

Impacto ambiental dos robôs humanoides

Pedido de avaliação do ciclo de vida e da adequação das regras europeias

Autor: Ginovaldo Rodrigues de Pitta Simões

Cidadão português residente nos Países Baixos

Destinatário: Comissão Europeia, Direção-Geral do Ambiente

Data: 7 de outubro de 2026

Objeto do pedido

Solicito à Comissão Europeia uma avaliação dos impactos ambientais associados aos robôs humanoides colocados no mercado europeu e da adequação das regras aplicáveis à sua durabilidade, reparação, consumo de recursos e gestão no fim da vida útil. Peço que a avaliação identifique eventuais lacunas e indique se são necessárias medidas adicionais proporcionais aos riscos demonstrados.

Esta contribuição apresenta uma revisão documental preliminar. Os problemas globais das emissões de gases com efeito de estufa, da mineração e dos resíduos eletrónicos fundamentam a preocupação. Porém, os dados aqui reunidos não permitem calcular a parcela atribuível aos humanoides, nem concluir que todos os modelos tenham um balanço ambiental negativo.

Contexto comprovado

Em 2022, o mundo gerou 62 milhões de toneladas de resíduos eletrónicos. Apenas 22,3% dessa massa tiveram recolha e reciclagem formal ambientalmente adequada documentadas. Trata-se de equipamentos eletrónicos em geral, não de um inventário de robôs. [1]

O Global Carbon Budget 2025 estima que as emissões globais de CO₂ de origem fóssil atingiram 38,1 mil milhões de toneladas em 2025. O valor é uma estimativa e não corresponde a todos os gases com efeito de estufa nem inclui todas as emissões de alterações do uso do solo. [3]

Segundo a Organização Meteorológica Mundial, 2025 ficou cerca de 1,43 °C acima da média de 1850–1900; 2015–2025 foram os onze anos mais quentes registados. Um valor anual não equivale, por si só, à média de aquecimento de longo prazo usada nas metas climáticas. [2]

A relação entre estes problemas e os humanoides deve ser investigada com dados de produção, utilização e descarte, comparando cada aplicação com alternativas que realizem a mesma tarefa.

Impactos a avaliar ao longo da vida do robô

Extração de materiais e fabricação

A Agência Internacional de Energia identifica a água, as emissões e a biodiversidade entre os principais temas ambientais das cadeias de minerais críticos. Esta evidência refere-se sobretudo às cadeias analisadas para tecnologias energéticas; a sua aplicação a robôs depende dos materiais efetivamente usados. [5]

Para cada modelo, proponho identificar a massa e origem dos materiais, a composição da bateria, os componentes eletrónicos, as perdas de produção e a energia consumida na fabricação. Não deve presumir-se que todos os humanoides usam os mesmos minerais ou as mesmas quantidades.

Utilização e obsolescência

A avaliação deve incluir eletricidade de carregamento, manutenção, substituição de peças e baterias e, quando utilizados, serviços de computação externos. A origem da eletricidade, a intensidade de utilização e a duração do equipamento podem alterar significativamente o resultado. A perda de suporte de software também deve ser analisada como possível causa de substituição antecipada.

Fim da vida útil

Proponho privilegiar a extensão da vida útil por manutenção e atualização segura, seguida de reutilização, preparação para reutilização de equipamentos descartados, aproveitamento de componentes e reciclagem. Os resíduos restantes devem ter tratamento adequado. Esta orientação é coerente com a hierarquia europeia dos resíduos, que prioriza prevenção e preparação para reutilização antes da reciclagem e eliminação. [12]

A reciclagem pode reduzir a necessidade de extração primária e os impactos associados, mas não elimina a mineração nem garante a recuperação integral de todos os materiais. Os resultados dependem da conceção, recolha e tecnologia de tratamento. [6]

Consequências humanas e ecológicas

O IPCC documenta impactos das alterações climáticas na saúde, segurança alimentar e hídrica, ecossistemas e deslocação de populações. Cada incremento de aquecimento aumenta os riscos. Estes resultados descrevem o sistema climático global, não danos isoladamente atribuíveis aos robôs. [4]

O CO₂ absorvido pelo oceano contribui para a acidificação. O aquecimento e a subida do nível do mar afetam ecossistemas, infraestruturas costeiras e águas subterrâneas. Acidificação e aquecimento são processos diferentes que podem atuar em conjunto. [14]

Evidência específica e limites da investigação

Bassam e colaboradores apresentam uma metodologia de avaliação do ciclo de vida integrada no desenvolvimento de produtos e demonstram-na num modelo de robô humanoide de serviço. O estudo mostra uma abordagem para identificar impactos desde a conceção; não fornece uma estimativa universal para todos os humanoides ou para a dimensão mundial do setor. [7]

Esta contribuição não contém medições próprias, inventários de fabricantes nem estimativas verificadas do número de robôs descartados. Por isso, não apresenta um valor de CO₂ por robô, uma previsão de resíduos do setor ou uma conclusão sobre benefícios ambientais líquidos. Também não constitui prova de infração por uma empresa determinada.

Uma comparação válida deve abranger a mesma tarefa, a mesma qualidade e segurança do serviço e um período equivalente. Proponho comparar o humanoide com a solução existente e com outras opções de automação. Benefícios possíveis devem ser quantificados com o mesmo rigor aplicado aos custos ambientais.

Regras europeias relevantes

Resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos

A Diretiva 2012/19/UE estabelece um âmbito aberto para equipamentos elétricos e eletrónicos, sujeito a exclusões. Entre estas encontram-se certas ferramentas industriais fixas de grandes dimensões e máquinas móveis não rodoviárias exclusivamente profissionais. A classificação de um robô exige análise das definições e da utilização concreta; não se pode assumir que todos os humanoides têm o mesmo enquadramento. Solicito esclarecimento sobre as categorias aplicáveis. [9]

Na avaliação publicada em julho de 2025, a Comissão reconheceu que a diretiva não atingiu plenamente os seus objetivos, identificando problemas de âmbito, recolha, recuperação de matérias-primas críticas, responsabilidade do produtor e tratamento. Estes resultados justificam examinar a cobertura dos novos equipamentos robóticos, sem pressupor um vazio legislativo. [8]

Baterias e conceção sustentável

O Regulamento (UE) 2023/1542 abrange baterias e resíduos de baterias e prevê requisitos de sustentabilidade, informação, responsabilidade do produtor, recolha e tratamento. As obrigações e datas dependem da categoria e da disposição aplicável. [10]

O Regulamento (UE) 2024/1781 estabelece um quadro de conceção ecológica, incluindo requisitos de informação e passaporte digital. Os requisitos concretos dependem dos atos aplicáveis aos produtos; a existência do regulamento não permite afirmar que todos os humanoides já têm um passaporte obrigatório. [11]

Medidas cuja avaliação solicito

Peço à Comissão que considere as seguintes medidas, distinguindo obrigações já existentes de eventuais novas exigências e fundamentando qualquer intervenção em evidência e proporcionalidade.

Avaliação ambiental comparável

Promover estudos independentes do ciclo de vida para aplicações representativas. Incluir fabricação, transporte, utilização, peças substituídas, computação externa relevante e fim da vida útil. Publicar métodos, limites do sistema, hipóteses e intervalos de incerteza. A metodologia específica já estudada para humanoides pode contribuir para esse trabalho. [7]

Informação sobre recursos e durabilidade

Avaliar informação verificável sobre materiais, energia por tarefa, duração esperada, suporte de software e disponibilidade de peças. Comparar desempenho ambiental por serviço prestado, evitando conclusões baseadas apenas no peso do equipamento ou em alegações comerciais de eficiência.

Reparação e recuperação de equipamentos

Examinar requisitos proporcionais de desmontagem, acesso a peças e reparação segura. Clarificar a responsabilidade pela recolha e pelo financiamento do tratamento, inclusive em vendas à distância, e a gestão separada de baterias quando aplicável. Avaliar a rastreabilidade entre colocação no mercado, recolha e destino final. [8–11]

Monitorização e participação pública

Avaliar a recolha de estatísticas que permitam distinguir robôs de outros equipamentos, quando tecnicamente viável. Identificar entidades responsáveis, envolver investigadores, operadores de reutilização e reciclagem e consultar cidadãos e fabricantes sobre custos, impactos e viabilidade das medidas.

Resposta solicitada à Comissão

Solicito indicação do serviço competente, esclarecimento do enquadramento dos humanoides nas regras de resíduos, baterias e conceção sustentável e informação sobre estudos ou consultas relevantes. Peço ainda que seja considerada a inclusão desta questão nos trabalhos europeus sobre economia circular e gestão de resíduos eletrónicos.

Como cidadão residente na União Europeia, apresento esta preocupação pela sua relação com a proteção do ambiente, a utilização responsável de recursos e a prevenção de resíduos. O objetivo é permitir decisões informadas antes de uma expansão que possa aumentar a pressão sobre os sistemas de recolha e tratamento.

Ginovaldo Rodrigues de Pitta Simões

7 de outubro de 2026

Nota de encaminhamento: o Europe Direct pode indicar o serviço e canal adequados para entregar esta contribuição. A apresentação não equivale à abertura de uma investigação formal. [13]

Fontes científicas e institucionais

Referências numeradas correspondentes às citações no texto. Fontes consultadas em 7 de outubro de 2026. Os links abrem as publicações ou os textos oficiais.

[1] ITU e UNITAR. The Global E-waste Monitor 2024. 2024.

Dados globais de resíduos eletrônicos de 2022 e reciclagem documentada. [Consultar fonte](#)

[2] Organização Meteorológica Mundial. State of the Global Climate 2025. 23 março 2026.

Temperatura global anual e indicadores climáticos de 2025. [Consultar fonte](#)

[3] Friedlingstein P e colaboradores. Global Carbon Budget 2025. 2026.

Earth System Science Data 18, 3211–3288. Estimativas de emissões de CO₂; consultar resumo executivo. [Consultar fonte](#)

[4] IPCC. Climate Change 2023 Synthesis Report. 2023.

Resumo para decisores, secções A2 e B2. Impactos observados e riscos do aquecimento. [Consultar fonte](#)

[5] Agência Internacional de Energia. Sustainable and Responsible Critical Mineral Supply Chains. 13 dezembro 2023.

Impactos ambientais das cadeias de minerais críticos, com foco em tecnologias energéticas. [Consultar fonte](#)

[6] Agência Internacional de Energia. Recycling of Critical Minerals. 18 novembro 2024.

Benefícios e limites da reciclagem para reduzir a dependência de matérias-primas primárias. [Consultar fonte](#)

[7] Bassam H Lünemann P Riedelsheimer T e Lindow K. A Model-Based Methodology for Life Cycle Assessment from Cradle-to-Grave Early in Product Design. 2024.

Procedia CIRP 128, 662–667. Estudo metodológico com modelo de humanoide de serviço; utilizado com base no resumo público. [Consultar fonte](#)

Legislação e outras fontes institucionais

Referências numeradas correspondentes às citações no texto. Fontes consultadas em 7 de outubro de 2026. Os links abrem as publicações ou os textos oficiais.

[8] Comissão Europeia. Circular Economy New evaluation looks at how to improve WEEE Directive. 2 julho 2025.

Síntese oficial da avaliação da diretiva e das falhas identificadas. [Consultar fonte](#)

[9] Parlamento Europeu e Conselho. Diretiva 2012/19/UE relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos. 2012 consolidação de 8 abril 2024.

Artigos 2 e 3 para âmbito, exclusões e definições. Texto consolidado de consulta. [Consultar fonte](#)

[10] Parlamento Europeu e Conselho. Regulamento UE 2023/1542 relativo às baterias e respetivos resíduos. 2023 consolidação de 13 agosto 2026.

Artigo 1 e capítulo VIII. Aplicação dependente da categoria, disposição e calendário. [Consultar fonte](#)

[11] Parlamento Europeu e Conselho. Regulamento UE 2024/1781 sobre conceção ecológica de produtos sustentáveis. 2024.

Artigos 4 e 9. Quadro para requisitos por produto e passaporte digital. [Consultar fonte](#)

[12] Parlamento Europeu e Conselho. Diretiva 2008/98/CE relativa aos resíduos. 2008.

Artigo 4. Hierarquia dos resíduos e avaliação dos resultados ambientais globais. [Consultar fonte](#)

[13] União Europeia. Europe Direct Write to us. página institucional.

Canal de orientação para contacto e encaminhamento de questões. [Consultar fonte](#)

[14] Organização Meteorológica Mundial. Earth's climate swings increasingly out of balance. 23 março 2026.

Síntese dos indicadores de 2025, incluindo oceano, nível do mar e acidificação. [Consultar fonte](#)

Nota sobre legislação: as consolidações facilitam a leitura, mas os textos autênticos são os publicados no Jornal Oficial. Esta contribuição pede esclarecimentos institucionais e não apresenta uma classificação jurídica definitiva de modelos concretos.