).

4.2 Tempo de vida e descarte

O crescimento exponencial da população e a necessidade do aumento dos serviços de saúde resultam num aumento do desperdício nas unidades de saúde. A natureza crescente dos resíduos biomédicos e o seu descarte inadequado tornou-se uma preocupação significativa, resultando em um impacto negativo no meio ambiente (Deepak *et al.*, 2022).

Os resíduos biomédicos são divididos em duas categorias: (i) resíduos perigosos, envolvendo pegadas biológicas, químicas, radioativas e/ou físicas, e (ii) resíduos não perigosos, constituindo cerca de 85% dos resíduos gerados em atividades de saúde semelhantes a lixo doméstico (Kheirabadi & Sheikhi, 2022).

Os métodos atuais de tratamento de resíduos biomédicos são tratamentos térmicos, químicos, radiativos, biológicos e mecânicos, onde o tratamento térmico é a tecnologia mais comum em todo o mundo (Kheirabadi & Sheikhi, 2022).

Assim, devido ao crescimento de consumo, tornou-se importante a política do “3 R’s”. O primeiro “R”, reduzir, consiste em diminuir o consumo, o segundo “R”, reutilizar, consiste na procura de novas utilidades dos materiais que iam ser jogados fora depois de ser utilizados, e por último, o terceiro “R”, reciclar, consiste na separação do lixo para que as transformações químicas ou físicas necessárias sejam aplicadas para a produção de novos produtos (Rosa *et al.*, 2023).

4.2.1. Reutilização

Um estudo feito nos Países Baixos mostra um método para reciclar resíduos de WP em novos dispositivos biomédicos. Aproximadamente 30% de todos os resíduos hospitalares são plásticos, 30% são papelão e papel e aproximadamente 20% vêm de salas cirúrgicas. O uso do WP parece ser um grande contribuinte para a produção de resíduos, pois é utilizado em todo o tipo de procedimento cirúrgico. WP é usado para embrulhar as bandejas com instrumentos cirúrgicos. O WP forma uma barreira estéril ao redor da bandeja, permitindo que os instrumentos permaneçam estéreis. O WP é feito de polipropileno não tecido (PP), que é um polímero termoplástico e tem alto potencial de reciclagem. O PP é amplamente utilizado em muitos produtos e é encontrado em muitas aplicações industriais (van Straten *et al.*, 2021).

Pela primeira vez, dispositivos biomédicos feitos de resíduos hospitalares de PP reciclado foram utilizados no ambiente hostil do departamento de esterilização daquele hospital. Os resultados mostraram que o objetivo do estudo foi alcançado e foi possível processar resíduos de PP em novos produtos qualitativos que poderiam ser utilizados no mesmo hospital sem o uso de aditivos. Nos Países Baixos, estima-se que 1,3 milhões de kg de WP são utilizados anualmente. Potencialmente, 8.320.000 dispositivos poderiam ser fabricados durante a recolha de resíduos de WP por apenas um ano (van Straten *et al.*, 2021).

4.2.2. Reciclagem

O reprocessamento e a reutilização de materiais e dispositivos biomédicos são abordagens comuns da gestão de resíduos para aumentar os benefícios econômicos e ambientais. A reciclagem é realizada convertendo um produto nos seus materiais e transformando-os num novo produto, sendo que a adequação do processo depende dos componentes do produto (Kheirabadi & Sheikhi, 2022).

A maioria dos instrumentos biomédicos é feita de plástico, pois são econômicos, duráveis e flexíveis em comparação com metal, cerâmica e vidro. É, portanto, essencial reciclar materiais à base de plástico, embora também tenha sido relatado que umas variedades de resíduos não plásticos são recicláveis, como o aço inoxidável utilizado em instrumentos cirúrgicos, implantes biomédicos e próteses dentárias recolhidos na indústria de cremação, mercúrio de amalgamas dentárias e alumínio de resíduos de blisters farmacêuticos (Kheirabadi & Sheikhi, 2022).

Vários programas foram desenvolvidos por todo o mundo para a reciclagem de resíduos biomédicos à base de plástico. Um piloto de reciclagem foi desenvolvido no Reino Unido para reciclar materiais à base de PVC, como máscaras de anestesia, máscaras de oxigênio e tubos, em itens de horticultura. Outro programa

de reciclagem de PVC em hospitais é conduzido pelo *Vinyl Council of Australia* para refabricar itens valiosos, incluindo mangueiras industriais, a partir de resíduos biomédicos de PVC reciclado, como máscaras e tubos de oxigênio, bolsas de fluido intravenoso e tubos de sucção (Kheirabadi & Sheikhi, 2022).

4.2.2.1. Plásticos

Os plásticos podem ser processados em qualquer formato ou tamanho e podem ser facilmente funcionalizados para conferir propriedades químicas ou funcionais desejadas. Os instrumentos biomédicos que eram feitos de metal, cerâmica ou vidro são agora substituídos por plásticos que provaram ser rentáveis e duráveis. Os plásticos são amplamente explorados no fabrico de descartáveis médicos devido à propagação de infecções associadas a materiais não descartáveis. Para utilizar plásticos em aplicações biomédicas, deve-se ter cuidado na seleção do material plástico apropriado, suas propriedades químicas e térmicas, potencial de esterilização e sua durabilidade (Joseph *et al.*, 2021).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), durante a pandemia todos os meses foram necessários, 89 milhões de máscaras, 30 milhões de aventais, 1,59 milhão de óculos de proteção e 76 milhões de luvas. A média de resíduos gerados no hospital da Universidade King Abdullah, na Jordânia, foi estimada em dez vezes maior do que a taxa média de geração durante os dias operacionais normais do hospital (14,16 kg/paciente/dia, considerando 95 pacientes infetados) durante um período de 25 dias (Joseph *et al.*, 2021).

Os plásticos são preferidos aos metais, vidros ou cerâmicas na indústria médica. A principal razão para isso é a facilidade de esterilização (Joseph *et al.*, 2021).

A introdução da sustentabilidade nos plásticos biomédicos tem sido um assunto de discussão nos últimos tempos. Vários estudos enfocam a necessidade do uso de plásticos biodegradáveis ou bioplásticos (Joseph *et al.*, 2021).

Os bioplásticos são ecologicamente corretos e são usados em aplicações que vão desde implantes biomédicos até dispositivos de administração de medicamentos. A principal fonte de bioplásticos é a biomassa, como as culturas agrícolas. Alguns dos exemplos comuns incluem ácido polilático (PLA), amido, celulose, etc. Os bioplásticos também são produzidos por microrganismos, algas, etc. Os polihidroxicanoatos (PHA) são plásticos biodegradáveis frequentemente estudados, produzidos por microrganismos. As microalgas são consideradas uma fonte potencial de biomassa para a produção de bioplásticos. Eles também podem ser combinados com outros polímeros ou plásticos de petróleo para produzir bioplásticos com propriedades mecânicas aprimoradas (Joseph *et al.*, 2021).

4.2.2.2. *Metal*

A maioria dos instrumentos descartados e resíduos biomédicos de aço inoxidável (AI) contêm materiais valiosos que podem ser reutilizados; possuem boa resistência à corrosão ou possuem ligas de titânio e até materiais cerâmicos e poliméricos. Os instrumentos cirúrgicos são normalmente fabricados em AI. Este material representa ligas à base de ferro (Fe) contendo uma percentagem de cromo (Cr) e níquel (Ni). Além disso, normalmente contém elementos de liga como molibdênio (Mo), manganês (Mn), carbono (C), nitrogénio (N), fósforo (P), enxofre (S) e silício (Si). O AI tem propriedades mecânicas e resistência à corrosão que podem ser melhoradas quando se liga com Cr, Ni, Mo e N (van Straten *et al.*, 2021).

Ambos os tipos de AI frequentemente utilizados na sala de cirurgia são recicláveis por meio de fusão e reprocessamento. Segundo a Associação Australiana de Aço Inoxidável (ASSA), o AI oferece boas perspectivas de reciclagem. Um estudo feito nos Países Baixos onde foram recolhidos 1.380 kg de resíduos nos três hospitais participantes. Os resíduos consistiam em instrumentos utilizados para cirurgia básica, como tesouras e cortadores de ossos, mas também instrumentos para cirurgias mais especializadas, como intervenção por cateter ou cirurgia minimamente invasiva e ainda cestos de malha, cestos de arame e bandejas de inox. A primeira inspeção revelou que 20% dos resíduos consistiam em instrumentos que se encontravam em boas condições para serem reparados. Os instrumentos descartados restantes consistiam em instrumentos de modelos mais antigos que foram retirados de rotação ou instrumentos que apresentavam corrosão, alterações de cor, afrouxamento parcial de sua camada superficial ou corrosão (van Straten *et al.*, 2021).

O reprocessamento circular não só contribui para a prevenção de resíduos, mas também economiza custos relacionados com a eliminação de resíduos hospitalares contaminados e não contaminados. Dos três principais métodos de reprocessamento de resíduos (reparação/remodelação, reciclagem e eliminação de resíduos hospitalares), a reparação e remodelação de instrumentos cirúrgicos, em vez da substituição por novos instrumentos, revelam-se como os que apresentam maior potencial em termos de redução de custos (van Straten *et al.*, 2021).

4.2.2.3. *Biomateriais verdes*

Open-source medical devices (OSMD), dispositivos biomédicos disponibilizados publicamente para que qualquer pessoa possa estudar, modificar, distribuir, fabricar e vender, estão a surgir com a ambição de promover a boa saúde e o bem-estar para todos, ao mesmo tempo que promovem soluções eco eficientes, técnica e economicamente viáveis, capazes de transformar os cuidados de saúde através da inovação e de contribuir para a criação de trabalho digno,

especialmente nos países de baixo e médio rendimento. É necessário destacar o potencial catalisador dos biomateriais verdes e circulares, processáveis utilizando recursos de (bio)impressão 3D acessíveis e disponíveis para acelerar e multiplicar o poder transformador esperado dos OSMDs (Díaz Lantada & De Maria, 2023).

A obtenção de biomateriais “verdes” e sustentáveis ou circulares a partir de resíduos industriais, resíduos de biomassa e origem biológica, que podem ser processados para criar matérias-primas para impressoras 3D e bio impressoras, e já está a ser aplicado na criação de protótipos conceituais de dispositivos biomédicos. Vários materiais de origem biológica estão a ser projetados em muitos casos compostos com polímeros termoplásticos imprimíveis para produzir “biomateriais verdes” para processos de fabrico, incluindo impressão 3D, o que trabalha com outras abordagens mais clássicas para aumentar a sustentabilidade das tecnologias e aplicações, baseado na reciclagem de resíduos para obtenção de matéria-prima imprimível (Díaz Lantada & De Maria, 2023).

No entanto, apesar dos avanços importantes e dos exemplos frutíferos de biomateriais verdes (bio)impressos em 3D, a sua transição para dispositivos biomédicos finais utilizáveis pelos pacientes enfrenta alguns desafios. Estes problemas serão resolvidos ao longo desta década, graças às contribuições sinérgicas da reformulação em curso do ensino de engenharia em conexão com a promoção da sustentabilidade (Díaz Lantada & De Maria, 2023).

4.2.2.4. *Pacemakers*

O conceito de reutilização de *pacemakers* não é novo; entretanto, estudos recentes têm se mostrado seguros, éticos e eficazes para aqueles que precisam de dispositivos eletrônicos cardíacos implantáveis e não tem como adquiri-los. Parte dos países de língua portuguesa, especialmente na África, precisam de uma resposta imediata que beneficie os seus inúmeros pacientes que sofrem de arritmias tratáveis. Para se ter um exemplo, a taxa de implante anual de *pacemakers* é de mais de 700 por milhão de habitantes na França, Suécia e Estados Unidos, enquanto chega a ser menos de sete por milhão no Paquistão, Filipinas e Indonésia e menos de três por milhão na África. Baseado nesses números, é estimado que até um milhão de pessoas morram todos os anos sem acesso a terapia para bradicardia no mundo. Um *pacemaker* chega a custar 2500 dólares americanos, isso é várias vezes mais do que a renda *per capita* de muitos países de baixa e média renda (Lima *et al.*, 2023).

Existem iniciativas que visam diminuir esse abismo entre países de alta renda e países de baixa e média renda, como o *Heartbeat International*, uma organização que distribui *pacemakers* próximos do vencimento, que são doados

generosamente pela indústria de *pacemakers*. O Projeto “*My Heart Your Heart*” (PMHYH) é uma colaboração entre cidadãos, médicos e diretores de funerárias dos Estados Unidos, a Faculdade de Medicina da Universidade de *Michigan*, a *NEScientific* e a *World Medical Relief* (WMR). A WMR é uma organização filantrópica sem fins lucrativos, com sede em Detroit, cuja missão é afetar o bem-estar de indivíduos pobres em escala internacional por meio da distribuição de suprimentos médicos, equipamentos e remédios doados. O objetivo da colaboração é determinar se a reutilização do *pacemaker* pode se mostrar um meio seguro de prestar cuidados a pacientes em países de baixa e média renda. Antes da aprovação de ensaios clínicos internacionais, o projeto MHYH passou os primeiros anos a fornecer a estrutura para que essa ideia fosse apoiada por todos aqueles que ela afetaria. Em mais de 10 anos, o projeto já beneficiou inúmeros pacientes que receberam de forma gratuita *pacemakers* reconicionados em países como Filipinas, Venezuela, Quênia e Serra Leoa, entre outros (Lima *et al.*, 2023).

4.2.2.5. Sensores

Sensores descartáveis e de uso único são consumidos por centenas de milhões em ambientes clínicos de saúde. Os produtos de sensores como consumíveis para dispositivos médicos abrangem vários níveis de complexidade em seu design, fornecimento, fabricação e uso específico. Sensores descartáveis são colocados na pele e usados para adquirir diferentes tipos de sinais biológicos de um paciente. Os sensores podem ser funcionalmente ativos, passivos ou uma combinação dessas duas propriedades. Podem ainda ser usados em pacientes hospitalizados de todas as faixas etárias. Profissionais clínicos, médicos e enfermeiros usam dados de monitoramento de pacientes para auxiliar na avaliação do estado de um paciente e na reatividade do tratamento e para orientar o cuidado (Leppälä *et al.*, 2023).

Embora alguns produtos de dispositivos médicos de uso único estejam a ser projetados para possível reutilização, os sensores em contacto com a pele não podem atualmente ser reutilizados devido a limitações de suas propriedades físicas, risco de contaminação e possíveis danos durante a sua aplicação, uso e remoção (Leppälä *et al.*, 2023).

Os produtos de utilização única proporcionam benefícios, mas muitos deles têm um prazo de validade limitado, devido aos fatores relacionados com os materiais do dispositivo, com a embalagem ou com o estado estéril do dispositivo. Uma solução proposta para o grande desafio da sustentabilidade é o aumento do ciclo de vida do produto em termos de seu tempo de uso efetivo, o que promoveria um design restaurador ao retardar a necessidade de descarte de um produto com data de validade urgente (Leppälä *et al.*, 2023).

No estudo presente no artigo Leppälä et al. (2023), o dispositivo em teste sofreu extensão de ciclo de vida e o sensor passou em todos os testes e conseguiu aumentar a sua validade de 12 para 24 meses, aumentando assim a sustentabilidade.

5. Conclusão

Os dispositivos biomédicos são uma indústria que está constantemente em desenvolvimento e inovação e como tal é de elevada importância garantir a sua sustentabilidade. Dada a sua ampla utilização, os recursos necessários e consequente impacto ambiental que acarretam, existe efetivamente uma preocupação das entidades em desenvolver também técnicas de reciclagem e reutilização estes dispositivos. Com este trabalho conclui-se que, apesar da preocupação, aumentar o investimento nesta abordagem é fundamental.

Conclui-se ainda que os plásticos e os metais são os materiais mais utilizado devido à sua forma de reutilização e de reciclagem, que já existem formas de desenvolver dispositivos com materiais biológicos através de impressão 3D. Verificou-se que outra forma de sustentabilidade é a reutilização de *pacemakers* em países de baixa e média renda, desta forma essa população consegue ter acesso a dispositivos de forma gratuita. Uma solução apresentada é também verificar a capacidade de aumentar a vida útil de um dispositivo fazendo com que este dure mais sem ser necessária a sua substituição.

Sendo os dispositivos biomédicos, na sua maioria, estruturas complexas, verifica-se que é possível encontrar alternativas sustentáveis de reutilização e reciclagem em praticamente todas as classes de materiais utilizados. No entanto, é necessário mais empenho de políticas governamentais para potenciar um efetivo uso sustentável destes dispositivos.

Referências

About Us | PentaMed. (n.d.). Pentaprosthetics.org. Retrieved March 27, 2024, from <https://pentaprosthetics.org/about-us/#media-document>

Bruckner, J. & Edelstein, J. E. (2006). Órteses Abordagem Clínica.

Decreto Lei 145/2009 de 17 de junho do Ministério Saúde. Diário da República: I série, No 145 (2009). Acedido a 03 mar. 2024. Disponível em <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/145-2009-494558>

Deepak, A., Sharma, V. & Kumar, D. (2022). Life cycle assessment of biomedical waste management for reduced environmental impacts. *Journal of Cleaner Production*, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131376>

Díaz Lantada, A., & De Maria, C. (2023). “Sustainable open-source medical devices manufactured with green biomaterials and accessible resources.” In *Current Opinion in Biomedical Engineering* (Vol. 28). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cobme.2023.100500>

Fonseca, M. C. R., Marcolino, A. M., Barbosa, R. I. & Elui, V. M. C.. (2015). Órteses e Próteses: Indicação e Tratamento.

Infarmed. (n.d.). 30 anos de dispositivos médicos infarmed (Infarmed, Ed.)

Joseph, B., James, J., Kalarikkal, N., & Thomas, S. (2021). Recycling of Medical Plastics. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4(3). <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2021.06.003>

Kheirabadi, S., & Sheikhi, A. (2022). Recent advances and challenges in recycling and reusing biomedical materials. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 38, 100695. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100695>

Leppälä, K., Vornanen, L. & Savinen, O. (2023). Lifecycle extension of single-use medical device sensors: Case study of an engineering sustainability transition program. *Journal of Cleaner Production*, 423, 138518. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138518>

Levett-Jones, T., Bonnamy, J., Fields, L., Maguire, J., Tracey Moroney OAM, Pich, J., Sheridan, L., & Zerina Lokmic-Tomkins. (2024). Promoting sustainability in nursing and midwifery clinical laboratories: Strategies for resource reduction, reuse, and recycling. *Nurse Education Today*, 134, 106105-106105. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2024.106105>

Lima, N. de A., Rocha, E. A., Damasceno, A., Costa, I. P., Ricardo, J. R. B., Lopes, F. J., Dias, L., Soares, M. B. dos P. C., Puroll, E., Eagle, K. A., & Crawford, T. C. (2023). Reprocessamento de Marca-Passos em Países de Língua Portuguesa: Uma Reflexão Clínica. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 120(2). <https://doi.org/10.36660/abc.20210941>

Rosa, C., Fonseca, C., Martins, J., José Miguel Salgado, & Figueira, M. (2023). As práticas de reduzir, reutilizar e reciclar no Instituto Politécnico da Guarda. *Egitania Scientia*, 1(28), 205-226. <https://doi.org/10.46691/es.v1i28.94>

Sustentabilidade – BCSD Portugal. (n.d.). <https://bcdsportugal.org/sustentabilidade/>

van Straten, B., Dankelman, J., van der Eijk, A., & Horeman, T. (2021). A Circular Healthcare Economy; a feasibility study to reduce surgical stainless steel waste. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 169-175. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.030>

van Straten, B., van der Heiden, D. R., Robertson, D., Riekwel, C., Jansen, F. W., van der Elst, M., & Horeman, T. (2021). Surgical waste reprocessing: Injection molding using recycled blue wrapping paper from the operating room. *Journal of Cleaner Production*, 322, 129121. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129121>

Wang, Y., Tan, Q., Pu, F., Boone, D. & Zhang, M. (2020). A Review of the Application of Additive Manufacturing in Orthotic Clinics from a Biomechanical Perspective. *Engineering*, 6(11), 1258-1266. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.07.019>

Wyss U. P. (2019). Improving the Quality of Life of Patients With Medical Devices by a Timely Analysis of Adverse Events. *Frontiers in medicine*, 6, 56. <https://doi.org/10.3389/fmed.2019.00056>