

Limites Planetários

espaço operacional seguro para a humanidade

GESTÃO AMBIENTAL E PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

Ana Clara Eggerling

Lucas Zanatta Baggiotto

Camila Pedroso

01

Introdução aos Limites Planetários



Conceito

Nove processos globais críticos com limites seguros que não devem ser ultrapassados.

Ideia proposta por Rockström et al. (2009) para manter a estabilidade do sistema terrestre

Risco de Ultrapassagem

Ultrapassar um limite aumenta exponencialmente o risco de colapso de ecossistemas e impactos severos para a sociedade.

Status Atual

Em 2025, **7 dos 9 limites** já foram excedidos, indicando que operamos **fora** do espaço seguro planetário

Limite 1 - Alterações Climáticas

Parâmetro e Limite

Concentração de CO₂ atmosférico (ppm) e forçamento radiativo (W/m²). Limite seguro ~350 ppm CO₂ ($\approx 1\text{ W/m}^2$); valor atual ~420 ppm, indicando zona de alto risco

Riscos (Impacto nas Empresas/Cadeia)

Eventos climáticos extremos interrompendo cadeias de suprimento; regulação de carbono (ex: taxação de CO₂) elevando custos energéticos e operacionais

Stakeholders

- **Petrobras** – grande emissora e investidora em transição energética.
- **UNFCCC (ONU)** – coordena o Acordo de Paris e regula compromissos climáticos globais.
- **IPCC** – Responsável por metas de descarbonização

KPI Proposto

Pegada de Carbono (t CO₂e) por produto ou operação

Meta: redução de 50% até 2030 e neutralidade de carbono até 2050 (alinhado ao limite de +1,5 °C)

Caso real

Sentença histórica contra a Shell: em 26/05/2021 o Tribunal de Haia ordenou que a Royal Dutch Shell reduzisse suas emissões absolutas em 45% até 2030, em relação a 2019. A decisão baseou-se na responsabilidade corporativa por contribuir ao aquecimento global e pressionou metas corporativas de redução. (Apelações posteriores ocorreram, mas o caso é marco jurídico-climático).

Limite 2 - Perda da Biodiversidade

Parâmetro e Limite

Taxa de extinção de espécies (extinções por milhão de espécies por ano). Limite <10 extinções/ano; taxas atuais estimadas em >100/ano: muito além da zona segura

Riscos

Colapso de serviços ecossistêmicos (polinização, ciclo de nutrientes) afetando a produção; ex.: declínio de polinizadores reduz produtividade agrícola, desmatamento afetando clima local e suprimento de madeira

Stakeholders

- WWF-Brasil – atua em conservação de ecossistemas e monitoramento de fauna e flora.
- Natura &Co – depende de insumos da biodiversidade e investe em bioeconomia amazônica.
- ICMBio – responsável pela gestão de unidades de conservação no Brasil.
- Convenção da ONU sobre Diversidade Biológica (CBD) – define metas globais de preservação.

KPI Proposto

Materiais de origem sustentável (%)

Meta: 100% de matérias-primas provenientes de fontes certificadas sem desmatamento ou perda de habitat até 2030 (garantindo cadeias produtivas “desmatamento zero”)

Caso real

Caso real: Colapso da barragem de rejeitos em Brumadinho, Minas Gerais, em 25/01/2019, propriedade da Vale. A ruptura liberou milhões de m³ de rejeitos, causou centenas de mortes e contaminou rios e áreas adjacentes, provocando perda massiva de vida aquática e ecossistemas locais. O desastre evidenciou risco operacional ligado a perda de biodiversidade e serviços ecossistêmicos.

Limite 3 - Ciclos Biogeoquímicos: Nitrogênio & Fósforo

Parâmetro e Limite

Nitrogênio: quantidade de N₂ fixado para uso humano (~35 milhões t/ano seguro); Fósforo: fluxo de P para oceanos (~11 milhões t/ano seguro). Atualmente ambos limites amplamente excedidos pela agricultura intensiva

Riscos

Eutrofização de rios e oceanos por excesso de fertilizantes (zonas mortas com falta de O₂, mortalidade de peixes); restrições regulatórias ao uso de fertilizantes impactando produtividade agrícola e custo na cadeia de suprimentos alimentar

Stakeholders

- Embrapa – desenvolve tecnologias para manejo sustentável de fertilizantes no Brasil.
- Mosaic Fertilizantes – grande produtora e exportadora de insumos minerais (N e P).
- Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) – regula o uso de fertilizantes e defensivos agrícolas.
- FAO (ONU) – promove práticas agrícolas que minimizam poluição e desperdício de nutrientes.

KPI Proposto

Eficiência no Uso de Nutrientes (N/P) na produção agrícola (% de insumo absorvido vs. perdido)

Meta: aumentar eficiência em X% e reduzir vazamento de nitrogênio e fósforo para cursos d'água abaixo de Y mg/L, cumprindo padrões ambientais locais

Caso real

Zona morta do Golfo do México, associada ao escoamento de nutrientes (nitrogênio e fósforo) da bacia do Mississippi por fertilizantes e esgotos. Anualmente gera grandes áreas hipóxicas que prejudicam pesca comercial e ecossistemas marinhos, mostrando impacto direto do uso intensivo de fertilizantes agrícolas sobre oceanos costeiros.

Limite 4 - Uso da Terra e Mudança no Uso do Solo

Parâmetro e Limite

Porcentagem da superfície terrestre convertida em agricultura/urbanização.
Limite seguro ≈15% (ou manter ≥75% da cobertura florestal original)
atualmente ~40% da terra é agrícola e florestas <60%, já fora do nível seguro

Riscos

Desmatamento e expansão urbana além do limite causam perda de biodiversidade e alterações climáticas regionais
Exemplo: desmatamento na Amazônia altera regime hídrico, ameaçando agricultura e energia (hidrelétricas) no Brasil

Stakeholders

- JBS – uma das maiores cadeias agroindustriais, foco em rastreabilidade e desmatamento zero.
- Marfrig – empresa de proteína animal com compromissos públicos de produção sustentável.
- INPE – monitora desmatamento via satélite e subsidia políticas públicas.
- FAO – promove governança e gestão sustentável de terras agrícolas globalmente.

KPI Proposto

Índice de Desmatamento na Cadeia de Suprimentos (ha desmatados por tonelada de produto)

Meta: Desmatamento Zero, com 100% da cadeia produtiva livre de conversão de habitats a partir de 2025; paralelamente, investir em reflorestamento (ha reflorestados por ano) para compensação e melhoria ambiental

Caso real

Investigações que ligaram compras de gado da JBS a fazendas com desmatamento ilegal na Amazônia; reportagens e auditorias documentaram milhares de animais oriundos de áreas embargadas/ilegais entre 2018–2022. O episódio expôs falhas na rastreabilidade da cadeia de carne e impacto direto sobre perda de floresta.

Limite 5 - Uso Global de Água Doce

Parâmetro e Limite

Consumo humano de água doce. Limite seguro ~4.000 km³/ano; uso atual ~2.600 km³/ano, porém distribuição desigual leva a estresse hídrico regional

Riscos

Escassez de água prejudicando operações industriais e agricultura (ex.: crise hídrica em São Paulo em 2014); conflitos pelo uso da água entre empresas e comunidades, aumento de custos de água e necessidade de racionamento

Stakeholders

- Ambev – exemplo de gestão hídrica e metas de reuso em todas as fábricas.
- Sabesp – maior companhia de saneamento da América Latina, gestora de recursos hídricos urbanos.
- Agência Nacional de Águas (ANA)
 - regula e monitora o uso sustentável da água no Brasil.
- ONU-Água – coordena políticas globais sobre segurança hídrica e saneamento.

KPI Proposto

Pegada Hídrica por unidade de produto (m³/unidade)

Meta: reduzir consumo de água em X% até 2030; aumentar recirculação/reuso de água para >Y% nos processos industriais, assegurando uso dentro da capacidade renovável local

Caso real

Plachimada, Kerala, Índia, o engarrafamento da **Coca-Cola** (início 2000s) foi alvo de protestos por extração excessiva de água subterrânea e contaminação de lençóis freáticos. A fábrica teve licença revogada e foi efetivamente fechada após mobilização local e decisões judiciais, ilustrando conflito entre uso industrial de água e recursos das comunidades.

Limite 6 - Acidificação dos Oceanos

Parâmetro e Limite

Saturação de aragonita (carbonato de cálcio) nos oceanos – indica pH oceânico adequado para corais e moluscos. Limite seguro próximo a condições pré-industriais; emissões de CO₂ já reduziram o pH e a saturação

Riscos

Corais e recifes degradados (branqueamento) afetam pescas e turismo costeiro; moluscos (ostra, mexilhão) têm conchas prejudicadas, impactando aquicultura e segurança alimentar.
Exemplo: comunidades pesqueiras tendo menor captura devido à perda de habitats recifais

Stakeholders

- Marinha do Brasil (DHN) – realiza monitoramento da química oceânica e pH costeiro.
- NOAA – referência global em observação de oceanos e mudanças climáticas.
- Greenpeace – pressiona por redução de CO₂ e proteção de ecossistemas marinhos.
- Painel de Alto Nível para Economia Sustentável do Oceano (ONU) – propõe soluções econômicas regenerativas.

KPI Proposto

Emissão de CO₂ equivalente (t CO₂e) das operações

Meta: neutralidade de carbono até 2050 (contribuindo para estabilizar a acidificação); Indicador complementar: qualidade da água marinha em áreas operacionais (pH médio próximo de 8,2 - sem decréscimo adicional) em monitoramentos ambientais, conforme regulamentação ambiental costeira

Caso real

Mortalidade de larvas de ostras no noroeste do Pacífico (anos finais de 2000) associada à água mais corrosiva/ácida trazida por upwelling com baixo conteúdo de carbonato. Hatcheries comerciais (ex.: produtores locais como Taylor Shellfish) registraram perdas massivas de larvas, demonstrando impacto econômico direto da acidificação sobre aquicultura.

Limites 7 e 8 - Ozônio Estratosférico e Aerossóis Atmosféricos

Ozônio

Concentração de ozônio estratosférico (Unidades Dobson). Limite seguro alcançado pelo banimento de CFCs - a camada de ozônio está se recuperando graças ao Protocolo de Montreal

Risco contido: Proteção contra UV

Aerossóis

Concentração de partículas finas ($PM_{2.5}/PM_{10}$) em regiões críticas.
Globalmente a poluição do ar vem diminuindo em muitas áreas, mas em centros urbanos industriais ainda causa smog, problemas de saúde e redução de produtividade

Stakeholders

- Protocolo de Montreal (ONU) - tratado global que eliminou CFCs e regula gases substitutos.
- PNUMA (ONU Meio Ambiente) - supervisiona cumprimento e recuperação da camada de ozônio.
- BASF - atua na substituição de gases e químicos nocivos ao ozônio.
- MCTI (Brasil) - conduz o Programa Brasileiro de Monitoramento do Ozônio Estratosférico.

KPIs Propostos

Uso de substâncias destruidoras de ozônio (ODS)

Meta: 0 (substituição 100% por alternativas seguras, conforme normas internacionais);

Emissões atmosféricas de particulados (g de PM por kWh ou por unidade produzida)

Meta: atender 100% aos padrões de qualidade do ar (ex.: < 10 µg/m³ PM_{2.5} ambiente, conforme OMS) através de controle de emissões e filtros industriais

Caso real

Emissão inesperada de CFC-11 detectada a partir de 2012–2017 foi atribuída a produção ilegal em partes da indústria de espumas da China, atrasando a recuperação esperada da camada de ozônio. Investigadores e organismos internacionais rastrearam e apontaram a fonte, mostrando que o controle e cumprimento do Protocolo de Montreal continuam essenciais.

Limite 9 - Poluição Química (Novas Entidades)

Parâmetro e Limite

Concentração/quantidade de compostos sintéticos liberados no ambiente (e.g. poluentes orgânicos persistentes, plásticos, metais pesados, PFAS). ~350 mil substâncias químicas artificiais são produzidas

Riscos

Contaminação permanente de ecossistemas e cadeias alimentares (ex.: microplásticos encontrados em peixes e até água potável); custos de limpeza ambiental e saúde pública (ex.: acidentes químicos)

Stakeholders

- 3M – caso global de contaminação por PFAS, impulsionou regulação e banimento de químicos persistentes.
- Basf – investe em química verde e produtos menos tóxicos.
- CETESB – fiscalização e controle de resíduos químicos perigosos no Brasil.
- Agência Europeia de Produtos Químicos (ECHA) – define padrões globais de segurança e restrição de substâncias.

KPI Proposto

Resíduos Perigosos Gerados (kg ou ton por unidade de produção)

Meta: redução de 30% até 2030 e descarte 100% controlado (zero descarte ilegal); adicionalmente, Taxa de Reciclagem/Recuperação de Materiais Tóxicos (%) – Meta: aumento para 50% (implementando economia circular para químicos)

Caso real

Contaminação por PFAS e acordo da **3M** em 2023 (plano de bilhões de dólares) para remediação de sistemas públicos de água nos EUA.

Processos e acordos judiciais com a **3M** e outras empresas ilustram o passivo financeiro e de saúde pública gerado por químicos persistentes e a necessidade de substituição e regulação.

Obrigado!

