BOLETIM DE CONJUNTURA

DESAFIOS PARA A DESCARBONIZAÇÃO DA SAÚDE

CHALLENGES FOR THE DECARBONIZATION OF HEALTHCARE

10.56238/bocav24n73-004

Data de submissão: 26/11/2025 **Data de publicação:** 26/12/2025

Telma Abdalla de Oliveira Cardoso[1]

Debora Cynamon Kligerman[2]

Resumo

O artigo discute os desafios da descarbonização no setor da saúde, que é responsável por 4,4% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), mas que também é vítima da crise climática. Tem como objetivo apresentar evidências sobre as principais contribuições deste setor às Mudanças Climáticas e para isso, realiza uma revisão de trabalhos recentes que identificam como as principais fontes de emissão direta e indireta dos GEE: consumo de energia em hospitais; produtos farmacêuticos; gases anestésicos; materiais descartáveis; transporte e gestão de resíduos sólidos. Sendo o setor de suprimentos responsável por 71% das emissões totais. O artigo, também apresenta estratégias de descarbonização, como: eficiência energética; substituição de materiais descartáveis por reutilizáveis; gestão sustentável dos resíduos sólidos; transporte com combustível renovável; compras "verdes" e uso racional de anestésicos e destaca que essas medidas são necessárias para tornar os sistemas de saúde mais resilientes e ambientalmente sustentáveis.

Palavras-chave: Gases de Efeito Estufa. Impactos Ambientais. Pegada de Carbono Serviços de Saúde. Sustentabilidade.

Abstract

The article discusses the challenges of decarbonization in the health sector, which is responsible for 4.4% of global greenhouse gas (GHG) emissions, but which is also a victim of the climate crisis. It aims to present evidence on the main contributions of this sector to Climate Change and for this, it carries out a review of recent studies that identify as the main sources of direct and indirect GHG emissions: energy consumption in hospitals; pharmaceutical products; anesthetic gases; disposable materials; transportation and management of solid waste. The supply sector is responsible for 71% of total emissions. The article also presents decarbonization strategies, such as: energy efficiency; replacement of disposable materials with reusable ones; sustainable management of solid waste; transportation with renewable fuel; "green" purchases and rational use of anesthetics and highlights that these measures are necessary to make health systems more resilient and environmentally sustainable.

Keywords: Carbon Footprint. Environmental Impact. Greenhouse Gases. Health Services. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da evolução, o homem aumenta sua capacidade de intervir no meio ambiente extraindo e modificando os recursos naturais para suprir suas necessidades, gerando com isto um aumento nos gases de efeito estufa e mudanças climáticas rápidas, uma vez que estes gases retêm o calor na atmosfera terrestre, perturbando o equilíbrio radiativo do planeta (IPCC, 2023).

[1] Doutora em Saúde Pública. Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP). Fundação Oswaldo Cruz. E-mail: abdalla.telma@gmail.com Orcid: https://orcid.org/0000-0002-5430-7273 Lattes: http://lattes.cnpq.br/5846008743651694

[2] Doutora em Planejamento Ambiental. Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP). Fundação Oswaldo Cruz. E-mail: deboracyklig@gmail.com Orcid: https://orcid.org/0000-0002-7455-7931 Lattes: http://lattes.cnpq.br/2506205302988039

De acordo com a *American Metereological Society* (2019) há evidências científicas de que a principal causa das mudanças climáticas no último meio século é o aumento antropogênico na concentração de gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO_2), clorofluorcarbonetos, metano, ozônio troposférico e óxido nitroso.

Cerca de 50% do CO_2 antropogênico introduzido na atmosfera permanece na atmosfera, o restante é absorvido pelos oceanos e pela biosfera terrestre, ou seja, solo e plantas, que são os dois reservatórios de CO_2 com os quais a atmosfera troca grandes quantidades de CO_2, sazonalmente (PACHECO; MARCONDES HELENE, 1990). O IPCC estima que o 15 a 40% do CO_2 emitido até 2100 permanecerá na atmosfera por mais de 1.000 anos (CIAIS *et al.,* 2013).

O metano é outro gás de efeito estufa importante. É produzido tanto naturalmente, principalmente por emissões de áreas úmidas e vida selvagem, quanto por atividades humanas, como agricultura, aterros sanitários e processos de extração de combustíveis fósseis, sendo as atividades humanas responsáveis pela maioria das emissões atualmente. O metano tem vida útil em torno de 10 anos e é muito menos abundante do que o CO_2, mas é um gás muito mais eficaz por molécula, com mais de 30 vezes o potencial de aquecimento do CO_2. Enquanto o CO_2 está mais fortemente associado à evolução de longo prazo da temperatura média global, o CH_4 interfere no aquecimento do planeta no instante em que é emitido, portanto seu papel é determinante na dinâmica da evolução de curto prazo do aumento de temperatura (PINTO *et al.,* 2022).

À medida que o clima muda, a produção natural de metano provavelmente aumentará, por exemplo, devido ao degelo de solos ricos em carbono, anteriormente congelados, nas zonas de *permafrost* dos continentes de alta latitude e à possível mobilização de metano preso na forma de hidrato em sedimentos oceânicos.

Os riscos múltiplos e simultaneamente crescentes das mudanças climáticas estão amplificando as desigualdades globais em saúde e ameaçando os próprios fundamentos da saúde humana. As elevadas emissões de gases de efeito estufa e a consequente crise climática estimulada representam riscos diretos e indiretos à saúde pública, que vão desde lesões, doenças ou morte devido ao estresse térmico, incêndios, tempestades e inundações; distúrbios respiratórios; doenças transmitidas pela água, alimentos e vetores; zoonoses; desnutrição e fome; até doenças crônicas não transmissíveis, impactos na saúde mental e migração forçada (ROMANELLO *et al.*, 2023; MCMICHAEL; LINDGREN, 2011). Em um relatório de 2021, a Organização Mundial da Saúde declarou que “as mudanças climáticas são a maior ameaça à saúde que a humanidade enfrenta” (WHO, 2021).

O Fórum Econômico Mundial prevê que, até 2050, as mudanças climáticas colocarão uma pressão imensa nos sistemas globais de saúde, causando 14,5 milhões de mortes e US$ 12,5 trilhões em perdas econômicas em todo o mundo (WEF, 2024).

Todos estes impactos demonstram a necessidade de sistemas de saúde altamente desenvolvidos. No entanto, as atividades do setor da saúde emitem gases de efeito estufa e contribuem para a crise climática, sendo responsáveis por aproximadamente 4,4% das emissões líquidas globais anuais (4,4% dos gases de efeito estufa, 2,8% de material particulado, 3,4% de NO e NO_2 e 3,6% de SO_2) (HCWH, 2019; TOMSON, 2015; NHS, 2009).

Comparativamente, se o setor saúde fosse um país, seria o quinto maior emissor de gases estufa do planeta. Suas emissões equivalem a de 514 usinas termelétricas a carvão. Ficam atrás somente das emissões da China, Estados Unidos, Índia e Rússia, mas maior do que a do Japão e do Brasil (HCWH, 2019).

Este estudo tem como objetivo resumir evidências, fornecendo um contexto sobre o papel do setor da saúde para o enfrentamento das mudanças climáticas. Busca explorar um tema ainda em evolução, que é descarbonização no setor de saúde, analisando os trabalhos recentes, integrando diferentes perspectivas relacionadas à emissão de gases efeito estufa nos diferentes setores em serviços de saúde e identificar estratégias para reduzir seu impacto negativo, promovendo cuidados de saúde ambientalmente sustentáveis. Para tanto, revisa trabalhos recentes relacionados à emissão de gases efeito estufa de diferentes setores nos serviços de saúde, identificando as principais fontes e para compreender a contribuição do sistema de saúde para as mudanças climáticas. Esta revisão buscou resumir o conhecimento nesta área e desenvolver uma visão holística das ligações entre a sustentabilidade do sistema de saúde e as mudanças climáticas.

2 IMPACTO DA SAÚDE NAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Estima-se que o setor de saúde, juntamente com as indústrias farmacêuticas e de equipamentos médicos, gere cerca de 8% a 10% de todas as emissões de GEE nos EUA (CHUNG; MELTZER, 2009; ECKELMAN; SHERMAN, 2016).

O relatório sobre as Emissões de Carbono e a Pegada de Carbono do Serviço Nacional de Saúde inglês (NHS), no Reino Unido, as emissões do Serviço Nacional de Saúde correspondem a 25% de todas as emissões dos setores públicos (NHS, 2009).

A organização internacional *Health Care Without Harm* (2019) aponta que as emissões da saúde representam uma porcentagem variável da pegada climática de cada país; podendo variar de alta, como nos EUA (7,6%), Suíça (6,7%) e Japão (6,4%) a baixas, como na Índia (1,5%) e Indonésia (1,9%) (HCWH, 2019).

Apesar de ser difícil comparar a dimensão das emissões entre países, uma vez que os sistemas de saúde e os métodos utilizados para a medição e categorização das emissões de GEE serem heterogêneos, a HCWH (2019) aponta que 17% das emissões do setor saúde são provenientes das instalações, 12% são emissões indiretas da compra de eletricidade, vapor, refrigeração e aquecimento e a maior parte, ou seja, 71% provém da cadeia de suprimentos da saúde — produção, embalagem, transporte, uso e descarte de

bens e serviços adquiridos que o setor saúde consome. Isso inclui alimentos, produtos agrícolas, produtos farmacêuticos e outros produtos químicos, como os gases e anestésicos e inaladores; dispositivos médicos, equipamentos hospitalares, instrumentos, resíduos e muitos outros. O HCWH (2019) ressalta ainda que somente 1/4 de todas as emissões da área da saúde são geradas fora do país onde o produto de saúde é consumido, ou seja, a que a maior parte das emissões é produzida internamente.

Pichler *et al.* (2019), a partir do estudo da produção de GEE de 36 países concluíram que 33,1% dos GEE da saúde provinham dos fornecedores de produtos de saúde sem serviços médicos, por exemplo, farmácias; 28,6% dos hospitais e 18% dos serviços ambulatoriais de saúde. Chung e Meltzer (2009) corrobora com esta afirmação quando detectam que nos EUA os maiores contribuintes para a efeito estufa no sistema total de saúde foram os hospitais e os medicamentos prescritos (39% e 14%, respectivamente).

Dentro do setor saúde, dependendo dos serviços médicos, a emissão de GEE ocorre a partir de diferentes fontes. A Tabela 1 apresenta o resumo de todas as fontes de emissão a partir de diversos estudos. Observa-se que os tipos de emissão apontados estão relacionados às fontes de interesse do estudo. A fonte de emissão mais frequentemente considerada foi o consumo de energia para serviços individuais. É importante notar que o consumo de energia é a maior fonte de emissão de GEE. Depois do consumo de energia, a 2ª e a 3ª fontes importantes foram os bens de consumo e os produtos farmacêuticos e gases anestésicos. Outras fontes consideráveis são transporte, gestão de resíduos e água.

Tabela 1: Fontes de emissão em serviços médicos

Referência	Ano	Setor saúde	Serviço	Fonte de emissão	Principais descobertas
McAlister *et al.,* 2022	2022	Diagnóstico por imagem hospitalar	Raio-X de tórax, raio-X de tórax móvel, tomografia computadorizada, magnética, ressonância magnética e ultrassom	Energia elétrica, materiais usados por pacientes e funcionários, como lençóis, luvas, batas, contraste, agulhas e seringas.	O consumo de eletricidade é a fonte mais responsável de emissões de GEE.
Chua *et al.,* 2021	2021	Radiologia	Radiologia	Energia elétrica para climatizar a sala, equipamentos de imagem, anestésicos e materiais descartáveis	Os sistemas de climatização, os equipamentos e a produção e distribuição de materiais descartáveis principais fontes
Lenzen; Malik; Mengyu, 2020	2020	Ambulância	Serviço de ambulâncias	Combustíveis para o transporte de pacientes nas operações de ambulâncias, energia elétrica	Os combustíveis para veículos são a principal fonte de emissões para operações de ambulância terrestre. As emissões do transporte aéreo das ambulâncias são substancialmente maiores do que as do transporte terrestre de ambulâncias.
Connor *et al.,* 2010	2010	Serviço Renal	Serviço Renal	Uso de energia (elétrica, gás, óleo), transporte /deslocamento, produtos	Os produtos farmacêuticos representaram a maior fonte

				farmacêuticos, equipamentos médicos, assistência médica, radiologia, patologia, material de consumo de escritório, alimentos, lavanderia, edificação, TI, água, produtos de limpeza, resíduos.	de emissão de GEE, seguido dos equipamentos médicos transporte e resíduos.
Lim; Perkins; Agar, 2013	2013	Setor de hemodiálise	Hemodiálise	Uso de energia (climatização e equipamentos de diálise), água, transporte/deslocamento trabalhadores/pacientes, patologia, resíduos, produtos farmacêuticos, equipamentos médicos, material de consumo de escritório, lavanderia, produtos de limpeza e alimentação.	Existem variações regionais na intensidade de geração de GEE para o consumo de eletricidade e água. O bombeamento de água e de esgoto a longas distâncias, consomem muita energia. Deficiência de dados completos e atuais, particularmente para o setor de compras.
Morris *et al.*, 2013	2013	Cirurgia ocular	Cirurgia de catarata	Energia predial, transporte/deslocamento trabalhadores/pacientes, produtos farmacêuticos/anestésicos, equipamentos médicos, material de escritório (papel e tinta), Alimentos, lavanderia, TI, água, resíduos	Das cadeias de suprimentos, os equipamentos médicos e os produtos farmacêuticos são as principais fontes d emissão de CO_2 para a cirurgia de catarata.
McGain *et al.,* 2021	2021	Anestesia	Anestesia para prótese de joelho	Produtos farmacêuticos/gases anestésicos (Sevoflurano, oxigênio, óxido nitroso, drogas), materiais de consumo descartáveis e reutilizáveis (luvas, avental, seringas, plásticos, algodão, vidro), energia elétrica, lavagem e esterilização, resíduos.	As principais fontes de emissões de CO_2 foram os materiais descartáveis, principalmente plásticos e vidros, uso da energia elétrica e produtos farmacêuticos O Sevoflurano foi o anestésico com maior emissão de GEE e a limpeza dos equipamentos reutilizáveis representaram de 20 a 25% do total de GEE na anestesia.
McAlister *et al.,* 2020	2020	Patologia clínica	Exame de sangue completo, níveis de ureia e eletrólitos, perfil de coagulação; concentração de Proteína C Reativa (PCR); e gases arteriais	Materiais usados: luvas nitrílicas, cotonetes, cotonetes com álcool, vacutainers, seringas e adjuvantess (separadores de soro, seringas e sacos plástico seláveis), tubos de alíquota e reagentes e suas embalagens, incluindo garrafas de vidro e plástico, cartuchos de plástico, instruções impressas e papelão, energia necessária para ostestes. Transporte do local de fabricação de todos os itens.	As principais fontes de emissões de CO_2 foram as coletas de amostras - nos bens consumíveis (cotonetes, luvas, suportes de vácuo, sacos e tubos de coleta).
Prasad *et al.,* 2022	2021	Unidade de internação e UTI	Serviço de internação comum (baixa intensidade) e serviço na UTI (alta intensidade)	Compra de bens de consumo e de capital, energia (sistema de iluminação, climatização, fornecimento geral), água, gases medicinais, produtos farmacêuticos, materiais descartáveis, equipamentos, resíduos, serviços de alimentação e deslocamento da equipe.	As principais fontes de emissões foram a energia utilizada no sistema de climatização, iluminação, alimentação de equipamentos e bombeamento de água; materiais de consumo;

					equipamentos; alimentação e deslocamento da equipe.
Ferrero *et al.*, 2022	2018	Cirurgia ocular	Cirurgia de catarata	Transporte de pacientes e funcionários, energia (aquecimento e eletricidade), materiais descartáveis, equipamentos médicos, resíduos e ao processo de esterilização	As principais fontes de emissões de CO_2 foram os materiais descartáveis, devido à distância entre o consumo e a produção.
McGain *et al.,* 2018	2018	Unidade de Terapia Intensiva (UTI)	Tratamento de pacientes com choque séptico	Energia elétrica (climatização, equipamentos e iluminação), gás, materiais descartáveis (luvas, aventais, seringas, papel, circuitos de vias aéreas, curativos, dispositivos vasculares invasivos, umidificadores, roupa de cama e do paciente), equipamentos médicos de suporte renal e laringoscópios.	Existem diferenças regionais entre as pegadas diárias de carbono para o tratamento de um paciente na UTI com choque séptico. O uso de energia para o sistema HVAC foi o principal responsável pelas emissões de GEE.
Power *et al.*, 2012	2012	Cirugia	Cirurgia minimamente invasiva	Edificação, energia elétrica, transporte/deslocamento, materiais descartáveis, material de consumo de escritório, CO_2 (produção, transporte e uso), equipamentos médicos, resíduos.	A maioria das emissões de CO2 foram indiretas. O processo de captura/ compressão de CO_2 na indústria contribui é o maior contribuinte para a emissão de GEE.
McAlister et *al.,* 2024	2021	Serviços de cuidados renais	Diálise peritoneal	Produção, consumo e transporte de todos os bens e serviços consumidos (materiais descartáveis, como glicose/fluidos e gaze), energia, equipamentos médicos e resíduos	A maioria das emissões de GEE foram devido ao transporte de fluidos e consumíveis.
Ang *et al.,* 2024	2023	Centro de tratamento de cirurgia plástica	Cirurgia de câncer de pele não-melanoma	Produção, consumo e descarte de todos os bens e serviços consumidos durante a cirurgia (materiais descartáveis, produtos farmacêuticos, água, energia, material de consumo, curativos, transporte de insumos médicos, resíduos esterilização de instrumentos reutilizáveis e lavanderia.	A maioria das emissões geradas foram derivadas da aquisição de suprimentos cirúrgicos dos descartáveis; seguidos em baixa proporcionalidade pelos curativos e produtos farmacêuticos.
Lacroute *et al.,* 2023	2021	Centro ambulatorial gastrointestinal	Endoscopia	Energia (eletricidade, gás); gases medicinais; equipamentos médicos e não médicos (plataformas técnicas); materiais descartáveis (drogas, dispositivos médicos, produtos de uso único, alimentos e papel); serviços externos (lavandaria, limpeza); resíduos, transporte insumos/pacientes /funcionários.	A principal emissão de GEE foi oriunda do transporte de pacientes e funcionários. Outras fontes de emissão, em ordem de classificação: equipamentos médicos e não médicos, energia, materiais consumíveis e resíduos.
MacNeill; Lillywhite; Brown, 2017	2017	Centro cirúrgico	Sala de cirurgia	Gases anestésicos (compra, transporte, uso), energia (climatização), resíduos (produção, tratamento)	As emissões devido a gases anestésicos foram a maior parte dos GEE, seguidos pelo uso de energia para climatização
Gatenby, 2011	2010	Centro de Controle do Refluxo	Tratamento clínico e cirúrgico do refluxo gastroesofágico	Endoscopia, testes de pH, manometria, tempo do procedimento, materiais descartáveis, cuidados de	Os dois tipos de tratamento são similares na emissão de GEE. A cirurgia não aleatória é a principal fonte.

				internação/dia, UTI, unidade de cuidados intermediários, transporte do paciente, consulta ambulatorial, cuidados hospitalares, cirurgia não aleatória, medicação	
Siau *et al.*, 2021	2021	Endoscopia	Endoscopia	Emergia e resíduos	O descarte de resíduos é a principal fonte de emissões de GEE na endoscopia

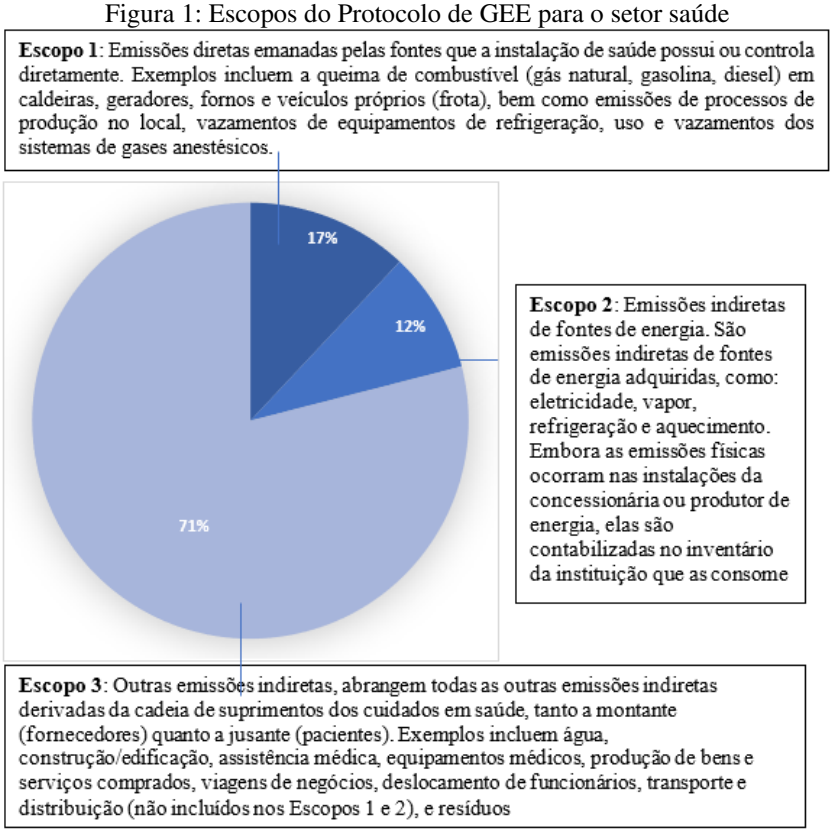
Fonte: Elaboração própria

3 FONTES DE EMISSÕES DE CARBONO

Em 1998 foi lançado o Protocolo de Gases Efeito Estufa, em conexão com a Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. É uma parceria multissetorial composta por empresas, organizações não governamentais, governos e outras entidades, convocada pelo Instituto de Recursos Mundiais (WRI) e pelo Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD). O Protocolo é resultante da necessidade de uma estrutura consistente para a elaboração de relatórios sobre GEE. É, portanto, um padrão globalmente reconhecido para a medição e gestão das emissões de GEE (WRI, 2011).

O Protocolo contabiliza os 7 principais GEE: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonetos (HFC), perfluorocarbonos (PCF), hexafluoreto de enxofre (SF_6) e trifluoreto de nitrogênio (NF_3) (WRI, 2011). Desta forma, classifica as emissões de GEE em três categorias, ou **escopos (Figura 1)**.

Figura 1: Escopos do Protocolo de GEE para o setor saúde



Fonte: AHA, 2025; HCWH, 2019.

As funções na área da saúde podem ser categorizadas a partir de suas emissões nos 3 escopos do Protocolo de GEE (AHA, 2025; HCWH, 2019) (Figura 2)

Figura 2 – Emissões globais do setor saúde



Fonte: AHA, 2025; HCWH, 2019.

- Atividade de operacionalização

Consumo de energia (escopos 1 e 2); sistemas de refrigeração/aquecimento (escopo 1); edificação/construção e transporte de pacientes (escopo 1 e 3); água, alimentação, resíduos, deslocamento diário dos trabalhadores e tecnologia da informação/informática (escopo 3).

- Atividades de assistência ao paciente

Gases anestésicos (escopo 1); resíduos de serviços de saúde, pesquisa e experimentação, produtos farmacêuticos e bens adquiridos (escopo 3), incluindo dispositivos e suprimentos médicos.

- Atividades administrativas

Viagens a negócios, serviços bancários, investimentos e seguros (escopo 3).

3.1 CUIDADOS HOSPITALARES

A atividade hospitalar pública e privada, relacionada à assistência, cirurgia, diagnóstico, tratamento, radiologia, fisioterapia, dentre outros; são responsáveis por 44% e 36% de todas as emissões de GEE relacionadas à saúde na Austrália e nos EUA respectivamente (MALIK *et al.*, 2018; ECKELMAN;

SHERMAN, 2016). Estima-se que os cuidados de saúde com hospitalização sejam mais de 5 vezes mais intensivos em emissões do que os cuidados médicos sem hospitalização (incluindo consultas ambulatoriais e prevenção) (NANSAI *et al.,* 2020).

O consumo de energia é a maior fonte de emissão GEE nos hospitais. Após o consumo de energia, a segunda e terceira fontes importantes de emissões são os consumíveis e os produtos farmacêuticos. Outras fontes consideráveis são gases anestésicos, transporte, gestão de resíduos e água (JERIN *et al.*, 2024).

É importante observar a qualidade do atendimento em muitos hospitais, que apesar de existirem diferenças entre os países de acordo com o IDH e o PIB, os serviços podem ser comparáveis entre si; no entanto, o atendimento em áreas rurais é frequentemente prestado em instalações com menos recursos. De acordo com o estudo de Conk e Bartram (2018), a partir de 21 indicadores compilados de 78 países de baixa e média renda, representativos de 129.557 unidades de saúde analisadas, 50% não possuíam água encanada e 59% não possuíam serviços de energia confiáveis.

O estudo de Chawla *et al.* (2018) sobre disponibilidade de energia e de geradores em hospitais de países de baixa e média renda, mostrou que menos de 2/3 dos que prestam atendimento cirúrgico, em 21 países pesquisados possuíam pelo menos uma fonte de energia contínua ou um gerador. Sabe-se que a eficácia do serviço de saúde está vinculada ao fornecimento sustentável de energia (MICHTENBERG *et al.*, 2020).

As atividades mais intensivas em recursos dentro dos hospitais, são as cirúrgicas (THIEL *et al.*, 2015; ALSHQAQEEQ *et al.*, 2020). Os centros cirúrgicos são de 3 a 6 vezes mais consumidores de energia do que o restante das atividades hospitalares, principalmente devido aos requisitos de refrigeração e ventilação (90%-99% das emissões) (MACNEILL; LILLYWHITE; BROWN, 2017). Porém, as emissões de GEE de uma cirurgia podem variar muito dependendo do tipo, do nível e da fonte de eletricidade utilizada, gases anestésicos utilizados, quantidade de materiais médicos consumidos e resíduos cirúrgicos (RIZAN *et al.*, 2020). Ressalta-se que os resíduos cirúrgicos representam de 20 a 30% dos resíduos de serviços de saúde de um hospital; porém a quantidade de resíduos gerados é dependente da técnica empregada (CONRARDY *et al.*, 2010).

Os resíduos cirúrgicos apesar de serem considerados resíduos de serviços de saúde, pelo menos 30% poderiam ser reciclados (CUNHA; PELLINO, 2023). São resíduos definidos como tendo potencial de serem infecciosos, durante qualquer etapa de seu manuseio e descarte. Muitas vezes este tipo de resíduo é sinônimo de resíduos de risco biológico, que precisam passar por processamento de alta energia, antes de serem seguros para descarte e, depois destinados ao aterro sanitário ou incineração Qualquer um desses processos é considerado grande emissor de GEE (SHARMA *et al.*, 2013; POWER *et al.*, 2012). No entanto, o impacto ambiental do setor de saúde deve-se principalmente ao consumo de energia e à produção de

resíduos em aterros sanitários (PRASAD *et al.*, 2022; SIAU *et al.,* 2021; MCGAIN *et al.,* 2021; 2018*;* CHUA *et al.,* 2021; MCALISTER *et al.,* 2020*;* 2022*;* DICONSIGLIO, 2008).

Muitos resíduos cirúrgicos surgem de materiais e ferramentas descartáveis de uso único e possuem, de um modo geral, maiores emissões de carbono do que os itens reutilizáveis ao longo de sua vida útil. A avaliação do ciclo de vida é necessária para realmente comparar os custos ambientais de cada item *versus* os custos de compra, e pode ter variações geográficas dependendo do transporte e da fonte de energia (SHOHAM *et al.,* 2022).

As emissões associadas ao uso de eletricidade podem variar mesmo que outros fatores, como a duração da operação e o equipamento utilizado, sejam semelhantes, devido às diferenças na geração de eletricidade de um país. Assim, as cirurgias realizadas na França, onde a 67% da eletricidade provêm de fontes nucleares, teriam emissões mais baixas do que as cirurgias semelhantes nos EUA, onde 68% da eletricidade é a gás (ALSHQAQEEQ *et al.,* 2020).

Os geradores de emergência movidos a combustíveis fósseis são encontrados em hospitais em todo o mundo. Em países de baixa e média renda, redes elétricas não confiáveis deixam as instalações dependentes de geradores caros e altamente poluentes, como principal fonte de energia (RASHEED *et al.*, 2021).

As unidades de terapia intensiva (UTI) são áreas hospitalares que também possuem um alto teor de geração de GEE, pois são setores onde há alta utilização de recursos para pacientes criticamente doentes, em comparação com a enfermaria geral. A maioria das emissões se origina da compra de bens médicos consumíveis, energia da edificação (sistema de ar condicionado e de exaustão), equipamentos e serviços de nutrição (PRASAD *et al*., 2022; MCGAIN *et al.,* 2018).

3.2 PRODUTOS FARMACÊUTICOS E MÉDICOS

A pandemia de COVID-19 mostrou a complexidade, interconexão e globalização das cadeias de suprimentos médicos. O comércio de produtos médicos – incluindo produtos farmacêuticos, equipamentos médicos, equipamentos ortopédicos, equipamentos de proteção individual e outros produtos – aumentou 38% entre 2018 e 2022, para mais de US$ 1,58 trilhão. Quase 3/5 do valor dos produtos médicos comercializados são compostos por produtos farmacêuticos (DREVINSKAS; SHING; VERBEET, 2023). Nos últimos 30 anos, o comércio global de produtos farmacêuticos aumentou 10 vezes, atingindo US$ 900 bilhões em 2022, representando 4% dos fluxos comerciais globais (OCDE, 2024).

Dados de 2025, sobre as emissões da OCDE indicam que as cadeias de suprimentos representam uma parcela muito grande das emissões totais do setor de saúde. Nos países da OCDE, as emissões das cadeias de suprimentos representam em média 79% das emissões totais. Belkhir e Elmeligi (2019) reforçam

a importância destes dados ao afirmarem que a indústria farmacêutica emite poluentes com intensidade maior do que a indústria automotiva.

As emissões resultantes das cadeias de suprimentos do setor de saúde são decorrentes da produção e preparação dos produtos médicos, bem como da produção e transporte das matérias-primas e dos produtos intermediários componentes da fabricação dos produtos finais. Isso inclui emissões associadas à extração de matérias-primas, ao transporte, da produção (como energia para fábricas) e à entrega, armazenamento e consumo dos produtos no país de destino (OECD, 2025; MORRIS *et al.*, 2013; CONNOR *et al.,* 2010).

Os produtos médicos e farmacêuticos (prescritos e não prescritos) desde a produção até o uso e descarte, são um dos principais contribuintes para as emissões de GEE (PARKER; MILLER, 2024). Eles estão entre os principais poluentes, representando 20-25% das emissões totais da saúde (SPECK; MAGER; MAGER, 2024; ANG *et al.*, 2024; NHS, 2018). No Japão, de acordo com Nansai *et al.* (2019), as emissões dos produtos farmacêuticos excederam as emissões relacionadas ao consumo de energia dos hospitais (NANSAI *et al.*, 2020). No Canadá, os produtos farmacêuticos (prescritos e não prescritos) representavam 25% do ciclo de vida total das emissões de GEE da saúde (ECKELMAN; SHERMAN; MACNEILL, 2018), na Austrália representaram mais de 20% das emissões totais de CO_2 da saúde (LENZEN; MALIK; MENGYU, 2020), na França 21% das emissões relacionadas à saúde (Ou, Seppänen, 2024), na Inglaterra 25% (NHS, 2020) e nos EUA 10% das emissões (sem considerar os gases anestésicos) (ECKELMAN; SHERMAN, 2016).

De acordo com Watts, Moonesinghe e Foreman (2023) os produtos analgésicos e gases anestésicos possuem um papel desproporcional nas emissões de gases de efeito estufa do setor de saúde. Eles pertencem aos clorofluocarbonetos (CFC) e hidrofluocarbonetos (HFC), que são poluentes climáticos de curta duração. Apesar disto, o Protocolo de Montreal (1987) e a emenda Kigali (2016), que são os acordos internacionais com o objetivo de eliminar gradualmente os CFC e os HFC, deixaram de forma foram os anestésicos por inalação devido à sua necessidade médica (CHARLESWORTH; SWINTON, 2017).

Estima-se que gases e produtos anestésicos representem 2% da pegada geral de carbono e os inaladores 3% das emissões totais do sistema de saúde da Inglaterra. Desta forma, os inaladores pressurizados de dose medida e os anestésicos merecem atenção específica, uma vez que mais de 80% das emissões relacionados aos gases anestésicos e inaladores as ocorrem no ponto de utilização; e o restante ocorrem principalmente na produção e no transporte inerentes à cadeia de abastecimento (NIH, 2020). Esses gases podem ter um potencial de aquecimento global acima de 2.000 vezes o CO_2 (GADANI; VYAS, 2011; MACNEILL; LILLYWHITE; BROWN, 2017).

No entanto, Friederiy *et al.* (2024) ressaltam que nem todos os gases anestésicos possuem emissões semelhantes. Entre os gases anestésicos voláteis, o sevoflurano e o isoflurano podem ser usados com impacto ambiental significativamente menor do que o desflurano, por exemplo, uma vez que contribui com menor emissão

de gases de efeito estufa. As estimativas sugerem que o potencial de aquecimento global do desflurano pode ser quase 20 vezes maior que o sevoflurano e mais de três vezes maior que o isoflurano (Friederiy *et al.,* 2024).

O óxido nitroso (N_2O) é o terceiro GEE mais importante para o aquecimento global, possuindo uma vida atmosférica muito mais longa (114 anos) do que os CFC e os HFC (FENG; LI, 2023). O N_2O foi abundantemente utilizado como adjuvante na administração de anestésicos inalatórios voláteis mais antigos, atualmente, essa técnica é menos empregada. No entanto, o N_2O ainda é amplamente utilizado como um analgésico em obstetrícia e medicina de emergência (LIU *et al.*, 2023). Estimativas sobre a quantidade de N_2O emitido pela saúde variam de 1% a 3% da quantidade anual total de N_2O emitido globalmente (ISHIZAWA, 2011). Friedericy *et al.* (2024) relatam que uma proporção significativa de N_2O comprado pelos hospitais é liberada sem uso na atmosfera. Além disso, há um volume residual de 1% a 2% nos cilindros de N_2O após o uso, que são liberados na atmosfera antes do reabastecimento. (SEGLENIEKS *et al.*, 2022).

Agravado a este panorama, é importante destacar que apenas 5-20% dos gases anestésicos são metabolizados pelos pacientes, o restante é liberado na atmosfera (YASNY; WHITE, 2012).

Na Inglaterra, a indústria farmacêutica foi responsável por 16,25% da pegada total de carbono do sistema de saúde, representando o maior contribuinte, seguida de perto pelo setor de fornecimento de energia (15%), serviços de saúde e cuidados comissionados (14,7%) e viagens (13,1%). Instrumentos/equipamentos médicos foram o quinto maior contribuinte e representaram 9% da pegada total do setor (BELKHIR; ELMELIGI, 2019).

3.3 TRANSPORTE

As emissões, relacionadas ao transporte no setor saúde, são significativas devido ao transporte dos pacientes para tratamentos e consultas, deslocamento diário dos trabalhadores, e os transportes de carga (MCALISTER *et al.,* 2024*;* LACROUTE *et al.,* 2023; PRASAD *et al.,* 2022; FERRERO *et al.,* 2022; LENZEN; MALIK; MENGYU, 2020). Estão entre as cinco principais fontes de emissões para fontes diretas e relacionadas à cadeia de suprimentos (NANSAI *et al.,* 2020; LENZEN; MALIK; MENGYU, 2020). Esta importância é demonstrada pelos estudos de Nicolet *et al*. (2022), onde demonstraram que mais da metade (55,5 %) do total de emissões de CO_2 na prática de cuidados primários na Suíça, foi ocasionada pelo transporte de pacientes (33,2%), trabalhadores (12,5%) e transporte de correio (9,8 %) (YUSUF *et al.*, 2024). Na Inglaterra, Tennison *et al.* (2021) relataram que o transporte de pacientes, visitantes e funcionários representa 10% de todas as emissões do sistema de saúde. Já nos EUA o deslocamento de pacientes correspondeu a aproximadamente 6% do total de emissões relacionadas à saúde (HASIYA *et al.*, 2024).

4 INTERVENÇÕES PARA MITIGAÇÃO E ALCANÇAR A SUSTENTABILIDADE

Alcançar emissões zero na prestação de cuidados na saúde, que promova e garanta a cobertura universal, é um grande desafio.

O sistema de saúde é essencial para garantir a qualidade de vida da população, prevenir doenças, promover a saúde e reduzir desigualdades sociais; entretanto contribui para as mudanças climáticas por meio de suas atividades, direta e indiretamente. As emissões diretas (Escopo 1) são provenientes das fontes dos serviços de saúde ou as controladas pelas profissionais de saúde, como emissões do uso de energia, acondicionamento de ar, gases anestésicos ou emissões de transporte do serviço de saúde. As emissões indiretas vêm da geração de energia usada pelos setores de saúde, principalmente eletricidade (escopo 2) e dos bens e serviços adquiridos ou usados pelo setor, como aqueles relacionados aos produtos farmacêuticos, outros produtos médicos e alimentos, bem como transporte de pacientes (escopo 3).

É importante destacar que as mudanças climáticas provocam riscos e impactos à saúde, retroalimentando a demanda por cuidados e afetando negativamente os sistemas de saúde.

Existem inúmeras maneiras de reduzir as emissões diretas e indiretas produzidas pelos serviços de saúde, modificando ou reduzindo o uso de recursos, incluindo energia, produtos médicos e água. Por exemplo, reduzir o transporte de funcionários e pacientes, incentivar o reuso, reciclagem e reprocessamento de materiais (como instrumentos cirúrgicos reutilizáveis), reduzir o consumo de energia e usar gases anestésicos menos poluentes podem diminuir as emissões diretas e indiretas das atividades de saúde, enquanto as estratégias de aquisição verde podem reduzir ainda mais as emissões indiretas. Essas iniciativas tornam a prestação de serviços em saúde mais ecológica e são fundamentais para combater as mudanças climáticas.

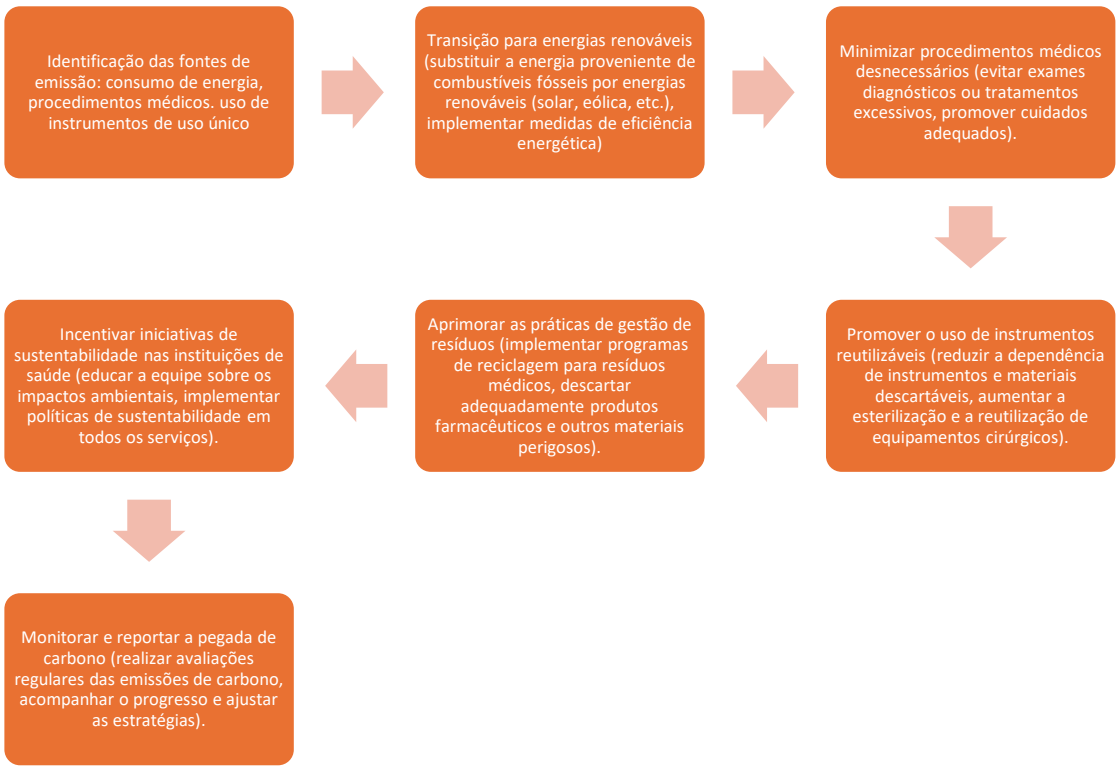
É importante conhecer as fontes de emissões nos serviços de saúde, uma vez que existem grandes variações na forma como os serviços se organizam e funcionam, para que se possam implementar intervenções para melhorar a sustentabilidade ambiental do serviço de saúde. A forma como a prestação de cuidados de saúde é organizada, o nível e a mistura de prestadores de cuidados, e a qualidade e integração dos cuidados, determinam a intensidade e o tipo de cuidados utilizados, daí o nível de emissões. A organização da prestação de cuidados, o nível (hospitalar, ambulatorial, *home care*), tipo de tecnologia usada (menos ou mais invasiva), tratamento, qualidade e integração dos cuidados, determinam a intensidade e o tipo de assistência utilizada, daí o nível de emissões.

A Figura 3 apresenta de forma sintetizada as estratégias para reduzir a emissão de GEE na área da saúde.

Paralelamente, é importante reconhecer a necessidade da transição de um sistema de saúde baseado na cura para um baseado no cuidado, uma vez que esta é a maneira mais eficaz de reduzir as emissões, ou seja, reduzir a necessidade ou a demanda por cuidados em primeiro lugar. A promoção mais ampla da saúde

preventiva vai evitar tratamentos médicos dispendiosos com alto impacto nas emissões subsequentes. Para tanto é necessário incentivar pesquisa sobre a transição ecológica na área da saúde, aumentar a conscientização e capacitar a equipe em sustentabilidade, pois incluem mudanças nas atitudes individuais e sociais para apoiar o consumo de cuidados mais ambientalmente sustentáveis.

Figura 3: Estratégias para redução da emissão de GEE na área da saúde



Fonte: Traduzido de Jerin *et al.* (2024)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor saúde têm como missão a promoção da saúde e do bem-estar da população, no entanto, este artigo evidencia que há uma contradição entre o propósito do setor saúde de cuidar da saúde por um lado, e por outro, causar danos diretos e indiretos ambientais e que contribuem para a emissão de gases de efeito estufa. Nessa revisão observou-se que há desafio complexo a se solucionar. Há emissões diretas de GEE que estão relacionadas ao uso intensivo de energia; gases anestésicos; tecnologia utilizada e a gestão de resíduos. Também foram identificadas emissões indiretas do setor de suprimentos, transporte, medicamentos, etc. Portanto, a descarbonização do setor saúde envolve desafios estruturais, operacionais e políticos, o que reforça a necessidade de transformação em seus procedimentos. É necessário que o setor saúde rume para um sistema de saúde ambientalmente responsável. Como obstáculos a essa transformação há a dependência de sistemas de uso intensivo em carbono, uso de tecnologias e insumos de alto impacto ambiental, fragmentação da cadeia de suprimentos, mas principalmente em países em desenvolvimento,

onde há limitação de dados e falta de integração entre as políticas setoriais como a da saúde e a das ambientais (climáticas). Felizmente, há oportunidades de superar esses obstáculos, como a utilização de energias renováveis; o fortalecimento da economia circular; a adoção de práticas sustentáveis, como compra de suprimentos que geram menor impacto e o redesenho de fluxos assistenciais. Mas, para que essas oportunidades virem realidade há necessidade de investimentos e engajamento e cooperação entre os setores de saúde e ambiental.

REFERÊNCIAS

ALSHQAQEEQ, F. *et al.* Quantifying hospital services by carbon footprint: a systematic literature review of patient care alternatives. **Resources, Conservation and Recycling**, vol.154, 104560, 2020.

AMERICAN HOSPITAL ASSOCIATION. **The Health Care Leader's Guide to Sustainability and Environmental Stewardship**. Chicago: AHA, 2025.

AMERICAN METEREOLOGICAL SOCIETY. **Climate Change. 2019**. Disponível em: <https://www.ametsoc.org/sites/ams/assets/File/aboutams/statements_pdf/AMS_Statement_Climate_Change_April2019.pdf> Acesso em 29/07/2025.

ANG K.L. *et al*. Carbon footprint of non-melanoma skin cancer surgery. **BJS Open**, vol.8, n.5, 2024.

BELKHIR, L.; ELMELIGI, A. Carbon footprint of the global pharmaceutical industry and relative impact of its major players. **Journal of Cleaner Production**, vol.214, 2019.

CHARLESWORTH, M.; SWINTON, F. Anaesthetic gases, climate change, and sustainable practice. ***Lancet Planet Health,*** vol.1, n.6, 2017.

CHAWLA, S. *et al*. Electricity and generator availability in LMIC hospitals: improving access to safe surgery. **J Surg Res,** vol.223, 2018.

CHUA, A. L. B. *et al.* The environmental impact of interventional radiology: an evaluation of greenhouse gas emissions from an academic interventional radiology practice. **Journal of Vascular and Interventional Radiology**, vol.32, n.6, 2021.

CHUNG, J.W.; MELTZER, D.O. Estimate of the carbon footprint of theUS health care sector. **JAMA,** vol.302, n.18, 2009.

CIAIS, P. *et al.* "Carbon and Other Biogeochemical Cycles". *In*: STOCKER, T.F. *et al*. **IPCC, 2013**: Climate Change: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change New York: Cambridge University Press, 2013.

CONNOR, A.; LILLYWHITE, R.; COOKE, M.W. The carbon footprint of a renal service in the United Kingdom. **Quarterly Journal of Medicine**, vol. 103, n.12, 2010.

CONRARDY, J. *et al*. Reducing medical waste. **Association of Operating Room Nurses Journal**, vol.91, n.6, 2010.

CRONK, R.; BARTRAM, J. Environmental conditions in health care facilities in low- and middle-income countries: Coverage and inequalities. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, vol.221, n.3, 2018.

CUNHA, M. F.; PELLINO, G. Environmental effects of surgical procedures and strategies for sustainable surgery. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, vol.20, n.6, 2023.

DICONSIGLIO J. Reprocessing SUDs reduces waste, costs. Materials **Management in Health Care**, vol.17, n.9, 2008.

DREVINSKAS, E.; SHING, E; VERBEET, T. Trade in medical goods stabilises after peaking during pandemic, 2023. **World Trade Organization**. Disponível em: <https://www.wto.org/english/blogs_e/data_blog_e/blog_dta_23may23_e.htm> Acesso: 03/12/2025.

ECKELMAN, M.J.; SHERMAN, J. Environmental Impacts of the U.S. Health Care System and Effects on Public Health. **PLoS One**, vol.11, n.6, 2016.

ECKELMAN, M.J.; SHERMAN, J.D.; MACNEILL, A.J. Life cycle environmental emissions and health damages from the Canadian healthcare system: an economic-environmental-epidemiological analysis. **PLOS Medicine**, vol.15, n.7. 2018.

FENG, R.; LI, Z. Current investigations on global N_2O emissions and reductions: prospect and outlook. **Environmental Pollution**, v. 338, 2023.

FERRERO, A. *et al.* The carbon footprint of cataract surgery in a French University Hospital. **Journal Français d'Ophtalmologie**, vol. 45, n.1, 2022.

FRIEDERICY, H. *et al*. Greenhouse gas emissions due to inhalation anaesthetics in the Netherlands, usage data and a survey of preferences among Dutch anaesthesiologists. ***European Journal of Anaesthesiology Intensive Care***, vol.4, n.1, 2024.

GADANI, H.; VYAS, A. Anesthetic gases and global warming: Potentials, prevention and future of anesthesia. **Anesthesia, Essays and Researches**, vol.5, n.1, 2011.

GATENBY, P.A.C. Modelling the carbon footprint of reflux control. **International Journal of Surgery**, vol.9, n.1, 2011.

HASIYA, Y. *et al*. Travel-associated carbon emissions of patients receiving cancer treatment from an urban safety net hospital. Future Hospital Journal, vol.11, n.4, 2024.

HEALTH CARE WITHOUT HARM, Arup. **Health care's climate footprint**: how the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action. Reston: HCWH, 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2023**: synthesis report. sixth assessment report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023.

ISHIZAWA, Y. General anesthetic gases and the global environment. **Anesthesia & Analgesia**, vol.112, n.1, 2011.

JERIN, A. *et al*. Recent progress on carbon footprint assessment of healthcare services. **Environmental Research Communications**, vol.6, n.10, 2024.

LACROUTE, J. **et al**. The carbon footprint of ambulatory gastrointestinal endoscopy. **Endoscopy**, vol.55, n.10, 2023.

LENZEN, M.; MALIK, A.; MENGYU, L. The carbon footprint of Australian health care. **The Lancet Planetary Health**, vol.2, n.1, 2020.

LIM, A.E.; PERKINS, A.; AGAR, J.W. The carbon footprint of an Australian satellite haemodialysis unit. **Australian Health Review**, vol. 37, n.3, 2013.

LIU, Y. *et al*. Nitrous oxide use in Australian health care: strategies to reduce the climate impact. **Anesthesia & Analgesia**, vol.137, n.4, 2023.

MACNEILL, A.; LILLYWHITE, R.; BROWN, C. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. **The Lancet Planetary Health**, vol.1, n.9, 2017.

MALIK, A. *et al*. The carbon footprint of Australian health care. **The Lancet Planetary Health**, vol.2, n.1, 2018.

MCALISTEr, S. et al. The carbon footprint of pathology testing **Medical Journal of Australia,** vol.212, n.8, 2020.

MCALISTER, S. *et al*. The carbon footprint of hospital diagnostic imaging in Australia **The Lancet Regional Health-Western Pacific**, vol.3, n.24, 2022.

MCALISTER, S. *et al*. The Carbon Footprint of Peritoneal Dialysis in Australia. **Journal of the American Society of Nephrology**, vol.35, n.8, 2024.

MCGAIN, F. *et al*. The carbon footprint of treating patients with septic shock in the intensive care unit. **Critical Care and Resuscitation**: Journal of the Australasian Academy of Critical Care Medicine, vol.20, n.4, 2018.

MCGAIN. F. *et al*. Carbon footprint of general, regional, and combined anesthesia for total knee replacements. **Anesthesiology**, vol.135, n.6, 2021.

MCMICHAEL, A.J.; LINDGREN, E. Climate change: present and future risks to health, and necessary responses. **Journal of Internal Medicine**, vol.270, n.5, 2011.

MICHTENBERG, A. *et al.* Health care during electricity failure: the hidden costs. **PLoS One**, vol.15, n.11, 2020.

MORRIS, D.S. *et al*. The carbon footprint of cataract surgery. **Eye** (Lond), vol.27, n.4, 2013.

NANSAI, K. *et al.* Carbon footprint of Japanese health care services from 2011 to 2015. **Resources, Conservation and Recycling**, vol.152, 2020.

NATIONAL HEALTH SERVICE. **Delivering a 'net zero'**. London: NHS, 2020.

NATIONAL HEALTH SERVICE. **England carbon emissions carbon footprinting report**. London: NHS, 2009.

NATIONAL HEALTH SERVICE. **Reducing the use of natural resources in health and social care**. 2018 report. Cambridge: NHS, 2018.

NICOLET, J. *et al*. What is the carbon footprint of primary care practices? A retrospective life-cycle analysis in Switzerland. **Environmental Health**, vol.21, n.1, 2022.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Securing Medical Supply Chains in a Post-Pandemic World.** OECD Health Policy Studies. Paris: OECD, 2024.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Decarbonising Health Systems Across OECD Countries.** OECD Health Policy Studies. Paris: OECD, 2025.

OU, Z.; SEPPÄNEN, A.V. The role of the health sector in tackling climate change: A narrative review. **Health Policy**, vol.143, n.10363, 2024.

PACHECO, M.R.P.S.; MARCONDES HELENE, M.E. Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO_2. **Estudos Avançados**, vol.4, n.9,1990.

PARKER, G.; MILLER, F.A. Tackling Pharmaceutical Pollution Along the Product Lifecycle: Roles and Responsibilities for Producers, Regulators and Prescribers. ***Pharmacy***, vol.12, n.6, 2024.

PICHLER, P.P. et al. International comparison of health care carbon footprints. **Environmental Research Letters**, vol.14, n.6, 2019.

PINTO, T.P. *et al.* Panorama das Emissões de Metano e Implicações do Uso de Diferentes Métricas. **Boletim Informativo da FGV**, n.4, 2022.

POWER, N.E., *et al*. Environmental impact of minimally invasive surgery in the United States: an estimate of the carbon dioxide footprint. **Journal of Endourology**, vol.26, n.12, 2012.

PRASAD, P.A. *et al*. Environmental footprint of regular and intensive inpatient care in a large US hospital. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, vol.27, n.1, 2022.

RASHEED, F.N. *et al*. Decarbonising healthcare in low and middle income countries: potential pathways to net zero emissions. **BMJ**, vol.9, 2021.

RIZAN, C. *et al*. The carbon footprint of surgical operations: a systematic review. **Annals of Surgery**, vol.272, n.6, 2020.

ROMANELLO, M. *et al.* The 2023 report of the Lancet countdown on health and climate change: the imperative for a health-centred response in a world facing irreversible harms. **Lancet**, vol.402, n.10419, 2023.

SEGLENIEKS, R. *et al*. Discrepancy between procurement and clinical use of nitrous oxide: waste not, want not. **British Journal of Anaesthesia,** vol.128, n.1, 2022

SHARMA, R. *et al.* The impact of incinerators on human health and environment. **Reviews on environmental health**, vol.28, n.1, 2013.

SHOHAM, M.A. *et al*. The environmental impact of surgery: a systematic review. ***Surgery*****,** vol.172, n.3, 2022.

SIAU, K.; HAYEE, B.H.; GAYAM, S. Endoscopy's current carbon footprint. **Techniques and Innovations in Gastrointestinal Endoscopy**, vol.23, n.4, 2021.

SPECK, C.L.; MAGER, N.A.D.; MAGER, J.N. Pharmacists' perception of climate change and its impact on health, **Journal of the American Pharmacists Association,** vol.63, n.4, 2023.

TENNISON, I. *et al*. Health care's response to climate change: a carbon footprint assessment of the NHS in England. **The Lancet Planetary Health**, vol.5, n.2, 2021.

THIEL, C.L. *et al*. Environmental impacts of surgical procedures: life cycle assessment of hysterectomy in the United States. **Environmental science & technology,** vol.49, n.3, 2015.

TOMSON, C. Reducing the carbon footprint of hospital based care. **Future Healthcare Journal**, vol.2, n.1, 2015.

WATTS, N.; MOONESINGHE, E.; FOREMAN, C. **Putting anaesthetic emissions to bed: commitment on desflurane,** 2023 Disponível em: <https://www.england.nhs.uk/blog/putting-anaesthetic-emissions-to-bed> Acesso em: 03/2/2025.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Quantifying the impact of climate change on human health.** Insight Report January 2024. Geneva: WEF, 2024.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **COP26 Special Report on Climate Change and Health**: the health argument for climate action. Geneva: WHO, 2021.

WORLD RESOUCES INSTITUTE. **World Resources Report 2010-2011**: decision making in a changing climate. Washington: WRI, 2011.

YASNY, J.S.; WHITE, J. Environmental Implications of Anesthetic Gases. **Anesthesia progress**, vol.59, n.4, 2012.

YUSUF, H. *et al*. Travel-associated carbon emissions of patients receiving cancer treatment from an urban safety net hospital. **Future Healthcare Journal,** vol.11, n.4, 2024.