

Arte sobre foto de Cecília Bastos/USP Imagens

Sustentabilidade e mudanças climáticas

Sustainability and climate change

Marcos Buckeridge
Arlindo Philippi Júnior



resumo

O conceito de sustentabilidade tornou-se central para a sociedade. Com a COP30 sendo realizada no Brasil em 2025, entender o conceito e saber como ele se aplica à crise climática torna-se essencial. Isso porque alinhar a linguagem permite que discussões sejam feitas com mais profundidade. O objetivo é oferecer uma visão geral do que é sustentabilidade e como (e por que) o termo é relevante num momento em que a humanidade enfrenta o que provavelmente é o seu maior desafio até aqui.

Palavras-chave: sustentabilidade; COP30; crise climática; sistemas.

abstract

The concept of sustainability has become central to contemporary society. With COP30 set to take place in Brazil in 2025, understanding its meaning and application to the climate crisis is essential. Shared language fosters deeper discussion, and the goal here is to provide an overview of what sustainability entails and why the term is especially relevant at a moment when humanity is facing what may be its greatest challenge yet.

Keywords: sustainability; COP30; climate crisis; systems.

O

conceito de sustentabilidade tornou-se central para a sociedade. Com a COP30 sendo realizada no Brasil em 2025, entender o conceito e saber como ele se aplica à crise climática torna-se essencial. Isso porque alinhar a linguagem permite que discussões sejam feitas com mais profundidade. Permite

até tirar conclusões mais rápidas, uma vez que discussões feitas entre pessoas e instituições de diferentes culturas são necessárias numa Conferência das Partes. Se, num contexto desses, as discussões partem de conceitos aprovados por todas as partes, fica mais fácil fazer propostas que sejam mais bem aceitas por todos.

Quando se trata das COPs, o tempo importa, já que as mudanças climáticas

estão avançando mais rápido do que havia sido previsto pelos modelos apresentados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). O objetivo aqui é oferecer uma visão geral do que é sustentabilidade e como (e por que) o termo é relevante num momento em que a humanidade enfrenta o que provavelmente é o seu maior desafio até aqui. De forma simples e direta, aumentar a sustentabilidade importa porque a crise climática vem impondo – e tende a aumentar bastante – a necessidade de medidas de mitiga-

MARCOS BUCKERIDGE é professor titular do Departamento de Botânica do Instituto de Biociências (IB) da USP e vice-diretor do Instituto de Estudos Avançados (IEA) da USP.

ARLINDO PHILIPPI JÚNIOR é professor titular da Faculdade de Saúde Pública (FSP) da USP e pesquisador sênior do IEA-USP.

ção, que significam evitar a emissão de gases de efeito estufa, e de adaptação, que, portanto, têm que fazer o rescaldo dos desastres que os extremos climáticos produzem. Para poder mitigar e adaptar, o Brasil precisa ser organizado e eficiente.

Como será discutido adiante, ser mais eficiente se relaciona diretamente com ser mais sustentável. Ser mais eficiente nos levará a maiores níveis de resiliência, ou seja, de capacidade de resposta rápida aos eventos climáticos, seja através do desenvolvimento de políticas públicas embasadas e estratégicas, seja pela capacidade de resposta rápida e plena aos eventos que teremos que enfrentar nas próximas décadas.

SIGNIFICADOS DA SUSTENTABILIDADE

Neste artigo, contextualizamos primeiro os conceitos de sustentabilidade usados em nível internacional e no Brasil. Para isso, obtivemos definições e seus respectivos focos, utilizando inteligência artificial (ChatGPT 4.0). Limitamos as buscas a cinco definições principais, construindo tabelas e oferecendo referências bibliográficas que dão suporte às definições. Nossa busca produziu duas tabelas, uma delas com as definições de sustentabilidade feitas no âmbito internacional, encontradas por IA em documentos internacionais de peso, como o Relatório Brundtland, Agenda 21 e a Unesco, por exemplo (Tabela 1).

TABELA 1

Fonte / Ano	Definição	Foco principal
World Conservation Strategy – IUCN, Unep, WWF (1980)	Melhorar a qualidade de vida humana dentro dos limites da capacidade de suporte dos ecossistemas	Limites ecológicos
Relatório Brundtland (1987)	Desenvolvimento que satisfaz às necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras	Equilíbrio intergeracional
Agenda 21 (1992)	Integração equilibrada das dimensões econômica, social e ambiental do desenvolvimento	Três dimensões (econômica, social, ambiental)
John Elkington – Triple Bottom Line (1997)	Equilíbrio entre prosperidade econômica, qualidade ambiental e justiça social	Modelo corporativo/tripé da sustentabilidade
Unesco (2010)	Processo dinâmico que visa à justiça social, viabilidade econômica, integridade ambiental e respeito à diversidade cultural	Inclusão cultural + quatro dimensões

Cinco definições de sustentabilidade obtidas através de consulta ao ChatGPT 4.0. Neste caso, a solicitação ao sistema foi feita sem detalhamento. Como ocorre sempre, esse sistema de IA retorna referências escritas em inglês e obtidas principalmente de instituições internacionais de amplo alcance

Para construir a segunda tabela, pedimos que a IA listasse cinco definições propostas por brasileiros (ou escritas no Brasil). Essas definições, com seus focos principais, estão na Tabela 2. O objetivo dessa segunda tabela foi tentar verificar diferenças na definição de sustentabilidade que tivessem a influência da cultura brasileira.

O próximo passo foi pedir à IA uma consolidação das definições, primeiro de cada tabela e depois de todas as definições obtidas.

A definição consolidada obtida a partir de autores internacionais foi a seguinte:

Sustentabilidade é a capacidade de satisfazer às necessidades presentes sem comprometer as futuras, equilibrando crescimento econômico, equidade social e integridade ecológica. Trata-se de um princípio orientador que reconhece os limites planetários e busca promover justiça intergeracional, conservação dos ecossistemas e bem-estar humano de forma contínua e adaptativa.

TABELA 2

Autor / Fonte	Definição	Foco principal
Paulo Freire (1996, aplicado ao tema)	Sustentabilidade deve ser entendida como um processo educativo e emancipatório, no qual comunidades constroem autonomia e responsabilidade diante da natureza	Educação, emancipação e consciência crítica
Ignacy Sachs (2004)	Sustentabilidade é um processo multidimensional (social, econômica, ecológica, espacial, cultural e política), que articula o atendimento das necessidades básicas da população com o uso racional dos recursos naturais	Integração de múltiplas dimensões (ecodesenvolvimento)
Marcos Sorrentino (2005)	Sustentabilidade é uma prática social e política construída de forma participativa, envolvendo democratização das relações sociais e valorização da diversidade cultural e ecológica	Participação social e democracia ambiental
Enrique Ortega (2008)	Sustentabilidade é a manutenção da integridade dos fluxos de energia e materiais que sustentam os sistemas sociais e ecológicos, garantindo qualidade de vida às populações humanas	Metabolismo energético e material dos sistemas
José Eli da Veiga (2010)	Sustentabilidade é a capacidade de um sistema se manter ao longo do tempo, conciliando conservação ambiental, crescimento econômico e equidade social, respeitando os limites ecológicos	Equilíbrio entre economia, sociedade e meio ambiente

Cinco definições de sustentabilidade obtidas através de consulta ao ChatGPT 4.0. Neste caso, foi pedido ao sistema que listasse definições propostas no Brasil

A definição consolidada, a partir da Tabela 2, por autores do Brasil foi a seguinte:

Sustentabilidade é um processo multidimensional e participativo que articula dimensões sociais, econômicas, culturais, políticas e ecológicas, conciliando conservação dos fluxos naturais de energia e materiais com equidade social, educação emancipatória e valorização da diversidade cultural. Mais do que um estado fixo, é uma prática coletiva de transformação em direção à autonomia, democracia ambiental e responsabilidade ética.

E, finalmente, a definição consolidada a partir das duas tabelas é descrita abaixo:

Sustentabilidade é a capacidade de sistemas humanos e naturais de se manterem ao longo do tempo, conciliando equidade social, prosperidade econômica e integridade ecológica, respeitando os limites planetários e os direitos das gerações futuras. Esse conceito envolve múltiplas dimensões – sociais, culturais, políticas, ecológicas e econômicas – e depende de processos participativos, educativos e emancipatórios que favoreçam justiça climática, diversidade cultural e governança democrática. Sustentabilidade não é apenas um objetivo, mas um caminho de transformação coletiva em direção a sociedades regenerativas, resilientes e inclusivas.

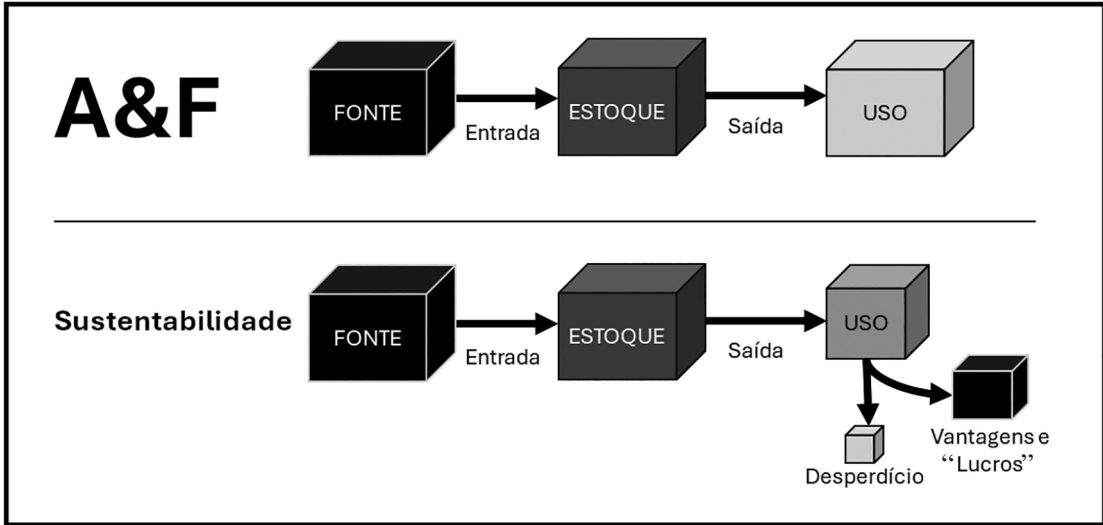
A consolidação das definições mostra que a visão de sustentabilidade é colocada, em âmbito internacional e no Brasil, dentro de uma visão fortemente humanista. É notável, por exemplo, a ausência do termo biodiversidade, que certamente faz parte da sustentabilidade como um todo, mas nessa consolidação fica escondida no conceito de ecologia.

Porém, a sustentabilidade pode ser definida de forma mais simples e ampla, sem ficar restrita aos seres humanos. Nesse sentido, o conceito pode ser mais útil quando a interação ocorre com a crise climática. Isso porque há perguntas sobre a sustentabilidade que requerem mais do que o que foi abordado pela análise feita pela IA.

Algumas perguntas ilustram essas diferenças. Por exemplo: quão sustentável é uma floresta, sem que seres humanos estejam envolvidos? Quão sustentável é um automóvel ou uma máquina de lavar roupas? É fácil ver as limitações que as definições acima trazem, exceto, talvez, pela definição de José Eli da Veiga (Tabela 2), ou parte dela, quando diz que sustentabilidade é a capacidade de um sistema se manter ao longo do tempo. A definição de Veiga embute o termo “sistemas” e, se formos aprofundar e ao mesmo tempo expandir a definição para além do domínio humano, podemos pensar em qualquer sistema.

Uma análise bastante interessante da sustentabilidade de sistemas foi feita por Donella Meadows em seu livro *Thinking systems*, em que ela examina diversos sistemas e faz modelagens computacionais para demonstrar seu ponto de vista. Numa série de exemplos sobre como sistemas funcionam pela integração de suas partes, através de um equilíbrio dinâmico entre as entradas, o armazenamento e o fluxo, o que Meadows chama de *stock-and-flow*, ela demonstra como um equilíbrio estável pode ser atingido. A Figura 1 representa o modelo básico de Meadows, que aqui chamaremos de A&F (armazenamento e fluxo). Este sistema pode ser considerado a base da sustentabilidade, porque, em qualquer sistema – uma floresta, um sistema industrial, financeiro, agrícola

FIGURA 1



Visão de sustentabilidade baseada na ideia de Donella Meadows, cuja ideia central inicial é que existe um estoque entre a fonte e o uso de qualquer material (água, minerais, energia etc.). Nesta figura acrescentamos o desperdício (que Meadows irá usar ao longo de seu livro para outras modelagens) para exemplificar que termodinamicamente sempre haverá perda no processo. Usamos o termo “desperdício”, mas no contexto atual ele é intercambiável com o termo “resíduo”. Um sistema sustentável, numa visão mais utilitarista, produz vantagens (que podem ser consideradas “lucros”)

etc. – sempre haverá entradas, estoques e saídas que geram produtos e serviços. Por uma questão termodinâmica, não há como produzir mais do que entra em termos de materiais. Isso significa que sempre haverá algum resíduo, enquanto o “valor” do produto determinará as vantagens de manter o sistema funcionando. Os sistemas existentes são extremamente complexos e, para uma visão dessa complexidade, vale olhar o livro de Donella Meadows, que aprofunda o tema.

Para uma explicação mais clara da proposta de visão de sustentabilidade a partir dos sistemas, usemos como exemplo a sustentabilidade de uma floresta, digamos, a Floresta Amazônica. Fazer uma exploração sustentável da floresta envolve utilizar elementos de um estoque (a floresta em si), cuja fonte são o gás

carbônico e os nutrientes do solo, para obter serviços e produtos que sejam úteis aos seres humanos. Ao obter tais produtos, temos vantagens, mas perdemos um pouco do que está no estoque da floresta. Se a vantagem de ter uma floresta bem preservada é que ela ajuda a controlar o clima, este será o “produto” da floresta. Porém, deixá-la intocada também leva ao seu decaimento em longo prazo, já que seus processos de autorrecuperação não são totalmente sustentáveis.

Outro exemplo, muito em voga atualmente, é o das cidades sustentáveis. O primeiro ponto sobre isso é que não é possível atingir 100% de sustentabilidade urbana. Para operar qualquer sistema, as leis da termodinâmica se aplicam (o sistema emitirá energia), e o esforço para manter o “estoque”, ou

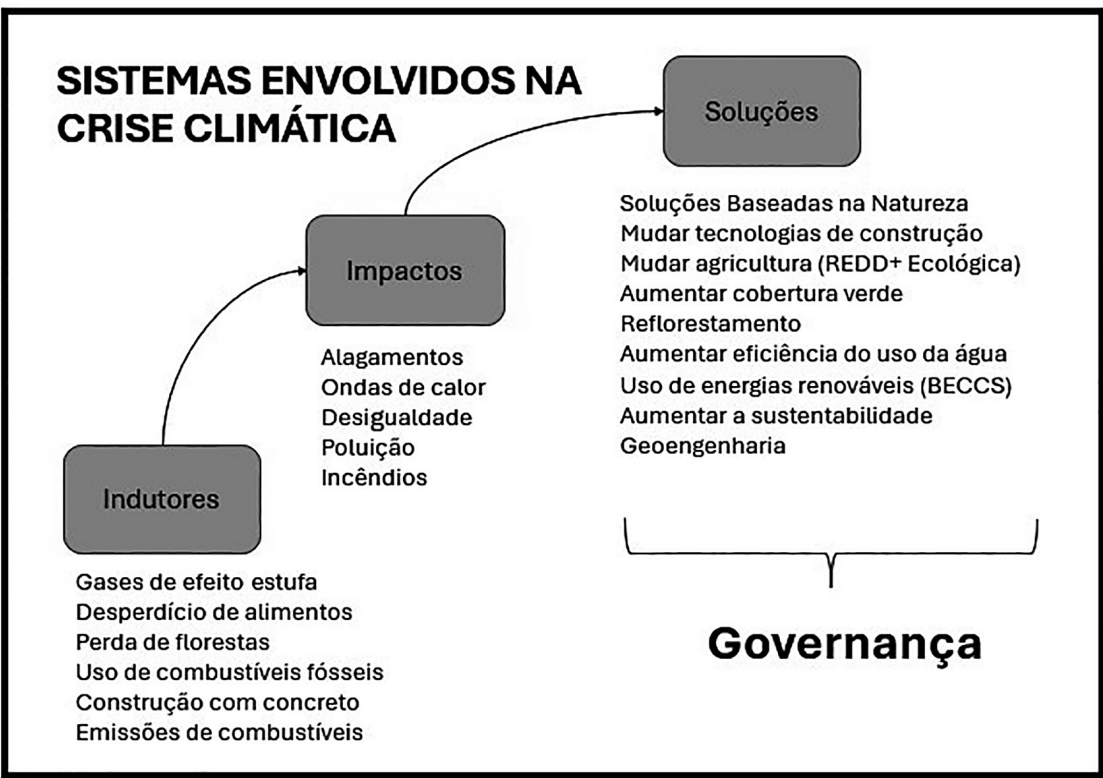
seja, a cidade funcionando e proporcionando serviços aos cidadãos, gera resíduos e, por isso, é preciso “alimentar” continuamente o sistema urbano (que chamamos de urb-sistema – Buckeridge; Philippi Jr., 2020).

Este conceito mais simples e básico de sustentabilidade, baseado no funcionamento de sistemas complexos e suas partes, permite aplicação a qualquer sistema, apresentando, portanto, generalidade e, principalmente, potencial para ser medido com números, possibilitando assim avaliar o impacto de políticas públicas usando bons indicadores.

SUSTENTABILIDADE E CRISE CLIMÁTICA

A crise climática está diretamente relacionada às atividades humanas sobre os diversos sistemas do nosso planeta. O clima está mudando em razão de emissões de gases de efeito estufa (principalmente CO₂) resultantes do uso de combustíveis fósseis. Esse processo aumenta a temperatura da atmosfera terrestre, alterando os regimes climáticos no planeta e gerando o que chamamos de eventos extremos.

FIGURA 2



Sistema de indutores, impactos e soluções que geram a crise climática. Apenas alguns fatores são mencionados como exemplos. O sistema planetário é de imensa complexidade e com uma quantidade de fatores enorme. Portanto, esta figura é apenas ilustrativa do fenômeno da crise climática

Os dados científicos que apoiam esses fenômenos foram compilados pelo Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (IPCC)¹. Pode-se resumir o sistema através das conexões entre os fatores indutores, os impactos que causam e as soluções possíveis (Figura 2).

Para articular sustentabilidade e mudanças climáticas, podemos usar os dois tipos de definições descritos acima. Por um lado, as ações necessárias agora para mitigar as emissões de gases de efeito estufa e promover as adaptações devem ser, em si, medidas que afetem o mínimo possível as gerações futuras. Isso está no centro da definição humanística e serve como principal motivação para investirmos no aumento da sustentabilidade em todos os setores. O mundo atual, em relação, por exemplo, ao século IX, é muito mais igualitário e justo. Mas ainda não atingimos o maior nível possível, e orientar os sistemas para atingirem o maior grau de sustentabilidade possível oferece múltiplas formas de fortalecer a sociedade atual para enfrentar a crise climática sem deixar ninguém para trás. Garantir um caminho sustentável, no âmbito da definição integrada obtida pela IA, exigirá um grande esforço do conjunto de países do mundo para manter sistemas democráticos em funcionamento. Nas Conferências das Partes, a sustentabilidade, no sentido da visão integrada humanística, é o que deve ganhar foco central, pois as decisões de grande escala, como o cumprimento ou não das Contribuições Nacio-

nalmente Determinadas, contêm elementos políticos que dependem dos sistemas de cada país, com suas peculiaridades sociais e econômicas. As COPs têm por trás esse nível extremamente alto de complexidade e envolvem *como fazer com que povos com culturas e sistemas políticos diversos consigam se organizar no sentido de combater a crise climática, levando em consideração as suas peculiaridades*. Um dos principais desafios inerentes às COPs é que não conseguiremos obter resultados significativos se a maioria não aderir ao caminho da sustentabilidade.

Já a segunda definição (a sistêmica) tem um papel semelhante, mas muito mais profundo em relação a cada um dos atores envolvidos no combate à crise climática. Isso porque a sustentabilidade tem que permear praticamente tudo na sociedade. Em outras palavras, atingir um alto nível de sustentabilidade é impossível apenas pensando pela lente da primeira definição. O esforço de verificar todos os sistemas em funcionamento na sociedade (produção e serviços) tem sido feito por alguns países, notadamente países como a Alemanha, o Japão e a Noruega, que já tinham em suas respectivas culturas a preocupação com processos sustentáveis. Para muitos países que não têm essas características, o esforço deverá ser enorme e precisa ser visto através da lente da definição sistêmica. Para isso, será necessário revisar praticamente todos os processos e produtos, analisando-os do ponto de vista do que é necessário para produzi-los e qual o desperdício inerente ao seu uso.

Em todos os casos, o meio mais importante para alcançar altos níveis de sustentabilidade passa pelas políticas públicas. Em todos os níveis e em todos os países,

1 Ver: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/relatorio-executivo-08-07-web.pdf>.

serão cruciais os planos e aplicações relacionados a essas políticas.

CONCLUSÃO

A relação entre sustentabilidade e crise climática é absolutamente essencial. Pode-se pensar que apenas a implantação de tecnologias é suficiente, mas sem assumir os

preceitos da sustentabilidade simplesmente não há como combater a crise. As estratégias precisam estar arraigadas nas políticas públicas, que também devem obedecer aos preceitos da sustentabilidade. As vantagens de um mundo mais sustentável vão além de uma visão romântica de coletivismo. Ser sustentável também é vantajoso para o nível individual, e o investimento certamente valerá a pena.

REFERÊNCIAS

- BRUNDTLAND, G. H. *Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford, Oxford University Press, 1987.
- DALY, H. E. *Beyond growth: the economics of sustainable development*. Boston, Beacon Press, 1996.
- ELKINGTON, J. *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business*. Oxford, Capstone, 1997.
- FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo, Paz e Terra, 1996.
- MEADOWS, D. H. *Thinking in systems. A primer*. Londres, Earthscan, 2009.
- ORTEGA, E. "Fluxos de energia em agroecossistemas e sustentabilidade", in A. Philippi Júnior; D. Ruschmann (orgs.). *Gestão ambiental e sustentabilidade*. Barueri, Manole, 2008, pp. 87-115.
- SACHS, I. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro, Garamond, 2004.
- SORRENTINO, M. "Educação ambiental como política pública", in P. P. Layrargues (org.). *Identities da educação ambiental brasileira*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2005, pp. 93-108.
- VEIGA, J. E. da. *Sustentabilidade: a legitimação de um novo valor*. São Paulo, Editora Senac, 2010.

The concept of sustainability has become central to society. With COP30 being held in Brazil in 2025, understanding its meaning and application to the climate crisis is essential. Shared language fosters deeper discussion and even allows for quicker consensus, since dialogue among people and institutions from different cultures is at the core of a Conference of the Parties. In this context, basing discussions on concepts agreed upon by all parties makes it easier to advance proposals that are more widely accepted.

When it comes to COPs, time matters, as climate change is advancing faster than predicted by the models presented by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The goal is to offer an overview of what sustainability is and how (and why) the term is relevant at a time when humanity is facing what is likely its greatest challenge so far. Simply and directly put, increasing sustainability matters because the climate crisis is imposing—and will likely further increase—the need for mitigation measures, which mean avoiding greenhouse gas emissions, and adaptation measures, which therefore must deal with the aftermath of disasters caused by climate extremes. In order to mitigate and adapt, Brazil needs to be organized and efficient.

As will be discussed later, being more efficient is directly related to being more sustainable. Greater efficiency will lead us to higher levels of resilience, that is, the

MARCOS BUCKERIDGE is Full Professor at the Department of Botany of the Institute of Biosciences (IB) at the University of São Paulo (USP) and Deputy Director of the Institute of Advanced Studies (IEA) at USP.

ARLINDO PHILIPPI JÚNIOR is Full Professor at the Faculty of Public Health (FSP) at USP and Senior Researcher at IEA-USP.

ability to respond quickly to climate events, whether through the development of well-founded and strategic public policies or through the capacity for rapid and comprehensive response to the events we will have to face in the coming decades.

MEANINGS OF SUSTAINABILITY

In this article, we first contextualize the concepts of sustainability used internationally and in Brazil. To do this, we obtained definitions and their respective focuses using artificial intelligence (ChatGPT4.0). We limited the search to five main definitions, building tables and providing bibliographic references that support the definitions. Our search produced two tables, one with sustainability definitions developed at the international level, found by AI in major international documents such as the Brundtland Report, Agenda 21, and Unesco, for example (Table 1).

TABLE 1		
Source / Year	Definition	Main Focus
World Conservation Strategy – IUCN, Unep, WWF (1980)	Improve human quality of life within the limits of ecosystem carrying capacity	Ecological limits
Brundtland Report (1987)	Development that meets the needs of the present without compromising future generations	Intergenerational balance
Agenda 21 (1992)	Balanced integration of the economic, social, and environmental dimensions of development	Three dimensions (economic, social, environmental)
John Elkington – Triple Bottom Line (1997)	Balance between economic prosperity, environmental quality, and social justice	Corporate model/ sustainability tripod
Unesco (2010)	Dynamic process aimed at social justice, economic viability, environmental integrity, and respect for cultural diversity	Cultural inclusion + four dimensions

Five definitions of sustainability obtained through consultation with ChatGPT 4.0. In this case, the request to the system was made without detailing. As always, this AI system returns references written in English and obtained mainly from internationally recognized institutions

To build the second table, we asked the AI to list five definitions proposed by Brazilian authors (or written in Brazil). These definitions, with their main focuses, are in Table

TABLE 2

Author / Source	Definition	Main Focus
Paulo Freire (1996, applied to the theme)	Sustainability should be understood as an educational and emancipatory process in which communities build autonomy and responsibility toward nature	Education, emancipation, and critical awareness
Ignacy Sachs (2004)	Sustainability is a multidimensional process (social, economic, ecological, spatial, cultural, and political), articulating the fulfillment of basic population needs with the rational use of natural resources	Integration of multiple dimensions (ecodevelopment)
Marcos Sorrentino (2005)	Sustainability is a social and political practice built in a participatory manner, involving democratization of social relations and appreciation of cultural and ecological diversity	Social participation and environmental democracy
Enrique Ortega (2008)	Sustainability is the maintenance of the integrity of energy and material flows that sustain social and ecological systems, ensuring quality of life for human populations	Energy and material metabolism of systems
José Eli da Veiga (2010)	Sustainability is the ability of a system to endure over time, reconciling environmental conservation, economic growth, and social equity, respecting ecological limits	Balance between economy, society, and environment

Five definitions of sustainability obtained through consultation with ChatGPT 4.0. In this case, the system was asked to list definitions proposed in Brazil

2. The goal of this second table was to try to identify differences in the definition of sustainability influenced by Brazilian culture.

The next step was to ask the AI for a consolidation of the definitions, first from each table and then from all the definitions obtained.

The consolidated definition obtained from international authors was as follows:

Sustainability is the ability to meet present needs without compromising future ones, balancing economic growth, social equity, and ecological integrity. It is a guiding principle that recognizes planetary boundaries and seeks to promote intergenerational justice, ecosystem conservation, and human well-being in a continuous and adaptive manner.

The consolidated definition from Table 2, by Brazilian authors, was as follows:

Sustainability is a multidimensional and participatory process that articulates social, economic, cultural, political, and ecological dimensions, reconciling the conservation

of natural energy and material flows with social equity, emancipatory education, and appreciation of cultural diversity. More than a fixed state, it is a collective practice of transformation toward autonomy, environmental democracy, and ethical responsibility.

And finally, the consolidated definition from both tables is described below:

Sustainability is the ability of human and natural systems to endure over time, reconciling social equity, economic prosperity, and ecological integrity, respecting planetary boundaries and the rights of future generations. This concept involves multiple dimensions—social, cultural, political, ecological, and economic—and depends on participatory, educational, and emancipatory processes that promote climate justice, cultural diversity, and democratic governance. Sustainability is not just a goal, but a path of collective transformation toward regenerative, resilient, and inclusive societies.

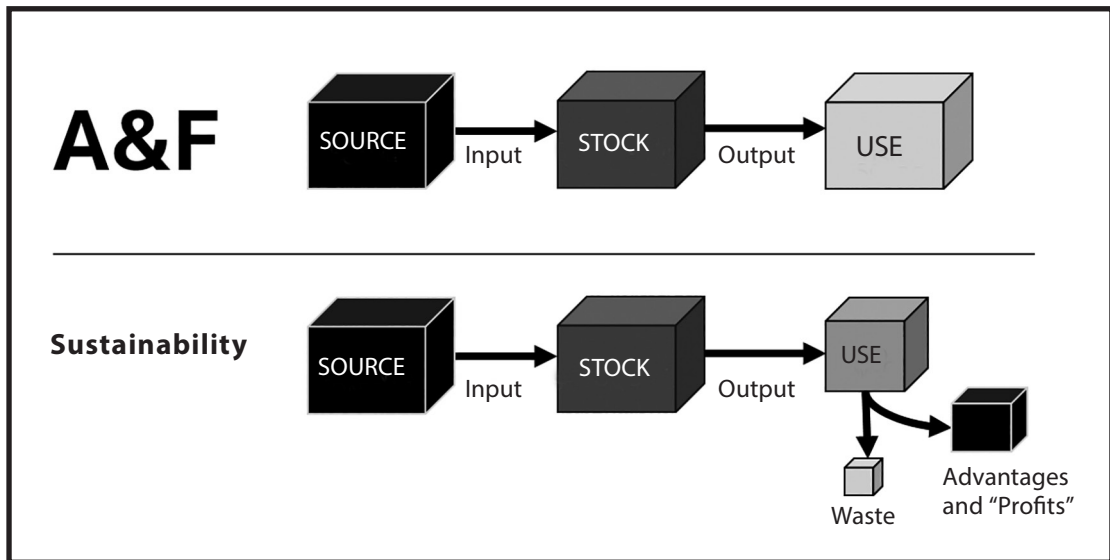
The various definitions show that the concept of sustainability, both internationally and in Brazil, is framed within a strongly humanistic perspective. Notably, for instance, the term biodiversity is absent. Although it is certainly part of the broader concept of sustainability, it remains subsumed under the notion of ecology in these consolidated frameworks.

However, sustainability can be defined in a simpler and broader way, without being restricted to human beings. In this sense, the concept may be more useful when interacting with the climate crisis. This is because certain questions about sustainability require more than what was addressed in the AI-generated analysis.

Some questions illustrate these differences. For instance: how sustainable is a forest without human involvement? How sustainable is a car or a washing machine? It is easy to see the limitations of the definitions above—except, perhaps, for the definition by José Eli da Veiga (Table 2), or part of it, when he states that sustainability is the capacity of a system to endure over time. Veiga's definition embeds the term "systems," and if we delve deeper and simultaneously expand the definition beyond the human domain, we can consider any system.

A particularly interesting analysis of system sustainability was conducted by Donella Meadows in her book *Thinking systems*, in which she examines various systems and uses computational modeling to demonstrate her perspective. Through a series of examples showing how systems function via the integration of their parts—through a dynamic balance between inputs, storage, and flow, which Meadows calls "stock-and-flow"—she demonstrates how stable equilibrium can be achieved. Figure 1 represents Meadows' basic model, which we will refer to here as S&F (stock and flow). This system can be considered the foundation of sustainability because, in any context—a forest, an industrial, financial, or agricultural system—there will always be inputs, stocks, and outputs that generate products and services. According to thermodynamic principles, it is impossible to produce more than the material inputs allow. This means there will

FIGURE 1



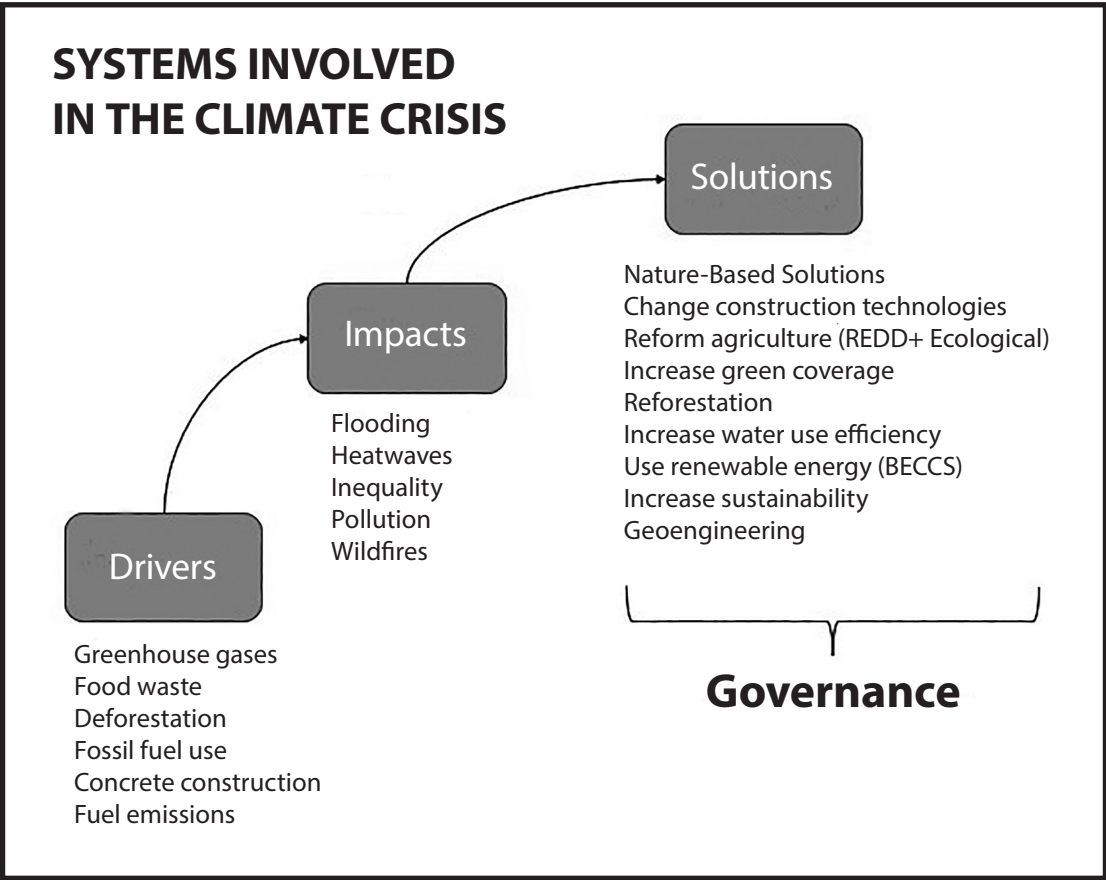
A vision of sustainability based on Donella Meadows' framework, whose central initial idea is that there is a stock between the source and the use of any material (water, minerals, energy, etc.). In this figure, we have added the notion of waste (which Meadows uses throughout her book in other models) to illustrate that, thermodynamically, there will always be loss in the process. In this figure, we use the term "waste," which, in the current context, is interchangeable with "residue." A sustainable system, from a more utilitarian perspective, produces advantages (which may be considered "profits")

always be some waste, while the 'value' of the product will determine the advantages of keeping the system running. Since existing systems are extremely complex, Meadows' book is highly recommended for a deeper understanding.

To clarify the proposed vision of sustainability from a systems perspective, let us take the example of a forest's sustainability—specifically, the Amazon Rainforest. Sustainable exploitation of the forest involves using elements from a stock (the forest itself), whose sources are carbon dioxide and soil nutrients, to obtain services and products useful to humans. By obtaining such products, we gain advantages but lose part of the forest's stock. If the advantage of having a well-preserved forest is that it helps regulate the climate, this will be the forest's "product." However, leaving it untouched also leads to its long-term decay, since its self-recovery processes are not entirely sustainable.

Another example, highly prominent today, is that of sustainable cities. The first point to note is that achieving 100% urban sustainability is not possible. To operate any system, the laws of thermodynamics apply (the system will emit energy), and the effort to maintain the "stock", that is, the city functioning and providing services to citizens, generates waste. Therefore, the urban system must be continuously "fed" (which we call the urbsystem – Buckeridge; Philippi Jr., 2020).

FIGURE 2



System of drivers, impacts, and solutions that generate the climate crisis. Only a few factors are mentioned as examples. The planetary system is immensely complex and involves a vast number of variables. Therefore, this figure is merely illustrative of the climate crisis phenomenon

This simpler and more basic concept of sustainability, based on the functioning of complex systems and their parts, allows for application to any system, thus offering generality and, most importantly, the potential to be measured numerically, thereby enabling the evaluation of public policy impacts using robust indicators.

SUSTAINABILITY AND CLIMATE CRISIS

The climate crisis is directly related to human activities affecting the various systems of our planet. The climate is changing due to greenhouse gas emissions (mainly CO₂) resulting from the use of fossil fuels. This process increases the temperature of Earth’s atmosphere, alters climate regimes across the planet, and generates what we call extreme events.

The scientific data supporting these phenomena was compiled by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)¹. The system can be summarized through the connections between driving factors, the impacts they cause, and possible solutions (Figure 2).

To articulate sustainability and climate change, we can draw on both types of definitions described above. On one hand, the actions now required to mitigate greenhouse gas emissions and promote adaptation must themselves be measures that minimally affect future generations. This principle lies at the heart of the humanistic definition and serves as the primary motivation for investing in increased sustainability across all sectors. The world today, compared to, for example, the 9th century, is far more egalitarian and just. However, we have not yet reached the highest possible level, and guiding systems toward the greatest degree of sustainability offers multiple ways to strengthen current society in facing the climate crisis without leaving anyone behind. Ensuring a sustainable path, within the scope of the integrated definition obtained through AI, will require a major effort from the global community to maintain functioning democratic systems. At the Conferences of the Parties, sustainability—understood through the integrated humanistic lens—must take center stage, as large-scale decisions, such as the fulfillment or not of Nationally Determined Contributions (NDCs), contain political elements that depend on each country's systems, with their social and economic particularities. COPs carry this extremely high level of complexity and involve the challenge of *enabling peoples with diverse cultures and political systems to organize themselves to combat the climate crisis, taking their specificities into account*. One of the main challenges inherent to COPs is that we will not achieve meaningful results unless the majority adheres to the path of sustainability.

The second definition (the systemic one) plays a similar role, but with far-reaching implications for each actor involved in combating the climate crisis. This is because sustainability must permeate virtually every aspect of society. In other words, achieving a high level of sustainability is impossible if viewed solely through the lens of the first definition. The effort to examine all systems operating in society (production and services) has been undertaken by some countries, most notably Germany, Japan, and Norway, which already had a cultural concern for sustainable processes. For many countries that do not share these characteristics, the effort will be enormous and must be approached through the lens of the systemic definition. This will require a thorough review of virtually all processes and products, analyzing them from the perspective of what is needed to produce them and the waste inherent in their use.

In all cases, the most important means of achieving high levels of sustainability lies in public policy. At all levels and in all countries, plans and implementations related to these policies will be crucial.

1 Refer to: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/relatorio-executivo-08-07-web.pdf>.

CONCLUSION

The relationship between sustainability and the climate crisis is absolutely essential. One might think that merely implementing technologies is enough, but without embracing the principles of sustainability, there is no real way to combat the crisis. Strategies must be rooted in public policies, which themselves must adhere to the principles of sustainability. The advantages of a more sustainable world go beyond a romantic vision of collectivism. Sustainability also benefits individuals, and the investment will certainly prove worthwhile.

REFERENCES

- BRUNDTLAND, G. H. *Our common future: Report of the World Commission on Environment and Development*. Oxford, Oxford University Press, 1987.
- DALY, H. E. *Beyond growth: the economics of sustainable development*. Boston, Beacon Press, 1996.
- ELKINGTON, J. *Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business*. Oxford, Capstone, 1997.
- FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo, Paz e Terra, 1996.
- MEADOWS, D. H. *Thinking in systems. A primer*. London, Earthscan, 2009.
- ORTEGA, E. "Fluxos de energia em agroecossistemas e sustentabilidade", in A. Philippi Júnior; D. Ruschmann (orgs.). *Gestão ambiental e sustentabilidade*. Barueri, Manole, 2008, pp. 87-115.
- SACHS, I. *Caminhos para o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro, Garamond, 2004.
- SORRENTINO, M. "Educação ambiental como política pública", in P. P. Layrargues (org.). *Identidades da educação ambiental brasileira*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2005, pp. 93-108.
- VEIGA, J. E. da. *Sustentabilidade: a legitimação de um novo valor*. São Paulo, Editora Senac, 2010.