

The background of the entire page is a dynamic, high-speed photograph of a liquid splash. The liquid is a mix of bright blue and pale yellow, creating intricate, organic shapes against a solid black background. The splash appears to be in mid-air, with various droplets and larger, flowing sections of liquid. The lighting highlights the glossy, reflective surfaces of the liquid, giving it a three-dimensional appearance.

Aqui tem Química

Vitor Francisco Ferreira
Fernando de Carvalho da Silva
Luana da Silva Magalhães Forezi

Editores

Volume 2

Aqui tem **Química**

Vitor Francisco Ferreira
Fernando de Carvalho da Silva
Luana da Silva Magalhães Forezi

Editores

Volume 2

Rio de Janeiro, 2024

 **e-papers**

© Vitor Francisco Ferreira, Fernando de Carvalho da Silva, Luana da Silva Magalhães Forezi, 2024.
Todos os direitos reservados a Vitor Francisco Ferreira, Fernando de Carvalho da Silva, Luana da Silva Magalhães Forezi. É proibida a reprodução ou transmissão desta obra, ou parte dela, por qualquer meio, sem a prévia autorização dos editores.
Impresso no Brasil.

ISBN 978-65-87065-85-4

Revisão

Larissa Marum

Imagem de Capa

freepik.com

Diagramação

Michelly Batista

Disponível no site da Editora E-papers

<http://www.e-papers.com.br>

Avenida das Américas, 3.200 bloco 1 sala 138

Barra da Tijuca – Rio de Janeiro – Brasil

CEP 22.640-102

CIP-BRASIL. CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO
SINDICATO NACIONAL DOS EDITORES DE LIVROS, RJ

A669

Aqui tem química, vol. 2 / Vitor Francisco Ferreira, Fernando de Carvalho da Silva, Luana da Silva Magalhães Forezi. - 1. ed. - Rio de Janeiro : E-papers, 2024.

255 p. ; 23 cm.

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-87065-85-4

1. Engenharia química. 2. Processos químicos. 3. Sustentabilidade. I. Ferreira,

Vitor Francisco. II. Silva, Fernando de Carvalho da. III. Forezi, Luana da Silva Magalhães.

24-95032

CDD: 660

CDU: 66.0



Gabriela Faray Ferreira Lopes - Bibliotecária - CRB-7/6643 14/11/2024

Agradecimentos

Esse livro foi produzido com recursos do projeto Cientista do Nosso Estado da FAPERJ (FAPERJ CNE E-26/200.911/2021). Agradecemos a participação de todos os autores dos capítulos que se dispuseram a pensar e redigir texto que endereçassem a grande questão sobre aonde está a Química no nosso cotidiano. É importante também reconhecer que sem as bolsas concedidas pelo CNPq, CAPES e FAPERJ não seria possível a organização dessa obra.

Prefácio

Terra, água, ar, fogo!

Notícias de jornais têm nos informado sobre esses elementos clássicos constituintes da natureza, que se pensava estarem presentes em tudo e tudo compor. Com o avanço do conhecimento químico, muito tempo depois ocorreu a formulação da existência do átomo e das partículas subatômicas.

Contudo, os antigos elementos essenciais da natureza (e da química em particular) não estão no noticiário como nós químicos e cidadãos desejamos. Infelizmente, não são boas notícias. E deixaram de ser apenas notícias, são agora fatos da nossa vida, estão presentes hoje em nossas cidades. São questões de ciência e de democracia. Determinam nossa qualidade de vida e a própria vida no nosso planeta. Comprometem a sustentabilidade.

Enchentes de cidades e regiões, com volume de água nunca antes visto, que destroem tudo pela frente, inclusive comprometendo a qualidade da terra para a agricultura; incêndios naturais, acidentais ou criminosos que comprometem a qualidade do ar com formação de nuvens escuras que viajam para bem longe da origem geográfica do fogo.

Nada mais é um problema local, tudo é global, pois os fatos aqui mencionados estão relacionados com a mudança climática. Só a ciência será capaz de mitigar os problemas e evitar novos. Ciência e democracia.

Do lado da ciência, o livro “Aqui tem Química! Vol. 2” é uma contribuição genuína, vibrante e eloquente do que a química é capaz de fazer para a solução dos problemas apontados. A saúde do planeta – e nossa saúde, portanto - depende das florestas e das águas, e o livro nos ensina ações benéficas e saudáveis da química a todos nós, cientistas e, muito mais importante, a todos nós cidadãos.

Aqui tem química, muita química envolvida. Mas como solução aos problemas. O livro nos ensina muito sobre a relação da química com as florestas, o que elas produzem e as razões para se conservar; da química com a água e com a saúde humana, nos faz refletir sobre o nosso consumo, de água e de outros bens que, de forma consciente ou induzida, precisa ser responsável. E precisa cobrar uma produção também responsável. O livro nos alerta sobre

a necessidade de novas formas de combustível limpo, não poluidor, como o hidrogênio.

“Aqui tem Química! Vol. 2” é escrito por um conjunto de químicos atuantes, cientistas que no seu cotidiano trabalham arduamente no Brasil para encontrar soluções aos vários problemas através da química. A publicação do Vol. 2 não é uma continuação monótona do Vol. 1, que tanto nos ensina sobre as coisas do dia-a-dia e a química. “Aqui tem Química! Vol, 2” é uma persistência apaixonada pela vida, uma declaração de amor à química e um convite ao humano comum para compreender melhor o planeta que habitamos através da química. O livro é também uma lição de sustentabilidade, de fazer ciência com o compromisso com a cidadania, inclusive por ser em formato digital e de distribuição gratuita. Quanta generosidade!

Há, todavia, em todo o livro, um elemento a mais que se soma a Terra, água, ar, fogo! Não está escrito e formulado de forma explícita nos capítulos, mas subjacente à química e à toda ciência ensinada no livro. E é um compromisso com a sustentabilidade.

“Aqui tem Química! Vol, 2” insere no léxico dos elementos clássicos um novo elemento imaterial, capaz de fazer a ciência avançar e a vida melhorar, essencial para sustentabilidade do planeta. Os autores ressignificam e fundem num só cadinho química, ciência e cidadania, nos ensinando que são faces da mesma humanidade.

Após a leitura do livro, aprendemos que os elementos clássicos constituintes da natureza agora são: Terra, água, ar, fogo. E democracia!

Silvio do Desterro Cunha

Professor Titular de Química Orgânica

Universidade Federal da Bahia

Apresentação

Este e-book do livro “Aqui Tem Química! Vol. 2”, publicado pela editora e-Papers em formato digital, é uma continuação do livro “Aqui Tem Química!” lançado em 2023 pela Editora Interciência do Rio de Janeiro. Os editores de ambas publicações são os mesmos da versão impressa: Fernando de Carvalho da Silva, Luana da Silva Magalhaes Forezi e Vitor Francisco Ferreira. Os princípios gerais mantêm o mesmo estilo.

A necessidade de uma nova compilação sobre a importância da Química surgiu devido à relevância de questões contemporâneas, como mudanças climáticas globais e sustentabilidade. O e-book foi lançado em formato digital para atingir um público mais amplo, com distribuição gratuita e zero emissões de carbono, contribuindo significativamente para temas relacionados à sustentabilidade.

Dado que a Química está presente em todos os lugares, essa área da ciência é fundamental. Assim, há espaço para discutir muitos outros contextos químicos que não foram abordados no livro impresso. A Química como campo científico enfrenta sérios desafios que minam sua aceitação pelo público em geral, mas é crucial mostrar a esse público como a Química é importante para a qualidade de vida e longevidade humanas.

A própria comunidade científica está enfrentando uma perda de confiança na ciência, pois o público tem dificuldade em compreender as explicações dos cientistas sobre a natureza da ciência. Ao tornar a comunicação científica mais acessível, os cientistas têm a oportunidade de demonstrar como suas descobertas influenciam a vida diária das pessoas. Por exemplo, explicar como novos medicamentos são desenvolvidos e testados pode destacar a importância da pesquisa biomédica e como ela contribui para tratamentos mais eficazes e seguros. Essa abordagem pode ter um impacto positivo significativo na confiança do público. Portanto, é muito importante que a Química seja vista como vital aos olhos do público, como ocorreu com fármacos, cosméticos e vacinas, para não se tornar um alvo dos negadores da ciência, que buscam minar e desvalorizar o conhecimento que permeia diariamente todas as nossas atividades.

Este livro compreende sete capítulos que exploram a presença surpreendente da Química em contextos diversos. O Capítulo 1 aborda o potencial dos produtos florestais não-madeireiros, como óleos essenciais, resinas, produtos medicinais e frutas. Uma gestão racional das florestas pode contribuir significativamente para mitigar o aquecimento global e lidar com as mudanças climáticas que causam danos consideráveis. No Capítulo 2, discute-se a relação entre consumo e produção responsável, destacando a exploração dos recursos naturais do planeta e sua conexão com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. O Capítulo 3 explora a interseção entre a saúde e a Química Verde, promovendo a produção de bens recicláveis ou compostos por materiais biodegradáveis. Essa abordagem pode tornar hospitais, clínicas e laboratórios mais sustentáveis. O Capítulo 4 aborda o uso inadequado da água, discutindo temas que afetam diretamente a qualidade desse recurso vital. A água é destacada como componente principal das instalações sanitárias, ressaltando a importância de seu uso racional e sustentável. O Capítulo 5 explora a relação entre saúde e os ODS da ONU, enfatizando como a saúde está ligada a múltiplos objetivos de desenvolvimento. Destaca-se a necessidade de políticas públicas eficazes para promover uma saúde de qualidade, crucial para a sustentabilidade ambiental. O Capítulo 6 aborda a importância da conservação florestal para o desenvolvimento social e econômico, destacando a relação entre florestas, biodiversidade e a obtenção de produtos químicos naturais valiosos. Finalmente, o Capítulo 7 faz uma análise do hidrogênio, uma das moléculas mais abundantes no universo. Explora-se seu uso como reagente em diversas reações químicas e processos metalúrgicos, bem como seu potencial como fonte de combustível renovável para impulsionar a transição energética.

Este livro poderia abordar muitos outros temas que evidenciam a presença essencial da Química em nosso mundo. Espera-se que seja uma ferramenta útil para estudantes e professores, fornecendo uma visão mais informada e apreciativa da beleza e importância da Química em nossa sociedade contemporânea.

Sumário

Capítulo 1

10 Produtos Florestais não-Madeireiros (PFNM)

Patricia G. Ferreira, Cristina M. Hüther, Wilson C. Santos, Luana da Silva Magalhães Forezi, Fernando de Carvalho da Silva, Vitor Francisco Ferreira

Capítulo 2

44 Consumo, Produção Responsável e Expectativas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

Wilson C. Santos, Cristina Moll Hüther, Luana da Silva Magalhães Forezi, Fernando de Carvalho da Silva, Patricia Garcia Ferreira, Vitor Francisco Ferreira

Capítulo 3

77 Rede de Saúde e Química Verde

Alcione Silva de Carvalho, Patricia Garcia Ferreira, Cristina Moll Hüther, Wilson C. Santos, Luana da Silva Magalhães Forezi, Fernando de Carvalho da Silva, Vitor Francisco Ferreira

Capítulo 4

102 A Água nas Instalações Sanitárias: Uso Eficiente e Sustentável

Patricia Garcia Ferreira, Alcione Silva de Carvalho, Cristina Moll Hüther, Wilson C. Santos, Luana da Silva Magalhães Forezi, Fernando de Carvalho da Silva, Vitor Francisco Ferreira

Capítulo 5

136 As Relações da Saúde com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis

Luana da Silva Magalhães Forezi, Wilson C. Santos, Cristina Moll Hüther, Alcione Silva de Carvalho, Patrícia Garcia Ferreira, Fernando de Carvalho da Silva, Vitor Francisco Ferreira

Capítulo 6

173 Quais são as vantagens de conservar as florestas?

Luana da Silva Magalhães Forezi, Patricia Garcia Ferreira, Yuri Pereira Vidal de Carvalho, Cristina Moll Hüther, Wilson C. Santos, Fernando de Carvalho da Silva, Vitor F. Ferreira

Capítulo 7

216 Aqui tem Química: Hidrogênio, das Reações Químicas até ao Combustível Verde

Patricia Garcia Ferreira, Acácio Silva de Souza, Iva Souza de Jesus, Rafael Portugal Rizzo Franco de Oliveira, Alcione Silva de Carvalho, Luana da Silva Magalhães Forezi, Fernando de Carvalho da Silva, Debora Omena Futuro, Vitor Francisco Ferreira

254 Sobre os autores

Capítulo 1

Produtos Florestais não-Madeireiros (PFNM)

Patricia G. Ferreira, Cristina M. Hüther, Wilson C. Santos, Luana da Silva Magalhães Forezi, Fernando de Carvalho da Silva, Vitor Francisco Ferreira

As florestas sempre foram as fontes de sobrevivência durante a evolução dos Homo sapiens sapiens, bem como os demais seres vivos. Sem as florestas não haverá vida no planeta.

Introdução

A história está repleta de relatos de declínio e desaparecimento de muitas civilizações por terem exaurido lentamente os recursos naturais das florestas. Esses povos por estarem habituados a ver o encolhimento dos ecossistemas, não foram capazes de antecipar um possível desastre iminente, pois, provavelmente, não se alterou visivelmente o encolhimento das florestas e o desaparecimento da biodiversidade. Da mesma forma esses povos não conseguiram encontrar a solução para reversão do desastre. Jared Diamond em seu livro “Colapso: Como as Sociedades Escolhem Fracassar ou Ter Sucesso”¹ relata vários casos de civilização que entraram em colapso e foram a ruína, como o caso do povo que habitava a Ilha de Páscoa que destruiu a floresta e desapareceu.² O que não foi percebido, talvez por falta de conhecimento científico, é que conservação da diversidade biológica florestal (espécies, populações, indivíduos e genes) é essencial para sustentar a saúde das florestas.

Esse preâmbulo soa muito familiar nos dias atuais, embora vivamos em uma sociedade tecnológica moderna e conectada. Aparentemente, esquecemos as experiências e fatos do passado que reduziram e fragmentaram os

ecossistemas e que a sobrevivência deles depende de um funcionamento estável dos sistemas da Terra – atmosfera, oceanos, rios, florestas e biodiversidade. A realidade não está muito distante e continuamos com graves problemas sociais, econômicos e ambientais. Em setembro de 2022, o Brasil sancionou o projeto de Lei 2.776/2020 que reduz em cerca de 40% o tamanho da Floresta Nacional de Brasília que havia sido criada em 1999 para proteger a fauna e flora do Cerrado, além das nascentes que abastecem de água Brasília.³

As florestas são um vasto estoque de produtos florestais não-madeireiros (PFNM) ou da abreviação em inglês *NWFPS*, ou produtos não tradicionais, especiais ou secundários, de enormes aplicações sociais e econômicas para as populações rurais e pobres, em particular, as que dependem desses produtos.⁴ Durante milênios elas forneceram emprego e renda para milhões de pessoas das comunidades tribais, inclusive fazendo parte da cultura, modo de vida natural e subsistência das famílias com alimentos, remédios, óleos aromáticos, gomas, resinas, bambu, cortiça, materiais para construção de abrigos, além de lenha para energia. A maioria dos *NWFPS* são usados para subsistência e para apoiar famílias de pequena escala. No entanto, atualmente estão sob forte pressão com o rápido esgotamento dos recursos naturais, desequilíbrio ecológico, perda da biodiversidade, urbanização promovendo a poluição da água e do ar, desaparecimento de pantanais, degradação de pradarias, desertificação de áreas com pastagem e agricultura homogêneas, perdas de fertilidade do solo, mineração, salinização, erosão do solo, acúmulo de lixo e poluição. A perda das árvores que transpiram água para a atmosfera e retêm a umidade no solo tem muitos impactos deletérios nos outros ecossistemas. O desmatamento e a fragmentação por queimadas causam como efeitos colaterais a diminuição das chuvas, desertificação e erosão do solo.^{5, 6,7}

A maior ameaça que as florestas e sua diversidade têm nos dias atuais são as queimadas para conversão em pastagem e áreas para os agronegócios, além da pressão causada pelo aumento populacional e as aspirações por padrões de vida mais elevados.⁸ No entanto, após a devastação de uma floresta, sua recuperação é um processo lento. Nesse aspecto, o setor privado pode ajudar bastante com a implantação lucrativa de florestas privadas, indo além das reservas conservacionistas públicas existente. As florestas privadas têm sido bastante impulsionadas pela possibilidade de recebimento de recursos através dos créditos de carbono. Manter uma floresta de pé pode render receita de mais de R\$ 1 bilhão por ano, além de se possível a exploração planejada de seus produtos não madeireiros.^{9,10}

No atual momento, a Floresta Amazônica é a que está em maior agonia no planeta, pois a ganância da sociedade civil, o que inclui empresas, garimpeiros, terceiro setor, entre outros, e o descaso por parte do poder público

colaboram e apontam para uma maior devastação por exploração das madeiras, garimpagem com destruição da mata e contaminação do solo, queimadas para plantações homogêneas e criação de animais. Essa pressão sobre a floresta ocasiona a migração dos povos que vivem das florestas para áreas urbanas na procura de melhores condições de sobrevivência. Em 2015, o Engenheiro Florestal Dr. Virgílio Viana, Superintendente Geral da Fundação Amazônia Sustentável, na conferência “Por que e como fazer a floresta valer mais em pé do que derrubada?” afirmou que estamos perdendo a guerra para o desmatamento,¹¹ mas que é possível manter a Floresta Amazônica viva para todos com a valorização sustentável da floresta em pé e mantendo sua biodiversidade e, conseqüentemente, melhora da qualidade de vida dos povos no seu entorno.¹² Essa valorização sustentável muitas das vezes não é suficiente, dependendo é claro de como se aplica as pessoas individualmente. Muitos pensam que ela é apenas responsabilidade dos governos e corporações, mas isso está levando ao consumo excessivo dos recursos florestais do planeta. Sobre esse uso excessivo comenta o Professor Leonardo Boff: “A terra precisa de um ano e meio para repor o que dela nós usamos para o nosso consumo. Precisamos mais de um planeta e meio para mantermos o nível atual de vida ao qual nos acostumamos”.¹³

Assim, nesse artigo serão destacados alguns produtos florestais não-madeireiros, em especial, os aspectos químicos das oleorresinas florestais e suas principais aplicações, que têm mercados internacionais para usos em cosméticos, produtos terapêuticos medicinais, dentre outras diversas aplicações industriais.

Importância das florestas para fornecer Produtos Florestais Não-Madeireiros (NWFPs)

As florestas são extensas áreas ocupadas com alta diversidade de árvores, arbustos, plantas rasteiras, animais, pássaros, insetos e micro-organismos fixados e que ocupavam grande área do planeta. Os recursos produzidos diariamente nas florestas, ou seja, o capital natural florestal, têm significativo espaço na economia dos países devido seus valores intrínsecos e no global para minimizar os eventos climáticas extremos.¹⁴ Uma floresta que possui tantos produtos de valores intrínsecos merece ser tratada com respeito pelo bem-estar humano e os seus efeitos ecológicos no mundo. De pronto pode-se concluir que é importante preservar e conservar as florestas, não só para explorar racionalmente os *NWFPs* e ajudar no combate à fome, mas também trabalhar as questões sociais como empregos, como guias, guardas, agrônomos, jardineiros, etc. e renda quando forem exploradas para o uso recreativo, turismo ecológico, pesquisa científica e educacional e para a conservação de locais culturais.

A conservação das florestas é essencial para os projetos que envolvem *NWFPs* que por consequência são essenciais para a sobrevivência dos seres humanos, animais, insetos, micro-organismos e plantas. As florestas conservadas são responsáveis por fornecer empregos, com consequente possibilidade de redução da pobreza; alimentos e fármacos; diminuir a evaporação da água dos ecossistemas; disponibilizar materiais têxteis; conservação dos processos ecológicos; manter as nascentes de rios; fixar carbono; frear o aquecimento solar; alimentar peixes, insetos e animais; manter a diversidade das espécies (fauna e flora) e manter a ordem climática das micro e macrorregiões. São capazes de transformar grandes quantidades de energia solar e gás carbônico, primariamente, em celulose nas folhas, raízes, frutos, troncos e galhos. A coleta de galhos e troncos secos é uma fonte importante de energia.

Em relação à utilização dos Produtos Florestais Não-Madeireiros (*NWFPs*), esse é um modo de atividade que, segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), se trata do uso racional das florestas, de modo a explorar seus produtos renováveis em benefício da sociedade e sem destruir as florestas. Esse conceito de exploração sustentável das florestas não é novo, mas é de difícil implantação, pois o valor comercial de um *NWFPs* é difícil de se calcular.¹⁵ Os dois termos “Produtos Florestais Não-Madeireiros” ou também “Produtos Florestais Especiais” ainda não estão totalmente consolidados na literatura, mas há uma boa definição que foi alinhada com diversos países: *NWFPs* consistem em produtos

vegetais e animais, não-madeireiros, e os serviços derivados de florestas (serviços madeireiros, não-madeireiros e ambientais).

Os não-madeireiros e/ou ambientais não destroem as florestas, mas exploram produtos renováveis e o ecoturismo. Considerando essa definição, uma grande variedade de produtos e suas aplicações podem ser incluídos em diversas classes, conforme destacado na Figura 1. Os povos das florestas podem explorar a coleta sistemática de produtos sem a destruição das florestas que envolvem produtos para inúmeras aplicações e/ou consumo, como: frutos, nozes, cogumelos, trufas, ervas, especiarias, óleos, ceras, látex, gomas não elásticas, resinas, mel, óleos essenciais, bambu e vime, fibras, cortiça, produtos oleaginosos, plantas aromáticas, condimentos, corantes e pigmentos, insetos comestíveis, produtos químicos retirado de espécies das florestas para diversos fins alimentares, saúde comunitária, energia e culturais. Também há o ramo das biojoias que são produzidas de forma artesanal levando-se em conta os princípios da conservação ambiental, pois a coleta da matéria-prima para fabricação das biojoias é feita de maneira sustentável, sem agredir o meio ambiente e ainda com objetivo de sustentar as comunidades envolvidas com a extração.¹⁶



Figura 1. Classes de Produtos Florestais Não-Madeireiros (NWFPs) e exemplos de aplicações

É importante destacar no caso dos frutos oriundos das florestas, esses podem ser essenciais na prevenção de certas doenças relacionadas à desnutrição, além de serem ricos em vitaminas e nutrientes, muitos ainda não possuem nenhum valor comercial. Porém, importante destacar que desta lista se

excluem especificamente as matérias-primas e produtos lenhosos, peixes e pastagens na floresta. Assim, o conceito de *NWFPs* deve englobar três pilares fundamentais: 1) a gestão da floresta deve ser socialmente referenciada, 2) deve ter um impacto ecologicamente benigno, e 3) ter impacto econômico positivo para as populações que dependem dos produtos das florestas.

A diversidade não deve ser um empecilho para o desenvolvimento de políticas e práticas de gestão dos recursos naturais adequadas para a exploração das florestas de forma sustentável.¹⁷ A contribuição dos *NWFPs* vai além do aspecto econômico, mas também ao social e ao ecológico. Os povos das florestas que implementam os *NWFPs* adequadamente, devem ser reconhecidos com certificação pelos bens preciosos na promoção do desenvolvimento sustentável com seus produtos, pois as fontes não renováveis (petróleo, carvão e gás natural), no futuro, vão ficar cada vez mais raras, finalizando a era dos produtos manufaturados. Porém, como a população e os resíduos estão crescendo, o mundo vai precisar de mais biomassas e materiais renováveis proveniente do setor florestal. Esses fatos devem impulsionar a transição da economia linear para outra, onde será necessário o uso de matérias-primas mais eficientes e implementar em larga escala a economia circular com biomateriais.¹⁸

Durante milênios esses produtos florestais foram de vital importância para a sobrevivência dos primeiros *Sapiens* caçadores-coletores, insetos e outros animais. Até os dias atuais as florestas continuam fornecendo *NWFPs*, para subsistência de muitas comunidades que são os coletores modernos, que aproveitam de tudo que as florestas podem fornecer sem destruí-las.¹⁹ Ainda existem povos indígenas em lugares remotos do planeta que dependem dos produtos não-madeireiros das florestas e obtêm apenas uma pequena parte de sua renda familiar de atividades relacionadas *NWFPs* e, neste aspecto, as sociedades modernas dos grandes centros precisam considerar o valor das florestas e seus papéis cruciais na construção de economias inclusivas, resilientes e sustentáveis. No Brasil, as espécies vegetais que existem nas florestas tropicais são ricas em produtos não-madeireiros, principalmente relacionados à diferentes tipos de frutos, como, por exemplo, o cerrado brasileiro tem amêndoa de babaçu, buriti, mangaba, pequi, acerola, dentre outros.²⁰

A Organização das Nações Unidas (ONU) estipulou que os países deveriam tomar ações destinadas a alcançar os dezessete Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODSs). A proteção das florestas teve bastante espaço político na Agenda 2030 da ONU e está nomeadamente no ODS 15 que foi ratificado no Acordo de Paris. No entanto, se pode destacar que a sua importância engloba os ODSs 10-14, pois envolvem questões relacionadas com as mudanças globais climáticas nas cidades, além das atividades

humanas que envolvam o consumo e produção responsáveis e sustentáveis; tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis; assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis; tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos; conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares, e dos recursos marinhos; proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres; gerir de forma sustentável as florestas; combater a desertificação e deter e reverter a degradação da Terra e a perda da biodiversidade. A Figura 2 resume a relação que existe entre esses ODSs estabelecidos pela ONU, acima mencionados, e as florestas.



Figura 2. Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs) que estão relacionados com a preservação das florestas.

As florestas e as árvores podem desempenhar papéis cruciais no enfrentamento dessas crises e na mudança para “economias sustentáveis”. O caminho para se combater os eventos climáticos extremos deve envolver ações para a recuperação das florestas degradadas e deter o desmatamento das florestas remanescentes. Essas ações vão levar a recuperação das nascentes de água potável e evitar a perda da biodiversidade, sendo também o caminho para a recuperação social, cadeias econômicas e soluções ambientais (Figura 3).

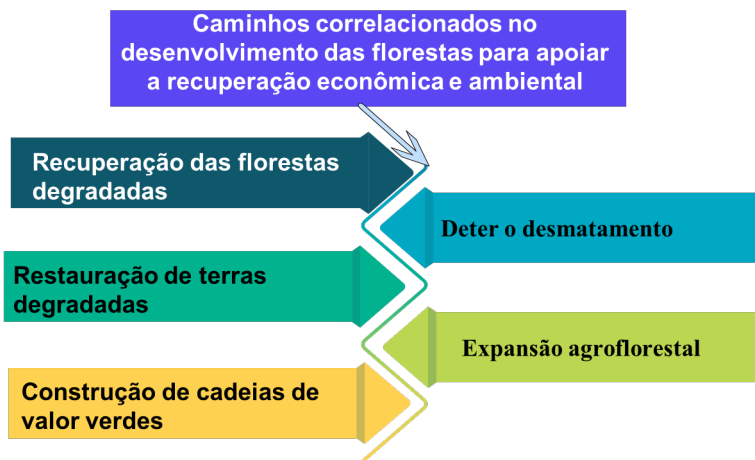


Figura 3. Os caminhos que se correlacionam na recuperação das florestas

Os benefícios biosocioeconômicos das florestas com as práticas *NWFs* têm sido destacados em diversas publicações mostrando as vantagens, tais como: na geração de renda das comunidades; segurança alimentar e nutricional; necessidades humanas básicas; e melhoria da qualidade de vida, como recentemente documentados pelo relatório da FAO “*State of World’s Forest 2022*”.²¹ É importante reproduzir o destaque inicial do relatório que afirma “Não haverá economia saudável em um planeta insalubre”. A deterioração ambiental está contribuindo para as mudanças climáticas, a perda de biodiversidade e o surgimento de novas doenças.

Dentre todos os *NWFs*, cabe destaque especial para os óleos essenciais, as gomas, as resinas e os bálsamos vegetais naturais que podem ser coletados nas florestas sem a sua destruição. Esses materiais são misturas de diversos produtos naturais que são ecologicamente corretos, biocompatíveis, biodegradáveis e não tóxicos. A maioria dessas oleorresinas são produtos superiores, quando em comparação aos polímeros sintéticos devidos às aplicações alimentícias, cosméticas, farmacêuticas, biomédicas e industriais.

Oleorresina exsudada de plantas como *NWFs* de alto valor agregado

No futuro, o uso de materiais obtidos de fontes biológicas deve ocupar o lugar de materiais sintéticos produzidos a partir de fontes petroquímicas não renováveis, pois oferecem várias vantagens por serem ecologicamente corretos, renováveis e biodegradáveis. Dentro dessa classe encontram-se as

oleorresinas aromáticas exsudadas por plantas através de estruturas secretoras internas ou externas. Porém, nem todo exsudato resinoso de plantas tem uma parte aromática, pois a maioria tem em sua composição misturas de polissacarídeos. As plantas quando sofrem ataques de micro-organismos ou de insetos, ou até mesmo cortes na sua estrutura (danos físicos), podem produzir substâncias oleorresinosas. Essas substâncias têm função de defesa para o vegetal, formando uma barreira protetora, tanto física quanto química, contribuindo assim para evitar a entrada de, principalmente, fungos e bactérias.²² Porém quando expostas ao ar, formam resinas ou gomas sólidas que atuam como barreiras para bloquear o dano e ajudar na recuperação do tecido do vegetal.²³ Sua síntese é constitutiva ou induzida em regiões parenquimatosas como reação ou resposta a lesão física ou toque por meio de sinais genéticos específicos.²⁴ Muitos fatores podem afetar a produção, como a idade da árvore, competição entre árvores, dendrometria, sazonalidade e tempo de fermento na produção de resina.²⁵

Observando essas substâncias e suas funções para o vegetal, os seres humanos buscaram caracterizar suas estruturas químicas e evidenciaram possíveis aplicações que encontramos hoje em dia em diversos setores econômicos. A extração de oleorresinas pode ser realizada usando diversos métodos, incluindo destilação a vapor, extração com hidrocarbonetos ou solvente clorado, tratamento enzimático e fermentação e extração supercrítica de dióxido de carbono.²⁶

Na literatura são referidas como gomas, lacas, materiais resinosos, resinas e bálsamos exsudados que se formam em muitos tipos de árvores e arbustos. Esses materiais atraíram a atenção de diversas indústrias por possuírem propriedades físico-químicas importantes, tais como temperaturas de transição vítrea ajustáveis, proteção contra corrosão, baixo volume de contração e elasticidade. Essas gomas têm a capacidade de serem hidratadas em água quente ou fria e formarem géis ou sistemas de emulsão estabilizada. Com todas essas propriedades, existe muita expectativa no mercado de que essas oleorresinas sejam substitutas para muitas resinas poliméricas sintéticas não naturais e de origem não renováveis.²⁷

As fontes das oleorresinas estão distribuídas em espécies em várias famílias, por exemplo, família Burseraceae que compreende 16 gêneros e mais de 800 espécies tropicais e subtropicais. Alguns desses gêneros produzem oleorresinas ricas em óleo essencial e em mono-, di- e triterpenos, em maior ou menor volume, mas as oleorresinas não são exclusivas dessa família.²⁸ Esses resíduos resinosos são complexas misturas oleorresinas de produtos naturais a base de polissacarídeos e terpenos que desempenham funções ecológicas.

As resinas naturais têm diversas fontes e composições químicas diferenciadas. Por exemplo gomas arábica (*Acacia senegal* e *Acacia seyal*),²⁹ goma tragacanto (*Astragalus gummifer*, *Astragalus gossypinus*, *Astragalus microcephalus*),³⁰ karaya (*Sterculia urens* L.),^{31,32} guar (*Cyamopsis tetragonolobus*),³³ copal (*Protium copal*), breu (*Pinus palustris*, *P. elliotii*, *P. tropicalis*),³⁴ resina gamboge (*Garcinia hanburyi*),³⁵ goma do cajueiro (*Anacardium occidentale*),³⁶ goma de kauri (*Agathis australis*),³⁷ resinas de pinho, bálsamo-de-tolu (*Myroxylon balsamum*, *Toluifera balsamum*),³⁸ bálsamo-de-copaíba (*Carapa guianensis* Aubl.),³⁹ bálsamo-do-Peru (*Myroxylon balsamum* var. *pereirae*),⁴⁰ etc). Essas oleorresinas são apenas alguns exemplos conhecidos e seguros para consumo humano com base em estudos toxicológicos e longo histórico de uso pela humanidade em diversas aplicações medicinais e culturais. O mais interessante é que essas oleorresinas ainda têm nos dias atuais grande importância cultural e valores comerciais internacionais. Inicialmente são produzidos pelo vegetal sob a forma de líquido espesso, mas ao perderem os seus componentes mais voláteis (óleos essenciais) por evaporação ou destilação, deixam um resíduo sólido duro (a resina), insolúvel em água, mas solúvel em álcool e em hidrocarbonetos, que com o tempo, devido à oxidação e polimerização de alguns dos seus componentes, vai se tornando mais duro e insolúvel.²³

As oleorresinas são exsudados naturais compostos de duas partes que podem variar em seus aspectos físicos e propriedades: um óleo essencial volátil rico em mono e/ou sesquiterpenos e uma parte sólida lipofílica rica em álcoois triterpênicos pentacíclicos. A quantidade do óleo essencial volátil no exsudado depende da idade da resina. Quanto mais antiga a resina menos óleo ela contém. Os óleos essenciais e as resinas sólidas são mecanismos de defesa contra o estresse causado por injúrias físicas ou ataque de patógenos, formando uma barreira protetora, tanto física quanto química, para evitar a entrada, principalmente de fungos e bactérias e em algumas espécies, os ditos besouros da casca.^{41,42} Esses materiais podem ser estimulados a produzir essas oleorresinas sem eliminar as árvores. A produção pode ser bem planejada e dimensionada com fins comerciais. Em algumas espécies já foi evidenciado que as árvores são reguladas diferencialmente por fatores ambientais e efetores bioquímicos. Por exemplo, em *Pinus elliotii*, a temperatura foi mais importante que a precipitação como parâmetro ambiental, pois afetou a biossíntese da resina, sendo maior nos meses mais quentes, como primavera e verão; e em relação aos efetores bioquímicos. Quando nessa espécie foi aplicado ácido benzoico, do ácido salicílico e o ácido naftaleno acético, da auxina, foram aplicados individualmente nos locais da ferida, promoveram a exsudação da resina, pois a maioria das árvores tratadas com adjuvante

apresentou maior fluxo de resina no segundo ano, indicando mecanismos de construção de resposta.⁴¹

Seus usos vão desde rituais religiosos até centenas de aplicações industriais. Os exsudatos frescos são líquidos que se transformam em um sólido macio e maleável. Os exsudatos mais antigos contêm apenas a parte sólida, pois os óleos contendo terpenos voláteis evaporaram ao longo dos anos formando também pedaços duros contendo triterpenos tetracíclicos e pentacíclicos. Essas resinas contêm esses diferentes tipos de triterpenos que lhes conferem alta lipofilicidade e dureza.

Oleoresina Copal: o alimento da alma

Entre as gomas e resinas que estão disponíveis nos mercados internacionais encontra-se uma com o termo genérico “copal”, que se refere-se a um grande grupo de resinas que são colhidas da casca de certas árvores ou arbustos em diversas partes do mundo, caracterizadas por terem alto ponto de fusão e dureza variável. Esses óleos resinosos foram usados desde os tempos pré-colombianos como incenso em cerimônias sagradas pelas antigas culturas asteca e maia que habitavam o sul do México. Essa resina era considerada por esses povos como o “alimentos dos deuses” ou o “alimento da alma” e sua fumaça era utilizada para entrar em transe ou estados alterados de consciência. Inicialmente, o nome copal era dado para todos os tipos de resinas aromáticas que usadas como incensos naturais durante os rituais, independente da espécie botânica que era coletada a resina. O copal fresco é usado como incenso por conter quantidade consideráveis de óleos essenciais. Ele não deve ser confundido com o âmbar vítreo empregado em joalheria que é o copal jovem endurecido por polimerização e oxidação ao longo de muitos séculos (copal subfóssil ou copalita). Existem diversos registros de até 100 a.c. sobre o uso do copal branco para os rituais da defumação de mortos e que continuam até os dias atuais no conhecido “Dia dos Mortos” no México.⁴³

O copal se forma nos troncos das árvores como resultado de ataques na casca por insetos invasores que formam buracos em sua estrutura. Os odores amadeirados são geralmente compostos químicos usados para sua defesa. Para tapar esses buracos, a planta exsuda a oleoresina, inicialmente como gotas acinzentadas. Na colheita manual se usa uma faca curva para cortar ou raspar as gotas frescas da oleoresina. A camada externa é alisada e submetida ao calor para melhorar as propriedades adesivas e consolidar a massa.

Muitas aplicações são descritas para as resinas copal, como o uso de aglutinantes, em construção civil (lacas, vernizes, tintas, selante, material de enchimento, etc.), indústria alimentícia (sorvetes, bolos e doces), indústria de

cosméticos (fragrâncias, formulações, etc.), indústria têxtil (produtos prensados e estampados), embalagem (aromatizantes, refrigerantes, sucos, bebidas alcoólicas, etc.), indústria de incenso, fabricação de adesivos, indústria elétrica e eletrônica (material de isolamento, transformadores, capacitores e outros equipamentos).

O copal que conhecemos atualmente é uma resina sólida obtida de várias espécies da família botânica Burseraceae, como por exemplo, o *Protium copal* que é uma árvore endêmica do México e de outros países da América. Uma parte dos copais comerciais no mercado internacional também são coletados de árvores do gênero *Agathis* (Araucariaceae).⁴⁴ Na Guatemala, a espécie similar que produz uma resina copal é a *Bursera simaruba*.

Os Maias usavam o copal de *Protium copal* Engl. como incenso durante as cerimônias por acreditarem em seus possíveis efeitos calmantes. Merali *et al.*⁴⁵ estudaram que esse tipo de incenso provocaria um comportamento ansiolítico, isso utilizando ratos como modelos animais. O estudo demonstrou que o este incenso realmente provoca efeitos ansiolíticos por um comportamento de medo reduzido e um aumento na interação social. Os autores atribuíram os efeitos comportamentais ao alto teor dos triterpenos α e β -amirina (Figura 3). Outros autores estudando o óleo essencial e resina de *Bursera schlechtendalii*, também verificaram esse efeito ansiolítico em camundongos, além de apresentaram forte atividade de repelência contra o *Aedes aegypti*.⁴⁶ O copal obtido de *Protium heptaphyllum* March da Amazônia tem sido utilizado para tratar doenças de pele, infecções, cicatrização de úlceras, cirrose e como analgésico. Além dos triterpenos α - e β -amirina, uma mistura dos triterpenoides maniladiol e breína (Figura 3).⁴⁷

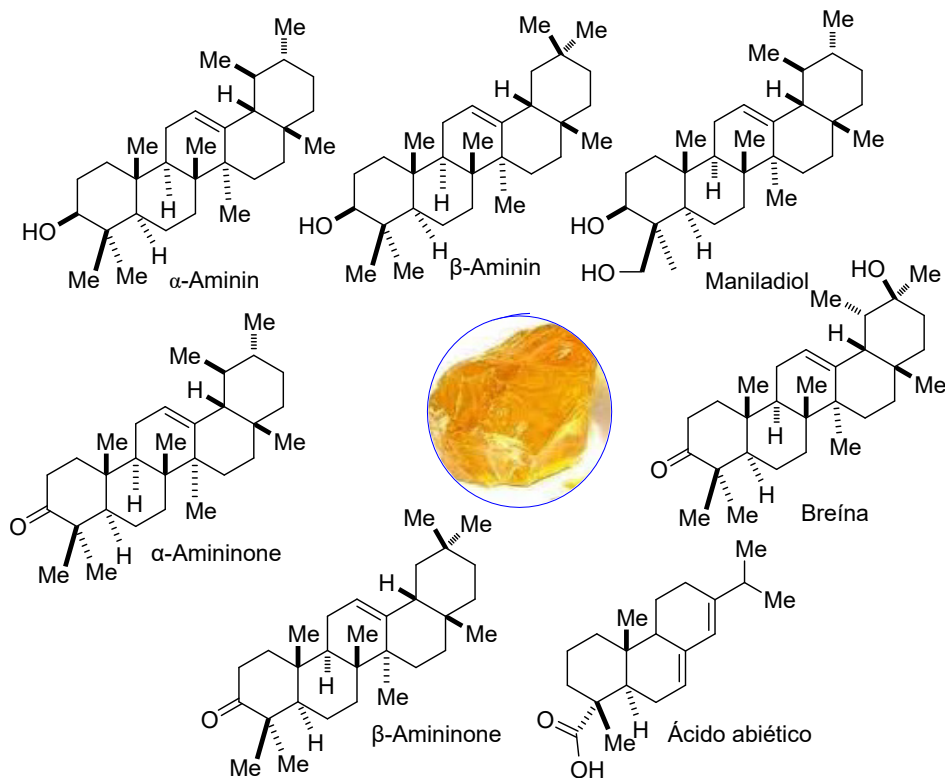


Figura 3. Triterpenos presentes na oleoresina copal e breu

Atualmente o copal é comercializado em diferentes formas. O duro é similar ao âmbar, o amarelo é a versão menos cara. O copal ouro é a resina obtida pela remoção completa da casca de uma árvore e o branco é a versão mais cara da resina, que é duro está misturado com uma resina leitosa e pegajosa. Essas resinas aromáticas têm extenso mercado internacional. Prevê-se que esse mercado da resina copal cresça a uma CAGR (Compound Annual Growth Rate), ou taxa de crescimento anual composto de 5,5% entre 2018-2030. O crescimento do mercado pode ser atribuído às diversas aplicações e a crescente conscientização sobre os benefícios do uso de produtos de fontes renováveis obtido das florestas de forma sustentável.⁴⁸ Esses produtos obtidos de florestas naturais deveriam ter uma certificação de origem para que sejam mais valorizadas na comercialização e aumentar a renda e a qualidade de vida dos povos das florestas, pois a exploração sustentável dos produtos florestais não-madeireiros é apontada como uma importante estratégia para a conservação da biodiversidade e também para a geração de renda e qualidade de vida das populações rurais.⁴⁹

Breu, Terebentina e Tall: da oleorresina vegetal às múltiplas aplicações

Em várias florestas no planeta existem muitas espécies de Burseraceae que produzem exsudados nos troncos, exsudados esses conhecidos como resina do pinheiro que contêm 30% de óleo (parte volátil terebentina) e cerca de 70% do sólido (breu ou colofônia). O breu é separado da resina bruta por destilação de arraste com vapor. Essa oleorresina se forma no caule quando ela sofre alguma lesão e a sua extração é por canais abertos sob a casca do tronco da árvore.

Apesar do valor atual dos derivados do óleo de pinheiro proveniente da árvore da família das Pinaceae, como por exemplo, as espécies *Pinus elliottii*, *P. yunnanensis*, *P. lateri* e *P. tabulaeformis*, o exsudado bruto de breu ou colofônia ainda tem sido muito utilizado pelas civilizações das florestas, pois seu uso ocorre por milênios, para diversas aplicações, como produtos medicinais contra doenças e em feridas, bem como em rituais religiosos.⁵⁰ Esse termo colofônia vem do nome da antiga cidade de Cólófon da Jónia, atual Turquia, onde era comercializada no Século I.

A goma ou resina do pinheiro é um *NWFPs* que pode ser coletado das florestas nativas usando o processo de extração por corte controlado no pinheiro, pois é economicamente viável, tendo inclusive comércio internacional. O tamanho do mercado global da oleorresina do pinheiro foi estimado em US\$ 5,5 bilhões em 2022 e está projetado para atingir US\$ 6,8 bilhões, com CAGR de 4,5%, até 2027.⁵¹ A resina bruta em si não é tão importante, mas são os produtos obtidos da destilação por arraste de vapor que produzem um óleo chamado de terebentina e um sólido conhecido como breu. Ambos os produtos da oleorresina do pinheiro são uma fonte *NWFPs* sustentável e auxiliam na redução da emissão de carbono para o meio ambiente. Há muitas aplicações desses produtos nas indústrias de adesivos, papel e celulose, revestimentos, selantes, tintas de impressão, borracha, sabões e detergentes. A China é o principal produtor dessa resina do pinheiro, mas a produção no Brasil também é relevante. Essa indústria é um setor multibilionário que produz oleorresina de pinho, terebentina, breu e madeira macia⁵² que são usados diariamente em quase todo o mundo.

Como a oleorresina do pinheiro se tornou um material natural valorizado no mercado, essa resina e seus derivados passaram a ser extraídos de florestas homogêneas plantadas e não de florestas naturais. A resina para a produção de terebentina e o breu (colofônia) nessas florestas se tornaram produtos em alta escala. O breu é comercializado em muitas lojas de materiais de construções para uso em marcenaria, calafetagem de barcos, adesivos, tintas, vernizes,

cera de vedação indústria de aromas e fragrâncias, dentre outros. Mas também tem aplicações em artesanato, material para iniciar uma fogueira, repelente natural, fixador de odor, revestimento em produtos farmacêuticos, agentes desemulsificantes e emulsificantes, agente de vitrificação, extração e recuperação de minerais de minérios, gomas de mascar instrumentos de arco e corda, no tratamento da osteoporose, artrite, artrose etc.

A principal fonte de terebentina ou óleo de terebentina vem do processo Kraft de polpação química de celulose da madeira do pinus, planta encontrada em florestas homogêneas ou resto de madeiras das florestas. Esse processo está muito bem consolidado,⁵³ pois é versátil e econômico e praticamente todos os subprodutos são aproveitados. Os principais subprodutos da polpação kraft de pinheiros são a terebentina cuja quantidade varia entre 5 e 10 kg/t polpa e um óleo conhecido como *tall* (em sueco *tall* significa pinheiro) que varia entre 30 e 50 kg/t polpa.

O óleo *tall* é uma mistura amarela escura ou negra separada do restante na forma de sabão que é coletado por decantação e transformado no óleo de *tall* bruto. Sua composição química contém os ácidos abiético, pimárico, oleico, palmítico, linoleico e alguns outros compostos não ácidos, como esteróis. O óleo *tall* bruto é considerado um produto base biológica, porém para ter utilidade precisa de diversas destilações fracionadas e separar os componentes em produtos específicos: resinas de óleo de “*tall oil*”, ácidos graxos de óleo de *tall*, piche e o destilado. O óleo de *tall* mais refinado pode ser usado como em mistura com diesel.⁵⁴ Esses produtos podem ser usados como aditivos de combustível, adesivos, tintas de impressão, adesivos para alimentos, estabilizadores de suspensão etc. O óleo de *tall* tem mercado global internacional e foi estimado em 2020 o valor de US\$ 543,7 milhões, mas que deve atingir o valor US\$ 677,9 milhões até 2027, crescendo a um CAGR de 3,2%.⁵⁵

Várias áreas de aplicação utilizam a terebentina como solvente em síntese orgânica, aditivos de óleo, biocombustível, tintas e vernizes inseticidas. Estima-se que a produção mundial de terebentina ultrapasse 330.000 toneladas,⁵⁶ maior do qualquer outro óleo essencial. Os médicos da antiguidade usavam o óleo terebentina contra doenças pulmonares, litíase biliar, nevralgia, blenorreia, constipação, gota e a cistite. Ainda nos dias atuais o óleo de terebentina de boa qualidade tem sido usado em remédios caseiros internos no sistema de medicina alternativa e na remoção de *gutta-percha* do canal radicular. A terebentina tem um grande mercado global internacional⁵⁷ que está estimado em chegar a US\$ 1,05 bilhão até o final de 2022 e que alcance em 2028 o montante de US\$ 1,51 bilhões com uma CAGR de 5,4%.⁵⁸

A composição química da terebentina é bastante complexa e depende da espécie que deu origem ao óleo.⁵⁹ Ela tem basicamente monoterpenos, porém

os mais abundantes são os α - e β -pineno, porém tem muitos outros em menores quantidades, como o careno, dipenteno, careno e o terpinoleno (Figura 4). Os óleos de terebentina com maiores teores de α -pineno são aproveitados para separação desses monoterpenos que têm diversas aplicações em fragrâncias e como reagente em síntese orgânica.⁶⁰

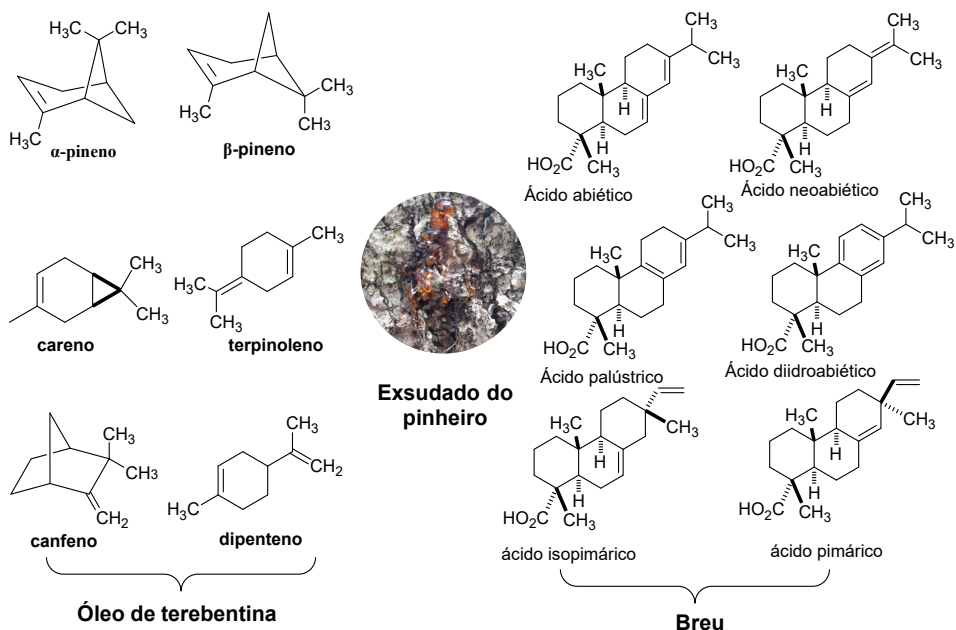


Figura 4. Alguns terpenos presentes na terebentina e no breu

O breu é a parte sólida de resina bruta que é obtido por vaporização dos componentes terpenos líquidos voláteis da resina líquida fresca. É semitransparente e vem em uma variedade de cores que vão do amarelo ao preto, sendo que cor depende da espécie vegetal e do processo de obtenção.

A resina é quebradiça à temperatura normal, mas derrete a uma temperatura mais alta. É composto principalmente de ácidos de colofônia, particularmente ácido abiético. O óleo do breu tem ação anti-inflamatória e analgésica e muitas outras. O componente químico principal desse óleo é o diterpeno ácido abiético. No entanto, ele tem muitos outros diterpenos em sua composição química, como os ácidos neoabiético, desidroabiético, palústrico, pimárico, isopimárico, levopimárico e dextropimárico e o dímero do ácido abiético. Como o ácido abiético é abundante, fácil isolamento e de muita importância comercial, ele tem sido utilizado em muitas transformações químicas na busca de novos diterpenos bioativos.⁶¹

Mirra: dos tempos bíblicos ao mercado internacional

A mirra é uma oleorresina secretada das árvores do gênero *Commiphora* que é composto por mais de 200 espécies da família Burseraceae, como por exemplo, *Commiphora myrrha*, *C. abyssinica*, *C. ellenbeckii*, *C. opobalsamum*, *C. habessinica*, *C. holtziana*, dentre outras. Arbustos e árvores desta família crescem melhor em climas quentes, extremos ou tropicais e são conhecidos por seus exsudatos resinosos ou aromáticos. São nativas do nordeste da África e da Península Arábica, sendo de maior ocorrência na Somália e Etiópia que são os maiores produtores.⁶²

A oleorresina é coletada ao se fazer incisões na casca das árvores, causando a exsudação de uma resina amarelada, que é produzida para selar a lesão e que quando exposta ao ar seca por polimerização, endurece e torna-se um sólido vítreo de coloração marrom-avermelhado. A mirra consiste em uma goma e um óleo volátil que é solúvel em água e em álcool. Essa oleorresina é uma mistura bastante complexa de terpenos e polissacarídeos cuja composições variam dependendo das espécies.

Outros tipos de oleorresinas de mirra, que apresentam composições diferentes são obtidas de outras espécies. Essas oleorresinas aromáticas contém uma série de substâncias químicas voláteis, como o monoterpenos, sesquiterpenos (especialmente furanosesquiterpenos), triterpenos, polissacarídeos, etc., que possivelmente são os responsáveis pelas atividades curativas de pele, diarreia, doenças periodontais, antissépticas, anestésicas, antibacterianas, antifúngicas, tratamento de anti-inflamatório de feridas, inchaços, limpador e hidratante de rosto.⁶³ O incenso quando queimado emite um aerossol aromático capaz de aliviar problemas respiratórios, resfriado, tosse, congestão e catarro. Essa oleorresina também foi muito usada para tratar a febre do feno que é um tipo de rinite alérgica devido ao pólen emitido por certas gramíneas.

Desde os tempos bíblicos essas gomas têm sido usadas como um óleo sagrado, agente perfumador e um incenso aromático religioso como incenso para rituais de saúde, embalsamento e purificação. Os compostos responsáveis pela aparência resinosa são polissacarídeos e proteínas, enquanto o óleo volátil é composto por esteroides, esteróis e terpenos. O odor característico da mirra é oriundo de diversos sesquiterpenos voláteis.²²

As composições químicas dos óleos das espécies do gênero *Commiphora* começaram a ser investigadas no início do Século XX, sendo que a partir desses estudos, muito produtos foram isolados. Dependendo da espécie há variações nas composições dos óleos, desde monoterpenos, sesquiterpenos, triterpenos, esteroides e vitaminas. A espécie *C. myrrha* tem diversos terpenos em sua composição⁶⁴ que, em proporções variadas, conferem suas

propriedades aromáticas e biológicas. Na Figura 5 encontram-se alguns exemplos de sesquiterpenos que foram isolados dessa espécie, dentre muitos outros terpenos.^{65,66,67,68,69}

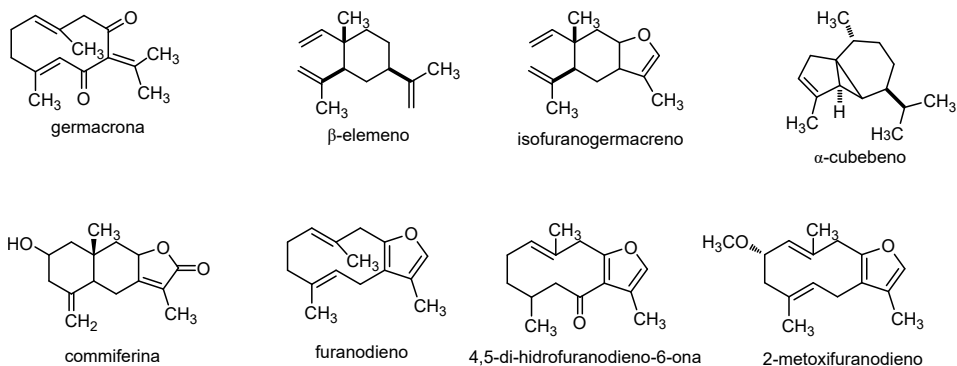


Figura 5. Exemplos de sesquiterpenos presentes em *Commiphora myrrha*.

Tradicionalmente, o óleo essencial de mirra era usado para embalsamar múmias, mas também para tratar a febre do feno, além de seu uso como fragrância, aromatizante e antisséptico para tratar feridas e parar sangramentos, pois o óleo essencial de mirra inibe o crescimento de micro-organismos dentro do corpo devido às suas propriedades antimicrobianas, o que posteriormente reduz os problemas causados por infecções causadas por micro-organismos.⁷⁰

Assim, a oleorresina de mirra tem mercado internacional e estima-se que esse mercado global cresceu com um CAGR de 4,1% entre 2019 e 2027 e que atingirá US\$ 268,8 milhões até 2027.⁷¹ O mercado global da oleorresina de mirra está segmentado nos setores farmacêuticos (formulações de medicamentos, cuidados com a pele), cosméticos (aromaterapia) e cuidados pessoais (sabonetes, desodorantes, xampus, condicionadores, loções corporais, ambientadores e tônicos) e alimentos e bebidas (agente aromatizante). Em termos de produtos comerciais o mercado está segmentado nas formas líquidas, cápsulas, pós e em cremes.

Alguns dos principais comerciantes que disputam o mercado global de óleo de mirra são: Good Scents Company, Plant Therapy, Venkatramna Industries, Shaanxi Yuanjian Biological, Xi'an Fengzu Biological, doTerra International e Mountain rose herbs.⁷¹ Há expectativas de crescimento do mercado global do óleo de mirra na América do Norte e a América Latina, devido a grande utilização desse óleo.⁷²

Goma arábica: o mais antigo exsudado usado pela humanidade

A goma arábica, também conhecida como goma de acácia, goma sudani, goma do Senegal, goma indiana, é uma resina natural incolor, insípida, inodora, comestível e com alta solubilidade (5000 g.L⁻¹), sendo o pH da solução levemente ácido (pH 4,66). Ela é aprovada como aditivo alimentar pelo FDA (Food and Drug Administration) e ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) com o código internacional INS E-414. Essa goma natural tem propriedades emulsificantes em água e está presente em pequenas concentrações em diversos caules e galhos das árvores de várias espécies do gênero *Acácia* (cerca de 900 espécies) da família Leguminosae. Porém, ela é comercialmente obtida de cortes paralelos nas árvores de *Acácia senegal* (L.) e *Acácia seyal* (Vachellia) que são árvores resistentes em zonas climáticas áridas, subtropicais e semiáridas, como Sudão, Nigéria, Senegal e Maurítânia.⁷³ O Sudão é o maior produtor nas planícies argilosas a leste e solos arenosos a oeste.⁷⁴

As acácias acima mencionadas produzem um polissacarídeo natural de composição variável, que em contato com a água reduz a tensão superficial e forma uma emulsão espessa. Com essa propriedade físico-química de se ligar à água, associada a baixa toxicidade, e capacidade de formar filmes e géis, além de apresentar biodegradabilidade e ser de origem de fontes renováveis, a goma arábica apresenta inúmeras aplicações em diversos setores industriais.⁷⁵ A goma extraída de *A. senegal* tem cerca de 10,75% de teor de umidade, o que determina a dureza da goma e teor médio de cinzas como 3,27%.

A goma arábica é o exsudado de planta mais antigo que se tem notícia de utilização pela humanidade e, portanto, tem uma história fascinante. Ela foi utilizada há milênios em aplicações alimentares, cosmético e como ingrediente no processo de mumificação. Também foi usada como aglutinante de pigmento e adesivo em tintas para fazer hieróglifos, e a inscrição antiga se refere à goma com o nome kami.⁷⁶ A sua importância foi muito significativa, inclusive por guerras pelo controle da sua produção e comercialização.

A goma arábica tem um mercado internacional que foi estimado em US\$ 300 milhões com crescimento projetado de 5,4% CAGR até 2025.⁷⁷ Outra empresa que fez pesquisa e projeções sobre o mercado global de goma arábica estimou o seu valor em US\$ 771,6 milhões no ano de 2020 e que deverá atingir um tamanho de US\$ 1,1 bilhão até 2027, crescendo com a mesma CAGR.⁷⁸

As principais fontes de goma arábica são das plantas *Acacia senegal* (L.) e *Acacia seyal*. Até o final de 2025, a primeira será a fonte primária e a goma mais vendida em US\$ 270 milhões, enquanto a segunda terá um consumo de

mais cerca de 90 mil toneladas. Este crescimento constante é devido a maior preferência dos consumidores por emulsificantes naturais e ricos em fibras em formulações alimentícias. Os produtos alimentares naturais estão se tornando cada vez mais populares em todo o mundo devido aos seus benefícios à saúde e ao meio ambiente.⁷⁹ À medida que a conscientização do consumidor sobre os alimentos se expande, assim como a compreensão da correlação entre nutrição e benefícios para a saúde, os consumidores procuram cada vez mais alimentos mais saudáveis.⁸⁰

A maior produção da goma arábica do mundo está centrada na África, especificamente no Sudão, Nigéria e Chade. Em termos de aplicação industrial, 60% da goma arábica produzida será usada no setor de alimentos e bebidas. A goma arábica é predominantemente carboidrato composto por aproximadamente β -D-galactose (44%), L-ramnose (13%), L-arabinose (27%), ácido β -D-glucurônico e ácido 4-O-metil- β -D-glucurônico (16%).⁸¹

A função da goma arábica nas formulações é como agente de revestimento, substituto de gordura, espessante, gelificante, texturante e estabilizantes nas indústrias de alimentos, bebidas, farmacêuticas, cosméticas e tintas. Especificamente são usados em comprimidos, agente formador de filme, umectante, antioxidante, agente de suspensão na produção de produtos farmacêuticos (ex. espessante para xaropes e recobrimento de comprimidos), formulações cosméticas, gomas de mascar, fabricação de papel, aditivo em esmaltes cerâmicos, processamento de carne, encapsulamento de sabores, aromas e corantes em forma de pó, processamento de sucos vegetais, produtos de confeitaria, doces e chocolates. Essa goma tem sido usada por muitos séculos nas confeitarias devido à sua capacidade de evitar a cristalização do açúcar, modificar a textura, emulsionar e manter os componentes gordurosos uniformemente distribuídos. Atualmente tem sido muito utilizado nas confeitarias e produtos farmacêuticos com alto teor de açúcar (pastilhas, balas, gomas, xaropes).

A goma arábica foi muito utilizada pelos pintores para conferir adesão dos pigmentos a tela das aquarelas e atualmente em bioimpressão por impressora 3D que confere à tinta de um excelente poder de auto adesão.⁸² Há muitos outros usos indicados para a goma arábica, como a liberação controlada de substâncias como fármacos,^{83,84,85} fragrâncias, óleos essenciais^{86,87} e flavorizantes em bebidas e formulações alimentícias.⁸⁸ Essas formulações contêm muitos componentes além dos ingredientes ativos para auxiliar no processo de fabricação, e a goma arábica atende muito bem aos requisitos para um excipiente⁸⁹ (não toxicidade, estabilidade, disponibilidade e renovabilidade). Elas também são indicadas para proteger a superfície de frutas e legumes contra-ataques de micro-organismos e da oxidação. O revestimento do tomate^{90, 91}

e maçã⁹² com goma arábica retarda o seu processo de amadurecimento e mantém a sua capacidade antioxidante.

Quimicamente a goma-arábica é um hetero polissacarídeo composto principalmente de unidades β -D-galactopiranosila ligadas nas hidroxilas das posições 1,3.^{93,94} As ramificações variam entre duas e cinco cadeias de β -D-galactopiranosila ligados entre si. As ramificações contêm unidades adicionais de α -1-arabinofuranosila e α -L-ramnopiranosila e terminadas com resíduos de ácido D-glucurônico e o 4-O-metil- β -D-ácido glucurônico. Como a goma é uma mistura de vários polissacarídeos de massas moleculares diferentes, a composição de L-arabinose, L-ramnose e ácido D-glucurônico e unidades β -D-galactopiranosila e múltiplas glicoproteínas (Figura 6). A goma em solução aquosa pode se apresentar levemente ácida ou neutra quando na forma de sal misto de magnésio e potássio. O teor de proteínas varia de acordo com a origem geográfica, a constituição do solo, época de coleta e espécie vegetal.⁹⁵

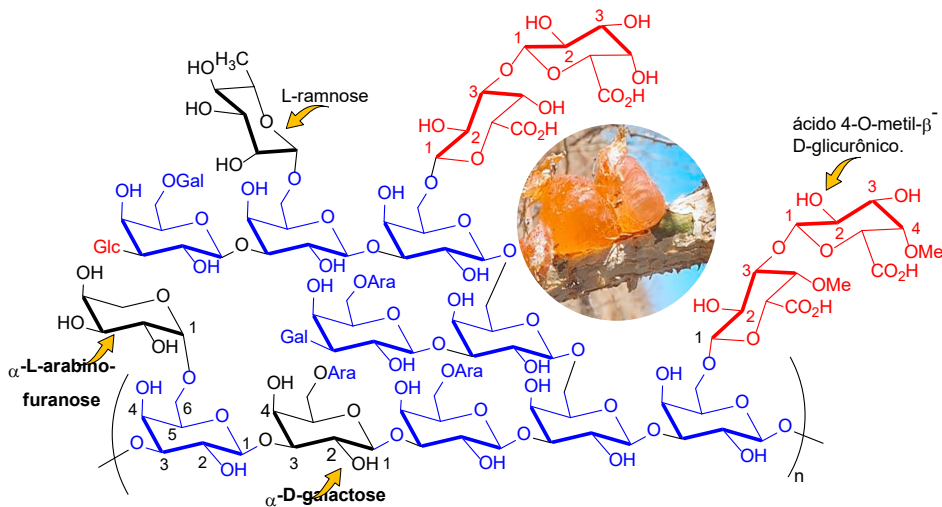


Figura 6. Cadeia parcial da goma arábica mostrando resíduos β -D-galactopiranosila β -D-galactopiranosose (Gal), α -L-arabinofuranose (Ara), α -L-ramnopiranosose (Rha), ácido β -D-glucurônico (GlcA)

Goma de caju: a alternativa brasileira

Os polissacarídeos naturais como a goma arábica, são solúveis em água formando hidrocoloides e têm propriedades importantes que são exploradas por diversas indústrias. O Brasil não é um produtor dessa goma, mas é importador para uso nos diversos produtos em que são aplicados. Porém, há outro polissacarídeo natural que pela sua capacidade de formar filmes e géis, pode substituir outras gomas (ex. goma arábica). A goma de caju é um heteropolissacarídeo complexo obtido de *Anacardium occidentale* (L.), da família Anacardiaceae, que pode ser usado em diversos produtos industriais em substituição às tradicionais gomas disponíveis no mercado.

O cajueiro é nativo do Norte e Nordeste do Brasil, mas foi introduzido na África e na Índia pelos portugueses e hoje está espalhado por várias regiões asiáticas (Vietnã, Tanzânia e Indonésia). É uma árvore de médio porte que sempre está verde e adaptada ao clima tropical. As plantações dos cajueiros são importantes para a economia, pois geram muitos empregos durante a sua colheita e processamento dos vários produtos derivados, tais como o caju (pseudofruto), e a castanha do caju é um fruto-cariopse, onde a semente é intimamente ligada. A castanha de caju ou noz de caju é o principal produto, sendo consumida desde crua até torrada e possui ação terapêutica como tônico-excitantes, contra a impotência sexual e na debilidade decorrente de enfermidades.⁹⁶ O mesocarpo do caju é utilizado para doces, compotas, geleias e desidratados; e o suco para refrigerantes, bebidas, vinho de caju, cajuína, diversas modalidades da castanha, goma e folhas usadas para fins nutricionais, medicinais e industriais.^{97,98}

A área cultivada no Brasil é de aproximadamente 332 mil hectares sendo na região Nordeste a maior produtora (99,7%). Com relação a goma do cajueiro, sua produção ainda não é grande, mas começou a crescer devido aos estudos mais recentes em formulações farmacêuticas e alimentícias.⁹⁹ O número de patentes voltadas para inovações contendo goma de cajueiro também aumentou.^{100,101}

A composição química da goma do cajueiro em termos de monossacarídeos é muito similar a goma arábica da *A. senegal*, mas o teor de cadeias ramificadas com unidades β -D-galactopiranosila ligadas pelas hidroxilas dos carbonos C1 e C3 é bem superior (Figura 7). A composição do exsudado do cajueiro varia bastante dependendo da fonte. No Estado do Ceará,¹⁰² a goma contém 72-73% de D-galactose, 11-14% de D-glicose, 4,6-5% arabinose, 4,7-6,3% ácido D-glicurônico, 3,2-4,0% L-ramnose, além de traços de D-manose, D-xilose e ácido 4-O-metil-D-glicurônico (menor que 2%). Dependendo da origem, a massa molecular da goma varia entre $1,5 \times 10^4$ - $2,3 \times 10^4$ g/mol.

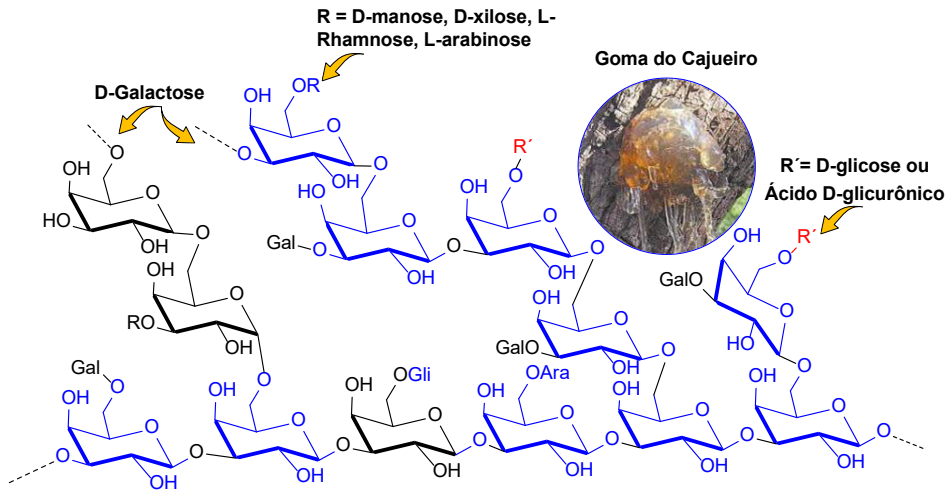


Figura 7. Estrutura proposta para goma do cajueiro por Anderson e Bell¹⁰³

A cadeia produtiva do cajueiro é composta de diversos produtos comerciais que incluem desde os produtos oriundos do pseudofruto, como o fruto-cariopse, como o suco e o óleo da torrefação das castanhas. A castanha do caju é o produto mais valorizado no mercado internacional, pois são amêndoas comestíveis, sendo ricas em óleo e proteínas.¹⁰⁴ O óleo obtido extraído da castanha é usado como lubrificante na produção de plásticos.

O mercado global de castanha de caju atingiu um valor de cerca de US\$ 5,4 bilhões em 2021. Espera-se que o mercado cresça ainda mais no período de previsão de 2022-2027 em um CAGR de 4,80% para atingir quase US\$ 7,2 bilhões em 2027.^{105,106} Os maiores produtores da castanha de caju são Costa do Marfim (28,1%), Índia (16,2%) e Tanzânia (14,4%).¹⁰⁷ A produção do Brasil de castanha de caju ficou em 110.669 toneladas em 2021 sendo um número significativamente menor do que a safra passada, 2020 quando foram produzidas 139.921 toneladas do fruto.¹⁰⁸

A goma de cajueiro também serve de alimentos para insetos e muito pequenos símios do gênero *Mico* que mordem o caule do cajueiro para que se produza a goma e essa sirva para sua alimentação. Ela apresenta propriedades reológicas e mucoadesivas que podem encontrar muitas aplicações, como sistemas de entrega para medicamentos.^{109,110} A goma do cajueiro apresenta algumas atividades biológicas,¹¹¹ como anti-diarreicas, gastroprotetoras, anti-inflamatórias, antioxidantes, antitumorais, larvicida e antimicrobianas.¹¹² Como todos os polissacarídeos naturais, a goma do cajueiro podem servir de matéria para diversas modificações química (ex. termoplásticos¹¹³).

Conclusões

Os humanos ocupam o mesmo espaço na Terra que as florestas, mas a relação entre esses dois grandes conjuntos biológicos não tem sido muito amigável. Em realidade o aumento da população tem cada vez mais pressionado as florestas que estão ameaçadas pelas atividades econômicas humanas, promovendo o desmatamento para exploração econômica das madeiras, fragmentação por invasão urbana, garimpagem para exploração de minerais e conversão do solo em áreas para produção agropecuária.

A diminuição gradual das florestas está causando mudanças climáticas que levam à diversos eventos extremos. O desaparecimento gradual das florestas irá acarretar um futuro em que os eventos climáticos serão mais graves, com mais casos de mortes e devastações nas cidades.

As florestas podem ser mais lucrativas, se exploradas de forma racional sem a sua destruição, colaborando para uma economia socioambiental. Além de fornecer muitos produtos florestais não-madeireiros (*NWFPS*), as florestas podem ser lucrativas com o turismo ecológico gerando empregos e rendas, alimentos e remédios, retenção e fornecimento de água potável, fixação do carbono, desacelerar o aquecimento global e manter a diversidade das espécies. Como são capazes de absorver grandes quantidades de energia solar e gás carbônico, a coleta de galhos e troncos secos são uma fonte importante de energia.

Neste artigo foi destacado, especificamente, uma breve descrição sobre a origem, propriedades físicas, classificação, aplicações e composição química das oleorresinas naturais renováveis de maior significado econômico internacional. Essas resinas têm sido obtidas de plantas pela humanidade, por milênios. A destruição das florestas causará um enorme impacto socioeconômico na obtenção dessa oleorresinas e gomas exsudadas das plantas. Além disso, muitos outros no meio ambiente. Em especial, é importante se destacar que há uma falta de políticas no Brasil para a conservação das nossas florestas e matas, como por exemplo a Mata Atlântica que praticamente só restou 7%.

Agradecimentos

Agradecemos a bolsa de produtividade concedida para Ferreira, V. F. e da Silva, F. C. pelo CNPq. A FAPERJ pela bolsa de pós-doutorado de Ferreira, P. G. O apoio financeiro foi concedido pela FAPERJ nos projetos E-26/010.101106/2018, E-26/010/00168/2015 (Pensa Rio), E-26/202.800/2017, SEI-260003/001178/2020 (temático).

Referências

- 1 DIAMOND, J.; *Colapso: Como as Sociedades Escolhem Fracassar ou Ter Sucesso*, Record: Rio de Janeiro, 2007.
- 2 MOORE, J.; REES, W. E.; *Em State of the World 2013*, Island Press: Washington DC, 2013.
- 3 SÍTIO BRASIL DE FATO. Disponível em: <<https://www.brasildefatodf.com.br/2022/09/09/bolsonaro-sanciona-reducao-de-40-da-floresta-nacional-de-brasil>>. Acessado em: 12 dezembro 2022.
- 4 SÍTIO FAO, Non-wood forest products. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/y1997e/y1997e0f.htm>>. Acessado em 9 setembro 2022.
- 5 HANSEN, M. C.; Wang, L.; Song, X.-P.; Tyukavina, A.; Turubanova, S.; Potapov, P. V.; Stehman, S. V.; The fate of tropical forest fragments. *Science Advances* **2020**, *6*, eaax8574. [CrossRef]
- 6 COCHRANE, M. A.J.; Freeborn, P. H.; Holden, Z. A.; Brown, T. J.; Williamson, G. J.; Bowman, D. M. J. S.; Climate-induced Variations in Global Wildfire Danger from 1979 to 2013. *Nature Communications* **2015**, *6*, 7537. [CrossRef], W. M.;
- 7 FLANNIGAN, M.; CANTIN, A. S.; DE GROOT, W. J.; WOTTON, M.; NEWBERY, A.; GOWMAN, L. M.; Global Wildland Fire Season Severity in the 21st century. *Forest Ecology and Management* **2013**, *294*, 54. [CrossRef]
- 8 SONG, X.-P.; HANSEN, M. C.; POTAPOV, P.; ADUSEI, B.; PICKERING, J.; ADAMI, M.; LIMA, A.; ZALLES, V.; STEHMAN, S. V.; DI BELLA, C. M.; CECILIA, C. M.; COPATI, E. J.; FERNANDES, L. B.; HERNANDEZ-SERNA, A.; JANTZ, S. M.; PICKENS, A. H.; TURUBANOVA, S.; TYUKAVINA A.; Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation. *Nature Sustainability* **2021**, *4*, 784. [CrossRef]
- 9 SECIUK, C.; Com nova lei, “floresta em pé” pode render até R\$ 1,4 bilhão ao ano em créditos de carbono. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/economia/creditos-de-carbono-quanto-floresta-em-pe-pode-render-nova-lei/>>. Acessado em: 10 setembro 2022.
- 10 TONG, X.; BRANDT, M.; YUE, Y.; CIAIS, P.; JEPSEN, M. R.; PENUELAS, J.; WIGNERON, J.-P.; XIAO, X.; SONG, X.-P.; HORION, S.; RASMUSSEN, K.; SAATCHI, S.; FAN, L.; WANG, K.; ZHANG, B.; CHEN, Z.; WANG, Y.; LI, X.; FENSHOLT, R.; Forest management in southern China generates short term extensive carbon sequestration. *Nature Communications* **2020**, *11*, 129. [CrossRef]
- 11 SÍTIO FUNDAÇÃO AMAZÔNIA SUSTENTÁVEL. Disponível em: <<https://fas-amazonia.org/blogpost/5307/>>. Acessado em: 9 setembro 2022.

- 12 SÍTIO FUNDAÇÃO AMAZÔNIA SUSTENTÁVEL. Disponível em: <<https://fas-amazonia.org/novosite/wp-content/uploads/2022/05/activities-report-2021.pdf>>. Acessado em: 9 setembro 2022.
- 13 BOFF, L.; *O pescador Ambicioso e o Peixe encantado*. Vozes: Petrópolis, 2022.
- 14 RASHID, A. Z. M. M.; KHAN, N. A.; HOSSAIN, M.; *Non-Wood Forest Products of Asia Knowledge, Conservation and Livelihood*; RASHID, A. Z. M. M., KHAN, N. A., HOSSAIN, M., eds.; Springer Nature: Switzerland AG, 2022, cap. 1. [CrossRef]
- 15 EMERY, M. R.; MCLAIN, R. J.; *Non-Timber Forest Products: Medicinal Herbs, Fungi, Edible Fruits and Nuts, and Other Natural Products from the Forest*. Food Products: New York, 2001.
- 16 Biojóia: moda sustentável. Disponível em: <<https://vivoverde.com.br/biojoia-moda-sustentavel/>>. Acessado em: 4 outubro 2022.
- 17 SÍTIO DA FAO. Living in and from the forests of Central Africa. Rome, 2017. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/i6399e/i6399e.pdf>>. Acessado em: 4 outubro 2022.
- 18 WOJNAROWSKA, M.; SOŁTYSIK, M.; GUZIK, M.; *The 20th International Scientific Conference Globalization and its Socio-Economic Consequences 2020*, 2021. [CrossRef]
- 19 SORRENTI, S.; Non-wood forest products in international statistical systems. Non-wood Forest Products Series no 22. Rome, FAO, 2017. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/i6731e/i6731e.pdf>>. Acessado em: 4 outubro 2022.
- 20 AFONSO, S. R., ÂNGELO, H.; Market of Non-Wood Forest Products from the Brazilian Savanna. *Ciência Florestal* **2009**, *19*, 315. [Link]
- 21 THE STATE OF THE WORLD'S FORESTS 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. Rome, FAO, 2022. [CrossRef]
- 22 FOREZI, L. S. M.; FERREIRA, P. G.; HÜTHER, C. M.; SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; Aqui Tem Química: parte IV. Terpenos na Perfumaria. *Revista Virtual de Química* **2022**, No Prelo. [CrossRef]
- 23 GIGANTE, B.; Resinas Naturais. *Conservar Patrimônio* **2005**, *33*. [Link]
- 24 KHAN, A. L.; ASAF, S.; NUMAN, M.; ABDULKAREEM, N. M.; IMRAN, M.; RIETHOVEN, J.-J. M.; KIM, H.-Y.; AL-HARRASI, A.; SCHACHTMAN, D. P.; AL-RAWAHI, A.; LEE, I.-J.; Transcriptomics of tapping and healing process in frankincense tree during resin production. *Genomics* **2021**, *113*, 4337. [CrossRef]
- 25 ZAS, R.; QUIROGA, R.; TOUZA, R.; VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, C.; SAMPEDRO, L.; LEMA, M.; Resin tapping potential of Atlantic maritime pine forests depends on tree age and timing of tapping. *Industrial Crops and Products* **2020**, *157*, 112940. [CrossRef]

- 26 HÜTHER, C. M.; FERREIRA, P. G.; FOREZI, L. S. M.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; Aqui tem Química: Parte VI. O Prazer dos Sabores Naturais. *Revista Virtual de Química* **2022**, 15, 12. [CrossRef]
- 27 SÍTIO ROSIN RESIN MARKET. Disponível em: <<https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/rosin-resin-market.asp>>. Acessado em: 7 setembro 2022.
- 28 BANDEIRA, P. N.; PESSOA, O. D. L.; TREVISAN, M. T. S.; LEMOS, T. L. G.; Metabólitos Secundários de *Protium heptaphyllum* March. *Química Nova* **2002**, 25, 1078. [CrossRef]
- 29 WILLIAMS, P. A.; PHILLIPS, G. O. Em *Handbook of Hydrocolloids*, 3a. ed., Phillips, G. O.; Williams, P. A., eds.; CRC Press: Washington DC, 2021, cap. 21.
- 30 ZARE, E. N.; MAKVANDI, P.; TAY, F. R.; Recent progress in the industrial and biomedical applications of tragacanth gum: A Review. *Carbohydrate Polymers* **2019**, 212, 450. [Cross-Ref]
- 31 GALLA, N. R.; DUBASI, G. R.; Chemical and functional characterization of gum karaya (*Sterculia urens* L.) seed meal. *Food Hydrocolloids* **2010**, 24, 479. [CrossRef]
- 32 DHIMAN, M.; SINGH, A.; SHARMA, M. M.; A review on *Sterculia urens* Roxb.: A boon to the livelihood for tribal people and industry. *Industrial Crops and Products* **2019**, 130, 341. [CrossRef]
- 33 TODD, P. A.; BENFIELD, P.; GOA, K. L.; Guar Gum - A Review of its Pharmacological Properties, and Use as a Dietary Adjunct in Hypercholesterolaemia. *Drugs* **1990**, 39, 917. [CrossRef]
- 34 GONZALEZ-BENECKE, C. A.; ZHAO, D.; SAMUELSON, L. J.; MARTIN, T. A.; LEDUC, D. J.; JACK, S. B.; Local and General Above-Ground Biomass Functions for *Pinus palustris* Trees. *Forests* **2018**, 9, 310. [CrossRef]
- 35 SONG, J.-Z.; YIP, Y.-K.; HAN, Q.-B.; QIAO, C.-F.; XU, H.-X.; Rapid determination of polyprenylated xanthenes in gamboge resin of *Garcinia hanburyi* by HPLC. *Journal of Separation Science* **2007**, 30, 304. [CrossRef]
- 36 ANDRADE, K. C. S.; DE CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; Goma de cajueiro (*Anacardium occidentale*): Avaliação das modificações químicas e físicas por extrusão termoplástica. *Polímeros* **2013**, 23, 667. [CrossRef]
- 37 SILVESTER, W. B.; ORCHARD, T. A.; The biology of kauri (*Agathis australis*) in New Zealand. Production, biomass, carbon storage, and litter fall in four forest remnants. *New Zealand Journal of Botany* **1999**, 37, 553. [CrossRef]
- 38 MATHIAS, L.; VIEIRA, I. J. C.; BRAZ-FILHO, R.; FILHO, E. R.; A new pentacyclic triterpene isolated from *Myroxylon balsamum* (syn. *Myroxylon peruiferum*). *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2000**, 11, 195. [CrossRef]

- 39 AMBROZIN, A. R. P.; LEITE, A. C.; BUENO, F. C.; VIEIRA, P. C.; FERNANDES, J. B.; BUENO, O. C.; SILVA, M. F. G. F.; PAGNOCCA, F. C.; HEBLING, M. J. A.; BACCI JR., M.; Limonoids from andiroba oil and Cedrela fissilis and their insecticidal activity. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2006**, *17*, 542. [CrossRef]
- 40 DE GROOT, A. C.; Myroxylon pereirae resin (balsam of Peru) - A critical review of the literature and assessment of the significance of positive patch test reactions and the usefulness of restrictive diets. *Contact Dermatitis* **2019**, *80*, 335. [CrossRef]
- 41 NEIS, F. A.; DE COSTA, F.; FÜLLER, T. N.; DE LIMA, J. C.; RODRIGUES-CORRÊA, K. C. S.; FETT, J. P.; FETT-NETO, A. G.; Biomass yield of resin in adult Pinus elliottii Engelm. trees is differentially regulated by environmental factors and biochemical effectors. *Industrial Crops and Products* **2018**, *118*, 20. [CrossRef]
- 42 ZHAO, S.; KLUTSCH, J. G.; CALE, J. A.; ERBILGIN, N.; Mountain pine beetle outbreak enhanced resin duct-defenses of lodgepole pine trees. *Forest Ecology and Management* **2019**, *441*, 271. [CrossRef]
- 43 CASE, R. J.; TUCKER, A. O.; MACIARELLO, M. J.; WHEELER, K. A.; Chemistry and ethnobotany of commercial incense copals copal blanco, copal oro, and copal negro, of North America. *Economic Botany* **2003**, *57*, 189. [CrossRef]
- 44 FREZZA, C.; VENDITTI, A.; DE VITA, D.; TONIOLO, C.; FRANCESCHIN, M.; VENTRONE, A.; TOMASSINI, L.; FODDAI, S.; GUIISO, M.; NICOLETTI, M.; BIANCO, A.; SERAFINI, M.; Phytochemistry, Chemotaxonomy, and Biological Activities of the Araucariaceae Family-A Review. *Plants* **2020**, *9*, 888. [CrossRef]
- 45 MERALI, Z.; CAYER, C.; KENT, P.; LIU, R.; CAL, V.; HARRIS, C. S.; ARNASON, J. T.; Sacred Maya incense, copal (Protium copal - Burseraceae), has antianxiety effects in animal models. *Journal of Ethnopharmacology* **2018**, *216*, 63. [CrossRef]
- 46 VILLA-RUANO, N.; PACHECO-HERNÁNDEZ, Y.; BECERRA-MARTÍNEZ, E.; ZÁRATE-REYES, J. A.; CRUZ-DURÁN, R.; Chemical profile and pharmacological effects of the resin and essential oil from Bursera schlechtendalii: A medicinal “copal tree” of southern Mexico. *Fitoterapia* **2018**, *128*, 86. [CrossRef]
- 47 SUSUNAGA, G. S.; SIANI, A. C.; PIZZOLATTI, M. G.; YUNES, R. A.; DELLE MONACHE, F. Triterpenes from the Resin of Protium heptaphyllum. *Fitoterapia* **2001**, *72*, 709. [CrossRef]
- 48 GLOBAL COPAL MARKET BY TYPE, Application and Region forecast from 2022 to 2030. Disponível em: <<https://dataintel.com/report/global-copal-market/>>. Acessado em: 21 setembro 2022.

- 49 FERNANDES, A. P. D.; HOEFLICH, V. A.; SILVA, I. C.; DE SOUZA, M. F. R.; Fatores limitantes da gestão dos produtos florestais não-madeireiros na APA de Guaratuba. *Ciência Florestal* **2020**, *30*, 323. [CrossRef]
- 50 SIANI, A. C.; Moraes, R.; Junior, V. F. V.; Toward Establishing the Productive Chain for Triterpene-Based Amazonian Oleoresins as Valuable Non-Timber Forest Products. *Open Journal of Forestry* **2017**, *7*, 188. [CrossRef]
- 51 SÍTIO INK WORLD. Disponível em: <https://www.inkworldmagazine.com/issues/2022-07-01/view_breaking-news/pine-derived-chemicals-market-worth-68-billion-by-2027-marketsandmarkets/>. Acessado em: 7 setembro 2022.
- 52 SÍTIO GLOBAL BANKING AND FINANCE. Disponível em: <<https://www.globalbankingandfinance.com/pine-resin-market-to-witness-huge-growth-by-2026/>>. Acessado em: 14 setembro 2022.
- 53 VAN HEININGEN, A. R. P.; Converting a kraft pulp mill into an integrated forest biorefinery. *Pulp and Paper Canada* **2006**, *107*, 38.
- 54 ARYAN, V.; KRAFT, A.; The crude tall oil value chain: Global availability and the influence of regional energy policies. *Journal of Cleaner Production* **2021**, *280*, 124616. [CrossRef]
- 55 TALL OIL ROSIN - GLOBAL MARKET TRAJECTORY & ANALYTICS. Disponível em: <<https://www.researchandmarkets.com/reports/5302275/tall-oil-rosin-global-market-trajectory-and>>. Acessado em: 16 setembro 2022.
- 56 GARCÍA, D.; BUSTAMANTE, F.; VILLA, A. L.; LAPUERTA, M.; ALARCÓ, E.; Oxyfunctionalization of Turpentine for Fuel Applications. *Energy & Fuels* **2020**, *34*, 579. [CrossRef]
- 57 SÍTIO TRANSPARENCY MARKET RESEARCH. Disponível em: <<https://www.transparencymarketresearch.com/turpentine-market.html>>. Acessado em: 14 setembro 2022.
- 58 SÍTIO FUTURE MARKET INSIGHTS. Disponível em: <<https://www.futuremarketinsights.com/reports/turpentine-market>>. Acessado em: 14 setembro 2022.
- 59 TÜMEN, D. I.; REUNANEN, M.; A Comparative Study on Turpentine Oils of Oleoresins of *Pinus sylvestris* L. from Three Districts of Denizli. *Records of Natural Products* **2010**, *4*, 224.
- 60 MERCIER, B.; PROST, J.; PROST, M.; The Essential Oil of Turpentine and Its Major Volatile Fraction (α - and β -Pinenes): A Review. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* **2009**, *22*, 331. [CrossRef]
- 61 DOS SANTOS, C.; ZUKERMAN-SCHPECTOR, J.; IMAMURA, P. M.; Chemical Transformation of Abietic Acid to New Chiral Derivatives. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2003**, *14*, 998. [CrossRef]

- 62 THULIN M.; Ten new species of Commiphora (Burseraceae) from Somalia. *Nordic Journal of Botany* **2000**, *20*, 395. [CrossRef]
- 63 NOMICOS, E. Y. H.; Myrrh: Medical Marvel or Myth of the Magi? *Holistic Nursing Practice* **2007**, *21*, 308. [CrossRef]
- 64 JONES, J. K. N.; NUNN, J. R.; The Constitution of Gum Myrrh. Part II. *Journal of the Chemical Society* **1955**, 3001. [CrossRef]
- 65 MARADUFU, A.; WARTHEN, J. D.; Furanosesquiterpenoids from Commiphora myrrh oil. *Plant Science* **1988**, *57*, 181. [CrossRef]
- 66 HANUŠ, L. O.; ŘEZANKA, T.; DEMBITSKY, V. M.; MOUSSAIEF, A.; Myrrh - Commiphora Chemistry. *Biomedical Papers* **2005**, *149*, 3. [CrossRef]
- 67 BRIEKSKORN, C. H.; NOBLE, P.; Constituents of essential oil of myrrh II: sesquiterpenes and furanosesquiterpenes. *Planta Medica* **1982**, *44*, 87. [CrossRef]
- 68 MORTEZA-SEMNIANI, K.; SAEEDI, M.; Constituents of the Essential Oil of Commiphora myrrha (Nees) Engl. var. *molmol*. *Journal of Essential Oil Research* **2003**, *15*, 50. [CrossRef]
- 69 MARCOTULLIO, M. C.; SANTI, C.; MWANKIE, G. N. O.-M.; CURINI, M.; Chemical Composition of the Essential Oil of Commiphora erythraea. *Natural Product Communications* **2009**, *4*, 1751. [CrossRef]
- 70 BIGGS, I.; SIRDAARTA, J.; WHITE, A.; COCK, I. E.; GC-MS Analysis of Commiphora molmol Oleo-Resin Extracts which Inhibit the growth of Bacterial Triggers of Selected Autoimmune Diseases. *Pharmacognosy Journal* **2016**, *3*, 191. [CrossRef]
- 71 SÍTIO PROF SHARE MARKET RESEARCH. <https://www.profsharemarketresearch.com/myrrh-oil-market/>. Acessado em: 11 setembro 2022.
- 72 SÍTIO TRANSPARENCY MARKET RESEARCH. Disponível em: <<https://www.transparencymarketresearch.com/myrrh-essential-oil-market.html>>. Acessado em: 11 setembro 2022.
- 73 DAVE, P. N.; Gor, A. Em *Micro and Nano Technologies, Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications*; Hussain, C. M., ed.; Elsevier, 2018.
- 74 IDRIS, O. H. M.; What is gum Arabic? An overview. *International Journal of Sudan Research* **2017**, *7*, 1. [CrossRef]
- 75 PRASAD, N.; THOMBARE, N.; SHARMA, S. C.; KUMAR, S.; Gum arabic – A versatile natural gum: A review on production, processing, properties and applications. *Industrial Crops and Products* **2022**, *187*, 115304. [CrossRef]

- 76 SANCHEZ, C.; NIGEN, M.; TAMAYO, V. M.; DOCO, T.; WILLIAMS, P.; AMINE, C.; RENARD, D.; Acacia gum: History of the future. *Food Hydrocolloids* **2018**, *78*, 140. [Cross-Ref]
- 77 SÍTIO PERSISTENCE MARKET RESEARCH. Global Sales of Gum Arabic to Bring in US\$ 476.1 Mn during 2017-2025. Disponível em: <<https://www.persistencemarketresearch.com/mediarelease/gum-arabic-market.asp>>. Acessado em: 16 setembro 2022.
- 78 SÍTIO RESEARCH AND MARKETS. GUM ARABIC - GLOBAL MARKET TRAJECTORY & ANALYTICS. Disponível em: <<https://www.researchandmarkets.com/reports/5139775/gum-arabic-global-market-trajectory-and>>. Acessado em: 16 setembro 2022.
- 79 TALWAR, S.; KAUR, P.; KUMAR, S.; HOSSAIN, M.; DHIR, A.; What determines a positive attitude towards natural food products? An expectancy theory approach. *Journal of Cleaner Production* **2021**, *327*, 129204. [CrossRef]
- 80 PENNA, A. C. G.; PORTEL, C. S.; PAGANI, M. M.; MÁRSICO, E. T.; SILVA, A. C. O.; ESMERINO, E. A.; Impact of food choice and consumption profile on the perception of food coloring on kefir labels: Insights of the projective technique of Product Personality Profiling. *Food Research International* **2021**, *150*, 110802. [CrossRef]
- 81 AL-ASSAF, S.; SAKATA, M.; MCKENNA, C.; AOKI, H.; PHILLIPS G. O.; Molecular associations in acacia gums. *Structural Chemistry* **2009**, *20*, 325. [CrossRef]
- 82 AMR, M.; DYKES, I.; COUNTS, M.; KERNAN, J.; MALLAH, A.; MENDENHALL, J.; VAN WIE, B.; ABU-LAIL, N.; GOZEN, B. A.; 3D printed, mechanically tunable, composite sodium alginate, gelatin and Gum Arabic (SA-GEL-GA) scaffolds. *Bioprinting* **2021**, *22*, e00133. [CrossRef]
- 83 ALKARIB, S. Y.; ELHASSAN, D. E. M.; NUR, A. O.; Evaluation of gum Arabic as a film coating former for immediate release oral tablet formulation. *World Journal Of Pharmacy And Pharmaceutical Sciences* **2016**, *5*, 32. [Link]
- 84 DAUQAN, E.; ABDULLAH, A.; Utilization of gum Arabic for industries and human health. *American Journal of Applied Sciences* **2013**, *10*, 1270. [CrossRef]
- 85 KADARE, P.; MAPOSA, P.; DUBE, A.; MAPONGA, C. C.; Encapsulation of isoniazid in chitosan-gum arabic and poly (lactic-co-glycolic acid) PVA particles to provide a sustained release formulation. *Journal of Pharmaceutics & Pharmacology* **2014**, *6*. [Link]
- 86 RUNGWASANTISUK, R.; RAIBHU, S.; Application of encapsulating lavender essential oil in gelatin/gum-arabic complex coacervate and varnish screen-printing in making fragrant gift-wrapping paper. *Progress in Organic Coatings* **2020**, *149*, 105924. [CrossRef]

- 87 DONG, Z.; MA, Y.; HAYAT, K.; JIA, C.; XIA, S.; ZHANG, X.; Morphology and release profile of microcapsules encapsulating peppermint oil by complex coacervation. *Journal of Food Engineering* **2011**, *104*, 455. [CrossRef]
- 88 DE SOUZA, V. B.; THOMAZINI, M.; CHAVES, I. E.; FERRO-FURTADO, R.; FAVARO-TRINDADE, C. S.; Microencapsulation by complex coacervation as a tool to protect bioactive compounds and to reduce astringency and strong flavor of vegetable extracts. *Food Hydrocolloids* **2020**, *98*, 105244. [CrossRef]
- 89 BENEKE, C. E.; VILJOEN, A. M.; HAMMAN, J. H.; Polymeric plant derived excipients in drug delivery. *Molecules* **2009**, *14*, 2602. [CrossRef]
- 90 ASGAR, A.; MAQBOOL, M.; ALDERSON, P. G.; ZAHID, N.; Effect of gum arabic as an edible coating on antioxidant capacity of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology* **2013**, *76*, 119. [CrossRef]
- 91 ALI, A.; MAQBOOL, M.; RAMACHANDRAN, S.; ALDERSON, P. G.; Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology* **2010**, *58*, 42. [CrossRef]
- 92 EL-ANANY, A. M.; HASSAN, G. F. A.; ALI, F. M. R.; Effects of edible coatings on the shelf-life and quality of Anna apple (*Malus domestica* Borkh) during cold storage. *Journal of Food Technology* **2009**, *7*, 5. [Link]
- 93 MATE, C. J.; MISHRA, S.; Exploring the Potential of Moi Gum for Diverse Applications: A Review. *Journal of Polymers and the Environment* **2020**, *28*, 1579. [CrossRef]
- 94 ASHOUR, M. A.; FATIMA, W.; IMRAN, M.; GHONEIM, M. M.; ALSHEHRI, S.; SHAKKEE, F.; A Review on the Main Phytoconstituents, Traditional Uses, Inventions, and Patent Literature of Gum Arabic Emphasizing *Acacia seyal*. *Molecules* **2022**, *27*, 1171. [CrossRef]
- 95 MARIOD, A. A. *Em Gum Arabic: Structure, Properties, Application, and Economics*; MARIOD, A. A., ed.; Elsevier Science: London UK, 2018.
- 96 HERBÁRIO MARLENE FREITAS DA SILVA. Caju – Exsicata. Disponível em: <<https://herbariomfs.uepa.br/colecao-biocultural/caju-exsicata/>>. Acessado em: 6 outubro 2022.
- 97 DE MORAES, I. V. M.; FILGUEIRAS, H. A. C.; DA SILVA NETO, R. M.; PAIVA, F. F. A.; GARRUTI, D. S.; Casemiro, A. R. S.; Aproveitamento industrial do pedúnculo de caju. Embrapa Agroindústria Tropical, 2013. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/966559/aproveitamento-industrial-do-pedunculo-de-caju>>. Acessado em: 20 setembro 2022.
- 98 DE OLIVEIRA, V. H.; Cajucultura. *Revista Brasileira de Fruticultura* **2008**, *30*. [CrossRef]

- 99 PORTO, B. C.; CRISTIANINI, M.; Evaluation of cashew tree gum (*Anacardium occidentale* L.) emulsifying properties. *Food Science and Technology* **2014**, *59*, 1325. [CrossRef]
- 100 AMARAL, R. G.; DE ANDRADE, L. R. M.; ANDRADE, L. N.; LOUREIRO, K. C.; SOUTO, E. B.; SEVERINO, P.; Cashew Gum: A Review of Brazilian Patents and Pharmaceutical Applications with a Special Focus on Nanoparticles. *Micromachines* **2022**, *13*, 1137. [CrossRef]
- 101 MOTHÉ, C. G.; OLIVEIRA, N. N.; DE FREITAS, J. S.; MOTHÉ, M. G.; Cashew tree gum: A scientific and technological review. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology* **2017**, *2*, 238716. [CrossRef]
- 102 DE MOURA NETO, E.; MACIEL, J. D. S.; CUNHA, P. L. R.; DE PAULA, R. C. M.; FEITOSA, J. P. A.; Preparation and characterization of a chemically sulfated cashew gum polysaccharide. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2011**, *22*, 1953. [CrossRef]
- 103 ANDERSON, D. M.; BELL, P. C.; Structural analysis of the gum polysaccharide from *Anacardium occidentale*. *Analytica Chimica Acta* **1975**, *79*, 185. [CrossRef]
- 104 LIMA, R. E. M.; MAIA, L. K. R.; LIMA, J. S.; Produção de Goma a Partir do Cajueiro. *Enciclopédia Biosfera* **2013**, *9*, 2089. [Link]
- 105 SÍTIO GLOBAL CASHEW KERNEL MARKET. Disponível em: <<https://www.expert-marketresearch.com/reports/cashew-kernel-market>>. Acessado em: 17 setembro 2022.
- 106 SÍTIO CASHEW MARKET - Growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2022 - 2027). Disponível em: <<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-cashew-market>>. Acessado em: 20 setembro 2022.
- 107 BRAINER, M. S. C. P.; Cajucultura: O Proveito do Pedúnculo. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste 2021, 6 (Nº 190), outubro. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/990/3/2021_CDS_190.pdf>. Acessado em: 17 setembro 2022.
- 108 Com produção em queda, caju exige incorporação de tecnologia e manejo para elevar rendimento. Disponível em: <<https://revistacultivar.com.br/noticias/com-producao-em-queda-caju-exige-incorporacao-de-tecnologia-e-manejo-para-elevar-rendimento>>. Acessado em: 20 setembro 2022.
- 109 RIBEIRO, A. J.; DE SOUZA, F. R. L.; BEZERRA, J. M. N. A.; OLIVEIRA, C.; NADVORNY, D.; SOARES, M. F. L. R.; NUNES, L. C. C.; SILVA-FILHO, E. C.; VEIGA, F.; SOBRINHO, J. L. S.; Gums' based delivery systems: Review on cashew gum and its derivatives. *Carbohydrate Polymers* **2016**, *147*, 188. [CrossRef]
- 110 PITOMBEIRA, N. A. O.; VERAS NETO, J. G.; SILVA, D. A.; FEITOSA, J. P. A.; PAULA, H/ C. B.; DE PAULA, R. C. M.; Self-assembled nanoparticles of acetylated cashew gum:

characterization and evaluation as potential drug carrier. *Carbohydrate Polymers* **2015**, *117*, 610. [CrossRef]

- 111 HANI, U.; KRISHNA, G.; SHIVAKUMAR, H. G.; Design and optimization of clotrimazole-hydroxypropyl-[small beta]-cyclodextrin bioadhesive vaginal tablets using Anacardium occidentale gum by 32 factorial design. *RSC Advances* **2015**, *5*, 35391. [CrossRef]
- 112 DA SILVA, D. P. B.; MOREIRA, L. K. S.; CABRAL, I. B.; DA SILVA, C. N. S.; BATISTA, K. A.; FAJEMIROYE, J. O.; COSTA, E. A. Em: *Gums, Resins and Latexes of Plant Origin. Reference Series in Phytochemistry*; Murthy, H. N., eds.; Springer, Cham. 2022. [CrossRef]
- 113 ANDRADE, K.; DE CARVALHO, C. W.; TAKEITI, C. Y.; Goma de cajueiro (Anacardium occidentale): Avaliação das modificações químicas e físicas por extrusão termoplástica. *Polímeros* **2013**, *23*, 667. [CrossRef]

Capítulo 2

Consumo, Produção Responsável e Expectativas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

Wilson C. Santos, Cristina Moll Hüther, Luana da Silva Magalhães Forezi, Fernando de Carvalho da Silva, Patricia Garcia Ferreira, Vitor Francisco Ferreira

Introdução

A floresta está viva. Só vai morrer se os brancos insistirem em destruí-la. Se conseguirem, os rios vão desaparecer debaixo da terra, o chão vai se desfazer, as árvores vão murchar e as pedras vão rachar no calor. A terra ressecada ficará vazia e silenciosa.

Davi Kopenawa

A queda do céu, Palavras de um xamã yanomami

Davi Kopenawa e Bruce Albert (2010)

A sustentabilidade está intimamente ligada a exploração racional e controlada do capital natural do planeta. Ela deve ser praticada como uma realidade e uma vivência diária de todos os protagonistas da sociedade. O compromisso com a sustentabilidade é influenciado por múltiplas decisões, como políticas internas das governanças dos países, até corporações e da sociedade em geral. É importante destacar que a sustentabilidade também está relacionada com a manutenção dos ecossistemas e para isso é necessário a ampliação muito maior de nossas percepções temporais, em relação a qualidade de vida dos seres no planeta e da demanda da continuidade da vida de todas as espécies, de modo a manter viável os diferentes ecossistemas.

Recentemente, o relatório “*State of Climate Action 2022*” fez uma avaliação abrangente da lacuna global na ação climática nos sistemas de maior emissão do mundo.¹ Ele destaca que para se alcançar o desenvolvimento sustentável é necessário estar em harmonia com a natureza, bem como com os seres humanos, ou seja, para ser sustentável é preciso alinhar a questão econômica, ambiental e social, sendo um fator fundamental das ações, limitar o aquecimento global a 1,5 °C entre 2030 e 2050. Para isso, se deve contar com diversas ações, como eliminação do carvão de matrizes energéticas para a geração de eletricidade, o crescimento populacional e urgentemente interromper o desmatamento das florestas, dentre outras ações que negativamente impulsionam a degradação ambiental e social.

Os eventos climáticos extremos são sintomas das doenças que o planeta está sentindo,² sendo o aquecimento global a mais importante tendo múltiplas origens. As ondas de calor extremas que levam a incêndios florestais devastadores estão cada vez mais frequentes, sendo o ano de 2022 um dos piores na promoção do aquecimento global.³ Outros eventos climáticos que se pode destacar são inundações, avalanches, nevascas, tempestades, furacões, secas, derretimento do gelo e das geleiras do Ártico, aumento do nível do mar, extinção de espécies, disseminação de espécies invasoras e novas doenças.⁴

No modelo de desenvolvimento sustentável o consumo e a produção têm que respeitar a regeneração dos recursos naturais para manter a vida presente e as gerações futuras. Os seres humanos precisam ter a clareza que o desenvolvimento inconsequente e a visão industrialista, consumista e capitalista trazem apenas benefícios econômicos em curto prazo.⁵

No desenvolvimento sustentável se mantém o consumo e a produção em equilíbrio na natureza, mantendo a vitalidade da Terra com visões centradas nos animais e humanos, respeito às tradições e culturas, sem querer dominar a natureza e buscar somente benefícios econômicos cada vez mais elevados.⁶ Entretanto, o que vemos nos dias atuais, são que os países mais desenvolvidos continuam a explorar cada vez mais os seus recursos naturais, visando alcançar um alto crescimento econômico, com padrões de urbanização, consumo de energia e extração desenfreada dos recursos naturais.

Os recursos florestais e pesqueiros têm sido objeto da atividade humana ao longo de milhares de anos. As florestas globais agora cobrem cerca de 4 bilhões de hectares, cerca de um terço a menos do que a extensão das florestas na época das origens da agricultura, isso cerca de 10.000 anos atrás. O desmatamento líquido, área desmatada menos as áreas florestais plantadas e regeneração natural, foi de cerca de 7,3 milhões de hectares anualmente entre 2000 e 2005, uma área aproximadamente do tamanho do Panamá ou Serra Leoa.

A pesca enfrenta uma degradação ainda maior, como aponta um relatório recente do *World Resources Institute* (2004) que afirma que 75% dos estoques de peixes comercialmente importantes do mundo estão atualmente sobre explorado ou sendo pescado em seu limite biológico. Estima-se que os estoques de valiosas espécies de peixes predadores, como bacalhau, atum, garoupa, tubarão, tenham diminuído consideravelmente nos últimos anos.

Para ampliar o debate sobre a sustentabilidade, esse tema deveria ser explorado nas escolas, desde ensino fundamental e médio, bem como nas universidades. Uma educação de qualidade é capaz de abrir as mentes, combater a pobreza, ampliar as possibilidades de melhor qualidade de vida, traçar novos caminhos para a auto-realização e promover sociedades pacíficas. Atualmente há ausência de educação de qualidade em muitos países que amplie as perspectivas de melhora na vida das pessoas e que capacite os indivíduos para um mundo pluralista e com desenvolvimento sustentável,^{7,8} somente raras exceções buscam desenvolver isso nos jovens.

Todos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que foram estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) estão interligados pela promoção da sustentabilidade. O ODS nº 4 trata da importância de uma educação de qualidade e educação voltada para um desenvolvimento sustentável, pois uma educação alinhada com todos os ODS é necessária para buscar uma consciência de que o consumo e a produção sustentável são fundamentais para a conservação da vida. Além disso, o ODS nº 4 também defende que todos os alunos deverão ter conhecimento e habilidades suficientes para entender e promover a Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS).⁹ Em realidade, esse ODS é o reflexo de um recente contexto global onde a educação deveria ter um novo enfoque para as políticas e práticas de consumo e produção sustentáveis.

O maior consumo é estimulado pela competitividade internacional, que muitas vezes está relacionada com a globalização e isso promove políticas educacionais com concepções neoliberais. Há uma enorme lacuna na educação formal que discuta seriamente a questão do consumo exagerado e todas as outras dimensões da sustentabilidade, em disciplinas regulares em todos os níveis educacionais e conteúdos extracurriculares, capazes de definir os reais problemas da sustentabilidade para os estudantes. Assim, a educação voltada para o desenvolvimento sustentável deve estar baseada em questões que incluem quatro dimensões inter-relacionadas - econômica, social, cultural e ambiental - e que podem fornecer contextos significativos e temas desafiadores para se avançar na área da educação.^{10,11}

As instituições de ensino são fundamentais para atingir uma EDS, pois aumentam o acesso à informação sobre materiais educacionais que tratam

sobre a sustentabilidade e abordando questões de como o consumo inconsequente afeta o desenvolvimento sustentável,¹² a nível local, regional e global. Atualmente, não há, nas universidades, disciplinas que enfoquem a sustentabilidade e, portanto, continuam as perguntas incômodas como: Estamos formando profissionais que valorizem as dimensões sustentabilidade? Os livros textos enfocam as mais modernas concepções verdes e sustentáveis? Os docentes estão qualificados para trabalhar a sustentabilidade em suas áreas? Os currículos estão focalizando os vieses da sustentabilidade e os diversos ODS? Há infraestrutura física para a pesquisa básica ao tema?

A sustentabilidade e a sua relação com a sociedade e as empresas não pode ser assunto exclusivo dos ambientalistas e especialistas acadêmicos em meio ambiente.¹³ Ela tem que envolver os ministérios governamentais, políticos, desde vereadores, deputados, senadores, até ao presidente, além de Organizações não Governamentais (ONGs), empresas de qualquer porte, instituições de ensino e pesquisa, imprensa, entidades de classes e os órgãos representantes dos povos originários.

A maioria da pobreza do mundo está inserida em áreas rurais e as pessoas pobres dessas áreas dependem da agricultura, pecuária e de outros recursos naturais para gerar seus meios de subsistência. Assim, há uma ligação forte entre a pobreza e os recursos naturais, e os eventos climáticos extremos trazem piora da qualidade de subsistências dessas áreas pobres.

Os recursos naturais estão na base das oportunidades econômicas e do bem-estar humano.¹⁴ Porém, o fato é que a humanidade já sente os efeitos da falta de sustentabilidade e está pagando com um custo elevado causados pelo aquecimento global devido a degradação do meio ambiente e o esgotamento dos recursos naturais globais.¹⁵

A falta da sustentabilidade é devido também as ações após a Revolução Industrial, pois é como uma engrenagem, que funciona junto e é impulsionada diretamente pelo *marketing* do consumo e a produção de bens que vem crescendo.¹⁶ Adicionalmente, o aumento da população mundial, que chegou a oito bilhões em 2022, é mais um fator que contribui para a degradação do planeta.¹⁷ Se por um lado o aumento da população reflete avanços científicos e melhorias em questões como nutrição, saúde pública e saneamento, por outro lado existem centenas de milhões com fome e em situação de pobreza devido aos desastres climáticos.^{18,19}

O Secretário Geral da Organização Mundial das Nações Unidas, António Guterres, tem alertado sobre a situação do planeta ao afirmar “*Estou aqui para dar o alarme: o mundo deve acordar. Estamos à beira de um abismo - e nos movendo na direção errada*”. Apesar dessa frase não responsabilizar quem está direcionando o planeta para um abismo infinito, podemos elencar

as políticas irresponsáveis das grandes economias mundiais, a ganância do mercado global, a exploração desenfreada do capital natural, os rentistas que demandam lucros infinitos dos países e das grandes corporações, as políticas de redução, fragmentação, exploração e destruição das grandes florestas, as ideologias perversas, guerras desnecessárias e os descasos dos cidadãos. Essas ações minam a sobrevivência da biodiversidade, bem como os seres humanos, aniquilando o meio em que vivem. Se no passado houve um planeta que outrora era robusto e cheio de vida, após a evolução do *Homo sapiens* ele foi se tornando doente com um meio ambiente reduzido e degradado. Muitas foram e estão sendo as consequências desses danos ambientais que são sentidos pelas pessoas mais vulneráveis, pois elas que são submetidas a tratamentos injustos, miséria, fome, migração forçada e a insegurança na saúde.²⁰

Objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS)

Durante a 55ª sessão da Assembleia Geral da ONU, na Cúpula do Milênio que ocorreu de 6 a 8 de setembro de 2000, foram estabelecidas as metas do milênio com o apoio de 191 nações. Esses países concordaram com os ajustes necessários para o planeta e então estabeleceram oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) com vinte e uma metas e sessenta indicadores.²¹ O estabelecimento desses ODMs foram decorrentes de muitas discussões em reunião anteriores que já estavam preocupadas com os riscos globais decorrentes das crescentes mudanças ambientais ligadas aos modelos de gestão adotados para o acesso e consumo do capital natural e as políticas socioeconômicas. Foi um marco histórico e eficaz de mobilização global para alcançar um conjunto de importantes prioridades sociais em todo o mundo.^{22,23}

As ideias que nortearam os oito grandes ODM desejavam que o mundo progredisse rapidamente rumo à eliminação da extrema pobreza e da fome do planeta, fatores que afetavam especialmente as populações mais pobres, dos países menos desenvolvidos associadas à implementação de políticas de saúde, saneamento, educação, habitação, promoção da igualdade de gênero e meio ambiente, além de medidas para o estabelecimento de uma parceria global para o desenvolvimento sustentável.²⁴ Com isso, o Secretário geral da ONU à época, Ban Ki-Moon, escreveu no prefácio do Relatório final dos ODMs: “*A mobilização global que apoiou os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio resultou no movimento contra a pobreza com mais sucesso da história*”.

Em 2014 se iniciaram as discussões sobre uma agenda para desenvolvimento sustentável e o Brasil instituiu um grupo de trabalho interministerial através da Portaria Interministerial nº 116, de 19 de fevereiro de 2014. No

ano seguinte, a ONU reafirmou e ampliou todos os seus compromissos das conferências anteriores e lançou em uma visão mais abrangente chamada de “Agenda 2030” com os ODS. Essa agenda foi um consenso entre os Estados membros da ONU, sociedade civil e outros parceiros com objetivos para impulsionar ações de combate à pobreza e para promover o desenvolvimento sustentável.

A “Agenda 2030” repetiu alguns ODMs e mais que dobrou os objetivos, metas e indicadores e se tornaram temas orientadores de todas as ações de governança sustentável no mundo (Figura 1).²⁵ Contudo, o mundo está muito distante de cumprir as metas dos ODS até 2030.



Figura 1. Objetivos, metas e indicadores dos ODS

De acordo com o que foi estabelecido na Agenda 2030, os países signatários desse acordo precisam nacionalizar as metas e determinar os indicadores dos ODS em seus territórios. No Brasil, a implementação dos ODS foi instituída através do Decreto nº 8.892, de 27 de outubro de 2016 que criou a Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (CNODS), com representantes do governo e da sociedade civil, para articular todos os aspectos dos ODSs.²⁶ Em outubro de 2017 a CNODS publicou o seu Plano de Ação 2017-2019 para adequar as 169 metas dos ODS e seus respectivos indicadores globais à realidade brasileira.²⁷

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), além de ficarem responsáveis pelo fornecimento dos dados planejados para os indicadores nacionalizados pelo CNODS, foram também responsáveis pela nacionalização das metas e seus

indicadores.²⁸ No final de 2018 a CNOODS publicou seu relatório de atividades 2017- 2018.²⁹ Das 169 metas, 167 foram consideradas pertinentes ao país. Sendo 39 metas globais que foram mantidas em seu formato original e 128 foram alteradas e adequadas a realidade brasileira.

O Decreto nº 9.759, de 11 de abril de 2019³⁰ extinguiu a CNOODS com o propósito de estabelecer e definir qual seria a melhor estratégia a ser adotada para a nova Governança da Agenda 2030 no Brasil. O Decreto nº 9.980, de 20 de agosto de 2019, estabeleceu como competência a Secretaria Especial de Articulação Social (SEAS) da SEGOV-Presidência para a implementação da Agenda 2030 no Brasil. Em 27 de dezembro, o Presidente da República vetou o art. 3º do Projeto de Lei nº 21, de 2019-CN, que em seu item VIII tratava da promoção do uso sustentável e eficiente de recursos naturais, considerados os custos e os benefícios ambientais, ou seja, a aplicação dos ODS como diretriz do Plano Plurianual (PPA) 2020-2023.³¹

É importante enfatizar que os ODS são orientações gerais para uma abordagem coordenada no gerenciamento do meio ambiente do planeta. Cerca de um quinto da superfície terrestre já está em estágios avançados de degradação. A Agenda 2030 recomenda ações através de 17 ODS que estão correlacionados entre si para que as ações sejam complementares na gestão sustentável dos recursos naturais e o desenvolvimento social e econômico, bem como promove a resiliência dos ecossistemas e a redução dos riscos de desastres.

Assim, neste artigo, serão exploradas as diversas implicações do ODS de nº 12 e suas interconexões com as mudanças climáticas e a degradação ambiental que levam as inundações, desertificações, secas, degradação ambiental, fome, miséria, contaminação das águas dos lagos, rios e oceanos, extinção de espécies, acarretando em perdas da biodiversidade, dentre outros fatores. Apesar do ODS de nº 12 estar correlacionado com todos os outros 17 ODS, ele está mais interligado aos ODS de nº 10, 11, 13, 14 e 15, conforme destacado na Figura 2.

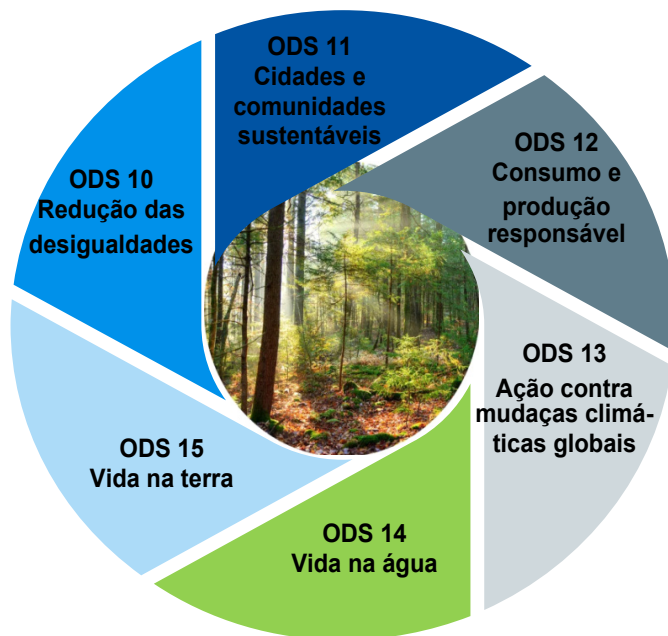


Figura 2. Conexão dos ODS de nº 10, 11, 12, 13, 14 e 15.

Para se discutir a respeito de qualquer aspecto sobre o consumo e produção responsáveis, como proteger o planeta da degradação, é preciso entender as metas originais propostas no ODS de nº 12 e como essas metas foram nacionalizadas. Contudo, quando se trata de controlar o consumo, não é possível se perder de vista a questão do desperdício que é muito grave quando se trata de alimentos. O Quadro 1 compara as oito metas do ODS nº 12 elaboradas pela ONU e essas metas nacionalizadas.

Quadro 1. As sete metas originais e nacionalizadas do ODS de nº 12

Metas Originais da ONU	Metas Nacionalizadas no Brasil
<p>Meta 12.1</p> <p>Implementar o Plano Decenal de Programas Sobre Produção e Consumo Sustentáveis, com todos os países tomando medidas, e os países desenvolvidos assumindo a liderança, tendo em conta o desenvolvimento e as capacidades dos países em desenvolvimento.</p>	<p>Meta 12.1</p> <p>Implementar o Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis, em articulação com entes federados.</p>
<p>Meta 12.2</p> <p>Até 2030, alcançar gestão sustentável e uso eficiente dos recursos naturais.</p>	<p>Meta 12.2</p> <p>Meta mantida sem alteração.</p>
<p>Meta 12.3</p> <p>Até 2030, reduzir pela metade o desperdício de alimentos <i>per capita</i> mundial, em nível de varejo e do consumidor; e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita.</p>	<p>Meta 12.3</p> <p>Meta mantida sem alteração.</p>
<p>Meta 12.4</p> <p>Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente adequado dos produtos químicos e de todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionalmente acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente.</p>	<p>Meta 12.4 (Brasil)</p> <p>Meta mantida sem alteração.</p>
<p>Meta 12.5</p> <p>Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.</p>	<p>Meta 12.5</p> <p>Meta mantida sem alteração.</p>
<p>Meta 12.6</p> <p>Incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar práticas sustentáveis e a integrar informações sobre sustentabilidade em seu ciclo de relatórios.</p>	<p>Meta 12.6</p> <p>Incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e transnacionais, a adotar parâmetros e práticas de responsabilidade socioambiental e a integrar informações acerca dessas práticas em seus sistemas, bancos de dados e ciclo de relatórios.</p>
<p>Meta 12.7</p> <p>Promover práticas de compras públicas sustentáveis, de acordo com as políticas e prioridades nacionais.</p>	<p>Meta 12.7</p> <p>Promover práticas de contratações e gestão públicas com base em critérios de sustentabilidade, de acordo com as políticas e prioridades nacionais.</p>
<p>Meta 12.8</p> <p>Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização sobre o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza.</p>	<p>Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização sobre o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza, em consonância com o Programa Nacional de Educação Ambiental (PRONEA).</p>

As metas traçadas no ODS nº 12 têm diversas dimensões que vão desde a elaboração e implantação de um Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis que explicita como se situa produção e o consumo de forma sustentável e o ciclo de vida dos produtos. A governança federativa e órgãos da sociedade deveriam ser os responsáveis pela elaboração e divulgação desse Plano. Em particular no caso dos alimentos, as metas destacam a questão do uso eficiente dos recursos naturais, manejo adequado dos produtos químicos evitando contaminar o ar, água e solo e o desperdício dos alimentos ao longo das cadeias de produção pós-colheita e abastecimento. Não menos importante é o reaproveitamento de todos os resíduos especialmente das empresas grandes e transnacionais. Em termos econômicos, as metas indicam que as compras públicas sustentáveis, deveriam ter prioridades nacionais. A informação para as pessoas também foi destacada na meta 12.8 para que o desenvolvimento sustentável seja condizente com os estilos de vida e em harmonia com a natureza. Nessa meta o Brasil se propôs a criar o Programa Nacional de Educação Ambiental (PRONEA).

O PRONEA foi efetivamente criado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), do Ministério do Meio Ambiente, com ações educativas e de integração ambiental, social, ética, cultural, econômica, espacial e política em consonância com o desenvolvimento do País. Apesar do Brasil ter assinado o acordo da ONU, a partir de 2018 abandonou completamente todas as metas dos ODS, inclusive nenhum outro documento do CNODS foi divulgado até 2022, porém o PRONEA continua sendo executado.³²

Consumo responsável com o olhar no ODS nº 12: Meta 12.2

A Meta 12.2 do ODS nº 12 sustenta que devemos até 2030 alcançar gestão sustentável e uso eficiente dos recursos naturais, ou seja, controlar o consumo em todas as suas dimensões e a produção de bens. As sociedades estão estruturadas através do mecanismo de consumo no qual os indivíduos buscam felicidade, importância e *status*. Quanto mais um indivíduo consome bens, maior é a sua demonstração de riqueza e sucesso pessoal, o que também ocorre nas grandes nas sociedades de consumo dos países que formam os grandes mercados internacionais de consumo.^{33,34}

O consumo sem consciência sustentável é um comportamento que se ampliou com o crescimento populacional, principalmente, causado pelo homem no período chamado de Antropoceno, “época de dominação humana”, mas em realidade o consumo vem se ampliando desde que os caçadores e

coletores começaram evoluir e consumir o capital natural do planeta.³⁵ O comportamento de indiferença quanto ao uso do ambiente natural e de seus recursos se intensificou com o intercâmbio colombiano e com a Revolução Industrial. A inadequação desse modelo inicial de ação deletéria sobre o capital natural do planeta continua sendo insatisfatória para manter a vida e, esse tipo de comportamento se propagou para as modernas sociedades de consumo que foram incapazes de se ajustarem com um crescimento econômico viável. O pensamento antigo e atual é que o capital natural é infinito. O xamã yanomami Davi Kopenawa tem uma explicação para essa exploração irracional do capital natural: “As coisas que os brancos extraem das profundezas da terra com tanta avidez, os minérios e o petróleo, não são alimentos. São coisas malélicas e perigosas, impregnadas de tosses e febres, que só Omama conhece. Ele, porém, decidiu, no começo, escondê-las sob o chão da floresta para que não nos deixassem doentes”.³⁶

O consumo de qualquer item (materiais, agrotóxicos, energia, combustíveis fósseis, alimentos, água, etc.) é uma ação complexa que passa por decisões pessoais, públicas e de governanças corporativas. Os produtos consumíveis não são acessíveis a todas as pessoas, pois está ligado a capacidade financeira das pessoas. Para os que têm renda, o consumo é uma atividade física, mental, e emocional que se manifesta na seleção, compra e uso de produtos e serviços que satisfazem as necessidades e os desejos. Na equação mental do consumo de materiais, a origem e o descarte dos produtos, pouco são levados em consideração.³⁷

A eficiência no uso dos recursos globais para o consumo e produção deve se empenhar para evitar degradação ambiental, mas manter o crescimento econômico. Essa proposta está inserida na meta nacionalizada 12.1 que trata da implementação de um Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis (Quadro 1). Não há como se atender a essa meta sem que todos os municípios tenham um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos que atenda Lei Federal 12.305/2010, que dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Existem diversos dilemas entre consumo e crescimento voltado a um desenvolvimento sustentável e que seja centrado nas pessoas e não exclusivamente na produção. Do estilo de vida das pessoas saem as decisões de consumo dentro das estruturas sociais, econômicas e políticas. Vários fatores influenciam o consumo consciente e que considera a sustentabilidade. Um desses fatores é ter a consciência de que a vida na Terra só poderá ser mantida se os recursos que usarmos para satisfazer as nossas necessidades diárias sejam oriundos de fontes renováveis. Como é inviável aumentar os recursos líquidos e finitos disponíveis, a alternativa prática é reduzir o consumo de

recursos e frear o lucro. O padrão secular das corporações é o crescimento associado a resultados positivos, que para as sociedades o aumento da prosperidade e bem-estar de uma nação está normalmente associado ao crescimento do Produto Interno Bruto (PIB). Contudo, é importante enfatizar que é possível associar o consumo com o crescimento econômico, desde que respeitem os princípios da sustentabilidade e dos ambientes naturais.

O consumo e a sustentabilidade estão correlacionados em nível agregado, de modo que o consumo excessivo precisa de mais reservas ecológicas levando a perda da capacidade de resiliência dos recursos planetários e, portanto, está negativamente correlacionado com a sustentabilidade. Por sua vez, o consumo excessivo também está correlacionado com o crescimento econômico; se o consumo geral de produtos e serviços aumentam eles estimulam uma maior produção e maior crescimento econômico. Esse aumento linear e incessante crescimento econômico está negativamente correlacionado com a sustentabilidade. Portanto, o consumo é o responsável por promover maior crescimento econômico que conseqüentemente impacta negativamente na sustentabilidade. Desse modo, é fundamental que se encontrem novos modelos e novas tecnologias de produção local e global reutilizando os materiais para um consumo numa economia circular e sustentáveis. O consumidor não pode ser considerado como o causador dos problemas ambientais, pois as corporações estimulam através de *marketing* produtos não sustentáveis, inclusive incentivam o consumo até de produtos prejudiciais à saúde.

Um bom exemplo para se analisar o consumo é a água, um capital natural, público, essencial à vida e de uso comum de todos os seres vivos. Os oceanos detêm 97% da água da Terra e a água doce corresponde apenas a 3% e a água que contém na atmosfera compreende menos de 0,001%.³⁸ Se analisarmos os 3% de água doce, há algum sentido os seres humanos poluírem esse pequeno percentual e ainda cobrar pela água potável? Há sustentabilidade nisso?

Água imprópria é um dos problemas ambientais e de saúde mais sérios do mundo, especialmente em países pobres e em desenvolvimento, tendo em vista que a cada ano, 1,2 milhão de pessoas morrem devido ao consumo de água contaminada.³⁹ Além disso, os perigos químicos na água potável são múltiplos e de várias origens, por exemplo, nitrato da agricultura e da pecuária intensiva, arsênico ou flúor de fontes naturais, produtos químicos industriais de efluentes não tratados, bem como subprodutos químicos formados durante processos de desinfecção para inativar patógenos.⁴⁰

Um bilhão de pessoas vivem em extrema pobreza,⁴¹ sem água potável, ou seja, não podem pagar pela água.⁴² Poluímos as águas dos rios e pagamos mais caro por ela “purificada” por grandes corporações. Quanto mais

poluímos a água, mais os custos da sua purificação aumentam e, em contrapartida, aumentam os lucros das empresas que coletam e purificam.

Da mesma forma, poluímos as praias, que vai desde esgoto até micro e nano plásticos, sendo que esse tipo de poluição está emergindo como um problema ambiental global. Importante salientar que a água e o ar são capitais naturais, comuns e essenciais para a vida. Assim, será que ar puro poderá ser cobrado no futuro?⁴³

Analisando a natureza, ela já está mostrando sinais de esgotamento com inundações e secas alternadas. Os prejuízos econômicos causados pela seca no Estado do Rio Grande do Sul, de janeiro de 2020 a março de 2022, ultrapassaram R\$ 42 bilhões e causaram o desabastecimento de água para o consumo.⁴⁴ O consumo em si não é simples, pois é influenciado por diversos fatores que envolvem as corporações, as sociedades e o comportamentos dos indivíduos. Na Figura 4 estão listadas algumas razões para o consumo, sendo algumas dessas estimuladas pelas corporações e outras oriundas de aspectos culturais⁴⁵



Figura 4. Fatores que podem influenciar o consumo humano.

A preocupação ambiental não necessariamente se traduz em comportamento de compra ambientalmente recomendável. O mais importante indicador desse comportamento é o consumo doméstico do dia a dia em que se pode verificar o engajamento em pautas sustentáveis. O consumo doméstico

impacta o meio ambiente, principalmente por bens de consumos, como mantimentos, materiais de construção, materiais de limpeza e higiene, móveis, vestimentas, fármacos e o uso de energia, que inclui também energia para o transporte.^{46,47}

Os hábitos de consumo também variam entre os jovens e em relação ao gênero, uma vez que os homens e as mulheres possuem algumas necessidades distintas. Entre universitários, o comportamento do consumo tem um discurso sustentável, mas na prática a escolha dos produtos depende do preço.⁴⁸ Porém, o *marketing* social pode modificar o comportamento do consumidor em direção ao consumo de produtos sustentáveis e estimular uma política global anticonsumo.⁴⁹

É possível contornar esses problemas de consumo excessivo de produtos, como produtos não sustentáveis e não biodegradáveis, por intermédio da realização de estratégias de marketing inteligente para uma sociedade sustentável, porém não há interesse da maioria das corporações em fazê-lo, haja vista que priorizam apenas o lucro.

Ações contra produtos não sustentáveis devem envolver estímulo a evasão ao consumo pelo consumidor, boicotes aos produtos não sustentáveis, campanhas publicitárias antimarcas aos produtos que estejam em conflito com as metas para a sustentabilidade e que não se adequam aos ODS. Dentre as ações, também se deve mostrar o excessivo lucro corporativo com produtos não sustentáveis, e buscar ações educativas nas escolas, destacando as vantagens da sustentabilidade.

Não menos importante é incentivar as empresas, especialmente as empresas grandes e as multinacionais, a adotar parâmetros e práticas do *Environmental, Social and Governance (ESG)*. As normas e as rastreabilidades estabelecidas no ESG estão previstas na Meta 12.6 que propõem incentivar as empresas a adotar práticas sustentáveis e a integrar essas informações no processo de comercialização. Uma empresa só deveria adquirir produtos de outra empresa que demonstrasse ter responsabilidade socioambiental e que tenha as ESG no centro de sua operação, desde a emissão zero de CO₂ à economia circular. Esse modelo oferecerá vantagem comercial sustentável e valor mensurável as empresas que demonstrarem práticas de sustentabilidade em seus ciclos produtivos. O mesmo comportamento deveria ser seguido pelas compras públicas que deveriam exigir dos fornecedores demonstração de práticas de ESG. Essa sugestão está prevista na Meta 12.7 que recomenda que as compras públicas deveriam vir de produção sustentável.

A humanidade já teve um comportamento mais sustentável por meio de um consumo mais consciente, mesmo que tenha sido praticado pela minoria. No passado o leite vinha em vidros com tampa de alumínio e, recentemente,

é comercializado em embalagens descartáveis de tetrapak. Esse sistema de dois materiais é complexo, pois tem uma reciclagem mais difícil. Os copos e pratos descartáveis eram de papelão biodegradável, as verduras não vinham cortadas em bandejas de isopor e revestidas de filme de PVC, os sacos e bolsas de supermercados eram de papelão, os comprimidos de medicamentos não vinham em *blisters* (mistura complexa de plástico com alumínio), os tecidos eram de algodão, algodão-linho, seda ou linho, e os corantes eram de fontes naturais, os pesticidas eram de fontes naturais ou biopesticidas, isso até a Revolução Industrial. Contudo, nos dias atuais há uma busca crescente por instrumentos que possam ajudar a facilitar uma mudança para padrões de consumo mais sustentáveis.

Desperdício de alimentos: Meta 12.3

A insegurança alimentar é insustentável e está afetando diversos países, sendo identificada como um importante impulsionador dos níveis médios de bem-estar.⁵⁰ Nesse sentido, desperdiçar alimentos ao invés de consumi-los é um problema que agrava a situação, pois pessoas saudáveis são um dos requisitos para um planeta saudável. O significado dos desperdícios foi reconhecido e tratado na Meta 12.3 do ODS de nº 12, mas também está ligada ao ODS nº 2 que estabelece a condição de fome zero até 2030.

Considera-se desperdício de alimentos nas cadeias de abastecimento, aqueles alimentos que são descartados/não consumidos a tempo desde a produção agrícola inicial até ao consumo doméstico final, mas que continua sendo adequado para consumo humano.⁵¹ Um fato cada vez mais preocupante é o desperdício sistemático de alimentos nas cadeias produtivas - agricultura, indústria de alimentos, atacado e varejo, sistema de água, restaurantes e atividades domésticas, que ocorrem em nível regional, nacional e internacional. A Meta 12.3 é muito relevante, pois o desperdício de alimentos representa a perda de mais de um terço dos alimentos produzidos e esses produtos causam grande impacto ambiental, bem como também perda de renda.

O desperdício está diretamente relacionado com o consumo, pois se há desperdício será preciso aumentar a produção e, o aumento da produção, demandará mais recursos naturais, como água e fertilizantes na agricultura, água para criação pesqueira e pecuária. Ao examinar o impacto nas mudanças climáticas, o desperdício de alimentos representa uma contribuição de 25% no impacto ambiental e climático. Há muitas soluções que podem melhorar a eficiência de recursos na cadeia de abastecimento e consumo de alimentos para alimentar 8 bilhões de pessoas. Porém, como essas cadeias são muito diversificadas, elas são de difícil implantação, mas uma solução que perpassa

todas as cadeias é a redução dos efeitos climáticos sobre a agricultura de modo que haja um aumento da produtividade.⁵²

Outras soluções voltadas para melhorar a eficiência do uso dos recursos são: alterar a dieta das pessoas, identificar pontos críticos das perdas nos transportes, produzir alimentos menos perecíveis com embalagens biodegradáveis, priorizar a distribuição dos alimentos menos atrativos para comercialização, reaproveitar biomassas residuais para a produção de alimentos pós-colheita ou biogás e biofertilizantes e remover obstáculos legais para o usos de alimentos que ainda se encontrem com qualidade para o consumo humano.⁵³

Além disso, é importante aliar esses assuntos com a comunicação, como gerar campanhas de informação e comunicação para sensibilizar cada um dos intervenientes da cadeia alimentar e consumidores, executar plano de boas práticas para evitar perdas e desperdícios, melhorar a clareza das rotulagens quanto à data e armazenamento, boas práticas agrícolas e veterinárias na fase primária de produção, boas práticas de fabricação e higiene no processamento de alimentos e infraestruturas de transportes e energia adequadas.⁵⁴ A Figura 5 ilustra exemplo desses aspectos levantados e algumas alternativas de soluções para diminuir o desperdício de alimentos.



Figura 5. Algumas soluções propostas para diminuir o desperdício de alimentos.

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) recomenda aos países membros que sejam implantadas políticas para reduzir o desperdício de alimentos, apesar de reconhecer que o padrão e a escala do desperdício de alimentos em toda a cadeia de abastecimento

permanecem pouco compreendidos, pois a perda de alimentos é uma questão complexa, de causas múltiplas inter-relacionadas e contribuem para o aumento dos preços ao consumidor. Adicionalmente, o desperdício de alimentos causa o aumento dos gases de efeito estufa, que também aumenta as secas e inundações. A conjunção desses fatores afeta negativamente os rendimentos das culturas e interrupções na cadeia de suprimentos. Em 2011, Gustavsson e colaboradores estimaram que a perda anual de todos os alimentos produzidos para consumo humano alcança 1,3 bilhão de toneladas por ano.^{55,56}

A Agência da Organização para Alimentação e Agricultura da ONU (*Food and Agriculture Organization, FAO*) considera que o desperdício de alimentos representa um flagelo e tripla perda de oportunidade, pois poderia contribuir para melhorar o controle do clima, aumentar segurança alimentar e diminuir a fome global. O número de pessoas afetadas pela fome aumentou para 828 milhões em 2021, um aumento de cerca de 46 milhões desde 2020 e 150 milhões desde 2019. Ao todo, estima-se que 3,1 bilhões de pessoas não tenham acesso a uma alimentação saudável.^{57,58} A FAO estimou em 2019 que aproximadamente 14% dos alimentos produzidos no mundo, algo em torno do valor de US\$ 400 bilhões por ano, são perdidos depois de colhidos e antes de chegarem às lojas e que mais 17% acabam sendo desperdiçados no varejo e nas residências dos consumidores. Esses alimentos desperdiçados poderiam aumentar a oferta de alimentos para alimentar 1,26 bilhão de famintos todos os anos. É importante salientar que a fome impõe um alto custo a qualquer país, no seu sistema de saúde, na economia, educação e meio social.⁵⁸

O desperdício de alimentos nas cadeias de alimentos e as perdas da pós-colheita acabam contribuindo como resíduos domésticos e comerciais. Diminuindo-se esses resíduos, também se diminui a carga ambiental desses materiais biodegradáveis, mas que podem causar danos à saúde humana e ao meio ambiente. Obviamente os resíduos sólidos são feitos de materiais distintos e com base em determinadas matérias-primas e produtos químicos. Existem muitos outros resíduos ou produtos muito mais agressivos, como restos de materiais de construção/demolição e as próprias embalagens usadas/descartadas.

Gestão dos resíduos e produtos químicos: Meta 12.4

De todas as metas previstas no ODS de nº 12, a gestão dos resíduos e produtos químicos é sem dúvida a mais complexa. Os resíduos, a princípio, deveriam ser atóxicos quando liberados para o ar, água e solo e com ciclo de vida curto. O número de produtos químicos que são usados na produção de bens de consumo, incluindo alimentos, é muito grande e vão desde pesticidas, conservan-

tes, emulsificantes, corantes, metais, polímeros (plásticos em geral), até gases nocivos. A maioria desses resíduos não têm sua toxicologia conhecida e como interagem com a fauna e a flora. Eles são degradados no ambiente em tempos variáveis e podem gerar novos produtos tóxicos. Como constatado, esse tema é extremamente importante, diversificado e complexo.

Gestão dos resíduos: primeira parte da Meta 12.4

A geração e tratamento dos resíduos sólidos, orgânicos e inorgânicos, em produtos acabados e sobras de produção é um assunto que tem sido revisado por diversos pesquisadores e, também, tem sido alvo de diversas políticas públicas. Não se pretende neste artigo discutir todos os aspectos relacionados a produção e consumo dos resíduos sólidos, mas mostrar a visão da economia circular que pode diminuir consideravelmente a produção desses resíduos não biodegradáveis.

O desperdício de alimentos nas cadeias de alimentos, nas residências e instituições comerciais é preocupante, pois demanda alta resiliência dos sistemas ambientais. Nesse desperdício se incluem os resíduos sólidos, mas seu tratamento é diferenciado em relação a outros resíduos, por ser orgânico e biodegradável e com poder de enfrentar a questão da fome. Porém, não é o único rejeito que causa problemas ambientais. Assim, a ONU estabeleceu dentro do ODS de nº 12 duas metas que são diferentes em relação aos tipos de resíduos, a saber: Meta 12.4 e Meta 12.5. A Meta 12.5 estabeleceu redução substancial da geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso até 2030.

Os resíduos sólidos são produzidos continuamente em residências, indústrias, construção civil, agronegócios, estabelecimentos comerciais, hospitais, escolas, restaurantes, ou seja, qualquer instalação física em que haja qualquer tipo de serviços. É preciso separar os resíduos sólidos que foram produzidos, consumidos e que terminaram sua vida útil, dos resíduos gerados nos processos de fabricação em todos os setores empresariais, como os lodos provenientes de estações de tratamento de água/esgoto e dos resíduos orgânicos. Não se pode deixar de fora o esgoto produzido pelas pessoas e animais, que apesar de ser biodegradável, devido a quantidade e a alta carga de matéria orgânica, é um problema para saúde e o meio ambiente. Neste sentido, destaca-se que a maioria dos problemas de saúde da humanidade podem ser atribuídos ao não tratamento ou gestão insuficiente dos excrementos humanos e animais que aumentam e também são responsáveis pelas emissões de resíduos gasosos, que contribuem também para as alterações climáticas.

Cada resíduo possui uma complexidade específica, sendo isso um fator importante, pois a reciclagem tem que utilizar alta tecnologia. Apesar da indústria de equipamentos eletrônicos ser uma das indústrias mais importantes do mundo, ela demanda matérias-primas escassas ou raras e produz grande quantidade de rejeitos complexos e de equipamentos eletrônicos que não são biodegradáveis, além de serem derivados de fontes não renováveis.^{59,60}

A complexidade dos resíduos é muito grande e todas as ações para reduzir/reaproveitar os resíduos sólidos objetivam diminuir o impacto ambiental. No Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos foi instituída em 2 de agosto de 2010 através da Lei nº 12.305. Apesar de ter sido instituída há mais de 12 anos, muitos municípios ainda não aderiram e muitos outros aderiram parcialmente, mas com soluções tecnológicas antiquadas.

Cerca de 40% dos resíduos sólidos gerados no Brasil são descartados de forma inadequada.⁶¹ Porém, pode-se considerar que foi um avanço, pois gerou muitos empregos nas empresas que foram constituídas para atuar nessa área. Outro instrumento mais recente foi a Lei 14.260, de 8 de dezembro de 2021, que cria a Comissão Nacional de Incentivo à Reciclagem para estimular as pessoas físicas e jurídicas à prática da reutilização, tratamento e reciclagem de resíduos sólidos.⁶²

Uma das formas de enfrentar o aumento da quantidade de resíduos sólidos que são geradas pelo consumo e que acabam afetando o meio ambiente é praticar a economia circular e a bioeconomia. Na economia circular os produtos que estão no final de sua vida útil são transformados em recursos para outros produtos, fechando um círculo ecossistêmico.⁶³ Com esse modelo muitos materiais são reutilizados estendendo sua vida útil e as indústrias minimizam resíduos.^{64,65} A economia circular também tem como objetivos estimular a confecção de produtos mais duráveis, produtos mais ecoeficientes e com boa qualidade e menor geração de resíduos.⁶⁶ Na bioeconomia estão inseridos os processos de economia de base biológica.

A economia circular é vista como parte da bioeconomia e se relaciona com a conversão de recursos biológicos em produtos e materiais. Inicialmente foram estabelecidos três princípios básicos da economia circular, conhecidos como os 3 R's da sustentabilidade: reduzir, reutilizar e reciclar, que objetivam diminuir a pressão sobre o capital natural do planeta. No entanto, esses princípios são tímidos em relação a execução de práticas para minimizar o impacto ambiental. Kristensen e Mosgaard reuniram um conjunto de 10 estratégias que são mais adequadas para a economia circular e fundamentais para a preservação do meio ambiente, a saber: recusar, repensar, reduzir, reutilizar, reparar, recondicionar, remanufaturar, reaproveitar, reciclar e recuperar.^{67,68}

O declínio da biodiversidade é em grande parte o resultado do aumento da população global, rápida industrialização, desmatamento indiscriminado, superexploração dos recursos naturais, poluição e rápida mudança no clima global. Através dessa constatação, a bioeconomia pode redefinir os processos de produção, usos produtivos e reprodutivos do capital natural, apesar de ser um termo emergente e com várias definições controversas.

A ‘revolução’ da biotecnologia atingiu uma escala em que um novo termo, bioeconomia, foi cunhado para abranger a contribuição da riqueza criada a partir da biotecnologia em 2012.⁶⁹ A bioeconomia pode ser uma grande alternativa para produção de vacinas, enzimas industriais, novas variedades vegetais, biocombustíveis, cosméticos, dentre outros. Ela adota uma via de crescimento econômico abastecida por grandes quantidades de biomassa e pelo uso da biotecnologia em múltiplos setores.⁷⁰ No entanto, ela não pode estar apenas relacionada na transição energética valorizando apenas os biocombustíveis e, muito menos, reproduzir a matriz econômica linear que tem estado em vigor por milênios, ou seja, a economia que precisa de crescimento constante a todo custo, pois ela parte do princípio de que a utilização recursos naturais devem ter foco central. Na Figura 6 estão detalhados os principais atributos que se espera da bioeconomia.⁷¹

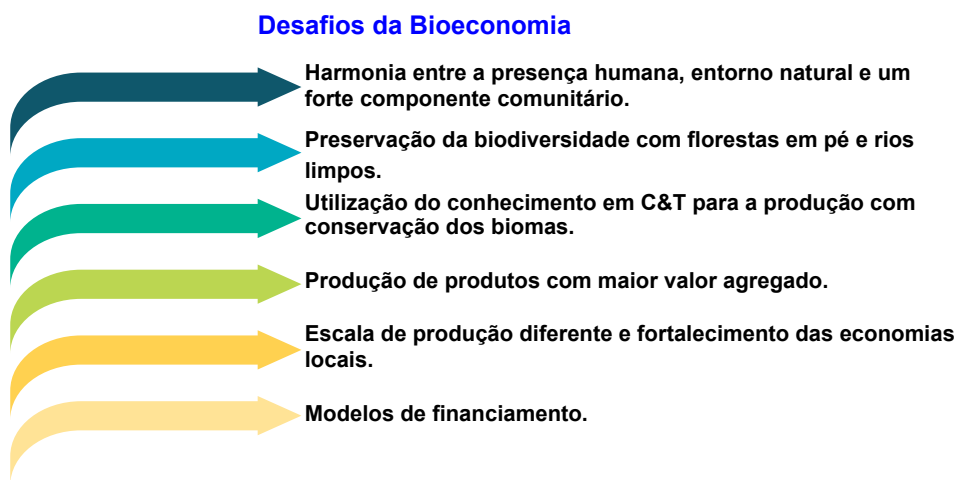


Figura 6. Principais atributos que se espera da bioeconomia

A degradação ambiental, a perda da biodiversidade e as mudanças climáticas extremas, ameaçam a estabilidade do nosso planeta. As abordagens inadequadas que foram introduzidas na natureza desde o avanço do *Homo sapiens* com respeito a produção e consumo de bens naturais estão levando

o planeta a exaustão. As epidemias, mortes, fome, desnutrição e pobreza extrema, sem contabilizar as guerras, são resultados diretos da degradação ambiental e social. No modelo de desenvolvimento sustentável a produção tem que respeitar a velocidade de regeneração dos recursos naturais, a manutenção da vida no presente e para o futuro das novas gerações. O tempo de regeneração da natureza e o tempo do consumo são bem diferentes, pois a resiliência dos ecossistemas é muito mais lenta. Os humanos precisam ter a clareza, lucidez e o discernimento dos impactos socioambientais negativos que são produzidos pelas suas atividades de produção e consumo, e que estes estão impulsionando a degradação ambiental e social. A degradação ambiental leva ao caos social e aos eventos climáticos extremos, que por sua vez causam mais caos.

O caos social pode ser medido pela taxa de mortalidade infantil, expectativa de vida ao nascer, gasto do PIB em saúde, taxa de desemprego, número de mulheres empregadas, pobreza, fome e miséria. É preciso liderança eficaz, com uma governança pública e privada adequadas, para não se alcançar essa situação de caos. Contudo, a única saída é promover um desenvolvimento sustentável, em que não há como escapar do tripé descrito na Figura 7.



Figura 7. Agentes responsáveis pelo desenvolvimento sustentável

Essas abordagens, por sua vez, aumentam a privação social e limitam o desenvolvimento rural, ambos impulsionadores da migração econômica e dos conflitos civis. Exacerbados pelo crescimento populacional, os sistemas alimentares estão no centro dessas questões globais.

Dessa forma, aqui é apresentada uma abordagem desenvolvida na África, que ilustra que é possível diversificar e reabilitar terras agrícolas degradadas

com espécies que produzem alimentos tradicionais altamente nutritivos e comercializáveis, de maneiras que melhoram a produção de alimentos por culturas convencionais de alimentos básicos. Além disso, reconstrói as funções agroecológicas e cria novas oportunidades de negócios locais para impulsionar as economias rurais e aumentar o bem-estar social. Juntos, esses benefícios promovem os meios de subsistência e a justiça social, a mitigação e/ou adaptação às mudanças climáticas e o fornecimento de habitat para a vida selvagem.

Assim, uma alternativa para os resíduos sólidos urbanos que não podem ser reciclados é o seu uso para a produção de energia por um processo chamado WTE (*Waste-to-Energy*). Ele reduz em 96% a quantidade de materiais em aterros sanitários da maneira mais eficiente e de todas as fontes possíveis, reduzindo o desperdício desses produtos, além de evitar emissões de 91 milhões de toneladas de CO₂ por ano.⁷²

Produtos químicos: segunda parte da Meta 12.4

Os produtos químicos que se referem a segunda parte da Meta 12.4 são as substâncias orgânicas ou inorgânicas oriundas das indústrias químicas e que são produzidas para um determinado fim, como fármacos, pesticidas, fabricação de polímeros, corantes⁷³ e uso nas formulações farmacêuticas, alimentares, cosméticas, bebidas e tintas.

Em particular, se destacam os tensoativos incluídos em produtos formulados e comercializados em mercados e farmácia e que chegam às residências. Apesar de muitos serem sintéticos permanece como um desafio a substituição dos tensoativos baseados em produtos vindos do petróleo por outros produtos naturais com viés “ecofriendly”, pois o destino de muitos tensoativos é o meio ambiente.⁷⁴

Para exemplificar o problema de produtos químicos lançados no meio ambiente em todo mundo e que afetam a humanidade, decidimos destacar parcialmente a questão dos pesticidas sintéticos. As grandes empresas químicas multinacionais que produzem essas substâncias tentam passar a ilusão de que esses produtos são para uma vida e um futuro melhor. Em realidade, os pesticidas sintéticos são os produtos químicos mais insustentáveis do mercado. Seu uso é empregado para funções como herbicidas, inseticidas e fungicidas, sendo muitas vezes aplicado em demasia, pois uma parte dos agricultores não se preocupam com as questões ambientais e possíveis prejuízos ao ecossistema.⁷⁵

Por outro lado, cabe destacar, que não são apenas as grandes multinacionais que produzem pesticidas, mas também as muitas novas empresas em

países em desenvolvimento que produzem genéricos de pesticidas. Essa é uma tendência mais recente nas indústrias de agroquímicos que após a caducidade das patentes de muitos pesticidas entraram no mercado e com isso, esses produtos químicos se tornam pesticidas genéricos. Os fabricantes originais perdem seus monopólios sobre eles, sendo que no geral, as empresas de genéricos representam cerca de 30% das vendas totais.^{76,76,77}

Há alternativas mais sustentáveis, muito conhecidas na literatura para o controle de pragas na agricultura conhecida como Manejo Integrado de Pragas (MIP),⁷⁸ assim como também há alternativas mais ecológicas para questões de nutrição do solo, como o uso de biofertilizantes, muitas vezes produzidos a partir de reaproveitamento de resíduos e obtidos por processos biotecnológicos^{79,80,81}

As plantas são atacadas por vários micro-organismos fitopatogênicos e por muitos anos os pesticidas naturais, como piretrinas azadiractina, rotenona, (-)-nicotina, foram usados para controlar doenças de plantas (Figura 8). Esse sistema MIP associa o meio ambiente, sustentabilidade e a dinâmica populacional das espécies invasoras numa cultura e utiliza técnicas e métodos de forma a manter a população da praga em níveis abaixo daqueles capazes de causar dano econômico, sendo que o primeiro passo para se praticar o MIP é monitorar a densidade populacional da espécie-alvo no campo.^{82,83}

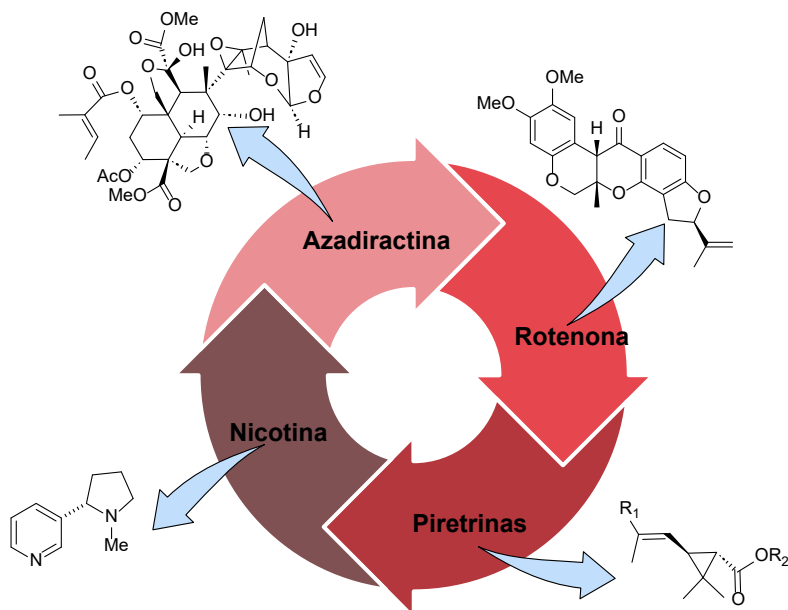


Figura 8. Exemplos de pesticidas de origem natural.

Para ilustrar os problemas dos pesticidas sintéticos destacamos o caso da mortandade das abelhas no mundo. Há muito tempo⁸⁴ se sabia que a mortalidade em massa de abelhas que ocorreu na França, na década de 1990, se deu após a introdução de dois inseticidas agrícolas que bioacumulam nos insetos.⁸⁵ No Brasil, o mesmo pesticida foi o principal responsável pela morte de mais de 50 milhões de abelhas em Santa Catarina em apenas um mês e colapso das abelhas melíferas. Os testes apontaram que a principal causa foi o uso do inseticida fipronil usado em lavouras de soja na região.^{86,87}

Ao contaminar os insetos, muitos desses pesticidas passam na cadeia alimentar e atingem os pássaros. Na Europa os pesticidas provocam declínio assustador de aves e, além disso, estudos indicam que a agricultura intensiva e o uso de agrotóxicos estão dizimando a população de aves em diversos países Europeus.⁸⁸

Em alguns países o processo é facilitado, pois governos fecham os olhos para liberação de novos produtos sem estabelecer limites toxicológicos e mecanismo de responsabilização. A justiça da Califórnia nos EUA multou em bilhões de dólares a empresa Monsanto, subsidiária da Bayer, por ser negligente ao não fornecer treinamento sobre como usar o herbicida *Roundup* (glifosato, *N*-fosfometil-glicina) e por não fornecer advertências adequadas sobre os perigos do produto.⁸⁹ Em 2020, a empresa anunciou que faria um pagamento de US \$ 10,1 bilhões para resolver aproximadamente 125.000 reivindicações de responsabilidade no desenvolvimento de câncer pelo produto *Roundup*.⁹⁰

O glifosato foi classificado pela *International Agency for Research on Cancer* (IARC) como provavelmente carcinogênico em humanos, com fortes evidências de genotoxicidade.⁹¹ Em contraste, no Brasil, este herbicida continua em uso, com recomendação da ANVISA que decidiu mantê-lo nas prateleiras dos mercados e vendas pela internet, mas com recomendações de uso restrito devido considerar que não existe evidências de que ele seja mutagênico, teratogênico, carcinogênico e desregulador endócrino.⁹²

É notório que o avanço substancial nas últimas décadas da regularização e comercialização de pesticidas e fertilizantes foi desproporcional quando comparamos ao avanço do conhecimento científico sobre seus efeitos à saúde humana e ao meio ambiente. Na contramão de um consumo sustentável a Câmara do Deputados aprovou o projeto que altera regras de registro de agrotóxicos chamado de “PL do Veneno 6299/02” que revoga totalmente a lei agrotóxicos (Lei 7.802/89). O PL muda o nome de agrotóxico para pesticidas e retira da ANVISA a responsabilidade pela liberação desses produtos.

Os neonicotinoides são pesticidas neurotóxicos que representam uma classe específica de pesticidas. São as substâncias sintéticas mais usadas

globalmente em vários cultivares desde o início dos anos 1990. Apesar de seus efeitos letais nos insetos serem bem documentados, os efeitos tóxicos e biocumulativos foram menos investigados. O primeiro neonicotinoide introduzido no mercado 1991 foi o imidacloprida que posteriormente foi acompanhado pelos inseticidas nitenpiram e acetamiprida (Figura 9).

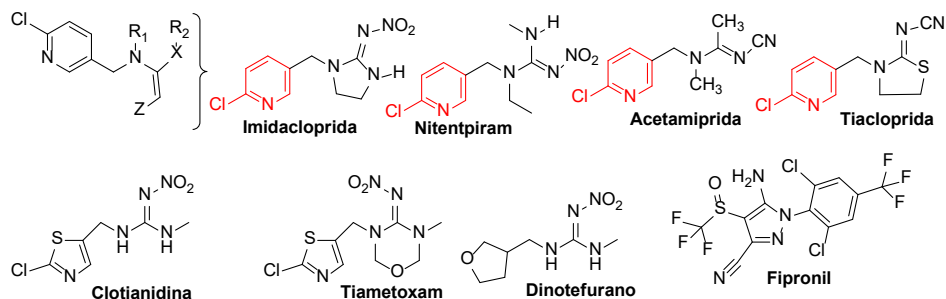


Figura 9. Exemplos pesticidas neonicotinoides e fipronil no mercado

Conclusão

Em síntese, é fundamental assegurar que pessoas em todo o mundo possuam informações relevantes e estejam conscientes sobre consumo e estilo de vida em consonância com o desenvolvimento sustentável e a preservação da natureza. Para alcançar esse objetivo, é crucial que a humanidade seja educada e informada sobre todas as dimensões da sustentabilidade, conforme delineado pela Meta 12.8, a ser alcançada até 2030. Entretanto, na realidade atual, o mundo não está adequadamente preparado para cumprir as metas do ODS nº 12 até 2030. Isso decorre, em grande parte, do consumo, produção e lucro desenfreados que impulsionam uma cadeia de eventos não sustentáveis. No âmbito deste desafio global, várias abordagens e oportunidades de aprimoramento foram apresentadas neste trabalho, indicando que, com mais tempo, a realização de todas as metas do ODS nº 12 até 2050 é uma perspectiva plausível. É essencial considerar que o planeta já enfrenta sérios problemas e que eventos catastróficos ainda podem ocorrer. Estes eventos podem, paradoxalmente, impulsionar a conscientização e acelerar a transição para o desenvolvimento sustentável. É crucial reconhecer a urgência da situação e a necessidade de ações imediatas para mitigar os impactos negativos no meio ambiente.

Referências

- 1 STATE OF CLIMATE ACTION 2022. Disponível em: <<https://www.wri.org/research/state-climate-action-2022>>. Acessado em: 4 janeiro 2023.
- 2 FERREIRA, V. F.; HÜTHER, C. M.; SANTOS, W. C.; Os custos dos ambientes desiguais e insustentáveis. *Conjecturas* **2022**, 22, 191. [CrossRef]
- 3 RIBEIRO, A.; ALBUQUERQUE M.; Cerrado é o bioma mais atingido por focos de incêndios florestais em 2022. Disponível em: <<https://www.correiobraziliense.com.br/brasil/2022/08/5029031-cerrado-e-o-bioma-mais-atingido-por-focos-de-incendios-florestais-em-2022.html>>. Acessado em: 11 janeiro 2023.
- 4 Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. Sixth Assessment Report. 2021. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>>. Acessado em: 4 janeiro 2023.
- 5 GLAVIČ, P.; Evolution and Current Challenges of Sustainable Consumption and Production. *Sustainability* **2021**, 13, 9379. [CrossRef]
- 6 BOFF, L.; *O Despertar da Águia - O Dia-bólico e o Sim-bólico na Construção da Realidade*, Editora Vozes: Petrópolis, 1998.
- 7 KOSTOULAS-MAKRAKIS, N. A Decade of Progress on Education for Sustainable Development Reflections from the Unesco, 2017. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252319>>. Acessado em: 21 dezembro 2022.
- 8 MCKEOWN, R.; HOPKINS, C.; Quality Education and Education for Sustainable Development em: A Decade of Progress on Education for Sustainable Development Reflections from the Unesco, 2017. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252319>>. Acessado em: 21 dezembro 2022.
- 9 O'FLAHERTY, J.; LIDDY, M.; The impact of development education and education for sustainable development interventions: a synthesis of the research. *Environmental Education Research* **2018**, 24, 1031. [CrossRef]
- 10 MAKRAKIS, V.; KOSTOULAS-MAKRAKIS, N. Em *New Technologies, Education for Sustainable Development and Critical Pedagogy*. MAKRAKIS, V.; KOSTOULAS-MAKRAKIS, N., eds.; Universidade de Creta: Creta, 2012, p. 9-36.
- 11 Unesco Chair in Information and Communication Technologies (Icts) in Education for Sustainable Development (Esd). Disponível em: <<http://www.unescochair.edc.uoc.gr/>>. Acessado em: 22 dezembro 2022.

- 12 DOVROS, N.; MAKRAKIS, V.; Transforming the Classroom into a Reflective Community: A Blended Learning Instructional Approach. *Journal of Teacher Education for Sustainability* **2012**, *14*, 73. [CrossRef]
- 13 ZYLBERSZTAJN, D.; LINS, C.; *Sustentabilidade e geração de valor: a transição para o século XXI*, Elsevier: Rio de Janeiro, 2010.
- 14 DIETZ, T.; Prolegomenon to a Structural Human Ecology of Human Well-Being. *Sociology of Development* **2015**, *1*, 123. [CrossRef]
- 15 ZHANG, Y.; KHAN, I.; ZAFAR, M. W.; Assessing environmental quality through natural resources, energy resources, and tax revenues. *Environmental Science and Pollution Research* **2022**, *29*, 89029. [CrossRef]
- 16 WALSH, A. T.; DOMEGAN, C.; FLEMING, D. J. Marketing's response to environmental decline and the call for sustainability. *Social Business* **2012**, *2*, 121. [CrossRef]
- 17 População mundial atinge 8 bilhões de pessoas. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2022/11/1805342>>. Acessado em: 2 fevereiro 2023.
- 18 LEAKEY, R. R. B.; A re-boot of tropical agriculture benefits food production, rural economies, health, social justice and the environment. *Nature Food* **2020**, *1*, 260. [CrossRef]
- 19 SANTOS, W. C.; HÜTHER, C. M.; FERREIRA, V. F. The dimension of hunger and misery within sustainability. *Conjecturas* **2022**, *22*, 1. [CrossRef]
- 20 O'RIORDAN, T.; Environmental science, sustainability and politics. *Transactions of the Institute of British Geographers* **2004**, *29*, 234. [CrossRef]
- 21 ROMA, J. C.; Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. *Ciência e Cultura* **2019**, *71*, 33. [CrossRef]
- 22 SACHS, J. D. Millennium Development Goals to Sustainable Development Goals. *The Lancet* **2012**, *379*, 2206. [CrossRef]
- 23 POGGE, T.; The First United Nations Millennium Development Goal: A cause for celebration? *Journal of Human Development* **2004**, *5*, 377. [CrossRef]
- 24 FUKUDA-PARR, S.; HULME, D.; International Norm Dynamics and 'the End of Poverty': Understanding the Millennium Development Goals (Mdgs). *Global Governance* **2011**, *17*, 17. [CrossRef]
- 25 PIZZI, S.; CAPUTO, A.; CORVINO, A.; VENTURELLI, A.; Management research and the Un sustainable development goals (Sdgs): A bibliometric investigation and systematic review. *Journal of Cleaner Production* **2020**, *276*, 124033. [CrossRef]

- 26 Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Cnods): Plano de Ação 2017-2019. Cnods, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2Quuccp>>. Acessado em: 21 dezembro 2022.
- 27 Plano de Ação 2017-2019. Cnods. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/ods/publicacoes/plano-de-acao-da-cnods-2017-2019>>. Acessado em: 23 dezembro 2022.
- 28 ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Proposta de Adequação. Ipea, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8636/1/Agenda%202030%20Ods%20metas%20nac%20dos%20obj%20de%20desenv%20sussten%202018.pdf>>. Acessado em: 21 dezembro 2022.
- 29 Relatório de Atividades 2017-2018. Comissão Nacional Ods. <<https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2019/05/relatorio-cnods-2017-18.pdf>>. Acessado em: 23 dezembro 2022.
- 30 Decreto nº 9.759, de 11/04/2019, D.O.U. de 11/04/2019, P. 5 Edição Extra. <<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=Dec&numero=9759&ano=2019&ato=279oxw65kezpwt12c>>. Acessado em: 23 dezembro 2022.
- 31 Projeto de Lei que institui o Plano Plurianual da União para o período de 2020 a 2023. <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1800188>. Acessado em: 23 dezembro 2022.
- 32 ProNea – Programa Nacional de Educação Ambiental. <<https://www.icmbio.gov.br/educacaoambiental/politicas/pronea.html>>. Acessado em: 13 abril 2023.
- 33 GRAZZINI, L.; ACUTI, D.; AIELLO, G.; Solving the puzzle of sustainable fashion consumption: The role of consumers’ implicit attitudes and perceived warmth. *Journal of Cleaner Production* **2021**, 287, 125579. [CrossRef]
- 34 NGUYEN, N.; JOHNSON, L. W.; Consumer behaviour and environmental sustainability. *Journal of Consumer Behaviour* **2020**, 19, 539. [CrossRef]
- 35 ALVES, J. E. D.; Antropoceno: a Era do colapso ambiental. Disponível em: <<https://cee.fiocruz.br/?q=node/1106>>. Acessado em: 17 janeiro 2023.
- 36 KOPENAWA, D.; ALBERT, B.; *A queda do céu: Palavras de um xamã yanomami*, 1a. ed., Companhia das Letras: São Paulo, 2015.
- 37 ALEXANDER, S.; Degrowth implies voluntary simplicity: overcoming barriers to sustainable consumption. Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=2009698>>. Acessado em: 6 janeiro 2023.
- 38 DE SOUZA, A. S.; LIMA, A. R. S.; Nascimento, L. F.; *Anais do I Congresso Internacional da diversidade do semi-árido*, Campina Grande, Brasil, 2016. [Link]

- 39 LAAD, M.; GHULE, B.; Removal of toxic contaminants from drinking water using biosensors: A systematic review. *Groundwater for Sustainable Development* **2023**, *20*, 100888. [CrossRef]
- 40 VILLANUEVA, C. M.; EVLAMPIDOU, I.; IBRAHIM, F.; DONAT-VARGAS, C.; VALENTIN, A.; TUGULEA, A.-M.; ECHIGO, S.; JOVANOVIĆ, D.; LEBEDEV, A. T.; LEMUS-PÉREZ, M.; RODRIGUEZ-SUSA, M.; LUZATI, A.; NERY, T. C. S.; PASTÉN, P. A.; QUIÑONES, M.; REGLI, S.; WEISMAN, R.; DONG, S.; HA, M.; PHATTARAPATTAMAWONG, S.; MANASFI, T.; MUSAH, S.-I. E.; ENG, A.; JANÁK, K.; RUSH, S. C.; RECKHOW, D.; KRASNER, S. W.; VINEIS, P.; RICHARDSON, S. D.; KOGEVINAS, M.; Global assessment of chemical quality of drinking water: The case of trihalomethanes. *Water Research* **2023**, *230*, 119568. [CrossRef]
- 41 DA SILVA, R. M. A.; Schiochet, V.; Economia solidária no plano brasil sem miséria: a construção de estratégias emancipatórias para a superação da pobreza extrema. Economia solidária e políticas públicas. *Mercado de trabalho* **2013**, *54*, 69. [Link]
- 42 DA SILVA, M. S. L.; Matthiensen, A.; Brito, L. T. L.; Lima, J. E. F. W.; de Carvalho, C. J. R.; Água e saneamento: contribuições da Embrapa. Embrapa, Brasília, Df. 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/187779/1/final8904.pdf>>. Acessado em: 13 fevereiro 2023.
- 43 HUANG, S.; PENG, C.; WANG, Z.; XIONG, X.; BI, Y.; LIU, Y.; LI, D.; Spatiotemporal distribution of microplastics in surface water, biofilms, and sediments in the world's largest drinking water diversion project. *Science of The Total Environment* **2012**, *789*, 148001. [CrossRef]
- 44 Confederação Nacional de Municípios. Disponível em: <<https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/prejuizos-economicos-causados-pela-seca-no-rio-grande-do-sul-somam-r-42-bilhoes>>. Acessado em: 24 dezembro 2022
- 45 KILBOURNE, W. E.; MCDONAGH, P.; PROTHERO, A.; Sustainable Consumption and the Quality of Life: A Macromarketing Challenge to the Dominant Social Paradigm. *Journal of Macromarketing* **1997**, *17*, 4. [CrossRef]
- 46 MOSER, A. K. Executive summary of Thinking green, buying green? Drivers of pro-environmental purchasing behavior. *Journal of Consumer Marketing* **2015**, *32*, 3. [CrossRef]
- 47 ROYNE, M. B.; THIEME, J.; LEVY, M.; OAKLEY, J.; ALDERSON, L.; From thinking green to buying green: consumer motivation makes the difference. *Journal of Business Strategy* **2016**, *37*, 37. [CrossRef]
- 48 GORNI, P. M.; GOMES, G.; DREHER, M. T.; Consciência ambiental e gênero: os universitários e o consumo sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental* **2012**, *6*, 165. [CrossRef]

- 49 SALIMATH, M. S.; CHANDNA, V.; Sustainable consumption and growth: Examining complementary perspectives. *Management Decision* **2021**, 59, 1228. [CrossRef]
- 50 SMITH, M. D.; WESSELBAUM, D.; Food insecurity predicts well-being inequality. *Preventive Medicine* **2023**, 167, 107407. [CrossRef]
- 51 LUCIFERO, N.; Food loss and waste in the Eu law between sustainability of well-being and the implications on food system and on environment. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* **2016**, 8, 282. [CrossRef]
- 52 SEPPÄLÄ, J.; MÄENPÄÄ, I.; KOSKELA, S.; MATTILA, T.; NISSINEN, A.; KATAJAJURI, J.-M.; HÄRMÄ, T.; KORHONEN, M.-R.; SAARINEN, M.; VIRTANEN, Y. An assessment of greenhouse gas emissions and material flows causes by the finnish economy using the Envimat model. *Journal of Cleaner Production* **2011**, 19, 1833. [CrossRef]
- 53 SCHMIDT, K.; MATTHIES, E.; Where to start fighting the food waste problem? Identifying most promising entry points for intervention programs to reduce household food waste and overconsumption of food. Resources. *Conservation and Recycling* **2018**, 139, 1. [CrossRef]
- 54 VITTUARI, M.; DE MENNA, F.; GARCÍA-HERRERO, L.; PAGANI, M.; BRENES-PERALTA, L.; Segrè, A. Em *Sustainable Food Supply Chains*; ACCORSI, R.; MANZINI, R., eds.; Academic Press, 2019, cap. 17. [CrossRef]
- 55 BAGHERZADEH, M.; INAMURA, M.; JEONG, H.; *Food Waste Along the Food Chain, Oecd Food, Agriculture and Fisheries Papers*, Oecd Publishing: Paris. [CrossRef]
- 56 GUSTAVSSON, J.; CEDERBERG, C.; SONESSON, U.; VAN OTTERDIJK, R.; MEYBECK, A.; Global food losses and food waste, 2011. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf>>. Acessado em: 14 abril 2023.
- 57 The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Disponível em: <<https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc0639en>>. Acessado em: 6 janeiro 2023.
- 58 SANTOS, W. C.; HÜTHER, C. M.; FERREIRA, V. F.; A dimensão da fome e da miséria dentro da sustentabilidade. *Conjecturas* **2022**, 22, 741. [Link]
- 59 VEIT, H. M.; BERNARDES, A. M. Em *Electronic Waste. Topics in Mining, Metallurgy and Materials Engineering*; VEIT, H.; BERNARDES, A. M., eds.; Springer, 2015. [CrossRef]
- 60 TSYDENOVA, O.; BENGTTSSON, M.; Chemical hazards associated with treatment of waste electrical and electronic equipment. *Waste Management* **2011**, 31, 45. [CrossRef]
- 61 MOREIRA, G.; O que é Pgrs? Disponível em: <https://legadoconsultoriajr.com.br/o-que-e-pgrs/?gclid=CjwKcaiak--dbhabeiwachiwkhcwxysesjlr4oni7apmbpwjhhilcwo-vokqk21wyijepqoetwu67xocdhsqavd_bwe>. Acessado em: 9 janeiro 2023.
- 62 Diário Oficial da União, publicado em 09/12/2021, Edição 231, Seção 1, Página 1.

- 63 ANDREWS, D.; The circular economy, design thinking and education for sustainability. *Local Economy* **2015**, *30*, 305. [CrossRef]
- 64 STAHEL, W. R.; The circular economy. *Nature* **2016**, *531*, 435. [CrossRef]
- 65 GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S.; A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production* **2016**, *114*, 11. [CrossRef]
- 66 REIKE, D.; VERMEULEN, W. J. V.; WITJES, S. The circular economy: new or refurbished as Ce 3.0? - exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. *Resources, Conservation and Recycling* **2018**, *135*, 246. [CrossRef]
- 67 KRISTENSEN, H. S.; MOSGAARD, M. A.; A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? *Journal of Cleaner Production* **2020**, *243*, 118531. [CrossRef]
- 68 KARDUNG, M.; CINGIZ, K.; COSTENOBLE, O.; DELAHAYE, R.; HEIJMAN, W.; LOVRIĆ, M.; VAN LEEUWEN, M.; M'BAREK, R.; VAN MEIJL, H.; Development of the Circular Bioeconomy: Drivers and Indicators. *Sustainability* **2021**, *13*, 413. [CrossRef]
- 69 BAYNE, K.; WREFORD, A.; EDWARDS, P.; RENWICK, A.; Towards a bioeconomic vision for New Zealand - Unlocking barriers to enable new pathways and trajectories. *New Biotechnology* **2021**, *60*, 138. [CrossRef]
- 70 ALLAIN, S.; RUAULT, J.-F.; MORAINÉ, M.; MADELRIEUX, S.; The 'bioeconomics vs bioeconomy' debate: Beyond criticism, advancing research fronts. *Environmental Innovation and Societal Transitions* **2022**, *42*, 58. [CrossRef]
- 71 BUONGIORNO, J.; On the accuracy of international forest product statistics. *Forestry: An International Journal of Forest Research* **2018**, *91*, 541. [CrossRef]
- 72 LINGHOFFER, N. B. K.; THEMELIS, N. J. Em *Waste to energy (Wte): an introduction in Waste to energy conversion technology*; Klinghoffer, N. B.; Castaldi, M. J., eds.; Woodhead Publishing Limited: Cambridge, 2013, cap. 1.
- 73 FERREIRA, P. G.; LIMA, C. G. S.; FOREZI, L. S. M.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; Aqui tem Química: Parte II: A Química dos Corantes Naturais e Sintéticos nos Supermercados. *Revista Virtual de Química* **2022**, *14*, 267. [CrossRef]
- 74 FERREIRA, P. G.; FUTURO, D. O.; FOREZI, L. S. M.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; Aqui tem Química: Parte VII. Tensoativos em Produtos Comerciais. *Revista Virtual de Química* **2023**, No prelo. [CrossRef]

- 75 FERREIRA, P. G.; HÜTHER, C. M.; DE CARVALHO, A. S.; FOREZI, L. S. M.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; Nicotina e a Origem dos Neonicotinoides: Problemas ou Soluções? *Revista Virtual de Química* **2022**, *14*, 401. [CrossRef]
- 76 MCDOUGALL, P.; AgriService, Industry Overview-2009 Market, Vineyard Business Centre Saughland Pathhead Midlothian Eh37 5Xp copyright, 2010.
- 77 POPP, J.; PETŐ, K.; NAGY, J.; Pesticide productivity and food security. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **2012**, *33*, 243. [CrossRef]
- 78 Manejo Integrado de Pragas (Mip) na Cultura da Soja: Um estudo de caso com benefícios econômicos e ambientais. Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, Ms, 2018, 46p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/187852/1/Doc-143-2018-2.pdf>>. Acessado em: 13 fevereiro 2023.
- 79 HAMACHER, L. S.; HÜTHER, C. M.; DA SILVA, L. D. B.; DO CARMO, D. F.; COUTADA, J. M.; SCHTRUK, T. G.; PEREIRA, C. R.; CECCHIN, D.; MACHADO, T. B.; DE PINHO, C. F.; Aproveitamento de água residuária de bovinocultura leiteira no cultivo de citronela: efeitos na atividade fotoquímica e na biomassa. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* **2019**, *53*, 117.
- 80 JORGE, M. F.; DA SILVA, L. D. B.; HÜTHER, C. M.; CECCHIN, D.; DE MELO, A. C. F.; FRANCISCO, J. P.; NASCENTES, A. L.; ALVES, D. G.; GUERRA, J. G. M.; Potential use of treated wastewater from a cattle operation in the fertigation of organic carrots. *Brazilian Journal of Environmental Sciences* **2022**, *57*, 542. [CrossRef]
- 81 JORGE, M. F.; DA SILVA, L. D. B.; SILVA, J. B. G.; DOS SANTOS, L. M. M.; FRANCISCO, J. P.; DE MELO, A. C. F.; NASCENTES, A. L.; CALETTI, R. P. K.; Biological pilot treatment reduces physicochemical and microbiological parameters of dairy cattle wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, **2022**, *30*, 34775. [CrossRef]
- 82 KRUPKE, C. H.; TOOKER, J. F.; Beyond the Headlines: The Influence of Insurance Pest Management on an Unseen, Silent Entomological Majority. *Frontiers in Sustainable Food Systems* **2020**, *4*, 595855. [CrossRef]
- 83 EMBRAPA. Manejo Integrado de Pragas (Mip). Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Ag01_70_16820051120.html>. Acessado em: 14 novembro 2021.
- 84 EL HASSANI, A. K.; DACHER, M.; GAUTHIER, M.; ARMENGAUD, C.; Effects of sublethal doses of fipronil on the behavior of the honeybee (*Apis mellifera*). *Pharmacology Biochemistry and Behavior* **2005**, *82*, 30. [CrossRef]
- 85 HOLDER, P. J.; JONES, A.; TYLER, C. R.; CRESSWELL, J. E.; Fipronil pesticide as a suspect in historical mass mortalities of honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2018**, *115*, 13033. [CrossRef]

- 86 TORRES, A.; O agrotóxico que matou 50 milhões de abelhas em Santa Catarina em um só mês. Disponível em : <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-49657447>>. Acessado em: 14 abril 2023.
- 87 CLOSS, M.; Jornal do Comércio. Agrotóxico pode ter causado a morte de 12 milhões de abelhas no noroeste gaúcho. Disponível em: <https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/economia/2019/01/664117-agrotoxico-pode-ter-causado-a-morte-de-12-milhoes-de-abelhas-no-noroeste-gaucha.html>. Acessado em: 12 janeiro 2023.
- 88 CAMARGO, S.; Conexão Planeta. Disponível em: <<https://conexaoplaneta.com.br/blog/pesticidas-provocam-declinio-assustador-de-aves-na-europa/#fechar>>. Acessado em: 12 janeiro 2023.
- 89 CENTNER, T. J.; Monsanto's Roundup verdicts portend liability for some pesticide health damages. *Agronomy Journal* **2020**, *112*, 4519. [CrossRef]
- 90 The Conversation. Disponível em: <<https://theconversation.com/jury-finds-monsanto-liable-in-the-first-roundup-cancer-trial-heres-what-could-happen-next-101433>>. Acessado em: 11 janeiro 2023.
- 91 Who Iarc Ia for Cr. Iarc Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Some Organophosphate Insectic Herbic Ddt, Lindane, 2-4-D **2019**. Disponível em: <<https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series>>. Acessado em: 11 janeiro 2023.
- 92 Portal G1. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2021/02/04/bayer-fecha-acordo-de-us-2-bilhoes-para-casos-futuros-de-cancer-que-envolvam-o-agrotoxico-roundup.ghtml>>. Acessado em: 11 janeiro 2023.

Capítulo 3

Rede de Saúde e Química Verde

Alcione Silva de Carvalho, Patricia Garcia Ferreira, Cristina Moll Hüther, Wilson C. Santos, Luana da Silva Magalhães Forezi, Fernando de Carvalho da Silva, Vitor Francisco Ferreira

Introdução

Com o crescimento da população mundial cresceram nas mesmas proporções as preocupações com os danos ambientais que disparam os eventos climáticos extremos. Os gases do efeito estufa são preocupantes e precisam ser reduzidos, pois não dá para continuar fazendo tudo igual e esperar um resultado diferente. Mesmo com as leis ambientais, o código de floresta e recomendações da Organização das Nações Unidas (ONU), Organização Mundial da Saúde (OMS) dentre outras, continuamos expostos ao poder destrutivo do capitalismo.¹ Por exemplo, a quantidade de dióxido de carbono no ar vem crescendo continuamente há milênios, mas que se intensificou depois da Revolução Industrial. No entanto, somente em meados do século 20 é que se entendeu que o dióxido de carbono é um dos gases que promovem o aquecimento global. No entanto, metade de todo o dióxido de carbono emitido no mundo em todos os tempos ocorreu conscientemente nos último 30 anos, mesmo os humanos sabendo do seu efeito deletério para o meio ambiente.² O crescimento da economia, da população mundial e o modo de vida moderno também elevaram as várias necessidades humanas, como por exemplo energia, alimentos, novas substâncias para a preparação fármacos e de medicamentos, sistema de saúde pública sustentável em diversas dimensões, roupas, cosméticos, combustíveis e água potável. Consequentemente, a produção desses itens tende a aumentar as preocupações com seus possíveis danos ambientais, pois suas produções levaram a geração de muitos resíduos tóxicos que ajudam a degradar a qualidade do meio ambiente. No entanto, esses produtos essenciais são necessários para a manutenção da vida e a forma como as instituições funcionam, mais

especificamente, os sistemas de cuidados a saúde. Esses itens são desafios que estão intrinsecamente ligados e precisam ser consideradas simultaneamente, pois são elementos multifatoriais. Outro viés dessa problemática é o aumento excessivo de solicitação de exames desnecessários ou meramente rotineiros solicitados pelos médicos ou agentes da área da saúde. Essa ação tem um alto impacto ambiental negativo pelo uso de suprimentos, embalagens, equipamentos etc. que contribuem para o aumento das emissões de carbono. Assim, essas emissões resultam em maior combustão atmosférica, criando um ciclo prejudicial de dano, diagnóstico/tratamento, dano.³

Esse artigo tem como objetivo discutir os principais aspectos relativos ao sistema de cuidados da saúde verde e em que pontos eles cruzam com a Química Verde (Figura 1) e como podem mitigar os diversos impactos ambientais. É importante discutir como a integração da sustentabilidade ambiental se enquadra no sistema de cuidados a saúde que devem ter instalações que vão além de um ambiente terapêutico e que deve aumentar a sensação de um ambiente de cura, mas que seja uma instalação que contribua para um ambiente sustentável, pois um sistema de cuidados verde melhora a saúde das pessoas e reduz os impactos ambientais em termos de eficiência energética, eficiência hídrica e padrões de gestão de resíduos. Há conscientização crescente de que em geral qualquer residência e instalação pública devem incorporar princípios de construção e operação, como funcionamento e uso de materiais verdes. Isso inclui o uso de luz natural, ventilação, recuperação de água, separação de resíduos para reciclagem e reagentes não tóxicos de limpeza e materiais poliméricos verdes e isentos de toxicidade. Todos são importantes, mas os sistemas de saúde precisam muito do planejamento e maximização para a separação dos resíduos na produção e o consumo, embora os elementos dos projetos de construção possam contribuir para a redução das despesas operacionais das instalações, a gestão desses espaços é tão importante quanto ter instalações sustentáveis.⁴ O mais importante é compreender que todos e todas podem fazer sua parte para mitigar os diversos impactos ambientais. Indivíduos, comunidades, sociedade, podem usar suas ações para ocorrer a mudança cultural. Porém, tem que ter uma visibilidade maior dessa conscientização para todas as camadas e esferas da sociedade (Figura 2).

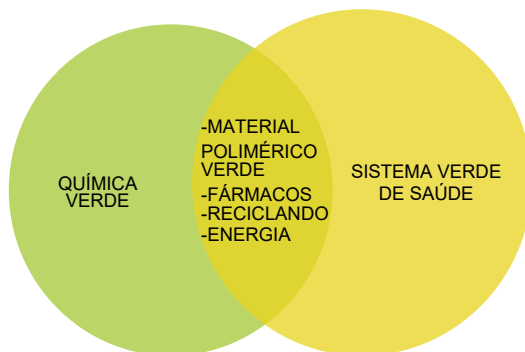


Figura 1. Interseção do sistema de saúde com a Química Verde.



Figura 2. Caminho para a consolidação do desenvolvimento sustentável pela interseção do sistema de saúde com a Química Verde.

O Objetivo do Desenvolvido Sustentável N° 3 (ODS) da ONU já estabelece que é preciso “Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades”.^{5,6} Este ODS está explicitado em 8 metas que visam garantir que todas as pessoas tenham acesso a serviços de saúde

de qualidade, incluindo prevenção, tratamento e cuidados para doenças físicas e mentais, e que sejam capazes de viver vidas saudáveis e produtivas. Especificamente a Meta 3.9 estabelece que: “Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e água e do solo”. Nesse destaque dessa meta se estabelece que os sistemas de saúde devem atuar em conjunto com todos os outros ODSs e suas metas do desenvolvimento sustentável. No entanto, estamos enfrentando desafios significativos para alcançar as metas estabelecidas pela Agenda 2030 das Nações Unidas. Os impactos socioeconômicos persistentes da pandemia da COVID-19 e a guerra na Ucrânia impactou diretamente no cumprimento dessas metas, no qual se faz urgente e necessário que a ONU tome medidas fortes, integradas e especializadas para recuperar o caminho e alcançar as metas das ODSs.

Verde nas Atividades Humanas

A melhor definição para as atividades verdes é em que há promoções de práticas sustentáveis para o meio ambiente, isto é, ações e comportamentos que visam minimizar o impacto negativo no meio ambiente, garantindo a conservação dos recursos naturais e a preservação do planeta para as futuras gerações. O termo verde foi introduzido nas décadas de 1960 e 1970 pelos ativistas ambientais para amplificar e chamar a atenção para as questões, que estavam devastando o meio ambiente e a falta de sustentabilidade do planeta que estava crescendo rapidamente. Posteriormente, esse termo foi usado para descrever produtos e práticas ambientalmente conscientes e as empresas passaram a usá-lo em seus produtos como convencimento para os consumidores com o nome ESG. Desde então, o termo tornou-se amplamente utilizado em discussões sobre sustentabilidade e ambientalismo, e agora é usado para descrever práticas, políticas e produtos que promovem a sustentabilidade ambiental. A sociedade passou a se referir como não verdes as atitudes opostas que promovem diversos tipos de poluições da água, ar e solo, desmatamento, mineração e ao esgotamento de recursos naturais. As atividades humanas verdes são variadas e aqui estão alguns exemplos: energia renovável eficiente, transporte verde, agricultura sustentável, tratamento adequado de resíduos, cuidados com oceanos, rios e lagos, construções verdes, educação voltada para a disseminação das dimensões da sustentabilidade, conservação da biodiversidade ameaçada, impacto das escolhas de consumo, saneamento básico, acabar com a fome e a pobreza, dentre outros. Portanto, esses desafios atuais das estratégias verdes são urgentes, pois é preciso dar continuidade ao desenvolvimento a vida dos povos, diminuindo os danos causados ao meio

ambiente. Nesse sentido, se requer uma nova conduta da humanidade e seus governantes e gestores para aprimorar as ações sustentáveis como, menor produção de gases indesejáveis ao ambiente.

Estratégias de Química Verde

O conceito da química verde ou química sustentável ganhou mais importância nos laboratórios de pesquisa, nas indústrias químicas e farmoquímicas que investiram tempo e recursos para melhorar as reações individualmente, e também as sínteses complexas, com técnicas mais modernas e uso de materiais de fontes renováveis. A química verde se tornou mais popular na comunidade científica e líderes da indústria a partir dos 12 princípios publicados nos Estados Unidos na década de 1990 por Paul Anastas e John Warner.⁷ De acordo com esses princípios os produtos devem ser produzidos em processos químicos que reduzam ou eliminem o uso e a geração de substâncias perigosas, que sejam economicamente viáveis, socialmente responsáveis e ambientalmente sustentáveis. Os seus princípios estavam relacionados com as reações químicas que produziam muito rejeitos perigosos para o meio ambiente em sínteses longas. Então, a química verde tradicional começou a desenvolver novas reações em um pote, reações multicomponentes, sínteses com economia de etapas, reações com solvente mais verdes, reações em fluxo e processos mais eficientes. Paralelamente, foi se desenvolvendo outras ideias como a produção eficiente de produtos químicos de baixas massas moleculares a partir de fontes renováveis da natureza.

A adoção dos princípios da química verde nos laboratórios de química e nas indústrias farmoquímicas, levou a necessidade de muitos produtos de químicos a partir de biomassas renováveis para a produção de outros produtos químicos de segunda geração e a produção materiais poliméricos verdes.⁸ A biomassa terrestre é um conjunto de materiais de peso molecular variáveis que ocupam as fontes de matéria-prima para a produção de compostos químicos, combustível e materiais biodegradáveis. Muitas políticas e incentivos foram implementados em diversos países visando o uso da enorme quantidade de biomassas das mais diversificadas fontes.⁹ As biomassas disponíveis em base renováveis da natureza são grandes oportunidades de negócios. Estimar a quantidade global de biomassa no planeta não é uma tarefa muito simples devido à diversidade de organismos vivos, mudanças climáticas, as taxas de crescimento, mortalidade por desastres naturais e mortalidade por devastação causada pela atividade humanas. Yinon M. Bar-On e colaboradores estimaram que a composição geral da biomassa da biosfera é de ~550 gigatoneladas de carbono de biomassas distribuídas entre todos as espécies dos reinos vegetais

e animais, sendo as plantas as espécies que mais produzem biomassas.¹⁰ Os setores industriais que fornecem as mais importantes matérias-primas renováveis são: setor açucareiro que produz carboidratos como açúcar, glicose, amido e melado de planta matérias-primas, como beterraba, cana-de-açúcar, trigo, milho, batata, mandioca doce, arroz, etc.; setor de processamento de óleos e gorduras que produz inúmeras intermediários oleoquímicos, como triglicerídeos, gordurosos ácidos, álcoois graxos e glicerol de matérias-primas vegetais como sementes de colza, soja, óleo de palma, coco e gorduras animais e o setor de processamento de madeira, em especial a celulose e papel que produz principalmente celulose, papel e ligninas de madeira.

A partir das biomassas pode-se obter produtos químicos para serem utilizados na produção de fármacos, materiais especiais, especialmente polímeros biodegradáveis, produção de diversos tipos de biocombustível¹¹ ou serem modificadas para serem usados materiais verdes, como por exemplo as substâncias destacadas na Figura 3. As biomassas são em princípio materiais energéticos e fontes atraentes e diversificadas de energia renovável, como cana de açúcar para a obtenção de celuloses e etanol, óleos vegetais para produção de biodiesel, resíduos agrícolas, resíduos florestais, e resíduos urbanos, macroalgas verdes^{12,13} (*Chlorophyta*) e marrom (*Phaeophyta*) para produção de biodiesel, bioetanol de terceira geração e ácido lático. Na Figura 3 estão destacadas algumas substâncias químicas que podem ser obtidas diretamente das biomassas e que servem de plataforma como uma das 12 plataformas¹⁴ para a obtenção de outras substâncias ou que podem servir como monômeros para preparação de polímeros biodegradáveis com múltiplas aplicações. Essa plataforma para o desenvolvimento de fontes sustentáveis e renováveis de produtos químicos e materiais tem uma lista bem maior de produtos químicos orgânicos viáveis em grande quantidade, que podem ser obtidos a partir de biomassas renováveis por biocatálise industrial. Essas substâncias foram escolhidas baseadas em diversos critérios para o desenvolvimento de novas tecnologias e para a preparação de materiais renováveis que sejam mais seguros, eficientes, degradáveis, menos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente.

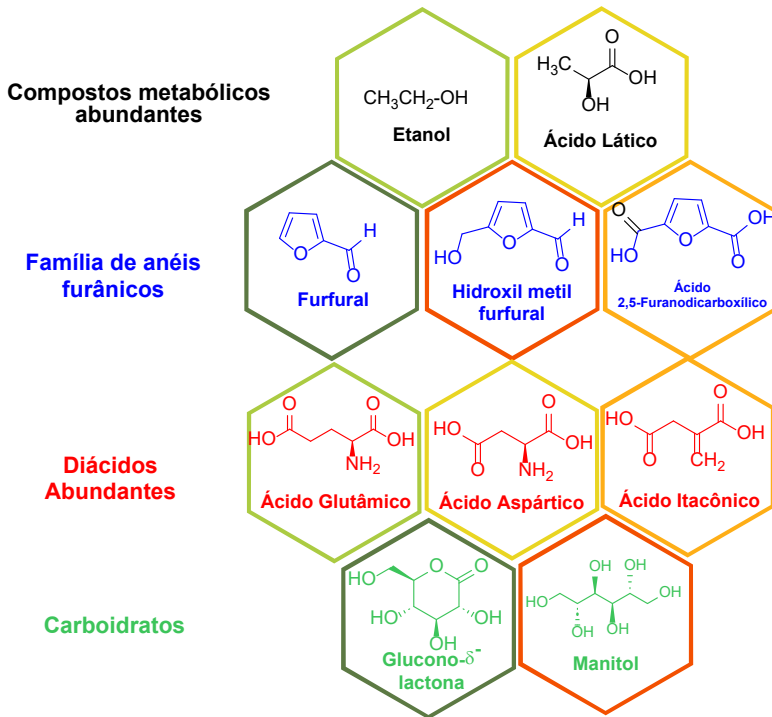


Figura 3. Alguns produtos químicos que podem ser obtidos diretamente da biomassa.

O etanol e o ácido láctico são duas substâncias de fonte renováveis produzidas em grande escala e usadas para diversos. São substâncias naturais consideradas plataformas para a produção de outras substâncias. Ambas são metabolizadas pelo corpo durante certos processos metabólicos. Industrialmente são produzidas por alguns micro-organismos a partir da sacarose e amido, e mais recentemente a partir de celulose.^{15,16} O etanol é uma commodity que foi produzido na quantidade de 109,4 bilhões de litros em 2022, principalmente de primeira geração a partir do milho e da cana de açúcar, nos EUA e no Brasil.¹⁷ É uma substância que tem muitas aplicações como, combustível, bebidas alcoólicas, higiene pessoal, medicamentos, produtos de limpeza, intermediários químicos, indústria alimentícia, armazenamento de energia, etc. O ácido láctico é um ácido orgânico versátil com muitas aplicações em diversas indústrias. Ele pode ser usado como conservante, regulador de pH e intensificador de sabor na indústria de alimentos e bebidas. Também é usado na produção de produtos lácteos, como queijo, iogurte, cosméticos, excipiente na indústria farmacêutica e na preparação do polímero biodegradável ácido polilático (PLA). O mercado do ácido láctico foi de aproximadamente 1,39

milhão de toneladas métricas e deve crescer para cerca de 2,65 milhões de toneladas até 2029. Valor de mercado do ácido láctico atingiu cerca de US\$ 1,3 bilhão em 2021.¹⁸ É importante ressaltar que a quantidade de biomassa global está em constante mudança devido a fatores como mudanças climáticas, atividades humanas e desastres naturais.

A família dos compostos contendo anel furânico é única e tem três compostos chamados de plataformas que são muito importantes para a produção de outros produtos da química fina e materiais poliméricos. O furfural possui anel furânico e um grupo aldeído usado como ou solvente ou em resinas.¹⁹ Ele é industrialmente obtido da desidratação de xilose encontrada em grandes quantidades na fração de biomassa lignocelulósicas de subprodutos agrícolas, como sabugo de milho, casca de aveia e casca de arroz. Arabinose e xilose podem servir como um matéria-prima para a sua produção de fonte sustentável. Atualmente o furfural produzido em todo o mundo vem da China. É usado principalmente como solvente, bem como na produção de outros produtos químicos, e farmacêuticos, resinas e tintas, agricultura, refinarias, setor automotivo, construção, etc.²⁰ O tamanho do mercado global de furfural foi avaliado em 2022 em US\$ 556,74 milhões e espera-se uma expansão na taxa composta de crescimento anual (CAGR) de 7,0% entre 2023-2030. Esse aumento da demanda é impulsionado pelas crescentes preocupações com produtos renováveis. O furfural é usado principalmente como solvente ou intermediário em várias indústrias de uso final, incluindo fundições, produtos farmacêuticos, tintas e revestimentos, agricultura, produtos químicos, refinarias, automotivo, construção e outros. Espera-se que a demanda por furfural cresça para usos em vários materiais refratários, como tijolos, fibra de vidro e compostos cerâmicos, aumente durante o período previsto devido ao crescimento da indústria da construção. Outra família de derivados furânicos importante é o 5-hidroximetilfurfural (HMF) obtido de frutose, glicose e sacarose pela desidratação em condições ácidas ou de alta temperatura.²¹ Esse composto é muito versátil com diversas aplicações em diversas áreas como agente aromatizante em produtos alimentícios, como panificação, confeitaria e bebidas. Na indústria química é usado como matéria-prima para a síntese de vários produtos químicos, incluindo o ácido furano-2,5-dicarboxílico (FDCA).²² O FDCA é um produto químico de base biológica que tem usos nas indústrias farmacêutica, monômero para materiais poliméricos com alta estabilidade térmica, indústria alimentar, intermediário para a síntese de pesticidas e herbicidas, bloco de construção para a preparação de moléculas mais complexas. A FDCA ganhou grande importância nos últimos anos devido a possibilidade de substituir plásticos convencionais à base de tereftalato de polietileno por FDCA.²³

Vários aminoácidos são produzidos em grande escala. Além das suas finalidades principais, podem servir de plataformas para preparação de novos produtos químicos e materiais poliméricos verdes. Na Figura 3 estão destacados dois aminoácidos extremamente importantes e um diácido. São os ácidos glutâmico, aspárticos e itacônico.

O ácido glutâmico é um aminoácido importante que desempenha uma diversidade de funções críticas no corpo humano como, neurotransmissor, síntese de proteínas. Ele é um dos aminoácidos não essenciais nas estruturas das proteínas, o sistema imunológico, promove o transporte de íons, produz energia, regula o pH do sangue, etc.²⁴ O ácido glutâmico é um precursor da glutamina, que é um aminoácido importante na produção de energia celular. Um dos produtos mais importantes derivados do ácido glutâmico é glutamato monossódico, um aditivo alimentar que é usado para realçar o sabor dos alimentos que reduz a necessidade de açúcar e sal. As principais matérias-primas usadas para produzir ácido glutâmico são melado de cana-de-açúcar, bactérias corineformes e glicose. O mercado de ácido glutâmico foi avaliado em \$ 9,9 bilhões em 2020 (800.000 toneladas/ano) está projetado para atingir \$ 16,6 bilhões até 2030, crescendo a um CAGR de 5,4% de 2021 a 2030.²⁵ Um dos produtos mais importantes derivados do ácido glutâmico é o polímero verde gamma-poly-glutamic acid (γ -PGA) que tem excelente biodegradabilidade, solubilidade em água e biocompatibilidade. γ -PGA é um biopolímero 100% natural com uma extraordinária capacidade de hidratação da pele e, portanto, diminui a aparência de linhas finas e rugas. Foi originalmente descoberto em águas-vivas marinhas e pode ser obtida da soja. Ele é produzido por certas cepas de bactérias do gênero *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus anthracis* e *Bacillus megaterium*).^{26,27} Outras propriedades do γ -PGA na pele são: facilita a esfoliação da pele da queratina velha, penetra nas camadas mais profundas, transporta umidade e os nutrientes à medida que penetra, forma um filme suave e hidratante fina, aumenta a produção do fator de hidratação natural e propriedades antimicrobianas²⁸. No geral, o γ -PGA é um biopolímero versátil com aplicações potenciais em vários campos, e pesquisas e novas aplicações ainda estão a serem desenvolvidas.

O ácido aspártico é um aminoácido natural e não essencial para os mamíferos, tendo diversas funções como neurotransmissor excitatório no cérebro. Ele é também encontrado em muitos alimentos. Ele é produzido naturalmente no corpo como parte do ciclo da ureia e que aumenta a testosterona, a força e a massa muscular e, também, a capacidade de resposta do sistema imunológico. Em algumas plantas ele funciona como transportador de dióxido de carbono. Pode ser produzido por diversos métodos,²⁹ mas a fermentação

de melaço ou outras fontes de carboidratos usando micro-organismos como *Corynebacterium glutamicum*, *Escherichia coli* e *Brevibacterium flavum*. Seu uso é muito diversificado como, síntese de outros aminoácidos, como metionina e treonina, aditivo alimentar, intensificador de sabor, cosméticos e produtos de cuidados pessoais, síntese do antiviral aciclovir, do anti-hipertensivo lisinopril e o adoçante artificial aspartame, produção de polímeros biodegradáveis, etc. O mercado de ácido aspártico foi avaliado em US\$ 93,15 milhões em 2021 e deve chegar a US\$ 150,72 milhões em 2029, registrando um CAGR de 6,20% durante o período de previsão de 2022 a 2029.³⁰

Os carboidratos são importantes produtos naturais envolvidos em todos os processos bioquímicos das espécies. Podem ser estruturas simples, como monossacarídeos e dissacarídeos, ou complexas, como polissacarídeos heterogêneos e glicoproteínas. É a classe de produtos naturais mais diversificadas e nos organismos fornecem energia sustentada ao corpo e são as bases moleculares para todas as outras substâncias.³¹ Em termo aproveitamento na química verde são as plataformas para produção de produtos químicos e materiais verdes.³² A produção industrial dos carboidratos fica apenas atrás dos óleos vegetais. 95% da biomassa produzida na natureza é formada de carboidratos, cerca de 200 bilhões de toneladas, e 5% é utilizada pelo homem. A sacarose é o dissacarídeo mais abundante e a celulose é o polissacarídeo mais abundante. Na Figura 3 foram selecionados dois carboidratos abundantes que tem importância para a Química verde e para o sistema de saúde verde.

O ácido itacônico é um composto orgânico cristalino branco, possuindo um grupo vinilideno, que ocorre naturalmente, não-tóxico, e rapidamente biodegradável. Ele pode ser produzido pela fermentação com vários micro-organismos, como bactérias, fungos e leveduras. Porém, desde a década de 1960 é produzido industrialmente por fermentação de hidratos de carbono tais como glucose, utilizando *Aspergillus terreus*.³³ É utilizado principalmente como um co-mônômero na produção de acrilonitrilo-butadieno-estireno e acrilato de látex com aplicações na indústria de papel e revestimento arquitetônico. Ácido itacônico tem atividade in vitro contra bactérias que expressam a enzima isocitrato liase, tais como *Salmonella enterica* e *Mycobacterium tuberculosis*. O ácido itacônico tem várias aplicações industriais, inclusive como precursor para a síntese de vários polímeros e copolímeros, como o ácido poli-itacônico e o ácido metacrílico na produção de fibras sintéticas, resinas e revestimentos. Devido a sua ligação dupla, pode reagir com resina epóxi produzindo materiais poliméricos de baixa viscosidade, elevado valor de epóxi, baixo custo e com grande potencial de utilização.^{34,35} Além de suas aplicações industriais, o ácido itacônico também possui enorme potencial como uma plataforma química de base renovável e como um substituto potencial para produtos

químicos à base de petróleo em uma variedade de aplicações.^{36,37,38} Também foi investigado por suas propriedades antimicrobianas³⁹ e anti-inflamatórias e como um tratamento potencial para várias doenças, incluindo câncer e diabetes. O mercado do ácido itacônico deve crescer até 2028 em CGAR de 4,20% e estima-se que atinja US\$ 176,55 milhões.⁴⁰

A Glucono-delta-lactone (GDL) (Figura 3) é um carboidrato derivado da D-glicose em que o carbono C-1 está oxidado em ácido carboxílico sendo comumente aplicado nas áreas alimentícias, cosméticas, farmacêutica e industrial. Esse carboidrato é encontrado naturalmente na nossa pele participando como nutriente na via metabólica do açúcar em nível celular.⁴¹ É substância que penetra na pele de forma lenta e gradual, sem causar reações indesejáveis e, portanto, bastante desejável para aplicações em tratamento de água e incrustação inorgânica,⁴² cosméticos e medicamentos para a pele. As pessoas que possuem peles sensíveis podem utilizar as formulações sem experimentar quaisquer tipos de irritação. Os grupos hidroxila podem atrair e fixar água. Ela é um antioxidante muito eficaz; essa propriedade é evidente em alimentos e medicamentos nos quais ela inibe a oxidação e ajuda a manter a integridade dos produtos. Uma aplicação especial a ser destacada da GDL e sua capacidade de prevenir o fotoenvelhecimento prematuro da pele causado pela radiação ultravioleta e os radicais livres gerados que geram o estresse oxidativo. O mercado global de GDL teve uma receita de US\$ 1,79 bilhão em 2019 e deve crescer até 2030 com um CAGR de 5,1%. O crescimento desse mercado é atribuído principalmente à crescente demanda pelo uso como acidificantes em diversas indústrias como, alimentícia, indústria de laticínios, dentre outras.⁴³

O D-manitol (Figura 3) é o poliálcool natural mais abundante na natureza com mesma configuração estereoquímica da D-manose. Ele é um composto químico cristalino branco, comumente utilizado como diurético e agente osmótico para reduzir a pressão intracraniana em pacientes com edema cerebral em um acidente vascular cerebral agudo. É um carboidrato linear poli-hidroxilado, que pode ser preparado por hidrogenação catalítica da D-frutose ou açúcar invertido sob alta pressão e por processo fermentativos utilizando diversas fontes como D-glicose, açúcar invertido e glicerol.⁴⁴ O manitol é um poliálcool de açúcar que é usado comumente em aplicações alimentícias e farmacêuticas. Várias bactérias são capazes de biossintetizar o D-manitol através da fermentação de outros açúcares usando bactérias dos gêneros *Leuconostoc* ou *Lactobacillus*, por exemplo, *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus intermedius*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus reuteri*, *Lactobacillus paracasei*.⁴⁵ Como agente osmótico, ele atua osmótica nos tecidos e fluidos corporais, levando à redução do edema cerebral e à diurese. Ele é rapidamente absorvido pelo trato gastrointestinal e é excretado pelos rins sem ser

metabolizado. Além de seu uso médico, o D-manitol também é utilizado em diversos outros setores, como fabricação de condensadores eletrolíticos secos, plastificantes, indústria de alimentos dietéticos, como adoçante (que é 50% tão doce quanto a sacarose), estabilizador de sabor, produção de tecido ósseo associado com hidroxapatita/colágeno⁴⁶ e na indústria farmacêutica, como excipiente em formulações de medicamentos.⁴⁷ Na colonoscopia é usado no preparo do exame misturado com quatro a cinco copos de manitol diluído em suco de laranja. Por ser uma matéria-prima de baixo custo, é um reagente bastante utilizado para diversos fins comerciais e também em síntese orgânica, na obtenção de análogos de produtos naturais complexos.⁴⁸ O mercado global do D-manitol atingiu quase US \$ 420 milhões em 2022. Entre 2023-2028, o mercado deverá crescer em um ritmo constante, crescendo a um CAGR de 4,5%. A expectativa é chegar a US\$ 546 milhões em 2028.

Estratégias Verdes de Saúde

Nem todas as ações que envolvem estratégias verdes envolvem a ações diretas da química verde, mas certamente há algum material que foi produzido por processos químicos. A popularização da química verde desencadeou uma grande conscientização em muitas áreas sobre a necessidade de desenvolver abordagens que contribui para um desenvolvimento sustentável e que possa mitigar o aquecimento global e os eventos climáticos extremos.

As estratégias verdes estão disseminadas em todas as áreas das ciências com o objetivo de produzir produtos e serviços sustentáveis que sejam benéficos para o meio ambiente. Essas práticas individuais quando somadas podem reduzir em muito os impactos negativos na natureza e, com isso, diminuir os eventos climáticos extremos que o mundo está enfrentando. Alguns exemplos de estratégias verdes e sustentáveis incluem: eficiência energética, como uso e geração de energia renovável, transporte sustentável, edifício verde, química verde, redução de resíduos, agricultura sustentável, indústria química verde, produtos verdes e biodegradáveis, matérias-primas renováveis, captura e utilização de carbono, reciclagem e redução de resíduos conservação da água, materiais eletrônicos verdes, etc. As estratégias verdes para várias áreas estão resumidas na Figura 4. O destaque que deve ser ressaltado é que seja qual for a área, as estratégias devem ser planejadas, materiais sustentáveis fabricados com processos verdes, uso de materiais reutilizáveis, recicláveis ou biodegradáveis. As empresas que atuam com a logística de distribuição e armazenamento devem atender critérios ESG para que diminuam seus impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana.

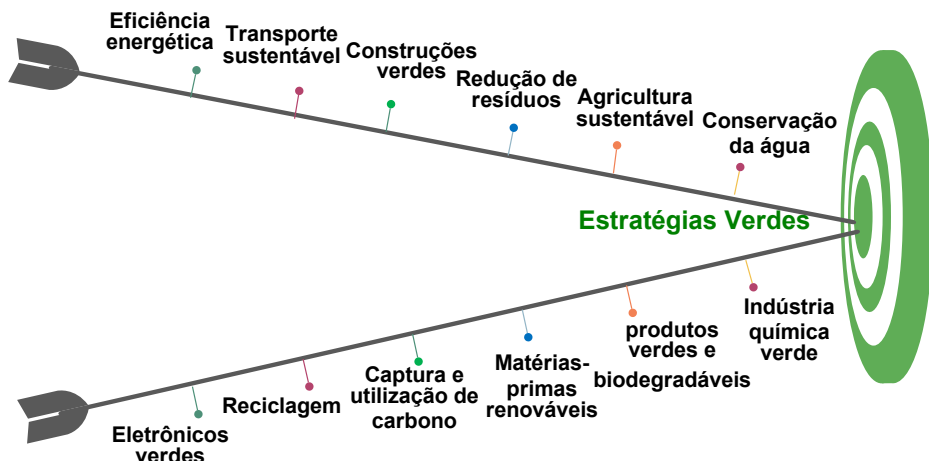


Figura 4. As áreas verdes estratégicas da ciência.

Todas as áreas mostradas na Figura 4 são muito importantes, como por exemplo, energia obtidas de fontes renováveis, como energia eólica, solar, hidrogênio verde, hidrotérmica e hidrelétrica, além da se ampliar a eficiência energética com melhores cabos de transmissão, uso de iluminação LED e a otimização dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado. No entanto, todos dependem dos processos e materiais desenvolvidos pela Química Verde como destacados na Figura 1,⁴⁹ ou seja, uma interseção entre a Química Verde, que produzam produtos e materiais sem geração de rejeitos, sem agressões ao meio ambiente e sem a produção de materiais persistentes. Neste aspecto, apesar da imagem da Química tem sido relacionada a problemas oriundos de atividades industriais desde o início do século XX, a química verde se disseminou no mundo⁵⁰ e tem ajudado a reduzir os impactos negativos da produção das substâncias e os seus processos químicos de produção. Esses materiais são desenhados para reciclagem mais fácil, compostagem e plástico biodegradáveis.

A relação entre o Green Healthcare System (Sistema de Saúde Verde) e o meio ambiente é conflitante, pois da mesma forma que prestam atendimento de saúde eles deixam para trás muitas pegadas ambientais, como poluição da água, produção de lixo, serviços alimentares insustentáveis.

Os sistemas de saúde envolvem muitas instalações antigas e, algumas recentes, que incluem hospitais, clínica, postos de saúde, laboratórios de análises clínicas e radiológicas, consultórios médicos, etc. Esses sistemas são complexos e que não podem parar para fazer adaptações e, portanto, as mudanças são lentas para se alcançar um sistema de saúde verde.^{51,52} No

entanto, essas instalações produzem materiais orgânicos e inorgânicos dos procedimentos médicos, resíduos biológicos e resíduos em geral que podem impactar o meio ambiental se não tiverem práticas e operações sustentáveis. Se as instalações e os serviços não forem adequadamente planejados não terão sustentabilidade ambiental e deixarão pegadas de carbono da saúde. A promoção de práticas sustentáveis beneficia a saúde e o bem-estar de pacientes, profissionais de saúde e da comunidade em geral. É preciso conscientizar os gestores de que a saúde verde reconhece a interdependência entre a saúde dos indivíduos, das comunidades e do meio ambiente. Os modelos existentes de prestação de cuidados de saúde são fragmentação e com baixa coerência que indicam ser as principais dos problemas que influenciam a qualidade dos resultados de saúde.⁵³

Quais são os aspectos mais importantes que envolvem os sistemas de cuidados da saúde verde: a) reduzir o desperdício de energia, reduzir a quantidade de resíduos gerados, minimizar o uso de produtos químicos e materiais inofensivos em ambientes de saúde, práticas saudáveis e sustentáveis, alimentação saudável, edifícios com eficiência energética maximizando a luz natural e ambientalmente sustentáveis, uso de materiais sustentáveis. Para que os sistemas de saúde verdes atuem eficientemente no cuidado a saúde e não causarem impactos ambientais, devem adaptar suas logísticas para melhorar os resultados das suas atividades em saúde pública e ao mesmo tempo promover a sustentabilidade para as gerações futuras. Na Figura 5 estão resumidas algumas ações importantes que deveriam ser consideradas pelos gestores dos sistemas de saúde para que realmente possam ser consideradas sustentáveis.

Como pode ser observado na Figura 5, para se alcançar um Sistemas de Saúde Verde muitas ações devem ser observadas simultaneamente e algumas devem estar em concordância com os princípios que norteiam uma química verde e materiais verdes. Mesmo considerando a infraestrutura onde se encontram instalações que tratam de saúde é preciso bastante atenção e, isso inclui projetar e construir instalações de saúde com eficiência energética, usar materiais sustentáveis e incorporar tecnologias verdes, como energia solar, conservação de energia, luminárias de baixo fluxo, telhados verdes, paisagismo com eficiência hídrica, janelas inteligentes, captação de água da chuva e uso de água de reuso. Não é apenas otimizar as instalações para se alcançar a sustentabilidade. É preciso ter pessoal qualificado para realizar as operações sustentáveis que envolvem reduzir o desperdício, melhorar a eficiência energética e usar práticas ecologicamente corretas, como reciclagem e redução do consumo de água. Na questão dos suprimentos utilizados e a cadeias, precisa de fornecedores que priorizam a sustentabilidade com as práticas de ESG

tanto na produção, logística, distribuição de suprimentos médicos, equipamentos e produtos farmacêuticos.



Figura 5. Ações que devem ser observadas em sistemas de saúde verde.

Do ponto de vista educacional uma instituição que considera seu “Sistemas de Saúde Verde” precisa desenvolver práticas de saúde sustentáveis na comunidade. Inicialmente é preciso levar educação e conscientização sobre sustentabilidade para o seu corpo de profissionais de saúde e isso inclui a promoção de estilos de vida saudáveis. Para a comunidade as instituições têm que promover cursos que envolvam a prevenção de doenças, a redução do uso de produtos químicos tóxicos em ambientes nas residências e campanhas educacionais para promover uma vida saudável. Esse mecanismo pode também ocorrer através do envolvimento com a comunidade, com os pacientes e famílias.

Intersecção da Química Verde com a Saúde Verde

É bastante comum estudos que mostram a intersecção dos Sistemas de Saúde Verde com as áreas de administração, educação e justiça,^{54,55} mas não há estudos que discutam a intersecção entre Química Verde e Saúde Verde.⁵⁶ O campo da Química Verde tem algumas semelhanças interessantes com Sistemas de

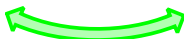
Saúde Verde, pois procuram a integridade e autopreservação do meio ambiente paralelamente a minimização do risco de exposição a materiais perigosos aos pacientes e profissionais. Mesmo que os profissionais da área médica nunca tenham ouvido falar do conceito de Química Verde a busca por sustentabilidade deve ser uma prática constante. A interseção da Química Verde com o Sistema de Saúde Verde envolve muitas alternativas de práticas sustentáveis e ambientalmente do setor de saúde. Apesar da Química Verde estar focada no desenvolvimento de processos e produtos químicos utilizando 12 princípios que visam otimização, minimização de substâncias perigosas, economia de energia, geração de produtos tóxicos e reduzir o desperdício. Todos esses princípios voltados para promover a sustentabilidade. O mesmo é esperado para um Green Healthcare System que deve reduzir o impacto ambiental das instalações de saúde, promover estilos de vida saudáveis e minimizar o uso de substâncias nocivas nas práticas de saúde, métodos de limpeza e esterilização não tóxicos e ecológicos. A prática de saúde sustentável para o meio ambiente e tão importante como os cuidados com a saúde humana.

Na Figura 6 ilustra alguns exemplos de como a Química Verde e Saúde Verde podem se relacionar e trazer um maior benefício global. A interseção dessas áreas busca melhorar a saúde e o bem-estar das pessoas, ao mesmo tempo em que reduz o impacto ambiental negativo e promove práticas sustentáveis no setor da saúde.

Química Verde

Promove a substituição de produtos químicos nocivos por produtos alternativos menos tóxicos e mais seguros

SUBSTITUIÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS TÓXICOS

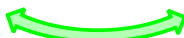


Saúde Verde

Seleção de produtos de limpeza e desinfetantes utilizados nos ambientes hospitalares, buscando minimizar os impactos negativos na saúde dos pacientes, funcionários e meio ambiente

Minimização e a correta gestão de resíduos gerados por processos químicos

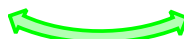
GESTÃO DE RESÍDUOS DE SAÚDE



Envolve a adoção de práticas sustentáveis para o gerenciamento de resíduos médicos, como a segregação adequada, a reciclagem quando possível e a destinação segura de materiais contaminados, evitando impactos ambientais e riscos à saúde pública

Promove a seleção de materiais e equipamentos que possam com eles fornecer reações verdes e com baixo impacto ambiental

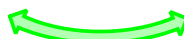
USO DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS SUSTENTÁVEIS



Traduz diretamente nas escolhas de produtos médicos, equipamentos e diagnóstico e tratamento que são fabricados com materiais sustentáveis e eficiência energética

Desenvolvimento de medicamentos mais sustentáveis em termos de processos de síntese, uso de matérias-primas renováveis e minimização de subprodutos indesejados

DESENVOLVIMENTO DE MEDICAMENTOS SUSTENTÁVEIS



Oferece opções terapêuticas mais amigáveis ao meio ambiente e que reduzem potenciais efeitos adversos nos pacientes

Figura 6. Exemplos de como a Química Verde e a Saúde Verde podem se relacionar e trazer maior benefício global.

A utilização de ferramentas para mensurar a eficácia e assertividade dos processos de química verde alinhados com Sistema de Saúde Verde é uma estratégia para garantir a otimização efetiva dessa interface. A criação de métricas para aspectos específicos de Sistema de Saúde Verde que conecte com os 12 princípios da química verde é uma abordagem promissora a ser explorada. Como Mulvihill e colaboradores exploraram na sua revisão, as colaborações interdisciplinares e oportunidades de aprendizado através da melhoria contínua podem estimular e envolver ainda mais pessoas sobre o potencial da química verde para atender às necessidades de desafios das ODS's.⁵⁷

De pequenas em pequenas ações podem surgir grandes mudanças global com um impacto significativo ao longo do tempo. Pequenas ações como reciclar uma única garrafa plástica, apagar as luzes ao sair de uma sala, dieta mais verde e saudável podem inspirar outras pessoas a fazerem o mesmo,

criando um efeito dominó que leva a mudanças maiores e mais significativas. Na Figura 7 estão destacadas algumas pequenas ações que foram selecionadas e que podem ser implantadas em pequenas ou grandes instituições do Sistema de Saúde Verde.

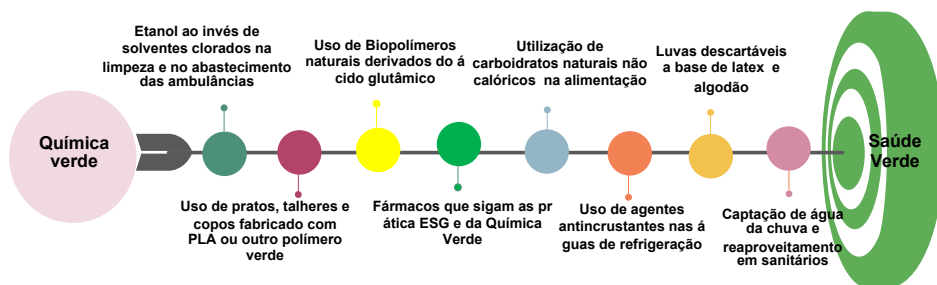


Figura 7. Ações verdes selecionadas para instituições do Sistema Verde de Saúde.

O poliácido láctico (PLA) é um polímero biodegradável feito a partir de fontes renováveis, é uma grande alternativa para substituição aos plásticos convencionais feitos a partir de petróleo. Esses pratos, talheres e copos são seguros para uso alimentar e resistente a temperaturas moderadas. Os produtos feitos de PLA se decompõem completamente em condições específicas de compostagem.

O uso de luvas descartáveis de látex natural e vestimentas de algodão em substituição ao tecido não tecido (TNT), traz grandes benefícios para o meio ambiente e reduz os resíduos que vão para o lixo. O látex natural é biodegradável e pode ser facilmente decomposto na natureza, ao contrário das luvas descartáveis de plástico, que levam centenas de anos para se decompor. O uso de luvas de látex natural também é mais seguro para a saúde humana, pois o látex é um material natural e menos propenso a causar reações alérgicas do que o plástico. As vestimentas de algodão são as mais adequadas e sustentável do que as feitas de TNT, que são produzidos a partir de fibras sintéticas e não são biodegradáveis.

Acompanhar a produção dos fármacos que seguem as práticas ESG e da Química Verde é uma tarefa complexa, mas que pode ser realizada com auxílio dos farmacêuticos. Mas a escolha do medicamento depende exclusivamente dos médicos. A Química Verde é uma abordagem sustentável para a produção de produtos químicos, incluindo fármacos, que utiliza processos com minimização do uso de solventes tóxicos, reduzem o consumo de energia e água, e geram menos resíduos e emissões tóxicas.⁵⁸ Os fármacos que

seguem as práticas ESG devem consideração não apenas o impacto ambiental associado à sua produção, mas também a responsabilidade social e de governança da empresa produtora.

A utilização de carboidratos naturais não calóricos na alimentação é uma alternativa atraente para pessoas que buscam reduzir a ingestão de açúcares e calorias, mas ainda desejam desfrutar do sabor doce em suas refeições. Alguns exemplos de carboidratos naturais não calóricos são o eritritol, o xilitol, o sorbitol e o manitol.

Dentre os biopolímeros naturais, os derivados do ácido glutâmico são polímeros biodegradáveis, solúvel em água e produzidos a partir de matérias-primas renováveis, como açúcares e amidos. Eles apresentam propriedades interessantes para aplicações em diversas áreas, como embalagens, alimentos, cosméticos, medicamentos e agricultura. A poliglutamida é versátil para aplicações como a fabricação de filmes, membranas, fios e suturas cirúrgicas.

Os agentes anti-incrustantes são compostos utilizados para prevenir a formação de incrustações em sistemas de água de refrigeração, como torres de resfriamento e sistemas de ar condicionado. A utilização de agentes anti-incrustantes não tóxicos e de fontes naturais, como o glucono-delta-lactone, pode ser uma alternativa mais segura e sustentável para a manutenção desses sistemas, pois esta substância é capaz de se ligar a metais e minerais, prevenindo a formação de depósitos e incrustações. O importante é que os anti-incrustantes naturais são a alternativa mais segura e sustentável para a manutenção de sistemas de água de refrigeração e que contribuem para a preservação do meio ambiente.

A captação de água da chuva e o seu reaproveitamento nas instalações sanitárias traz benefícios significativos para o meio ambiente e para a economia de recursos naturais. A água é um recurso finito e precioso, e o seu uso excessivo pode levar à escassez e à degradação ambiental. As instituições ao captarem a água da chuva como descarga de sanitários, rega de jardins e limpeza de pisos, reduz a demanda por água potável e preveni inundações e, conseqüentemente, ajuda as fontes de água doce.

Um método simples e eficaz usado para purificar água suja ou contaminada, tornando-a segura para consumo humano é a utilização de comprimidos químicos que contenham o dicloroisocianurato de sódio, um agente desinfetante que mata bactérias, vírus e outros organismos presentes na água. Eles são eficazes contra uma ampla gama de patógenos, incluindo *E. coli*, salmonela, cólera e hepatite A. Esses comprimidos são amplamente utilizados em situações de emergência, acampamentos, viagens e em áreas onde a água potável não está disponível. Cada pastilha transforma 5 litros de água suja em limpa estando pronta para ser usada para beber, cozinhar e fazer higiene.⁵⁹

Considerações Finais

Embora ainda se tenha um longo caminho a percorrer, muito já se sabe que existem muitas ferramentas disponíveis para ajudar os Green Healthcare Systems a prever os impactos negativos na saúde, segurança humana e para o meio ambiente, que são aceleradas pelas descobertas da Química Verde. Portanto, a interseção entre os sistemas verdes de saúde e a química verde é positiva, pois ambos os campos de estudos se preocupam com a promoção da saúde humana e a redução dos impactos ambientais adversos com a escolha de materiais mais sustentáveis e a redução da emissão de gases de efeito estufa. O desenvolvimento sustentável não é opcional, é o único caminho a seguir.

Referências

- 1 ZUBOF, S.; *A Era do Capitalismo de Vigilância*, Editora Intrínseca: Rio de Janeiro, 2019.
- 2 GOPEL, M.; *Repensando o nosso futuro – Dez temas essenciais para o futuro da humanidade*, Editora Record: São Paulo, 2022.
- 3 SÍTIO YALE NEWS. Disponível em: <https://news.yale.edu/2019/08/02/healthcare-industry-major-source-harmful-emissions>. Acesso em: 15 agosto 2023.
- 4 WOOD, L. C.; WANG, C.; ABDUL-RAHMAN, H.; ABDUL-NASIR, N. S. J. Green hospital design: integrating quality function deployment and end-user demands. *Journal of Cleaner Production* **2016**, *112*, 903. [CrossRef]
- 5 SÍTIO IPEA. ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável Proposta de adequação. Disponível em: < https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/180801_ods_metas_nac_dos_obj_de_desenv_susten_propos_de_adequa.pdf> Acesso em: 15 agosto 2023.
- 6 RELATÓRIO DE ATIVIDADES 2017-2018. Comissão Nacional ODS. Disponível em: <https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2019/05/relatorio-cnods-2017-18.pdf> Acesso em: 15 agosto 2023.
- 7 ANASTAS, P. T.; WARNER, J.; *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press: Oxford, 1998.
- 8 KOVER, A.; KRALJIĆ, D.; MARINARO, R.; RENE, E. R. Processes for the valorization of food and agricultural wastes to value-added products: recent practices and perspectives. *Systems Microbiology and Biomanufacturing* **2022**, *2*, 50. [CrossRef]

- 9 PERLATTI, B., FORIM, M. R., ZUIN, V. G. Green chemistry, sustainable agriculture and processing systems: a Brazilian overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* **2014**, *1*, 5. [CrossRef]
- 10 BAR-ON, Y. M.; PHILLIPS, R.; MILO, R. The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2018**, *115*, 6506. [CrossRef] [PubMed]
- 11 SINGH, A.; PRAJAPATI, P.; VYAS, S.; GAUR, V. K.; SINDHU, R.; BINOD, P.; KUMAR, V.; SINGHANIA, R. R.; AWASTHI, M. K.; ZHANG, Z.; VARJANI, S. A Comprehensive Review of Feedstocks as Sustainable Substrates for Next-Generation Biofuels. *Bioenergy Research* **2023**, *16*, 105. [CrossRef]
- 12 TONG, K. T. X.; TAN, I. S.; FOO, H. C. Y.; LAM, M. K.; LIM, S.; LEE, K. T. Advancement of biorefinery-derived platform chemicals from macroalgae: a perspective for bioethanol and lactic acid. *Biomass Conversion and Biorefinery* **2024**, *14*, 1443. [CrossRef] [PubMed]
- 13 AHMED, N.; DHAR, B. R.; PRAMANIK, B. K.; FOREHEAD, H.; PRICE, W. E.; HAI, F. I. A Cookbook for Bioethanol from Macroalgae: Review of Selecting and Combining Processes to Enhance Bioethanol Production. *Current Pollution Reports* **2021**, *7*, 476. [CrossRef]
- 14 TOMISHIGE, K.; YABUSHITA, M.; CAO, J.; NAKAGAWA, Y. Hydrodeoxygenation of potential platform chemicals derived from biomass to fuels and chemicals. *Green Chemistry* **2022**, *24*, 5652. [CrossRef]
- 15 RAJ, T.; CHANDRASEKHAR, K.; KUMAR, A. N.; BANU, J. R.; YOON, J.-J.; BHATIA, S. K.; YANG, Y.-H.; VARJANI, S.; KIM, S.-H. Recent advances in commercial biorefineries for lignocellulosic ethanol production: Current status, challenges and future perspectives. *Bioresource Technology* **2022**, *344*, 126292. [CrossRef]
- 16 LI, Y.; XU, Y.; XUE, Y.; YANG, S.; CHENG, Y.; ZHU, W. Ethanol production from lignocellulosic biomass by co-fermentation with *Pecoramyces* sp. F1 and *Zymomonas mobilis* ATCC 31821 in an integrated process. *Biomass and Bioenergy* **2022**, *161*, 106454. [CrossRef]
- 17 SITIO UNIÃO NACIONAL DA BIOENERGIA. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2023/02/27/etanol-oia-mantem-perspectiva-de-producao-global-a-111-8-bilhoes-de-litros-2-19-ante-2022.html#:~:text=A%20Organiza%C3%A7%C3%A3o%20Internacional%20do%20A%C3%A7%C3%BAcar,bilh%C3%B5es%20de%20litros%20de%202021> . Acesso em: 15 agosto 2023.
- 18 GLOBAL LACTIC ACID MARKET VOLUME 2015-2029. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1310495/lactic-acid-market-volume-worldwide/#:~:text=In%202021%2C%20the%20market%20volume,billion%20U.S.%20dollars%20in%202021> . Acesso em: 15 agosto 2023.
- 19 CORMA, A.; IBORRA, S.; VELTY, A. Chemical routes for the transformation of biomass into chemicals. *Chemical Reviews* **2007**, *107*, 2411. [CrossRef] [PubMed]

- 20 CAI, C. M.; ZHANG, T.; KUMAR, R.; WYMAN, C. E. Integrated furfural production as a renewable fuel and chemical platform from lignocellulosic Biomass. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* **2014**, *89*, 2. [CrossRef]
- 21 ROSENFELD, C.; KONNERTH, J.; SAILER-KRONLACHNER, W.; SOLT, P.; ROSENAU, T.; VAN HERWIJNEN, H. W. G. Current Situation of the Challenging Scale-Up Development of Hydroxymethylfurfural Production. *ChemSusChem* **2020**, *13*, 3544. [CrossRef]
- 22 SU, Y.; BROWN, H. M.; HUANG, X.; ZHOU, X.-D.; AMONETTE, J. E.; ZHANG, Z. C. Single-step conversion of cellulose to 5-hydroxymethylfurfural (HMF), a versatile platform chemical. *Applied Catalysis A: General* **2009**, *361*, 117. [CrossRef]
- 23 MILIĆ, M.; DE MARÍA, P. D.; KARA, S. A patent survey on the biotechnological production of 2,5-furandicarboxylic acid (FDCA): Current trends and challenges. *EFB Bioeconomy Journal* **2023**, *3*, 100050. [CrossRef]
- 24 KUMAR, R.; VIKRAMACHAKRAVARTHI, D.; PAL, P. Production and purification of glutamic acid: A critical review towards process intensification. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* **2014**, *81*, 59-71. [CrossRef]
- 25 SÍTIO ALLIED MARKET RESEARCH. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/glutamic-acid-market-A15523>. Acesso em: 15 agosto 2023.
- 26 TORR, S. E.; ALY, M. M.; ALAKILLI, S. Y.; AL-SEENI, M. N. Purification and characterization of gamma poly glutamic acid from newly *Bacillus licheniformis* NRC20. *International Journal of Biological Macromolecules* **2015**, *74*, 382. [CrossRef] [PubMed]
- 27 SHIH, I.-L.; VAN, Y.-T. The production of poly-(γ-glutamic acid) from microorganisms and its various applications. *Bioresource Technology* **2001**, *79*, 207. [CrossRef] [PubMed]
- 28 YU, Z.; WEI, Y.; FU, C.; SABLANI, S. S.; HUANG, Z.; HAN, C.; LI, D.; SUN, Z.; QIN, H. Antimicrobial activity of gamma-poly (glutamic acid), a preservative coating for cherries. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* **2023**, *225*, 113272. [CrossRef]
- 29 APPLETON, H.; ROSENTRATER, K. A. Sweet Dreams (Are Made of This): A Review and Perspectives on Aspartic Acid Production. *Fermentation* **2021**, *7*, 49. [CrossRef]
- 30 GLOBAL ASPARTIC ACID MARKET, BY FORM (L-Aspartic Acid, D-Aspartic Acid), Application (Feed Supplements, Medicine, Polyaspartic Acid, Aspartame, L-Alanine and Others), End Use (Food and Beverage Industries, Bakeries, Confectioneries, Drink Mix, Jams, Chocolates, Jellies, Dairy Products, Pharmaceutical Industries, Dietary Supplements) – Industry Trends and Forecast to 2029. Disponível em: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-aspartic-acid-market> . Acesso em: 15 agosto 2023.
- 31 FERREIRA, V. F. Carboidratos Abundantes em Síntese Orgânica. *Química Nova* **1995**, *18*, 267. [Link]

- 32 LICHTENTHALER, F. W.; PETERS, S. Carbohydrates as green raw materials for the chemical industry. *Comptes Rendus Chimie* **2004**, *7*, 65. [CrossRef]
- 33 TELEKY, B.-E.; VODNAR, D. C. Recent Advances in Biotechnological Itaconic Acid Production, and Application for a Sustainable Approach. *Polymers* **2021**, *13*, 3574. [CrossRef]
- 34 MA, S.; LIU, X.; JIANG, Y.; TANG, Z.; ZHANG, C.; ZHU, J. Bio-based epoxy resin from itaconic acid and its thermosets cured with anhydride and comonomers. *Green Chemistry* **2013**, *15*, 245. [CrossRef]
- 35 TELEKY, B.-E.; VODNAR, D. C. Biomass-Derived Production of Itaconic Acid as a Building Block in Specialty Polymers. *Polymers* **2019**, *11*, 1035. [CrossRef]
- 36 GOWDA, R. R.; CHEN, E. Y.-X. Synthesis of β -methyl- α -methylene- γ -butyrolactone from biorenewable itaconic acid. *Chem. Front.* **2014**, *1*, 230. [CrossRef]
- 37 PAPADOPOULOS, L.; MALITOWSKI, N. M.; BIKIARIS, D.; ROBERT, T. Bio-based additive manufacturing materials: An in-depth structure-property relationship study of UV-curing polyesters from itaconic acid. *European Polymer Journal* **2023**, *186*, 111872. [CrossRef]
- 38 MEDWAYA, A. M.; SPERRY, J. Heterocycle construction using the biomass-derived building block itaconic acid. *Green Chemistry* **2014**, *16*, 2084. [CrossRef]
- 39 TOMIĆ, S. L.; VUKOVIĆ, J. S. Antimicrobial Activity of Silver, Copper, and Zinc Ions/ Poly(Acrylate/Itaconic Acid) Hydrogel Matrices. *Inorganics* **2022**, *10*, 38. [CrossRef]
- 40 SÍTIO DATA BRIDGE MARKET RESEARCH. Disponível em: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-itaconic-acid-market#:~:text=Market%20Analysis%20and%20Insights%20%3A%20Global,USD%20176.55%20million%20by%202028> . Acesso em: 16 agosto 2023.
- 41 REIS, M. I. P.; MENDES, M. T.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F. δ -Gliconolactona em Síntese Orgânica. *Revista Virtual de Química* **2011**, *3*, 247. [CrossRef]
- 42 REIS, M. I. P.; DA SILVA, F. C.; ROMEIRO, G. A.; ROCHA, A. A.; FERREIRA, V. F. Deposição Mineral em Superfícies: Problemas e Oportunidades na Indústria do Petróleo. *Revista Virtual de Química* **2011**, *3*, 2. [CrossRef]
- 43 SÍTIO DATAINTELO. Disponível em: <https://dataintelo.com/report/global-glucono-delta-lactone-market> . Acesso em: 16 agosto 2023.
- 44 TOMASZEWSKA, L.; RYWIŃSKA, A.; GŁADKOWSKI, W. Production of erythritol and mannitol by *Yarrowia lipolytica* yeast in media containing glycerol. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* **2012**, *39*, 1333. [CrossRef] [PubMed]

- 45 ORTIZ, M. E.; BLECKWEDEL, J.; RAYA, R. R.; MOZZI, F. Biotechnological and in situ food production of polyols by lactic acid bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology* **2013**, *97*, 4713. [CrossRef] [PubMed]
- 46 NGUYEN, T.-T.; HU, C.-C.; SAKTHIVEL, R.; NABILLA, S. C.; HUANG, Y.-W.; YU, J.; CHENG, N.-C.; KUO, Y.-J.; CHUNG, R.-J. Preparation of gamma poly-glutamic acid/hydroxyapatite/collagen composite as the 3D-printing scaffold for bone tissue engineering. *Biomaterials Research* **2022**, *26*, 21. [CrossRef]
- 47 SOETAERT, W.; VANHOOREN, P. T.; VANDAMME, E. J. Em *Carbohydrate Biotechnology Protocols. Methods in Biotechnology*; Bucke, C., eds., Humana Press, 1999. [CrossRef]
- 48 DE OLIVEIRA, P. S. M.; FERREIRA, V. F.; DE SOUZA, M. V. M. Utilização do D-manitol em síntese orgânica. *Química Nova* **2009**, *32*, 441. [CrossRef]
- 49 DA ROCHA, D. R., DA SILVA, F. C. Química Verde, Economia Sustentável e Qualidade de Vida Ferreira, V. F., *Revista Virtual de Química* **2014**, *6*, 85. [CrossRef]
- 50 CORRÊA, A. G.; ZUIN, V. G.; FERREIRA, V. F.; VAZQUEZ, P. G. Green chemistry in Brazil. *Pure and Applied Chemistry* **2013**, *85*, 1643-1653. [CrossRef]
- 51 CHÍAS, P.; ABAD, T. Green Hospitals, Green Healthcare. *International Journal of Energy Production and Management* **2017**, *2*, 196. [CrossRef]
- 52 GREENING, K. G.; *Health Care: How Hospitals Can Heal the Planet*, Oxford University Press: Oxford, 2015.
- 53 THE WORLD HEALTH ORGANIZATION. Investing in hospitals of the future. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789289043045>. Acesso em: 25 abril 2024.
- 54 LEHR, D. H.; GREENE, J. Educating Students with Complex Health Care Needs in Public Schools: The Intersection of Health Care, Education, and the Law. *Journal of Health Care Law and Policy* **2002**, *5*, 68. [Link]
- 55 KING, C. J.; CLOONAN, P. The Intersection: Population Health, Historically Underserved Black Communities and Health Administration Education. *The Journal of Health Administration Education* **2018**, *35*, 65. [Link]
- 56 SCHULTE, P. A.; MCKERNAN, L. T.; HEIDEL, D. S.; OKUN, A. H.; DOTSON, G. S.; LENTZ, T. J.; GERACI, C. L.; HECKEL, P. E.; BRANCHE, C. M. Occupational safety and health, green chemistry, and sustainability: a review of areas of convergence. *Environmental Health* **2013**, *12*, 31. [CrossRef]
- 57 MULVIHILL, M. J.; BEACH, E. S.; ZIMMERMAN, J. B.; ANASTAS, P. T. Green Chemistry and Green Engineering: A Framework for Sustainable Technology Development. *Annual Review of Environment and Resources* **2011**, *36*, 271. [CrossRef]

- 58 KAR, S.; SANDERSON, H.; ROY, K.; BENFENATI, E.; LESZCZYNSK, J. Green Chemistry in the Synthesis of Pharmaceuticals. *Chemical Reviews* **2022**, *122*, 3637. [CrossRef] [PubMed]
- 59 SÍTIO DA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. Water Sanitation and Health Disponível em: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health>. Acesso em: 24 abril 2024.

Capítulo 4

A Água nas Instalações Sanitárias: Uso Eficiente e Sustentável

Patricia Garcia Ferreira, Alcione Silva de Carvalho, Cristina Moll Hüther, Wilson C. Santos, Luana da Silva Magalhães Forezi, Fernando de Carvalho da Silva, Vitor Francisco Ferreira

Introdução

*“Bate na areia planeta mar,
104 graus de puro encanto
Elétrons espalhados
cada H₂O, união sem fim
hidrogênios e suas ligações pontes da história
dipolos hidratam paixões”
Segunda estrofe de “Água” por Jerson L. Silva¹*

O banheiro é o recinto das residências, hotéis, escritórios, prédios e áreas públicas,² dentre outros estabelecimentos que é usado para atividades de higiene pessoal, como banho, necessidades fisiológicas, maquiagem e de forma geral para se arrumar, ou seja, é um espaço privado onde as pessoas podem realizar tarefas relacionadas à sua limpeza e cuidados pessoais. A maioria das residências modernas contam com mais de um banheiro. A sua história e seu desenvolvimento retratam uma sequência de eventos fascinantes e projetos que têm sido relatados em diversas publicações.^{3,4,5} Esses espaços variaram de uma época para outra, de uma cultura para outra, até mesmo atitudes religiosas em relação ao corpo humano, contudo avançaram bastante com os conhecimentos científicos sobre materiais e infecções causadas por micro-organismos. Há relatos no Egito, na Mesopotâmia e Babilônia que por

volta de 3.000 a.C. os banheiros começaram a ser usados para recolher dejetos humanos, mas a ideia de um mecanismo de descarga hidráulica inovador só foi inventada mil anos depois, no Golfo Pérsico.^{6,7} O Império Romano tinha uma higiene pessoal relativamente avançada para a época, mas declinou ao longo dos séculos. O ato de banhar-se até o século XVIII era considerada uma atividade pública ou comunitária e ainda continua em alguns países, onde as famílias continuam tomando banho juntas.⁸ As instalações sanitárias antigas que são necessárias para o nosso conforto e bem-estar físico eram muito toscas em comparação com as de hoje. O banho de sábado era um evento muito temido e confuso, mas foi sendo vencido com as melhorias dos banheiros e o banho diário se tornou prazeroso e um valioso complemento para a boa saúde, pois o corpo humano precisa de banhos para equilibrar as bactérias presentes no organismo e se livrar das impurezas (inclusive as causadas pela poluição), abrindo os poros e possibilitando que a pele respire, sem falar que o banho também é importante para remover resíduos como o suor, além da sensação de bem-estar que o banho provoca.^{9,10}

Quando começou o hábito de higiene pessoal, geralmente se usava a mesma tina que era usada para armazenar água e tomar banho, e somente um outro recipiente era para armazenar resíduos corporais, que eram descartados no solo ou nos rios.¹¹ Com o desenvolvimento da civilização esses procedimentos foram confinados para manter a privacidade. Se no passado o banheiro era “no final do corredor” e servia a várias famílias, os banheiros modernos são partes essenciais das residências que evoluíram significativamente ao longo dos anos nas construções em termos de tamanho, localização e privacidade.¹² Possuem infraestrutura complexa incluindo vaso sanitário, ducha higiênica, pia ou lavatório, banheira e/ou chuveiro, rede de canos, bombas, rede elétrica, rede de gás, bidê (eventualmente), etc. É importante destacar que os bidês foram caindo em desuso nos banheiros mais contemporâneos, sem essa estrutura, com o uso de duchas higiênicas. Também têm recursos adicionais, como secador de cabelo e barbeador, balança, termômetros, espelho de maquiagem, escovas elétricas, etc. Em termos de produtos podem ser encontrados xampu, condicionador, lavagem corporal ou sabonete, loções antibacterianas, hidratantes corporais, creme ou gel de barbear, desodorante, perfume ou colônia, gel de cabelo, mousse, spray de cabelo, sabonete, cremes, medicamentos prescritos e de venda livre, etc. Mais detalhes encontram-se resumidamente na Figura 1.

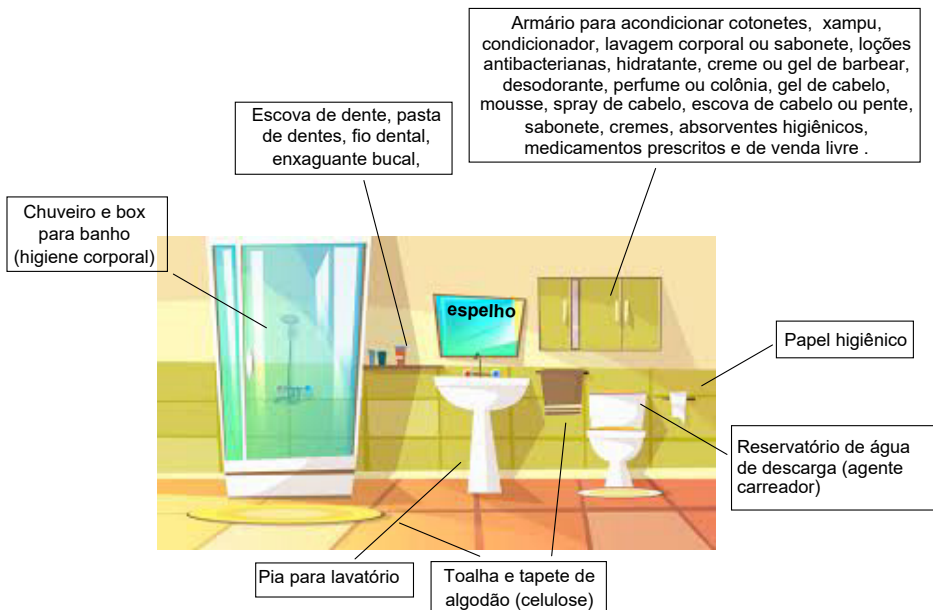


Figura 1. Esquema de um banheiro simples e produtos que podem ser encontrados.

Os banheiros em sua configuração atual levaram cerca de cinco séculos para se popularizarem, tornando-se usuais e acessíveis apenas no século XX.¹³ As instalações sanitárias evoluíram ao longo dos séculos, mas a adoção generalizada de banheiros internos com várias comodidades aconteceu muito mais tarde com sistema de esgotamento sanitário com descarga de água,¹⁴ que ocorreu principalmente no século XX, como também no Brasil. São Paulo foi o estado que marcou a política sanitária do regime republicano com criação em 1893 da Repartição de Água e Esgotos da Capital, ou seja, o início do serviço estatal de distribuição de água e esgotos.¹⁵

As instalações sanitárias são espaços funcionais pessoais para as necessidades fisiológicas e as tarefas essenciais do estilo de vida. Eles foram e continuam sendo modificados ao longo do desenvolvimento da humanidade, com o conhecimento da importância da higienização corporal e são projetados para fornecer um ambiente confortável e conveniente para manter e realizar as suas funções necessárias sem compartilhamento com estranhos. Ele se tornou um símbolo internacional de qualidade de vida e dos avanços modernos de limpeza, ordem e progresso, além de responsável por uma imensa cadeia de produtos. Em seu livro “The Dirty Clean”,^{16,17} Katherine Ashenburg argumenta que a limpeza sempre foi uma questão de virtude em nossa psique e nesse aspecto, também se encontra a complexa tarefa do tratamento do esgoto sanitário.

A política de estado para o estabelecimento de condições sanitárias saudáveis tem papel de destaque na saúde pública, qualidade de vida, preservação do meio ambiente, desenvolvimento sustentável e diminuição da pobreza com geração de empregos. O esgoto humano, e os da criação de animais, degradam a qualidade da água e contaminam rios, lagos e oceanos, com produtos químicos, além de vermes, bactérias, vírus, dentre outros. A água impurificada com esses agentes biológicos e/ou dejetos é mais dispendiosa para a sua purificação e transmite diversas doenças graves e que podem ser evitáveis como, cólera, hepatite A, disenteria, febre tifoide e infecções gastrointestinais, que são doenças relacionadas ao saneamento inadequado.

Loretta Feris relata que em 2015 havia aproximadamente 2,6 bilhões de pessoas sem acesso ao saneamento básico e o reconhecimento do direito humano internacional ao saneamento.^{18,19} O acesso a serviços de saneamento de dejetos carreados das instalações sanitárias é um direito humano e um indicador importante do nível de desenvolvimento de uma cidade e de um país. A falta de serviços de saneamento limita o crescimento econômico. De fato, o meio ambiente natural tem proteção constitucional, como determinado no Art. 225 da Carta Magna da República que assegura a tutela jurídica de recursos naturais tal qual a água.²⁰ Recentemente, o Instituto Trata Brasil divulgou os dados distribuição de água potável e saneamento básico no Brasil. Os dados apontaram que mais de 33 milhões de brasileiros vivem sem acesso à água potável e quase 100 milhões com a ausência de coleta e tratamento de esgoto.²¹ Trata-se de uma discrepância que fere o conceito de Meio Ambiente Social, uma vez que afronta as relações ente seres humanos e recursos naturais.²²

Contudo com o novo Marco Legal do Saneamento Básico²³ estão previstos investimentos até dezembro de 2033, que poderão mudar o curso da infraestrutura do saneamento no Brasil. O tratamento de esgoto pode ser lucrativo, se por exemplo, forem utilizados biodigestores, que produzem biogás^{24,25} e fertilizantes, que são usados para gerar energia limpa e renovável e melhorar a produtividade agrícola de forma sustentável.

Água: A substância Mais Importante Para a Higiene Pessoal

Os recursos naturais, como por exemplo, o ar, a água e o solo, são mal explorados pelos homens e mulheres, pois a humanidade caminha para o desenvolvimento indiscriminado pela superexploração dos recursos naturais. Se o crescimento continuar da mesma forma, muito em breve o desenvolvimento ficará insustentável, o que levará ao colapso dos sistemas inter-relacionados deste planeta.²⁶

A água é um dos bens naturais mais importantes do planeta. Na sua forma pura é a substância mais abundante no planeta na forma líquida, sólida e gasosa, ocupando cerca de 71% da sua superfície nos oceanos, mares, rios, rios voadores na atmosfera, pântanos, lagos, lençóis subterrâneos, calotas polares e nos organismos vivos (plantas, animais e humanos). O Brasil detém entre 8% e 19,4% da água doce do mundo, com a maioria das estimativas concentrando-se em torno de 12% a 15%.^{27,28} Ela é um bem comum essencial para a vida e para muitas aplicações, como geração de energia elétrica e as suas aplicações como solvente e reagente em muitas reações químicas e bioquímicas.

A água é um bem comum vital para toda a vida no planeta. Ela é essencial para a sobrevivência e bem-estar não apenas dos seres humanos, mas também de todas as formas de vida que habitam a Terra. David Sedlak escreveu um livro sobre o passado, presente e futuro do recurso mais vital do mundo²⁹ e Philip Ball escreveu uma biografia sobre a substância água que, mesmo sendo bastante abrangente, não cobriu tudo de importante sobre a água. No entanto, há um trecho do seu livro que resume bem o espírito da água: *“Mesmo quando a despojamos dos seus ornamentos simbólicos, da associação com a pureza, com a alma, com a maternidade e com a vida e a juventude, quando a reduzimos a um reagente químico de laboratório ou a um fenômeno geológico, a água continua a fascinar. Parecendo uma molécula simples, a água proporciona também desafios profundos à ciência”*.³⁰

A água é um bem comum da humanidade e, portanto, é um capital natural e deveria ser cuidado por todos e distribuído para todos. Porém, mesmo não sendo igualmente distribuída no planeta, a água é um bem fundamental para a vida. Dentre os bens comuns da humanidade, além da água, estão incluídos o ar, solo, floresta, rios, oceanos, lagoas, ventos, geleiras e a luz do sol. No entanto, os indivíduos agem de maneira autônoma e irracional, buscando seus próprios interesses e acabam prejudicando a humanidade ao esgotar esses recursos naturais compartilhados. Esta é a tragédia dos bens comuns que foi relatada no artigo clássico de Garrett Hardin,³¹ que abordou um problema econômico no qual cada indivíduo possui incentivo para consumir um recurso, porém às custas de todos os outros indivíduos, sem qualquer possibilidade de exclusão do consumo. A exploração dos recursos dos bens comuns do planeta é evidente em práticas como a pesca intensiva em rios, lagos e oceanos, desmatamento e a extração de diversos minerais, como fosfatos, minerais de ferro, lítio, alumínio, entre outros. Diversas ações que prejudicam os bens comuns, como a contaminação da água (rios, lagos, oceanos e aquíferos), do ar e do solo, envolvem a liberação de esgoto *in natura*, resíduos químicos, agrotóxicos, elementos radioativos, metais pesados, como o mercúrio,

vapores orgânicos nocivos, dióxido de carbono, metano e outros gases perigosos para o ar.

Nas residências, a água tem uso intensivo nos banheiros e na lavagem de roupas e louças. No entanto, seu uso pode ser reduzido com medidas relativamente simples, como: a) substituir gramados por cascalho decorativo e plantas nativas resistente à seca com irrigação por gotejamento; b) chuveiros de baixo fluxo que ainda fornecem água suficiente; c) controle da descarga; desligar a água quando não houver uso ao escovar os dentes e lavar a louça) controle de vazamentos; e) reduzir lavagens de calçadas; f) uso de água de reuso (chuveiros, banheiras, pias e máquinas de lavar) para regar a plantas; etc. Cabe destacar que as residências e nas cidades utilizam cerca de 30% da água potável. 70% dela é utilizada na agricultura/agronegócio³² sendo o maior problema do desperdício de água na irrigação como um todo.

Da mesma forma que a água é importante para vida, ela também é a substância mais abundante nas instalações sanitárias para manter a limpeza abrangendo um vasto número de aplicações essenciais para a higiene e a limpeza no nosso dia a dia. É o principal ingrediente de todas as formulações e que quando associada aos sabonetes cria um agente de limpeza para lavar as mãos ou tomar banho, removendo sujeira, bactérias e vírus dos corpos e evitando a propagação de doenças. O ato de tomar banho não é novo, mas ele evoluiu com desenvolvimento da humanidade e contribuiu para a melhoria da qualidade de vida e a longevidade das pessoas, sendo a água indubitavelmente a substância mais importante e abundante nos banheiros, permeando todos os aspectos para sua finalidade.

O papel da água vai além dos cuidados pessoais. Ela é usada nos vasos sanitários como agente carreador, chamado de descarga, uma solução higiênica para o descarte de resíduos, que depende da água para remover e transportar com eficiência os dejetos humanos, garantindo o saneamento adequado. Esse fluxo de água nos sanitários foi uma inovação que também levou muitos séculos para chegar ao estágio atual com abastecimento de água canalizada através de canos para os bidês e vasos, assim como para o chuveiro e as pias, tornando-se a substância indispensável dos banheiros modernos. Devido ao custo e a escassez da água, os banheiros necessitam de práticas sustentáveis, como por exemplo, equipamento com tecnologias para economia de água nas torneiras e vasos sanitários de baixo fluxo, que minimizam o desperdício de água sem comprometer a funcionalidade.³³

O uso de água como solvente em reações químicas é impulsionado pela necessidade de condições mais sustentáveis na síntese de compostos químicos.³⁴ É uma opção para substituir solventes tradicionais que não são adequados para o meio ambiente e à saúde humana, ou seja, trata-se da Química

Verde que incentiva uma produção mais limpa e com menos poluentes industriais, garantindo que os fabricantes assumam uma maior responsabilidade para os produtos que eles colocam no mercado.³⁵

Todos os processos biológicos ocorrem em meio aquoso e a água é considerada um solvente polar, com alta constante dielétrica e com poder de solvatação. Ela também é um solvente muito versátil para muitas reações orgânicas e inorgânicas que além disso, se encaixam dentro dos conceitos da Química Verde e das dimensões da sustentabilidade. A água é um solvente universal abundante, ~70% da superfície terrestre, não inflamável e que não contribui para a poluição do ar ou contaminação ambiental. Por centenas de anos foi o único solvente disponível para os químicos realizarem suas reações, porém sua alta polaridade limita a solubilidade de compostos apolares.

É um solvente relativamente seguro e ambientalmente benigno em comparação com muitos outros solventes orgânicos que são prejudiciais para o meio ambiente. O resíduo de água pode ser descartado no meio ambiente, desde que esteja isento de outras substâncias perigosas. A água é um solvente barato que tem a capacidade de dissolver muitos solutos sólidos e líquidos iônicos polares e, alguns apolares, possuem a capacidade de atuar tanto como solvente quanto como reagente em várias reações químicas. A água pode ser nanoconfinada, a qual oferece uma alternativa para compressão e armazenamento de gases como metano e hidrogênio.³⁶

Água e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

A água faz parte dos diversos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que estabeleceu as metas para a Agenda 2030 propostos pelas Nações Unidas em 2015. Esses ODS são a continuidade ampliada do Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM) que vigoraram entre 2000-2015 e representam um conjunto de metas quantitativas e indicadores para serem alcançadas até 2030.³⁷

Apesar da atenção considerável recebida em todo o mundo em todos os setores das sociedades, os ODS foram criticados por sua capacidade limitada de apoiar a medição do progresso genuíno em direção aos objetivos, particularmente em níveis subnacionais ou estaduais e municipais. O Brasil nacionalizou as metas em 2018 pela Comissão Nacional para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (CNODS).³⁸ A Figura 2 destaca os ODS que estão ligados relacionados diretamente ou indiretamente com a água.



Figura 2. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados com a água.

Os ODS são fundamentais para abordar e estimular questões cruciais em diversas áreas. Para o ODS 2 a água é essencial para a agricultura e a produção de alimentos, o que, por sua vez, é fundamental para combater a fome e a pobreza. O ODS 3 está relacionado ao acesso à água potável e ao saneamento, desempenhando um papel crucial na promoção da saúde pública. O ODS 6 se concentra especificamente em garantir o acesso universal à água potável e ao saneamento adequado, principalmente o esgoto humano e animais, reconhecendo a importância da água para a sobrevivência e o bem-estar humano. O ODS 7 reconhece a água como componente fundamental para a geração de energia limpa e renovável. Para o ODS 12 a água é de grande importância, pois seu consumo excessivo, e de outros bens comuns, está promovendo a falência da sustentabilidade do planeta. Enquanto isso, o ODS 13 enfoca o papel da água nas mudanças climáticas, destacando a necessidade de preservar e gerenciar esse recurso diante dos desafios climáticos globais. No mesmo contexto, o ODS 14 é responsável por tratar dos ecossistemas aquáticos saudáveis, que são essenciais para a biodiversidade e a saúde geral do planeta. Por sua vez, o ODS 15 destaca a estreita relação entre a água e os ecossistemas terrestres. Esses ODS, destacados na Figura 2, resumem a importância vital da água para alcançar metas interconectadas, que abrangem desde a saúde pública e a agricultura até a promoção de energia renovável e

ação climática. É imperativo que a humanidade reconheça imediatamente o papel crítico da água para a sustentabilidade da vida no planeta.

A Água como Solvente em Reações Químicas

Não é nosso objetivo fazer uma digressão sobre as reações em água. No entanto, buscamos demonstrar que existem diversos métodos sintéticos que utilizam água ou água superaquecida como solvente, com o intuito de minimizar o impacto ecológico desses processos. Muitos dos solventes usados nas reações são cancerígenos, mutagênicos, ecotóxicos, inflamáveis, com potencial de formação de peróxidos, fotorreativos, e que promovem a contaminação das águas subterrâneas. Alguns são compostos orgânicos voláteis que contribuem para a poluição atmosférica, destruição da camada de ozônio e odor desagradável.³⁹

Há muitas publicações que relatam o uso da água como solvente, empregando diferentes tipos de transferência de calor, como a irradiação de micro-ondas, que se destaca como um método eficiente de aquecimento. A Figura 3 ilustra alguns exemplos selecionados de reações que se utilizaram da água como solvente, até mesmo em reações bastante sensíveis. A reação de Suzuki é um acoplamento cruzado de formação de ligação C-C entre haletos de arila com ácidos borônicos catalisado por paládio. Leadbeater e Marko mostraram que essa reação pode ser realizada em água como solvente.⁴⁰ Reações multicomponentes são aceleradas por água,⁴¹ como por exemplo, a síntese de furanonaftoquinonas totalmente funcionalizados via reação de três componentes.⁴² A reação de condensação de três componentes de quatro centros (4C-3CR) Ugi-Smiles em um pote em água produz em bons rendimentos derivados de benzo[b]furano.⁴³

Uma das reações mais influenciadas pela água são as reações de Diels-Alder,^{44,45} e suas variações como aza-Diels-Alder, onde a velocidade das reações são aceleradas pelo grande valor negativo do volume de ativação das reações de Diels-Alder *versus* solventes orgânicos. Essas reações em água são mais quimio e estereosseletivas.⁴⁶ Esse efeito é conhecido como efeito hidrofóbico que é a tendência de espécies apolares se agregarem em solução aquosa de modo a diminuir a área interfacial hidrocarboneto-água.⁴⁷ A reação para converter aldeídos em ácidos carboxílicos e H₂ (Aldehyde-Water Shift Reaction) usando H₂O como oxidante. Esse processo, além de produzir ácidos carboxílicos, valiosos reagentes utilizados na produção de produtos, incluindo polímeros, ésteres e amidas e o combustível) e o importante gás hidrogênio. Os complexos de (hexametilbenzeno)RuII demonstraram ter alta atividade e seletividade, até 95%, para essa oxidação a ácido e H₂.⁴⁸

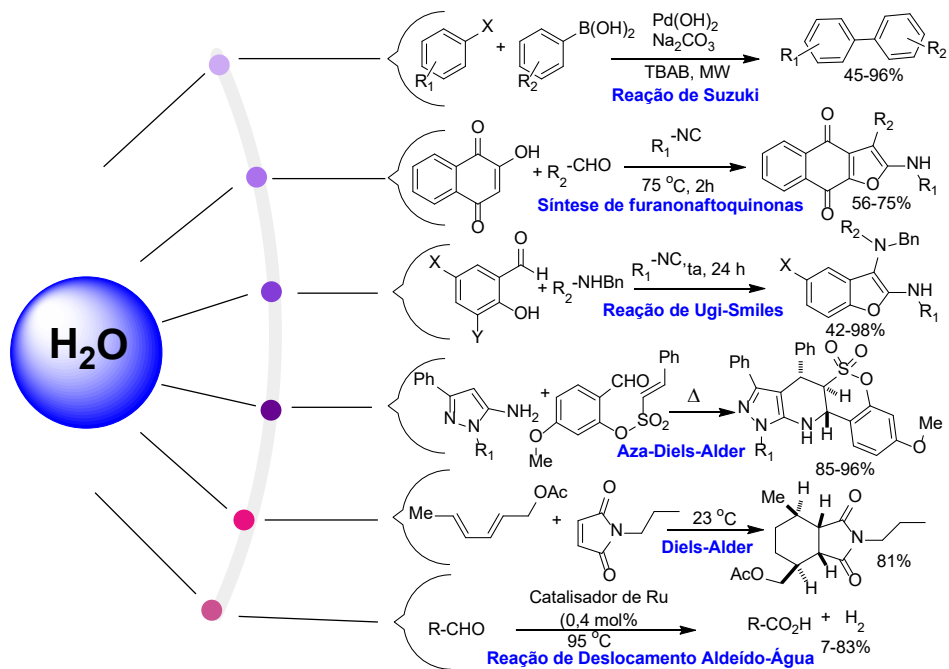


Figura 3. Exemplos de reações utilizando água como solvente.

Contaminantes da Água

No planeta, todos os elementos estão interligados e interdependentes, formando a base do conceito de multidimensionalidade na sustentabilidade. Para alcançar a verdadeira sustentabilidade, é essencial que as políticas públicas englobem a participação conjunta do cidadão, governo e setor privado. Esses agentes têm a responsabilidade de preservar o equilíbrio dos recursos naturais, como águas dos oceanos, rios, lagos, ar, solo de montanhas e desertos, florestas, mangues e pântanos. Não basta focar em apenas um desses bens naturais, pois é fundamental considerar todos eles em uma cadeia de sistemas sustentáveis e interdependentes. Ações pensadas e implementadas em todas as dimensões são essenciais para garantir uma sustentabilidade autêntica, que vá além de uma mera fachada verde.

A água é um recurso natural de extrema importância, sendo também um dos mais impactados pelas atividades humanas.⁴⁹ Ela é essencial para a vida de todas as formas e crucial para a agricultura, indústria, usos domésticos e instalações sanitárias. No entanto, a crescente demanda por água, juntamente com a poluição e a degradação ambiental, têm colocado uma enorme pressão

sobre esse recurso precioso. Portanto, é importante ter uma “abordagem de capital natural” para a tomada de decisões nos processos de política governamental e no setor privado.⁵⁰

A água potável dos rios, lagos e aquíferos é bombardeada diariamente com o despejo de dejetos humanos e animais, resíduos orgânicos de instalações industriais para produção de proteínas, resíduos sólidos poliméricos, chorumes dos lixões, agrotóxicos usados na agricultura, mineração com mercúrio, dentre outros, que tem contribuído para a degradação das fontes de água doce em todo o mundo.⁵¹ O uso indiscriminado e o desperdício desenfreado é um dos principais desafios enfrentados pela humanidade em relação à gestão sustentável da água. A Figura 4 detalha os ataques de diversos contaminantes nos corpos hídricos. A sua preservação é responsabilidade de todos para garantir a sobrevivência das gerações futuras e a saúde do planeta como um todo.

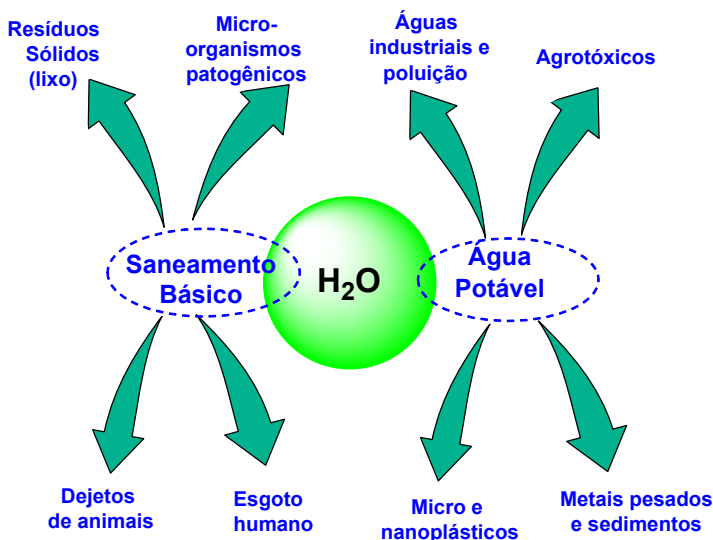


Figura 4. Ataques de diversos contaminantes nos corpos hídricos.

A preservação da água é responsabilidade de todos, pois há limites para o consumo do “capital natural água” que é um bem público e que pertence a todos, essencial para a vida e de uso comum de todos os seres vivos, não somente dos humanos. Como relatou Garrett Hardin em seu artigo “*The Tragedy of the Commons*”: “Os indivíduos agem de maneira autônoma e racional, buscando seus próprios interesses, mas acabam prejudicando a humanidade ao esgotar esses recursos naturais compartilhados”.⁵² O conceito de “capital natural”

ganhou força internacional à medida que cresce o reconhecimento do papel central destes bens no ambiente natural e na manutenção do bem-estar econômico e social.⁵³ Os oceanos detêm 97% da água da Terra e a água doce corresponde apenas 3%. Considerando estes aspectos, não faz sentido, em termos de sustentabilidade, poluir os nossos 3% de água, pois poluímos as águas do rio e pagamos mais caro por ela “purificada”, ou seja, os pobres e os ricos pagam o mesmo valor. Algumas perguntas incômodas: faz algum sentido poluirmos a água e depois pagar para purificá-la? Faz sentido beber água contaminada por produtos químicos incluindo metais pesados, agrotóxicos e micro ou nanoplásticos? Faz sentido bebermos água contaminada com materiais radioativos? A água deveria dar lucros para empresários se é um bem comum natural como é o ar? O ar poderá ser cobrado no futuro?

Algumas respostas às ações humanas nos parecem ser óbvias, mas em realidade fazemos tudo isso e muito mais como, o despejo inadequado de resíduos, o uso indiscriminado de agrotóxicos, mineração usando mercúrio nos rios, consumo e desperdício desenfreado, degradação das fontes de água doce, contaminação dos rios e seus peixes, lagos e aquíferos, dentre outras. Um dos piores comportamento dos humanos é o de poluir as praias e então construir piscinas nos condomínios e coberturas para os mais favorecidos, e para os pobres se construir piscinões.

Contaminação da Água por Plásticos

A água proveniente das instalações sanitárias contém principalmente materiais orgânicos (esgoto) e, adicionalmente, alguns produtos inorgânicos e poliméricos. Desde a invenção do primeiro polímero totalmente sintético, a baquelite, por Leo Hendrik Baekeland em 1907, os materiais poliméricos, também conhecidos como plásticos, têm diversificado e se espalhado rapidamente pelo mundo, resultando em uma alarmante poluição dos corpos hídricos. A poluição plástica é uma ameaça planetária, e os detritos plásticos representam até 87% do lixo marinho, devido à falta de recolhimento ou gestão adequada, com 79% dos produtos plásticos em todo o mundo não sendo coletados ou gerenciados corretamente. A produção global de plástico aumentou de 1,5 milhão de toneladas na década de 1950 para 335 milhões de toneladas em 2016.⁵⁴ Estimamos que entre 1,15 e 2,41 milhões de toneladas de plástico fluem atualmente do sistema fluvial global para os oceanos todos os anos.⁵⁵ Existem ilhas de plásticos flutuando nos oceanos. A Figura 5 exemplifica o problema ao mostrar alguns exemplos de microplásticos, dentre milhões, recolhidas numa praia.



Figura 5. Diversidade de microplásticos recolhidos na Praia do Francês em Itaipuaçu, Maricá (22°58'26.1''S e 42°54'47.0''W).⁵⁶

Como a maioria dos resíduos plásticos não são recolhidos ou reciclados, esses materiais poliméricos que flutuam nos corpos hídricos, como rios, lagos e oceanos⁵⁷ são submetidos ao intemperismo e a degradação pela luz solar criando uma família de partículas de tamanhos diferentes chamadas microplásticos e nanoplásticos. Aproximadamente 269 mil toneladas de plástico boiam nos oceanos de todo o mundo em diferentes concentrações dependendo do lugar de medição, mas há plásticos flutuando nos mares.⁵² As fortes chuvas pioram a situação com transporte dos plásticos e outros resíduos que estão inadequadamente no solo das cidades para os sistemas de água, exacerbando a poluição. É preciso entender que essa poluição da água com plásticos se tornou um grande problema mundial, já contando com estudos extensivos em métodos analíticos, fonte, transporte, destino, degradação de plásticos no meio ambiente e ameaças ao ambiente natural, à vida selvagem ou mesmo à saúde humana.^{58,59}

Esses materiais fragmentados têm levantado preocupação crescente, devido aos seus potenciais impactos ambientais, ecológicos e para a saúde humana. Os organismos marinhos confundem essas partículas com alimentos e os ingerem colocando-os dentro da cadeia alimentar que resultam em bioacumulação, sendo que essa ingestão pode causar danos físicos, bloqueios nos sistemas digestivos e levar à redução da eficiência alimentar e muitas vezes

levar à morte. Outro problema considerado grave causados pelos plásticos de todos os tamanhos é o transporte de espécies invasoras que se grudam nesses materiais alterando os ecossistemas e as populações de espécies nativas.^{60,61} É um problema muito grave que vai desde a introdução de espécies invasoras, até os manguezais e regiões polares.

Alguns microplásticos primários estão presentes em produtos de higiene pessoal, como esfoliantes e pastas de dente. Os microplásticos secundários são oriundos de materiais maiores, como garrafas, sacolas, utensílios descartáveis, equipamentos de pesca, embalagens, e que se degradam ao longo do tempo em partículas menores por interação com radiação UV e fragmentação por forças mecânicas das ondas. Os microplásticos secundários produzem os nanoplásticos pela continuidade dos mesmos processos físicos e químicos.

Os plásticos de qualquer tamanho nos sistemas hídricos são perigosos. Porém, não menos preocupante são as substâncias tóxicas presentes na composição dos plásticos. São diversas substâncias usadas como aditivos, metais pesados, estabilizantes e plastificantes a base que durante a decomposição/fragmentação e o calor são lixiviados em pequenas quantidades para a água prejudicando ainda mais a qualidade do ambiente aquático. O processo de purificação da água e a filtração não removem essas substâncias, assim como não removem os fragmentos de nanoplásticos. A Figura 6 destaca algumas dessas substâncias perigosas presentes nos plásticos. O bisfenol A é usado na produção de certos plásticos, como policarbonato, como polímero versátil com alta transparência, resistência ao impacto e calor, e resinas epóxi. Os ftalatos são adicionados aos plásticos para aumentar sua flexibilidade e durabilidade. As bifenilas policlorados (PCBs) eram usadas como plastificantes, mas estão proibidas em muitos países, pois são bioacumuladas nos organismos. No entanto, ainda há detrito carreando esses plásticos flutuando na água.

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) são muito diversificados e bastante tóxicos para os humanos e organismos aquáticos. São encontrados nos plásticos fabricados com matérias-primas derivadas do petróleo. Os metais, como chumbo, cádmio e mercúrio, são usados como aditivos, principalmente em tintas usadas nos brinquedos. Os pesticidas e retardadores de chama apesar de não entrar na composição dos plásticos, aderem nas embalagens de plástico vazias e retêm pequena quantidade desses produtos. As embalagens se forem descartadas irregularmente carregam esses poluentes altamente resistentes para os corpos d'água.

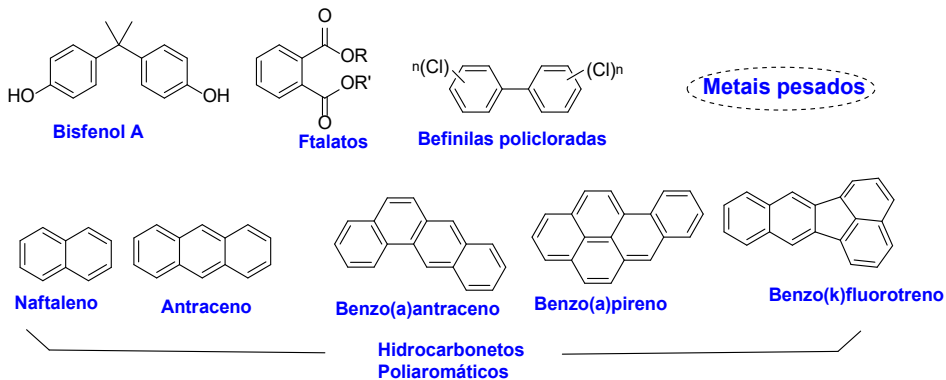


Figura 6. Substâncias usadas para a fabricação de plásticos e liberadas na água.

Mitigar a poluição com microplásticos e nanoplásticos nos corpos hídricos vai requerer esforços imensos que levará muitos anos para algum tipo de reversão que melhorem a qualidade dos ambientes aquáticos. As ações começam com a redução dos materiais poliméricos persistentes, conscientizar sobre o descarte inadequado, melhorar os materiais poliméricos, diminuir a oferta de utensílios descartáveis, evitar plásticos de uso único, melhorar a gestão de resíduos e desenvolver produtos poliméricos biodegradáveis como alternativas aos sustentáveis aos plásticos. É importante ressaltar que é preciso controlar as embalagens vazias que podem liberar substâncias tóxicas na água.

Ainda não está claro quais estratégias serão mais eficazes para mitigar os danos ao problema global da poluição plástica que continua crescendo.⁶² Certamente, para se lidar com esse imenso problema nos corpos hídricos, são necessárias abordagens holísticas integradas, que envolvam tanto a redução da produção e consumo de plásticos descartáveis quanto o aprimoramento dos sistemas de coleta e reciclagem.⁶³ Além disso, a conscientização da população sobre os impactos ambientais do uso inadequado do plástico é essencial para mudar comportamentos e promover a proteção dos corpos hídricos e dos ecossistemas aquáticos. Medidas regulatórias também podem ser implementadas para controlar a poluição por plásticos, pois é preciso promover a transição para alternativas mais sustentáveis, projetar intervenções eficazes para motivar ações de mitigação com base em evidências das ciências comportamentais e não apenas valores econômicos.⁶⁴

Água Gratuita para Todos

A questão de fornecer água gratuita para todos é de grande importância e justiça social, pois o acesso a água limpa e segura é um direito humano fundamental e essencial para a vida. Ela deve ser considerada um bem de acesso universal, não devendo ser comercializada, visto que é captada do meio ambiente sem nenhum custo inicial. Muitas pessoas ainda não têm acesso a fontes de água adequadas e, em algumas regiões, a escassez de água está se tornando uma preocupação cada vez mais premente.

Um bilhão de pessoas vivem em extrema pobreza sem água potável, ou seja, não podem pagar pela água. Garantir o acesso gratuito à água para todos tem custos que podem ser divididos por todos, mas é preciso ter uma política pública governamental para diminuir a desigualdade hídrica e ao mesmo tempo implementando práticas sustentáveis de gestão da água.

A água é essencial para a sobrevivência, redução da pobreza, melhoria da saúde pública e bem-estar das comunidades em todo o mundo. Os empresários que lucram com o comércio da água argumentam que haverá restrições financeiras, mas em realidade são obstáculos políticos que buscam um futuro mais equitativo e sustentável para todos. Neste sentido, em 2022, no Chile, foi iniciado o processo de desprivatização das empresas responsáveis pela purificação e comercialização da água, um passo importante rumo à garantia do direito básico de todos os cidadãos ao acesso a esse recurso vital.⁶⁵ Somente através dos esforços coletivos para aumentar a conscientização sobre a conservação e uso responsável da água potável, proteção dos mananciais, políticas públicas e investimentos em infraestrutura será possível assegurar um futuro sustentável, onde a água continue a ser uma fonte disponível para todos.

Contaminação por Agrotóxicos

Outro tipo de contaminação muito grave das águas são agrotóxicos, que podem se tornar bioacumulativos na cadeia alimentar, utilizados pelo setor do agronegócio. Essas atividades usam muitos pesticidas para proteger as plantações de pragas, doenças e ervas daninhas. Eles são aplicados nos campos de diversas formas como, pulverização aérea ou pulverização no solo, contudo, a pulverização por drones vem crescendo nas plantações brasileiras.⁶⁶

As aplicações de pesticidas, podem atingir o solo diretamente ou por transferência de resíduos provenientes das plantas,⁶⁷ que podem ser arrastados pelas chuvas para os corpos hídricos e por percolação no solo até os aquíferos, escoamento ou lixiviação, sendo que a distribuição/degradação de agrotóxicos no solo está relacionada às propriedades físico-químicas dessas

substâncias – principalmente em relação à solubilidade, pressão de vaporização e estabilidade química.⁶⁴

As formas de contaminação do meio ambiente ocorrem predominantemente através do uso indevido, derramamentos acidentais, aplicação inadequada e uso excessivo ou pulverização carreada pelo vento para os rios, ou seja, áreas não pretendidas, incluindo corpos d'água. No entanto, os mais graves são os pesticidas tóxicos e persistentes que deveriam ser banidos e trocados por biopesticidas. Para lidar com a contaminação por pesticidas, é essencial promover práticas agrícolas sustentáveis, como o manejo integrado de pragas (MIP), que enfatiza o uso reduzido de pesticidas e aplicações mais direcionadas.

O manuseio, armazenamento e descarte adequados de pesticidas também são cruciais para evitar a contaminação acidental. Além disso, educação, conscientização e regulamentos rígidos sobre o uso de pesticidas são essenciais para proteger o meio ambiente e a saúde pública dos efeitos adversos da contaminação por pesticidas. Muitas cidades brasileiras apresentam alto índice de agrotóxico na água da torneira.⁶⁸ Para exemplificar, a análise de amostras da água que é consumida em 100 cidades catarinenses, feita a pedido do Ministério Público de Santa Catarina (MPSC) que são usados nas lavouras (22 de março de 2019), indicou que 22 municípios do Estado SC recebem nas torneiras água com resquícios de agrotóxicos. Foram encontrados 204 ingredientes ativos de agrotóxicos.⁶⁹

Contaminação das Águas por Mercúrio e Sedimentos nos rios⁷⁰

A contaminação do meio ambiente por metais pesados tóxicos tem afetado diversos bens comuns como o solo, água, ar, peixes, crustáceos, manguezais, florestas, etc. Esses elementos ocorrem naturalmente, mas as atividades industriais, mineração, agricultura, incineração e disposição inadequada de resíduos, tanto na zona urbana quanto rural, aumentaram suas concentrações no meio ambiente. Os principais metais pesados que causam preocupações para os humanos são chumbo, cádmio, arsênico, cromo, níquel e mercúrio. Nesse momento a contaminação com o metal mercúrio ou mercúrio inorgânico ou metilmercúrio⁷¹ são os que têm causado enormes preocupações devido a mineração de prata e ouro e por terem capacidade de bioacumulação e biomagnificação através da cadeia alimentar.⁷²

A contaminação por mercúrio gera grave problema para o meio ambiente e para a saúde humana e com vários efeitos prejudiciais para os ecossistemas, como a redução da biodiversidade e à interrupção dos processos naturais. O

mercúrio é um elemento líquido volátil com maior densidade do que a água, bioacumulativos e altamente tóxico. Era usado em interruptores, termostatos, termômetros e outros instrumentos, etc. Sua capacidade de formar amalgama com diversos metais, como ouro e prata, o faz útil na mineração. Suas características tóxicas foram exploradas em alguns medicamentos antissépticos e pesticidas.

A ciência tem alertado há mais de 50 anos que o mercúrio é perigoso e o seu uso no garimpo contamina tudo, inclusive as águas dos rios. Em artigo “Os variados riscos da contaminação por mercúrio” na Folha de São Paulo em 1988, o Prof. Romeu C. Rocha Filho descreve e conclui: *“Finalmente, por tudo que foi aqui exposto, cabe aos órgãos governamentais tomar urgentemente medidas que minimizem os riscos de contaminação por mercúrio de muitos dos nossos rios, que vem se constituindo numa grave ameaça ao meio ambiente.”*⁷³ Interessante que o mesmo jornal em 2023 relata: *“Substância é altamente poluente, pode percorrer grandes distâncias na atmosfera e assume uma das suas formas mais tóxicas na água”.*⁷⁴

Dentre os metais, o mercúrio é um elemento que não tem nenhuma função biológica endógena, mas a exposição, mesmo a pequenas quantidades, pode levar a graves problemas de saúde, afetando principalmente o sistema nervoso, os rins e o sistema respiratório. Mulheres grávidas e crianças pequenas são particularmente vulneráveis aos efeitos nocivos do mercúrio, pois pode causar transtornos do autismo fetal.⁷⁵ O mercúrio e seu mineral HgS deveriam ser tratados como substâncias a serem reguladas pela Polícia Federal ou pelo Exército, como é feito com as drogas ilícitas e armas, sendo proibidas de compra, venda e usos não autorizados. No Brasil o seu uso está descontrolado no garimpo na Amazônia. Há muito relatos sobre os efeitos adversos nos peixes, pássaros e outros animais selvagens que podem prejudicar a reprodução, o crescimento e o declínio populacional.

No processo de mineração se aquece minério de cinábrio de cor vermelha ou vermelho-alaranjado que é uma fonte natural de mercúrio. Durante o aquecimento é passada uma corrente de ar que arrasta um pouco vapor de mercúrio. Se o vapor for inalado, pode causar tonturas, tremores e danos aos pulmões e cérebro. No ambiente, o mercúrio se transforma em organometálico metilmercúrio que causa transtornos mentais e até a morte, porém ainda existem lacunas no conhecimento sobre exposições e efeitos na saúde e a tradução em ações preventivas está atrasada.⁷⁶

Já houve eventos trágicos associados à contaminação por mercúrio ou metil mercúrio. Aparentemente não aprendemos nada no Brasil com os desastres ambientais em outros países como a doença na Baía de Minamata no Japão, envenenamento por mercúrio orgânico no Iraque, contaminação

mercúrio no rio English-Wabigoon da comunidade indígena Grassy Narrows por uma fábrica de celulose e papel próxima em Dryden (Ontário, Canada) Ontário, derramamento de mercúrio elementar em Cajamarca (Peru) e um prédio contaminado por mercúrio em Hoboken (NJ, EUA), derramamento de mercúrio no meio ambiente pela fábrica da Eldorado Chemical Company (Salt Lake City, Utah), dentre muitas outras.⁷⁷

A Doença de Minamata, ou envenenamento por mercúrio, causa a Síndrome de Minamata, que se caracteriza por graves e irreversíveis sintomas neurológicos e físicos, além de defeitos congênitos em mulheres grávidas.⁷⁸ A contaminação das águas foi causada por uma empresa química que liberou continuamente mercúrio e metilmercúrio na baía.⁷⁹ Esse derivado do mercúrio acabou bioacumulando nos peixes e mariscos. Como a alimentação dos habitantes locais era baseada em frutos do mar, também foram contaminados.

A falta de um órgão fiscalizador e regulador tem causado tragédias nos bens comuns, como rios, lagos, florestas, etc. Nesse cenário, os criminosos lucram, enquanto os prejuízos recaem sobre todos, inclusive com danos à saúde da população. A sociedade acaba tendo que arcar com o passivo, os prejuízos e os danos socioambientais já causados. Um exemplo dessa tragédia é a cidade de Santarém, no Pará, onde o garimpo ilegal contaminou 75% da população com altos índices de mercúrio. Pesquisas conduzidas por Meneses et al.⁸⁰ revelaram que os moradores dessa cidade portuária já apresentam alterações nos rins e fígado, devido à contaminação. Além disso, na população ribeirinha, a contaminação chega a mais de 90%, e 57,1% dos participantes moradores da área urbana de Santarém apresentam taxas de mercúrio no sangue acima do nível considerado seguro pela OMS.

Existem várias fontes de contaminação com mercúrio, a saber: processos industriais, usinas termoelétricas a carvão, mineração e incineração de resíduos. Porém, a maior fonte de contaminação dos rios é a mineração fluvial, que vem aumentando e hoje afeta 173 grandes rios em 49 países. Os níveis de sedimentos suspensos dobraram, em comparação com os níveis anteriores à mineração, em cerca de 80% dos rios e quase 7% de todos os grandes trechos de rios tropicais estão agora nublados com detritos de mineração.⁸¹

Na Amazônia a maior parte da contaminação da fauna e da flora vem da mineração artesanal do ouro.⁸² A floresta captura o mercúrio ou íon mercúrio através das folhas que é repassado para o solo quando as folhas caem ou são lavadas pela chuva colocando em risco esse ecossistema tropical. A contaminação das águas dos lagos por mercúrio devido a mineração de ouro artesanal é muito mais perigosa nos lagos do que nos rios, pois os lagos convertem mercúrio em metilmercúrio a taxas de cinco a sete vezes maiores que nos rios.⁸³ É

importante ressaltar que as emissões de mercúrio podem percorrer longas distâncias pela atmosfera e contaminar áreas distantes da fonte original.⁸⁴

Academia Brasileira de Ciências (ABC) preocupada com as repercussões na saúde humana e ambiental devido as emissões de mercúrio distribuídas pela atmosfera, divulgou recentemente (02/2023) para toda sociedade um pequeno livro bem completo sobre o processo de contaminação por mercúrio (Figura 7).⁸⁵ A ABC alerta que esse processo de contaminação impacta diretamente na saúde pública, principalmente das populações indígenas, tradicionais e ribeirinhas, alterando também seus territórios e impossibilitando-lhes a continuidade de seus modos de vida e culturas.

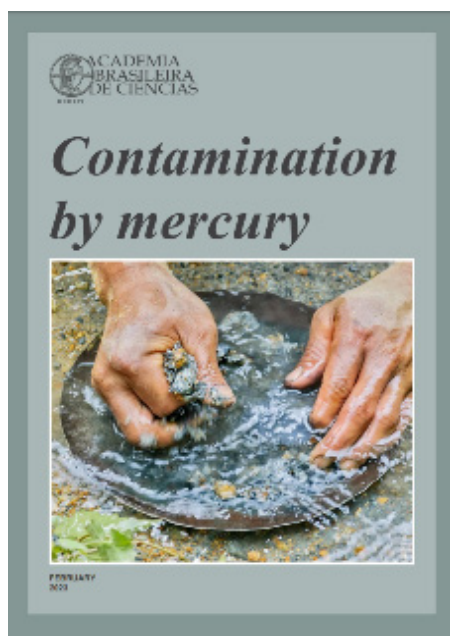


Figura 7. Livro da Academia Brasileira de Ciências (ABC) “Contamination by Mercury”.

Água e Sabonetes como Conjunto de higiene pessoal

O sabão, o detergente e o sabonete são formulações básicas contendo diversas substâncias que só funcionam na presença de água. São produtos usados nos processos de higienização de diversos materiais de usos diários. Eles têm uma fatia considerável do mercado dos produtos de limpeza. Suas formulações possuem muitas substâncias como espessantes, perfumes e corantes.

No entanto, do ponto de vista da funcionalidade, os surfactantes são os mais importantes, pois eles é que formam as espumas na presença de água e ar. Os surfactantes reduzem a tensão superficial da água, permitindo que ela se espalhe e forme bolhas de ar. O sabão funciona exatamente como todos os outros surfactantes, ou seja, possui uma estrutura química com uma parte hidrofílica que se liga à água e uma parte hidrofóbica que se liga às gorduras. A espuma é o conjunto de bolhas formadas quando o sabão e a água são agitados para quebrar a tensão superficial da água, permitindo que o ar se introduza e se acumule na forma de bolhas, revestidas por uma fina camada de sabão. A espuma é fundamental para o processo de limpeza, pois permite a remoção de sujeiras e gorduras da superfície, sendo levadas pela água durante o enxague.^{86,87,88}

O sabão foi fundamental na história da civilização e no desenvolvimento da Química e Farmácia, pois foram as primeiras transformações químicas com aplicações medicinais. A sua descoberta foi acidental, mas sua utilidade foi sendo lentamente entendida pela humanidade, principalmente no que diz respeito as aplicações para a saúde. A sua história tem muitas incertezas e teorias sobre a origem do sabão. Uma dessas teorias diz que foram os antigos sumérios por volta de 2000 a.C.⁸⁹ que descobriram que o óleo de oliva misturado com cinzas produzia uma substância útil para limpeza e denominaram ele como “sapo” que deu origem a “soap” e também deu origem à palavra “sabão”. Mas há outras teorias para explicar a origem desse nome.⁹⁰ A primeira referência literária conhecida ao sabão usado para fins de limpeza vem de Plínio, o velho, que descreveu as diversas propriedades do sabão em sua obra “História Natural”. Ele destacou o papel terapêutico do sabão em diferentes contextos e aplicações medicinais na época. Ao abordar a natureza multifacetada do sabão, Plínio enriqueceu o conhecimento da humanidade sobre esse produto, deixando um legado valioso que perdura até os dias atuais. Posteriormente, Galeno, um famoso médico grego, no século II d.C. também enfatizou as propriedades medicinais do sabão.⁸⁷ No entanto, a higienização das pessoas através do banho diminuiu em toda a Europa quando Roma caiu em 467 d.C.

No início dos anos 1500, as pessoas normalmente tomavam banho com sabão, uma vez por ano e com mais frequência no final de maio. Isso permitiu que as noivas estivessem frescas para suas próximas núpcias.⁹¹ As impurezas corporais e as condições de vida abaixo do padrão contribuíram para diversas pestes na idade média. Os químicos árabes criaram no início do século VII o primeiro sabão usando apenas óleo vegetal, mesmo sem saberem que gorduras e óleos vegetais são essencialmente triglicerídeos.

A preparação do sabão se espalhou pela Europa por vários séculos e teve muitas modificações, mas basicamente usando a mesma reação de

saponificação de óleos vegetais e gorduras. Nessa linha evolutiva foram criados os sabonetes mais finos à base principalmente de azeite. A eliminação de cinzas na produção do sabão ocorreu em 1791 quando Nicolas LeBlanc (1742-1806) desenvolveu o “Processo Leblanc”,⁹² que revolucionou a produção de soda cáustica (hidróxido de sódio) e bicarbonato de sódio a partir do sal comum. Com esse processo os fabricantes puderam preparar o sabão de forma muito barata. Antes disso, o sabão era caro e tinha uma demanda muito alta. Em 1811, outro francês chamado Michel Eugene Chevreul identificou a relação entre glicerina e ácidos graxos. Essas duas descobertas marcaram o início da fabricação moderna de sabonetes.

Antes da descoberta das estruturas químicas exatas das gorduras dos animais e os óleos vegetais, não se sabia que elas pertenciam à mesma classe dos lipídios.⁹³ Eles se diferenciam quantidades e tamanho das cadeias dos ácidos graxos que modificam o estado físico do material bruto. Óleos e gorduras podem ser extraídos das sementes das plantas, algas, animais superiores e peixes. Os óleos são normalmente produtos de origem vegetal e são líquidos à temperatura ambiente (óleo de soja), enquanto as gorduras (sebo) são sólidas, ou de consistência pastosa à temperatura ambiente, e em geral, de origem animal. Os sebos, assim como as gorduras são em sua maioria de origem animal e sólidos à temperatura ambiente.^{90,94} Os lipídios reagem com hidróxidos de sódio ou potássio através de uma reação chamada de saponificação (formação de sabões ou sabonetes) que está descrita na Figura 8. É uma reação muito fácil de fazer tanto em pequenas empresas até indústrias de abrangência nacional. Nesta reação, cada molécula de triglicerídeo se quebra em uma molécula de glicerina e em três sais de ácidos graxos orgânicos. Para separar a glicerina dos sais de ácidos graxos adiciona-se à mistura cloreto de sódio e os sais sobem para a parte de cima do frasco, ou reator, e a glicerina se deposita no fundo e pode ser removida pelo fundo do frasco. A glicerina bruta obtida do processo de produção do biodiesel é usada em muitos produtos, como alimentos, têxtil, cosmético, de higiene pessoal, limpeza, lubrificantes, tintas e vernizes, explosivos, tabaco, papéis, plásticos e produtos farmacêuticos.

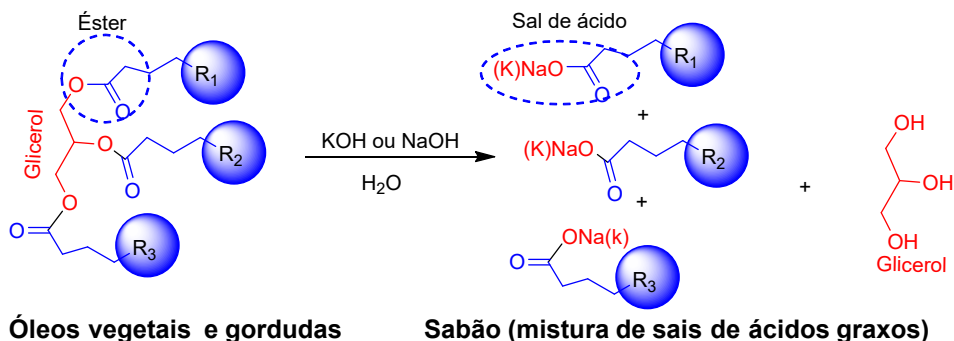


Figura 8. Estrutura química geral dos lipídios e dos sabões.

Os óleos vegetais, como óleo de palma, óleo de canola, óleo de coco e óleo de soja, são produtos naturais muito importantes para a economia de qualquer país. Eles são utilizados como alternativa às gorduras de origem animal e produtos petroquímicos em aplicações alimentícias e não alimentícias, como produção de bactericidas, cosméticos e produtos farmacêuticos. O tamanho do mercado global de óleo vegetal atingiu US\$ 255,2 bilhões em 2022 e espera-se que o alcance US\$ 343,9 bilhões até 2028, com uma taxa de crescimento (CAGR) de 5% durante o período entre 2023-2028.^{95,96} Uma fração desses óleos é transformada em sabonete. O tamanho do seu mercado global foi de US\$ 34,09 bilhões em 2019 e deve chegar a US\$ 55,29 bilhões até 2027, exibindo um CAGR de 5,0%.

O sabão é um produto diferenciado do sabonete em termos de funcionalidades para higiene pessoal, apesar de alguns terem funções similares, como é o caso do sabão de coco. Os sabões sólidos, líquidos e em pó são comercializados para funcionar nos processos de limpeza da casa, incluído os banheiros, louças, roupas, sapatos e objetos em geral. Já os sabonetes são usados nas formas líquida, cremosa, espuma, gel ou em barras para banhos e lavagem das mãos.

As pessoas dependem dos sabonetes diariamente para as suas higiênes pessoais criando uma sensação de satisfação mental e corporal. A fabricação dos sabonetes é mais recente, mas ainda é um ofício muito antigo, cuja produção vai desde artesanal até industrial, suas composições e preços variam de acordo com a formulação e a empresa fabricante, que mostram como se fabricar sabonetes artesanais. Há muitas vantagens em se fazer o seu próprio sabonete, pois as diversidades de formulações são infinitas, como cor, textura, forma, cheiro e design. Os sabonetes artesanais normalmente usam essências naturais e criam produtos personalizados muito mais saudáveis e adequados para o meio ambiente. Basicamente o processo de produção dos sabonetes é

bem simples e não exige muito conhecimento técnico. Há muitas literaturas que ensinam o passo-a-passo de como fazer sua própria produção.

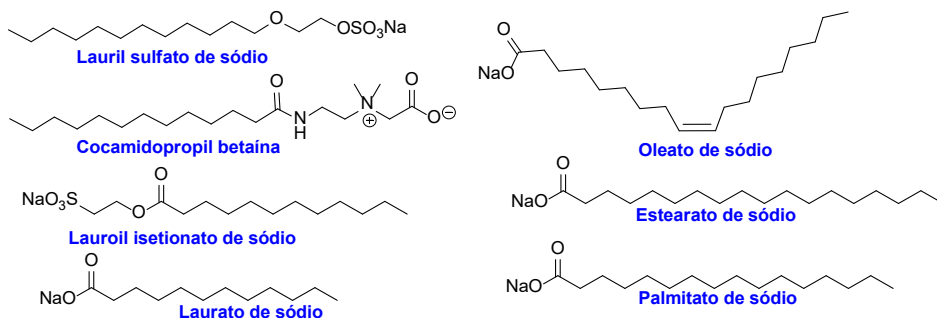
Atualmente na maioria das formulações dos sabonetes há ingredientes comuns a todos e alguns ingredientes variáveis de acordo com a proposta dos fabricantes. Por exemplo, existem sabonetes que ardem nos olhos porque contém soda cáustica que reage com as moléculas de gordura no globo ocular, mas também existem sabonetes que são inertes para os olhos. Tudo depende da formulação usada em sua preparação. Há também uma classe muito comum nos dias atuais que são os sabonetes esfoliantes que contém partículas abrasivas ou substâncias destinadas a remover as células mortas da pele, deixando-a mais lisa, e outras impurezas da superfície da pele.

O ato de remover as células mortas da pele promove a renovação das células da pele e estimula o crescimento de novas células saudáveis. Os esfoliantes são substâncias insolúveis naturais de grãos moídos ou sementes, como aveia, sementes trituradas de azeitona,^{97,98} gergelim, maracujá, café,⁹⁹ damasco e linhaça, aveia, arroz, cascas de nozes, açúcar e sal, ou sintéticas, como argila,¹⁰⁰ microesferas de quartzo, microplásticos, carboximetilcelulose. É importante ressaltar que o uso dos esfoliantes inorgânicos ou micro poliméricos têm impactos ambientais. Os microplásticos causam problemas já bem conhecidos. Eles são partículas muito pequenas para serem filtradas pelos sistemas de tratamento de água e, portanto, são despejados nos sistemas hídricos ambientais. Eles podem ser ingeridos por peixes, aves e outros animais marinhos e, eventualmente, entram na cadeia alimentar, incluindo os humanos.

Os tensoativos ou surfactantes são os componentes da formulação responsáveis pela formação da espuma e pela remoção da sujeira e das impurezas da pele. Sem eles a formulação não se forma ou não é estável por muito tempo. A quantidade de tensoativos no mercado chega a milhares de substâncias que podem ser de origem natural ou sintética.¹⁰¹No caso dos sabões e sabonetes são os sais de ácido graxos. Os sabonetes modernos têm outros tensoativos como o lauril sulfato de sódio, cocamido propil betaína lauroil isetionato de sódio, laurato de sódio, palmitato de sódio, oleato de sódio, estearato de sódio, dentre muitos outros (Figura 9). Há muitos componentes aditivos como glicerina (Figura 3) que retém água (agentes hidratantes), fragrâncias para proporcionar um aroma agradável; corante estético cuja finalidade é somente dar um visual mais atrativos ao produto comercializado, mas muitos sabonetes são incolores e não colocam corantes no meio ambiente; vitaminas com propriedades benéficas para a pele e extratos de plantas ricos em óleos naturais que também possam ter propriedades efeitos antioxidantes, antissépticos, antimicrobianos e anti-inflamatórios; dióxido de titânio (TiO_2) como aditivo clareador e opacificante; etidronato de tetrassódio como agente quelante amaciador

de água duras; salicilato de metila ou benzila devido às suas propriedades aromáticas e terapêuticas, dentre outros. Com essa variedade enorme de componentes, é possível se produzir centenas de diferentes sabonetes artesanais e industriais, como pode ser observado nas drogarias e supermercados.

Alguns surfactantes dos sabonetes



Alguns aditivos dos sabonetes



Figura 9. Alguns surfactantes e aditivos usado na fabricação dos sabonetes.

Considerações Finais

As instalações sanitárias, presentes em residências, estabelecimentos comerciais e espaços públicos, desempenham um papel fundamental no uso diário de água para fins higiênicos e domésticos. A água é utilizada de forma extensiva nos sanitários, pias e chuveiros, permitindo a limpeza pessoal, higienização de objetos e descarte de resíduos. No entanto, após ser utilizada e tornar-se contaminada com esgoto e produtos químicos, essa água muitas vezes é despejada diretamente nos corpos hídricos através de sistemas de dutos e tubulações. A contaminação resultante desse descarte inadequado de águas sanitárias, tem implicações significativas para a saúde humana e para os ecossistemas aquáticos. Além da matéria orgânica, os esgotos dos sanitários contêm bactérias, fungos e vírus. Os materiais inorgânicos, como os abrasivos presentes nas pastas de dente, e os materiais poliméricos, como os esfoliantes dos sabonetes, também contribuem para o processo de eutrofização nos sistemas hídricos.

É fundamental acabar com a contaminação das águas sanitárias nos corpos hídricos, através do tratamento adequado dos esgotos antes de serem despejados no corpo receptor, no meio ambiente. Atualmente, o mundo ainda está distante de alcançar o pleno recolhimento e tratamento adequado dos esgotos. No entanto, essas medidas são essenciais para proteger e preservar a saúde dos ecossistemas aquáticos, melhorar a qualidade de vida das populações, reduzir a disseminação de doenças e garantir a disponibilidade de água limpa, gratuita e segura para as futuras gerações. Para alcançar esse objetivo (que precisa ser um objetivo em comum), são necessários inúmeros esforços em conjuntos entre governos, comunidades e setor privado para implementar sistemas de tratamento de esgotos eficientes, promover o uso responsável da água e adotar práticas sustentáveis em relação aos recursos hídricos e aos resíduos sólidos. Investir em infraestrutura sanitária adequada é uma das chaves para enfrentar esse desafio global e garantir a saúde dos ecossistemas aquáticos e das populações humanas que dependem da água para sua sobrevivência e bem-estar.

Referências

- 1 SILVA, J. L.; *Cinzas de Luz*, Editora Batel: Rio de Janeiro, 2023, p.27.
- 2 MOLOTCH, H.; Em *Introduction: Learning from the Loo. Em Toilet: Public Restrooms and the Politics of Sharing*; Molotch, H.; Norén, L., eds.; NYU Press, 2010. [[Link](#)]
- 3 ELLIS, A. R.; Em *Book of Distinctive Interiors*; Vollmer, W. A., ed.; McBride, Nast & Company: New York, 1912.
- 4 GREED, C.; *Inclusive Urban Design: Public Toilets*, Architectural Press/Elsevier: Oxford, 2003.
- 5 BLUMENTHAL, D.; *Little Vast Rooms of Undoing: Exploring Identity and Embodiment through Public Toilet Spaces*, Rowman & Littlefield International, Ltd: New York, 2014.
- 6 SÍTIO BRAKLEY, equipamentos de higiene. Disponível em: < <https://www.secadoresde-maos.com.br/historia-dos-banheiros-pelo-mundo/#:~:text=Foi%20no%20Egito%2C%20por%20volta,de%20Bahrein%2C%20no%20Golfo%20P%C3%A9rsico> > . Acesso em: 20 outubro 2023.
- 7 MARTINO, G. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/975151/de-um-mal-necessario-ao-luxo-a-historia-dos-banheiros-na-sociedade-moderna> . Acesso em: 20 outubro 2023.
- 8 KIRA, A.; *The Bathroom: Historical Aspects of Personal Hygiene Facilities*, Penguin Books: Harmondsworth, Middlese, 1976.
- 9 Por que é importante tomar banho? Disponível em: <https://www.prosaude.org.br/vida-saudavel/por-que-e-importante-tomar-banho/> . Acesso em: 20 outubro 2023.
- 10 VIDA E SAÚDE. Água: 22 benefícios incríveis para pele, cabelo e saúde. Disponível em: <https://www.revistavidaesaude.com.br/agua-22-beneficios-incriveis-para-pele-cabelo-e-saude/> . Acesso em: 20 outubro 2023.
- 11 BLACK, M.; FAWCETT, B.; *The Last Taboo: Opening the Door on the Global Sanitation Crisis*, Ed. Earthscan Ltd: London, 2008.
- 12 GENÇ, M.; The Evolution of Toilets and Its Current State. Dissertação de Mestrado em Ciências, Middle East Technical University, 2009. Disponível em: <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/18437> . Acesso em: 20 outubro 2023.
- 13 NOTT, J.; A Global History of Human Waste and Infectious Intestinal Disease. *The Journal of Interdisciplinary History* **2021**, 52, 263. [[CrossRef](#)]

- 14 BENIDICKSON, J.; *The Culture of Flushing: A Social and Legal History of Sewage*, UBC Press: Vancouver and Toronto, 2007.
- 15 PAULILLO, C. A.; Padrões e apropriações da higiene na consolidação do banheiro nas moradias paulistanas (1890-1930). *Anais do Museu Paulista São Paulo* **2022**, 30, 1. [CrossRef]
- 16 ASHENBURG, K.; *The Dirt on Clean: An Unsanitized History*, North Point Press: New York, 2007.
- 17 SARA IVRY. That Fresh Feeling. NYT, 2007. Disponível em: <https://www.nytimes.com/2007/12/16/books/review/Ivry-t.html> . Acesso em 20 outubro 2023.
- 18 FERIS, L.; The Human Right to Sanitation: A Critique on the Absence of Environmental Considerations. *Review of European Comparative International Environmental Law* **2015**, 24, 16. [CrossRef]
- 19 HUMPHREYS, G.; Reinventing the toilet for 2.5 billion in need. *Bulletin of the World Health Organization* **2014**, 92, 470. [CrossRef]
- 20 FIORILLO, C. A. P.; *Princípios do Processo Ambiental*, Editora Saraiva: São Paulo, 2004.
- 21 Brasil precisará mais do que dobrar investimentos para universalização do saneamento básico. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/brasil-precisara-mais-do-que-dobrar-investimentos-para-universalizacao-do-saneamento-basico-aponta-estudo-do-itb/> . Acesso em 23 outubro 2023.
- 22 SANTOS, R. C. C. L.; *O Meio Ambiente em Facetas*, Editora Baraúna: São Paulo, 2011
- 23 Sítio Trata Brasil. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/avancos-do-novo-marco-legal-do-saneamento-basico-no-brasil-2023-snis-2021/> . Acesso em 23 outubro 2023.
- 24 COELHO, S. T.; Velazquez, S. M. S. G.; Silva, O. C.; Pecora, V.; de Abreu, F. C.; *6º Encontro de Energia no Meio Rural*, São Paulo, Brasil, 2006. [Link]
- 25 GOMES, G. V.; Suda, S. J.; Pereira Rosa, A.; Rodrigues, F. A.; Estudo da produção de energia elétrica a partir de biogás com e sem purificação de estação de tratamento de esgoto. *The Journal of Engineering and Exact Sciences* **2017**, 3, 0899. [CrossRef]
- 26 VERMA, A. K.; Sustainable Development and Environmental Ethics. *International Journal on Environmental Sciences* **2019**, 10, 1. [Link]
- 27 BRAGA, B., FLECHA, R., THOMAS, P., CARDOSO, W., & COELHO, A. (2009). Integrated Water Resources Management in a Federative Country: The Case of Brazil. *International Journal of Water Resources Development* **2009**, 25, 611. [CrossRef]
- 28 BENJAMIN, A., MARQUES, C., TINKER, C. The water giant awakes: an overview of water law in Brazil. *Texas Law Review* **2006**, 83, 2185. [Link]

- 29 SEDLAK, D.; WATER 4.0: The Past, Present, and Future of the World's Most Vital Resource, Yale University Press: New Haven, 2014.
- 30 BALL, P.; *H₂O. Uma Biografia da Água. Temas e Debates*, Atividades Editoriais Ltda, 2022.
- 31 HARDIN, G.; The Tragedy of the Commons. *Science* **1968**, *162*, 1243. [CrossRef]
- 32 SINGH, A. Poor quality water utilization for agricultural production: An environmental perspective. *Land Use Policy* **2015**, *43*, 259. [CrossRef]
- 33 BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A.; *Environmental Science: Earth as a Living Planet*, 8th Ed., John Wiley & Sons Inc: New Jersey, 2011.
- 34 LUBINEAU, A.; AUGÉ, J.; Em *Modern Solvents in Organic Synthesis. Topics in Current Chemistry*; Knochel, P., ed.; Springer: Berlin, Heidelberg, 1999. [CrossRef]
- 35 FERREIRA, V. F.; DA ROCHA, D. R.; DA SILVA, F. C.; Química Verde, Economia Sustentável e Qualidade de Vida. *Revista Virtual de Química* **2014**, *6*, 85. [CrossRef]
- 36 BREYNAERT, E.; HOULLEBERGHS, M.; RADHAKRISHNAN, S.; GRÜBEL, G.; TAULELLE, F.; MARTENS, J. A.; Water as a tuneable solvent: a perspective. *Chemical Society Reviews* **2020**, *49*, 2557. [CrossRef]
- 37 ROMA, J. C.; Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. *Ciência e Cultura* **2019**, *71*, 33. [CrossRef]
- 38 ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Proposta de Adequação. Ipea, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8636/1/Agenda%202030%20ODS%20Metas%20Nac%20dos%20Obj%20de%20Desenv%20Susten%202018.pdf>. Acesso em: 23 outubro 2023.
- 39 FOREZI, L. S. M.; FERREIRA, P. G.; DE CARVALHO, A. S.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; Medicinal Chemistry for Sustainable Development. *Current Topics in Medicinal Chemistry* **2023**, *23*, 957. [CrossRef]
- 40 LEADBEATER, N. E.; MARCO, M.; Ligand-Free Palladium Catalysis of the Suzuki Reaction in Water Using Microwave Heating. *Organic Letters* **2002**, *17*, 2973. [CrossRef]
- 41 NASIRIANI, T.; JAVANBAKHT, S.; NAZERI, M. T.; FARHID, H.; KHODKARI, V.; SHAABANI, A.; Isocyanide-Based Multicomponent Reactions in Water: Advanced Green Tools for the Synthesis of Heterocyclic Compounds. *Topics in Current Chemistry* **2022**, *380*, 50. [CrossRef]
- 42 TEIMOURI, M.; BAZHRANG, R. An efficient three-component reaction involving [3 + 1 + 1] furannulation leading to furanonaphthoquinones in water. *Monatshefte für Chemie* **2008**, *139*, 957. [CrossRef]

- 43 ADIB, M.; MAHDAVI, M.; BAGHERZADEH, S.; ZHU, L.-G.; RAHIMI-NASRABADI, M. Reaction between anthranilic acids, salicylaldehydes and isocyanides in water: an efficient synthesis of 2-[[2-(alkylimino)-1-benzofuran-3-ylidene]amino]benzoic acids. *Tetrahedron Letters* **2010**, *51*, 27. [CrossRef]
- 44 NARAYAN, S.; MULDOON, J.; FINN, M. G.; FOKIN, V. V.; KOLB, H. C.; SHARPLESS, K. B. On WaterTM: Unique Reactivity of Organic Compounds in Aqueous Suspension. *Angewandte Chemie International Edition* **2005**, *44*, 3275. [CrossRef]
- 45 BUTLER, R. N.; COYNE, A. G.; Water: Nature's Reaction Enforcers Comparative Effects for Organic Synthesis "In-Water" and "On-Water". *Chemical Reviews* **2010**, *110*, 6302. [CrossRef]
- 46 NAZERI, M. T.; JAVANBAKHT, S.; SHAABANI, A.; KHAVASI, H. R. Chemo- and Diastereoselective Synthesis of Pyrazolo-tetrahydropyridines via Multicomponent Sequential Aza-Diels-Alder Reactions in Water. *ChemistrySelect* **2019**, *4*, 14271. [CrossRef]
- 47 BRESLOW, R.; Hydrophobic Effects on Simple Organic Reactions in Water. *Accounts of Chemical Research* **1991**, *24*, 160. [CrossRef]
- 48 PHEARMAN, A. S.; MOORE, J. M.; BHAGWANDIN, D. D.; GOLDBERG, J. M.; HEINEKEY, D. M.; GOLDBERG, K. I.; (Hexamethylbenzene)Ru catalysts for the Aldehyde-Water Shift reaction. *Green Chemistry* **2021**, *23*, 1609. [CrossRef]
- 49 HOOPER, T.; BÖRGER, T.; LANGMEAD, O.; MARCONE, O.; REES, S. E.; RENDON, O.; BEAUMONT, N.; ATTRILL, M. J.; AUSTEN, M.; Applying the natural capital approach to decision making for the marine environment. *Ecosystem Services* **2019**, *38*, 100947. [CrossRef]
- 50 FENECH, A.; FOSTER, J.; HAMILTON, K.; HANSELL, R.; Natural Capital in Ecology and Economics: An Overview. *Environmental Monitoring and Assessment* **2003**, *86*, 3. [CrossRef]
- 51 KROEHLER, C. J.; *Em Potable Water. The Handbook of Environmental Chemistry*; Younos, T.; Grady, C., eds.; Springer, 2014, vol 30. [CrossRef]
- 52 HARDIN, G.; The Tragedy of the Commons. *Science* **1968**, *162*, 1243. [CrossRef]
- 53 BATEMAN, I. J.; MACE, G. M. The natural capital framework for sustainably efficient and equitable decision making. *Nature Sustainability* **2020**, *3*, 776. [CrossRef]
- 54 ERIKSEN, M.; LEBRETON, L. C. M.; CARSON, H. S.; THIEL, M.; MOORE C. J.; BORRERO, J. C.; GALGANI, F.; RYAN, P. G.; REISSER, J.; Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS One* **2014**, *9*, e111913. [CrossRef]

- 55 LEBRETON, L. C. M.; VAN DER ZWET, J.; DAMSTEEG, J.-W.; SLAT, B.; ANDRADY, A.; REISSER, J.; River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications* **2017**, *8*, 15611. [CrossRef]
- 56 FERREIRA, P. G.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; A Importância da Química para a Economia Circular. *Revista Virtual de Química* **2017**, *9*, 452. [CrossRef]
- 57 CÓZAR, A.; SANZ-MARTÍN, M.; MARTÍ, E.; GONZÁLEZ-GORDILLO, J. I.; UBEDA, B.; GÁLVEZ, J. A.; IRIGOIEN, X.; DUARTE, C. M.; Plastic Accumulation in the Mediterranean Sea. *PLoS One* **2015**, *10*, e0121762. [CrossRef]
- 58 LI, P.; WANG, X.; SU, M.; ZOU, X.; DUAN, L.; ZHANG, H.; Characteristics of Plastic Pollution in the Environment: A Review. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **2021**, *107*, 577. [CrossRef]
- 59 ALAVA, J. J.; Ocean pollution and warming oceans: toward ocean solutions and natural marine bioremediation. *Predicting Future Oceans* **2019**, 495. [CrossRef]
- 60 GARCÍA-GÓMEZ, J. C.; GARRIGÓS, M.; GARRIGÓS, J.; Plastic as a Vector of Dispersion for Marine Species with Invasive Potential. A Review. *Frontiers in Ecology and Evolution* **2021**, *9*, 629756. [CrossRef]
- 61 MGHILI, B.; DE-LA-TORRE, G. E.; AKSISSOU, M.; Assessing the potential for the introduction and spread of alien species with marine litter. *Marine Pollution Bulletin* **2023**, *191*, 114913. [CrossRef]
- 62 BORRELLE, S. B.; RINGMA, J.; LAW, K. L.; MONNAHAN, C. C.; LEBRETON, L.; MCGIVERN, A.; MURPHY, E.; JAMBECK, J.; LEONARD, G. H.; HILLEARY, M. A.; ERIKSEN, M.; POSSINGHAM, H. P.; DE FROND, H.; GERBER, L. R.; POLIDORO, B.; TAHIR, A.; BERNARD, M.; MALLOS, N.; BARNES, M.; ROCHMAN, C. M.; Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science* **2020**, *369*, 1515. [CrossRef]
- 63 JIA, L.; EVANS, S.; VAN DER LINDEN, S.; Motivating actions to mitigate plastic pollution. *Nature Communications* **2019**, *10*, 4582. [CrossRef]
- 64 ERIKSEN, M.; BORGOGNO, F.; VILLARRUBIA-GÓMEZ, P.; ANDERSON, E.; BOX, C.; TRENHOLM, N.; Mitigation strategies to reverse the rising trend of plastics in Polar Regions. *Environment International* **2020**, *139*, 105704. [CrossRef]
- 65 Sítio Outras Palavras. Disponível em: <https://outraspalavras.net/movimentoserebeldias/o-chile-comeca-a-desprivatizar-da-agua> . Acesso em: 24 outubro 2023.
- 66 JONES, F. Pulverização por drones. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/pulverizacao-por-drones/>. Acesso em: 24 outubro 2023.

- 67 ALVES, S. R.; OLIVEIRA-SILVA, J. J.; Avaliação de Ambientes Contaminados Por Agrotóxicos. Disponível em: https://portal.fiocruz.br/sites/portal.fiocruz.br/files/documentos/cap_07_veneno_ou_remedio.pdf . Acesso em: 24 outubro 2023.
- 68 ARISTIDES, A.; Sítio Ecoa. Disponível em: <https://ecoa.org.br/cidades-brasileiras-apresentam-alto-indice-de-agrotoxico-na-agua-da-torneira/> . Acesso em: 24 outubro 2023.
- 69 DAGMARA, S.; Sítio NSC Total. Disponível em: <https://www.nsctotal.com.br/colunistas/dagmara-spautz/agua-que-chega-as-torneiras-tem-resquicios-de-agrotoxicos-em-22-cidades>. Acesso em: 24 outubro 2023.
- 70 ALI, H.; KHAN, E.; ILAHI, I.; Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry* **2019**, ID 6730305. [CrossRef]
- 71 WOOLF, A. D.; Em *History of Toxicology and Environmental Health*, Woolf, A. D., ed.; Academic Press, 2022, cap. 1.2. [CrossRef]
- 72 LACERDA, L. D.; SALOMONS, W.; *Mercury from Gold and Silver Mining. A Chemical Time Bomb?* Springer-Verlag: Berlin, 1998.
- 73 ROCHA FILHO, R. C.; Os variados riscos da contaminação por mercúrio. Folha de São Paulo, 6 de janeiro de 1988.
- 74 MAES, J.; Mercúrio utilizado no garimpo causa risco ambiental para solo, água e ar. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2023/02/mercurio-utilizado-no-garimpo-causa-risco-ambiental-para-solo-agua-e-ar.shtml> . Acesso em: 24 outubro 2023.
- 75 SATTAR, T.; Brief Discussion on Mercury Poisoning, Its Sources and Remedies to Cure It. *Journal of Chemical Health Risks* **2022**, 12, 131. [CrossRef]
- 76 BUDNIK, L. T.; Casteleyn, L.; Mercury pollution in modern times and its socio-medical consequences. *Science of The Total Environment* **2019**, 654, 720. [CrossRef]
- 77 GOCHFELD, M.; Cases of mercury exposure, bioavailability, and absorption. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **2003**, 56, 174. [CrossRef]
- 78 CAROCCI, A.; ROVITO, N.; SINICROPI, M. S.; GENCHI, G.; Em *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*; Whitacre, D., ed.; vol. 229. Springer: Cham, 2014.
- 79 BOSE-O'REILLY, S.; MCCARTY, K. M.; STECKLING, N.; LETTMEIER, B.; Mercury Exposure and Children's Health. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care* **2010**, 40, 186. [CrossRef]
- 80 MENESES, H. N. M.; OLIVEIRA-DA-COSTA, M.; BASTA, P. C.; MORAIS, C. G.; PEREIRA, R. J. B.; SOUZA, S. M. S.; HACON, S. S. Mercury Contamination: A Growing

Threat to Riverine and Urban Communities in the Brazilian Amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2022**, *19*, 2816. [CrossRef]

- 81 VOOSE, P.; Illegal mining has muddied tropical rivers worldwide. *Science* **2023**, *379*, 6628. [CrossRef]
- 82 GERSON, J. R.; SZPONAR, N.; ZAMBRANO, A. A.; BERGQUIST, B.; BROADBENT, E.; DRISCOLL, C. T.; ERKENSWICK, G.; EVERS, D. C.; FERNANDEZ, L. E.; HSU-KIM, H.; INGA, G.; LANSDALE, K.N.; MARCHESE, M. J.; MARTINEZ, A.; MOORE, C.; PAN, W. K.; PURIZACA, R. P.; SÁNCHEZ, V.; SILMAN, M.; URY, E. A.; VEGA, C.; WATSA, M.; BERNHARDT, E. S.; Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. *Nature Communications* **2022**, *13*, 559. [CrossRef]
- 83 GERSON, J. R.; TOPP, S. N.; VEGA, C. M.; GARDNER, J. R.; YANG, X.; FERNANDEZ, L. E.; BERNHARDT, E. S.; PAVELSKY, T. M.; Artificial lake expansion amplifies mercury pollution from gold mining. *Science Advances* **2020**, *6*, eabd4953. [CrossRef]
- 84 JACKSON, T. A.; Long-range atmospheric transport of mercury to ecosystems, and the importance of anthropogenic emissions - a critical review and evaluation of the published evidence. *Environmental Reviews* **1997**, *5*, 99. [CrossRef]
- 85 Sítio Academia Brasileira de Ciências. Disponível em: <http://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2023/02/Revista-GT-Mercurio-pag-simples-site-da-ABC-vers%C3%A3o-EN-US.pdf> . Acesso em: 24 outubro 2023.
- 86 FERREIRA, P. G.; FUTURO, D. O.; FOREZI, L. S. M.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; Aqui tem Química: Parte VII. Tensoativos em Produtos Comerciais There is Chemistry Here: Part VII. Surfactants in Commercial Products. *Revista Virtual de Química* **2023**, *15*, 423. [CrossRef]
- 87 DALTIM, D.; *Tensoativos: química, propriedades e aplicações*, 1a. ed., São Paulo: Bucher, 2011.
- 88 FELIPE, L. O.; DIAS, S. C.; Surfactantes sintéticos e biossurfactantes: vantagens e desvantagens. *Química Nova na Escola* **2017**, *39*, 228. [CrossRef]
- 89 SAKKARAVARTHI, V.; History of Soap. *CosmoDerma* **2022**, *2*, 133. [CrossRef]
- 90 GIBBS, F. W.; The history of the manufacture of soap. *Annals of Science* **1939**, *4*, 169. [Cross-Ref]
- 91 KOHN, K.; *Make Your Own Soap the Easy Way*. Kohn Publisher, 2012.
- 92 GILLISPIE, C. C.; The Discovery of the Leblanc Process. *History of Science Society* **1957**, *48*, 152. [CrossRef]

- 93 VIANNI, R.; BRAZ-FILHO, R.; Ácidos Graxos Naturais: Importância e Ocorrência em Alimentos. *Química Nova* **1996**, *19*, 4. [Link]
- 94 BAUMANN, H.; BÜHLER, M.; FOCHEM, H.; HIRSINGER, F.; ZOEBELEIN, H. Natural fats and oils - renewable raw material for the chemical industry. *Angewandte Chemie International Edition* **1988**, *27*, 41. [CrossRef]
- 95 Sítio imarc. Vegetable Oil Market Report by Oil Type (Palm Oil, Soybean Oil, Sunflower Oil, Canola Oil, Coconut Oil, Palm Kernel Oil), Application (Food Industry, Biofuels, and Others), and Region 2023-2028. Disponível em: <https://www.imarcgroup.com/vegetable-oil-processing-plant#:~:text=The%20global%20vegetable%20oil%20market%20reached%20a%20value%20of%20US> . Acesso em: 24 outubro 2023.
- 96 FERREIRA, P. G.; FOREZI, L. S. M.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; Aqui tem Química: Supermercado Parte I. Óleos e Gorduras. *Revista Virtual de Química* **2022**, *14*, 185. [CrossRef]
- 97 CORDEIRO, R. E. P.; RIBEIRO, L. O.; CHIMATTI, W.; MENDES, M. F.; PEREIRA, C. S. S.; Reaproveitamento do caroço da azeitona para produção de sabonete esfoliante: Uma produção sustentável. *Revista Eletrônica TECEN* **2013**, *6*, 5. [Link]
- 98 RODRÍGUEZ, G.; LAMA, A.; RODRÍGUEZ, R.; JIMÉNEZ, A.; GUILLÉN, R.; FERNÁNDEZ-BOLANOS, J.; Olive stone an attractive source of bioactive and valuable compounds. *Bioresource Technology* **2008**, *99*, 5261. [CrossRef]
- 99 ROCHA, M. F. L.; OLIVEIRA, N. P.; TESCAROLLO, I. L.; Esfoliante formulado com pó de café como alternativa ao uso de microesferas de plástico. *Revista de Saúde, Meio ambiente e Sustentabilidade* **2020**, *15*, 82. [Link]
- 100 BARROS, R. M.; DE AZEVEDO, M. G. B.; MAIA, C. S.; FALCÃO, J. S. A.; Esfoliante facial à base de argila e avaliação da eficácia por métodos histológicos e bioquímicos. *Educação Ciência e Saúde* **2015**, *2*, 98. [CrossRef]
- 101 FERREIRA, P. G.; FUTURO, D. O.; FOREZI, L. S. M.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; Aqui tem Química: Parte VII. Tensoativos em Produtos Comerciais. *Revista Virtual de Química* **2023**, *15*, 423. [CrossRef]

Capítulo 5

As Relações da Saúde com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis

Luana da Silva Magalhães Forezi, Wilson C. Santos, Cristina Moll Hüther, Alcione Silva de Carvalho, Patrícia Garcia Ferreira, Fernando de Carvalho da Silva, Vitor Francisco Ferreira

Introdução

Os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram estabelecidos na Assembleia Geral das Nações Unidas em 25 de setembro de 2015. O documento “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” foi acordado por 193 países da Organização das Nações Unidas (ONU). Ele inclui um conjunto de 17 ODS’s com 169 metas e 232 indicadores (verificadores) para cumprimento dessa agenda 2030. Os ODS’s foram estabelecidos pela ONU visando solucionar ou dar início a diversas transformações na sociedade, e enfrentar os múltiplos desafios econômicos, sociais e ambientais que o mundo vem enfrentando. Em realidade, o objetivo principal dos ODS’s é o de promover o desenvolvimento sustentável que salve o planeta dos desastres naturais extremos. Em realidade esses ODS’s não têm poder de exigir dos países que sejam cumpridos, mesmo que tenham sido assinados no protocolo geral da Assembleia da Geral da ONU pelos países membros, mas são orientações projetadas para direcionar as sociedades que estejam interessadas em alcançar o desenvolvimento sustentável.

Os 17 ODS são bem amplos, cobrem quase todos os problemas importantes da humanidade, exceto guerras, e estão interligados. Apesar da importância de todos, alguns são mais urgentes do que outros, pois envolvem a conservação da vida no planeta. Os mais graves são a fome, que estava incluído nos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio entre 2000-2015, erradicação

da pobreza, acesso à água potável e saneamento, energia renovável, igualdade de gênero, cidades e comunidades sustentáveis e consumo e produção responsáveis, dentre outros. Entretanto, com a pandemia, as políticas públicas dos principais países do mundo, a desinformação e o aumento do negacionismo científico, dificilmente essas metas serão alcançadas até 2030.

Há muito a ser feito no mundo em termos de mobilizar a cooperação e a coordenação entre governos, empresas, organizações, sociedade civil, academia, setor produtivo, indivíduos, poderes executivo, legislativo e judiciário.¹ É notório que os ODS's apenas podem se tornar realidade nos planos nacionais com o envolvimento dos entes federados, do setor privado e da sociedade civil. Promover um maior alinhamento entre os países em desenvolvimento e os de menor desenvolvimento relativo em todo o mundo, assim como nas cidades intermediárias e na conectividade urbano-rural, irá contribuir de forma concreta para a implementação dos ODS's no âmbito global.

Apoiar projetos que tenham como foco o aumento da emissão de títulos verdes, sociais e de sustentabilidade é de grande relevância, pois eles ajudarão a mobilizar recursos adicionais, com perspectivas de longo prazo e em consonância com objetivos sociais, econômicos, ambientais e climáticos.

No acordo da “Agenda 2030” os países deveriam ter uma governança capaz de acompanhar o cumprimento dos objetivos, metas e indicadores do desenvolvimento sustentável. No Brasil a implementação dos ODS's foi instituída por meio do Decreto nº 8.892, de 27 de outubro de 2016, que criou a Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (CNODS). Em outubro de 2017 a CNODS publicou o seu Plano de Ação 2017-2019 para a nacionalização e adaptar indicadores globais à realidade brasileira.² No final de 2018 a CNODS publicou seu relatório de atividades 2017/2018.³ O Decreto nº 9.759, de 11 de abril de 2019 extinguiu a CNODS com o propósito de estabelecer e definir qual seria a melhor estratégia a ser adotada para a nova Governança da “Agenda 2030” no Brasil.

O Decreto nº 9.980, de 20 de agosto de 2019, estabeleceu como competência a Secretaria Especial de Articulação Social (SEAS) da SEGOV- Presidência para a implementação da Agenda 2030 no Brasil.⁴ Em 27 de dezembro de 2019, o então Presidente da República vetou o art. 3º do Projeto de Lei nº 21, de 2019-CN, que em seu item VIII tratava da promoção do uso sustentável e eficiente de recursos naturais, considerados os custos e os benefícios ambientais, ou seja, a aplicação dos ODS's como diretriz do Plano Plurianual (PPA) 2020-2023.⁵ Depois disso nada mais foi feito no sentido de implantar e acompanhar os ODS que foram nacionalizados.⁶

Objetivo de Desenvolvimento Sustentável N° 3 – Saúde e Bem-Estar

O Regulamento Geral da Organização Mundial da Saúde (OMS) no seu primeiro parágrafo estabelece que a saúde “*é um estado de completo bem-estar físico, mental e social e não apenas a ausência de doença ou enfermidade*”.⁷ A saúde humana é uma área complexa e está inserida em diversos ODS que estão interconectados e são igualmente importantes na área específica que pretende atuar para alcançar o maior resultado para desenvolvimento sustentável. Nesse ensaio vamos ousar afirmar que o ODS 3 “*Boa saúde e bem-estar*” é o mais importante, pois sem saúde não há como trabalhar, produzir e ter uma vida digna e plena. Ele está diretamente ligado à qualidade de vida das pessoas e ao desenvolvimento sustentável em geral.

A saúde é o bem maior que uma pessoa pode ter e ela é mola propulsora de toda sociedade e a economia. O direito à saúde é um direito social considerado um dos direitos humanos fundamentais e reconhecido em diversas Cartas Magnas, pois o acesso aos serviços de saúde de qualidade é essencial para a promoção da dignidade humana. A Constituição Federal (CF/1988) do Brasil em seu Art. 196 afirma “*A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação*”. Ainda, no Art. 1 da CF destacamos os seguintes fundamentos do Estado brasileiro: III – a dignidade da pessoa humana. Contudo, por exemplo, ao considerarmos os dados da recente pandemia da COVID-19, uma dissociação entre a saúde e o direito ficou bem cristalina, pois, se por um lado vimos que os sistemas de saúde pública foram fundamentais para salvar vidas, por outro lado também ficou bem transparente como a doença afetou os interesses econômicos e a própria economia global. De fato, a pandemia COVID-19 acentuou disparidades socioeconômicas especialmente nos países pobres e em desenvolvimento, particularmente em relação ao acesso aos medicamentos aprovados pelas respectivas agências sanitárias. Os preços de tais medicamentos são altos, e os sistemas de seguridades sociais nestes países não estavam preparados para fornecer esses medicamentos a todos os pacientes que realmente precisavam deles. Por outro lado, para aqueles que podiam pagar um plano de saúde privado, o acesso aos medicamentos foi garantido.⁸ Destarte, no Brasil, o próprio capítulo da Constituição que trata da Saúde como dever do Estado e direito de todos, conceitualmente, deixou de ser cumprido no período da pandemia COVID-19, prejudicando, ato contínuo, a sadia qualidade de vida e a

dignidade do ser humano. Por conseguinte, o ODS 3 e suas respectivas metas também deixaram de ser observados e cumpridos na sequência.

A concepção geral do ODS 3 propõe “*Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades*”. Este ODS está explicitado em 8 metas que visam garantir que todas as pessoas tenham acesso a serviços de saúde de qualidade, incluindo prevenção, tratamento e cuidados para doenças físicas e mentais, e que sejam capazes de viver vidas saudáveis e produtivas.

O ODS 3 faz parte de um conjunto de ODS estabelecidos pela ONU cuja definição pode ser vista por diversos ângulos. A saúde é um ODS transversal e ligado a todos os outros ODS, alguns de forma direta e outros de forma lateral. Não há como separar a fome e a pobreza dos graves problemas na saúde humana, da mesma forma que trabalho e renda, meio ambiente e cidades sustentáveis, dentre outros. Somente as pessoas saudáveis são capazes de lidar com crises, como crises climáticas, pandemias, desastres naturais, se recuperar delas e contribuir com seu trabalho para a ampliação da economia e o avanço da qualidade de vida nas sociedades.

Nesse capítulo analisaremos as correlações do ODS 3 com outros sete ODS's (1, 2, 6, 8, 10, 12 e 13). Isso não significa que os outros ODS's não sejam importantes para a saúde, bem-estar e desenvolvimento sustentável. É apenas uma questão de selecionar aqueles que mais se aproximam dessa área. É importante ressaltar que o ODS Nº 3 e todas as suas metas são indicadores importantes de progresso de um país. Na Figura 1 estão destacados os ODS's que consideramos ser os mais correlacionados com o ODS 3.

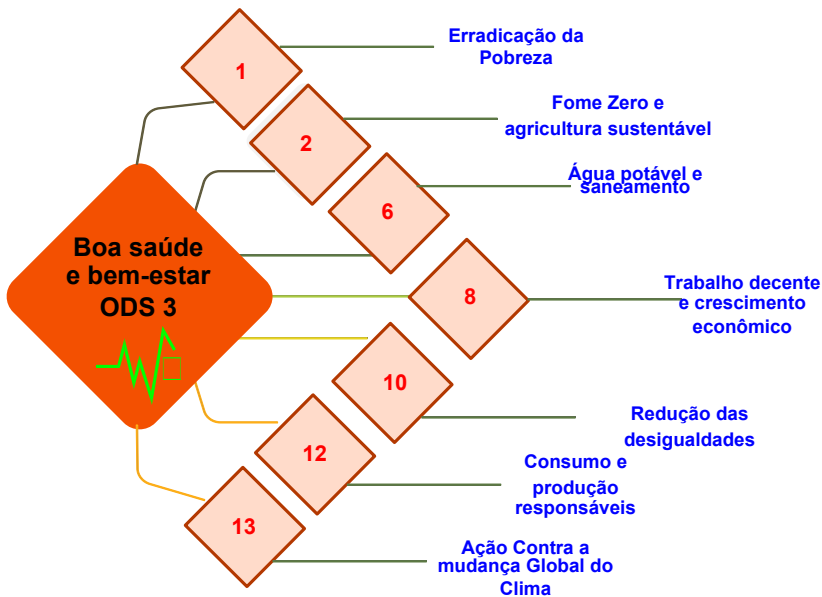


Figura 1. Os ODS's que estão correlacionados com o ODS 3.

O ODS 3 e suas metas para serem atendidas até 2030 foram nacionalizadas pelo CNODS sem grandes restrições. A ONU estabeleceu 9 metas que estão interconectadas para alcançar o objetivo geral de “Saúde e Bem-Estar”. Na Figura 2 estão destacadas as metas do ODS 3. As descrições dessas metas revelam como a saúde está diretamente conectada a cada uma delas. Por exemplo, a Erradicação da Pobreza (ODS 1) e a Fome Zero (ODS 2) melhorariam em muito o impacto negativo dessas situações na saúde. Para que se tenha uma dieta saudável e equilibrada é preciso que as pessoas estejam acima da linha da pobreza e, portanto, eliminar a pobreza, a fome, aumentar a higiene e a conservação ambiental são ações que aumentariam a resistência das pessoas e evitariam muitas doenças que comprometem a saúde e o bem-estar. Fundamentalmente, é preciso reconhecer que a saúde do planeta está diretamente interconectada com vários de seus elementos, como ar, solo, água, rio, barragem, represa, lagoa e floresta, que por sua vez está conectada com a saúde humana e dos ambientes naturais.⁹

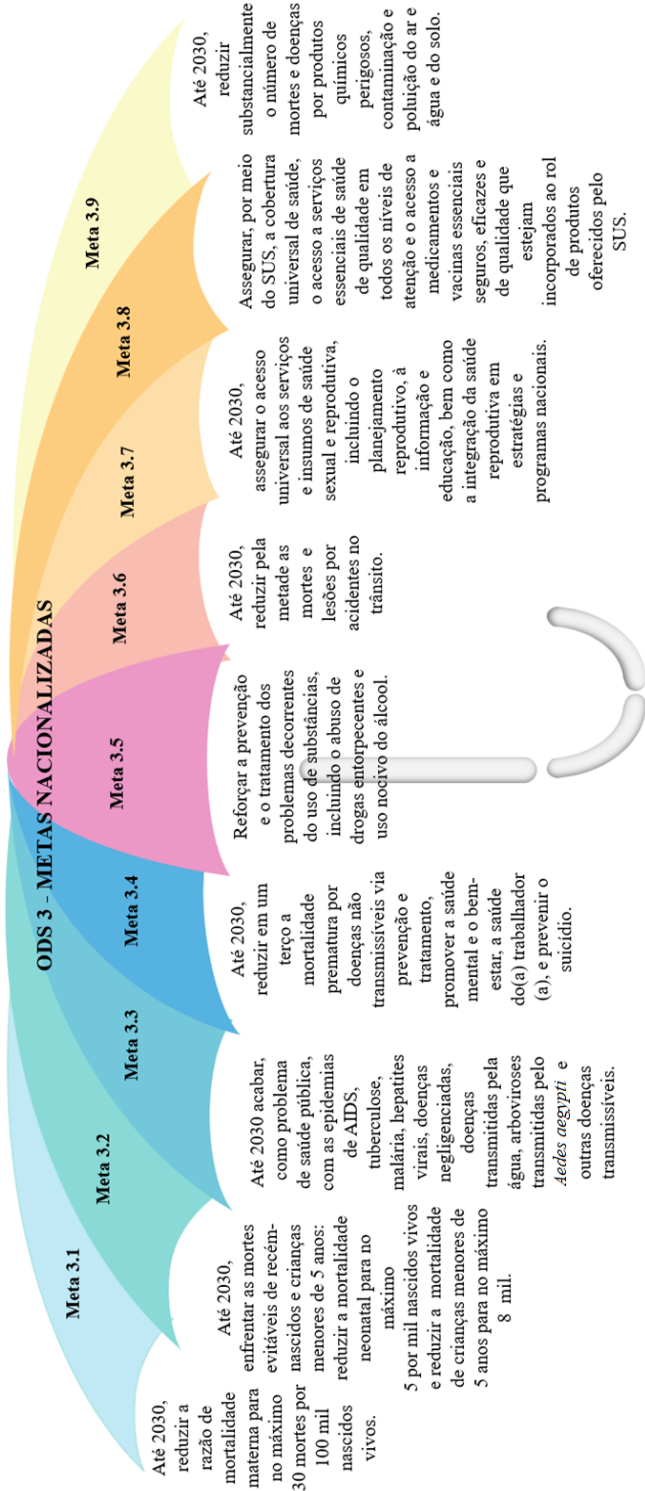


Figura 2. Metas nacionalizadas para o ODS 3.

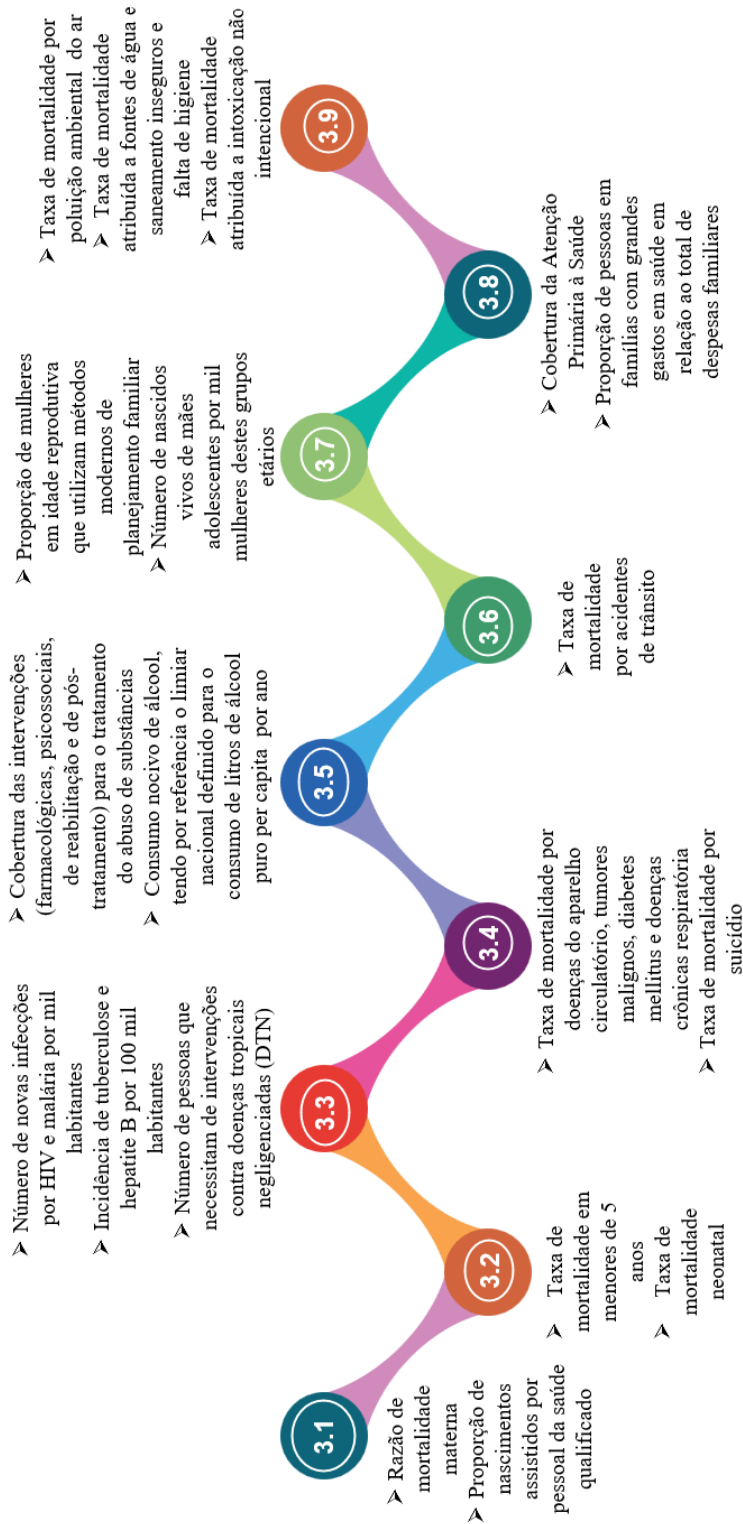


Figura 3. Indicadores criados para medir o avanço das metas nacionalizadas do ODS 3.

Para assegurar que essas metas serão atingidas é de suma relevância criar indicadores que possam medir o avanço delas. Assim foi feito, e na Figura 3 estão representados os indicadores criados para cada uma dessas metas propostas que serão avaliadas periodicamente.¹⁰

Efeitos da pobreza (ODS1) na Saúde

Há dois tipos de pobreza, a extrema e a relativa, onde a pobreza extrema é uma condição na qual a pessoa não possui recursos suficientes para adquirir alimentos, medicamentos e materiais para atender suas necessidades básicas, e obter assistência médica. Já a pobreza relativa leva em conta a renda e outros bens para a vida, como saúde, educação e moradia. A ONU define uma pessoa com pobreza extrema se a sua renda familiar estiver abaixo de US\$ 1,90/dia.¹¹

A pobreza é uma condição na vida causada por diversos fatores e não, em princípio, uma doença original no corpo, mas ela leva as pessoas a uma alimentação de baixa quantidade proteica e calórica, além de moradias em locais inadequados para a saúde. Portanto, a pobreza tem efeitos diretos e deletérios na saúde física e mental. A pobreza é um problema muito complexo que tem acompanhado a humanidade por milênios e parece ser um problema insolúvel, mas em realidade é um problema político e técnico¹² mais contundente nos países pobres que prejudica o desenvolvimento humano, econômico e sustentável. Ele pode ser resolvido com emprego, programas de assistência social de renda mínima, educação, formação profissional e políticas públicas que combatam a desigualdade social. Ações como campanhas do agasalho, construção de moradias de emergência, participação em projetos “adote uma criança” com ajuda e acompanhamento mensal e participação e/ou promoção de mutirões de melhorias básicas em comunidades, são uns dos movimentos que já estão sendo feitos por Programas Voluntariados de Empresas, mas ainda são tímidos de uma forma global.¹³

A pobreza leva a uma baixa qualidade de vida, saúde muito precária, prevenção de doenças inexistentes e muita deficiência na educação. Não existe ambiente sustentável enquanto houver miséria e pobreza. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) acompanha a taxa de pobreza absoluta no país. Em 2012, 16,2 milhões de brasileiros viviam abaixo da linha da pobreza, isto é, cerca de 8,9% da população brasileira recebia mensalmente *per capita* até US\$ 1,90/dia. Esse número nunca variou para abaixo de 8%. Em 2020, com a crise da pandemia de COVID-19 a taxa de pobreza extrema atingiu o valor de 9,7% (20,5 milhões de pessoas).

A desnutrição é uma situação grave para quem vive nas condições de extrema pobreza, vide o caso dos povos originários Ianomami.¹⁴ É uma situação de calamidade insustentável e por isso esses números indicam a forte correlação entre baixa qualidade da saúde e a pobreza. As pessoas têm maior probabilidade de contrair diversos tipos de doenças e pouco ou nenhum acesso aos cuidados básicos de saúde. Por outro lado, a saúde precária também pode levar à pobreza extrema. Da mesma forma que a extrema pobreza leva ao desenvolvimento de diversas doenças, uma doença crônica pode levar a extrema pobreza, pois reduz a renda familiar por incapacitação para o trabalho e o sustentar a si próprio e a respectiva família.

A pobreza está intrinsecamente ligada a moradias precárias, que por sua vez está conectada com as baixas condições de higiene e de saúde. A melhoria nas habitações das áreas perigosas e desfavorecidas é uma excelente estratégia para melhorar a saúde e reduzir as desigualdades. Habitações de qualidade em lugares mais adequados e ambientalmente melhores aumenta a autoestima das pessoas e reduz sua exposição a riscos de contaminação por vetores nocivos.¹⁵

Especialmente, deve-se destacar a situação da pobreza dos mais idosos e que mais precisam dos hospitais e clínicas públicas. Há diversas discriminações etárias que levam a dificuldades do idoso no acesso aos serviços de saúde especializados. Adicionalmente, para idosos acamados pode haver um tratamento negligente, desrespeitoso ou inadequado nos hospitais públicos, pois muitos acham que o ser velho está ocupando um lugar que poderia ser utilizado por uma pessoa mais jovem e com mais chance de se recuperar. Olhando pelo lado da família, muitos dos idosos acabam sendo abandonados nos hospitais, o que pode ter origem na falta de cuidados caseiros, medicamentos e alimentação.

A pobreza pode ser avaliada por diversos indicadores e um deles trata apenas da renda, mas há muitos outros indicadores que não dependem apenas da renda básica. A pobreza é um fenômeno complexo e cumulativo que pode ser causado por uma série de fatores inter-relacionados. Na Figura 4 estão destacados os fatores que levam ao baixo nível de desenvolvimento humano. Normalmente, a maioria desses fatores ocorrem simultaneamente e se agravam. Por exemplo, a falta de acesso à educação de qualidade limita as oportunidades de emprego e de renda, que por sua vez desencadeia a desigualdade social e econômica, moradias em locais inadequados e violência.

Outra condição conhecida é a incapacidade dos mais pobres em consumir combustíveis, ou seja, a energia para cozimento dos alimentos e o aquecimento adequado das casas nas regiões mais frias. Esse é um indicador importante, pois quanto mais baixa a renda, menor é o acesso aos combustíveis essenciais para uma vida digna.^{16,17,18} Recentemente, vimos no Brasil as pessoas mais

pobres voltando a usar lenha, pois não tinham recursos para compra de outro tipo de combustível.¹⁹ Nesse ponto específico da pobreza no acesso aos combustíveis essenciais é que o ODS 3 se entrelaça com o ODS 7 que trata sobre energia limpa e acessível, como destacado na meta 7.1: “Até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia” e, especificamente, a submeta 7.1.1 trata do acesso à eletricidade. De acordo com o relatório de 2021 sobre progresso energético, em 2030, cerca de 660 milhões de pessoas ainda não terão acesso à eletricidade.²⁰ Quem entra nesse ciclo de pobreza energética dificilmente é capaz de mudar essa situação sem apoio de políticas públicas.

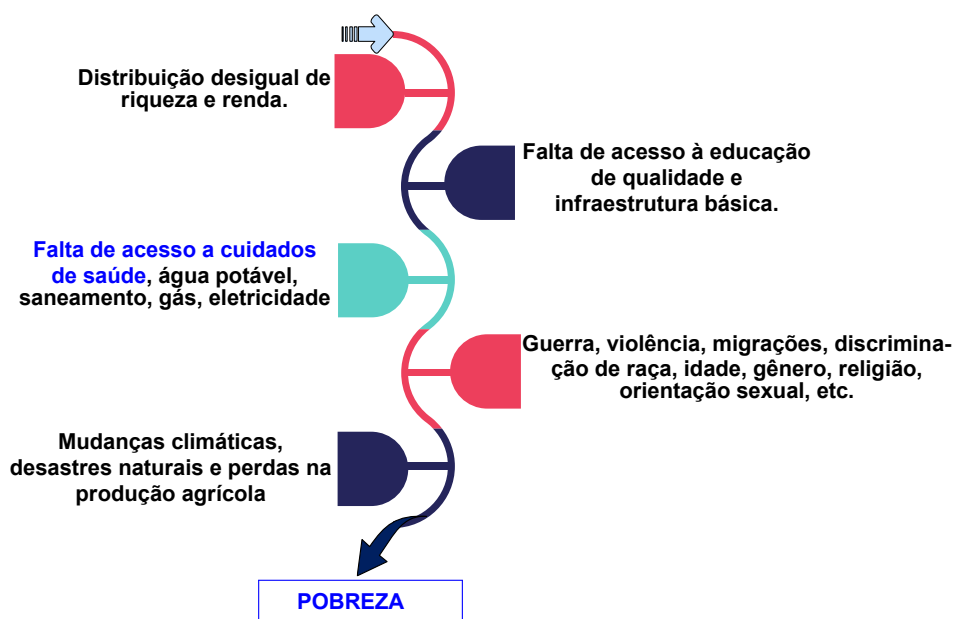


Figura 4. Alguns fatores sequenciais que contribuem para a pobreza.

Efeitos da Fome (ODS 2) na Saúde

A fome crônica é a mais perversa degradação que o ser humano pode ser acometido e a maior vergonha que a humanidade tem vivenciado por milênios. É a mais cruel forma de desigualdade que afeta os mais vulneráveis da sociedade, não por falta de alimentos, mas porque vivem em condições de pobreza absoluta (ODS 1). Ela é um problema global complexo e multifacetado que afeta milhões de pessoas em todo o mundo. Embora seja um problema desa-

fiador, ela trata de um urgente e que pode ser resolvido se houver decisões e vontades políticas para enfrentá-lo.

Durante muitos anos várias organizações sociais lutaram pela inclusão da alimentação nos direitos humanos básicos e ele foi incluído no Artigo 25 da Declaração Universal dos Direitos Humanos pela Comissão de Direitos Humanos da ONU em 1948 sob a redação: “*Toda a pessoa tem direito a um nível de vida suficiente para lhe assegurar e à sua família a saúde e o bem-estar, principalmente quanto à alimentação, ao vestuário, ao alojamento, à assistência médica e ainda quanto aos serviços sociais necessários, e tem direito à segurança no desemprego, na doença, na invalidez, na viuvez, na velhice ou noutros casos de perda de meios de subsistência por circunstâncias independentes da sua vontade*”.²¹ A partir desse artigo se entende que há diversas dimensões no Direito Humano à Alimentação e Nutrição Adequadas (DHANA) reconhecido pelo direito internacional que explicita que todas as pessoas têm o direito de acesso físico e econômico a alimentos seguros, nutritivos e culturalmente adequados em quantidade suficiente para satisfazer suas necessidades nutricionais e alimentares independente de gênero, raça e etnia. De acordo com o citado Artigo 25, a fome já deveria ter sido eliminada do planeta. A persistência da fome no mundo revela a complexidade do desafio que representa a sua erradicação. Mesmo com o avanço tecnológico da sociedade moderna, a continuidade do problema evidencia que uma abordagem sistêmica amparada em políticas públicas por diversos governos no Brasil e em outros países é de suma relevância para a eliminação desse flagelo social.²²

O DHANA deveria ter uma governança mundial que coordenasse as ações dos governos com as organizações não governamentais internacionais, empresas e sociedade civil para garantir que todas as pessoas tenham acesso a alimentos seguros, nutritivos e em quantidades suficientes. O ODS 2 utiliza muitos conceitos incluídos no DHANA e traz diversas diretrizes para zerar a fome até 2030, tais como, aumentar o acesso aos alimentos, investir na produção de alimentos, reduzir o desperdício de alimentos, programas de renda mínima para que os desempregados possam enfrentar a pobreza e o acesso a empregos e serviços sociais.

A cada ano os grandes produtores de alimentos vegetais e proteínas animais batem recordes na produção. Essa notícia viria como boa notícia se paralelamente a fome e a pobreza diminuíssem no mundo. No entanto, a fome no mundo vem aumentando, logo não é pela falta de produção de alimentos, mas sim pela falta de recursos para adquiri-los, a má distribuição e, além disso, é importante salientar que a falta de conhecimento no manejo e acondicionamento no transporte e estoque, embalagem mal pensada e controle de qualidade “muito rígido” foram algumas das causas apontadas para o desperdício

de alimentos no Brasil.²³ A produção de alimentos da atualidade, se adequadamente distribuída, seria suficiente para diminuir radicalmente ou até mesmo eliminar a fome do mundo.

A fome é uma resposta fisiológica que o corpo alerta que há necessidade de obter nutrientes para manter as transformações bioquímicas e gerar energia para sustentar as funções corporais. A fome é uma demanda extremamente forte do organismo que tenta sobreviver. Sobre essa necessidade extrema escreve Carolina Maria de Jesus: “*A tontura da fome é pior do que a do álcool. A tontura do álcool nos impele a cantar. Mas a da fome nos faz tremer. Percebi que é horrível ter só ar dentro do estomago*”.²⁴

Recentemente, destacamos que há uma relação da fome com as questões da sustentabilidade²⁵ e enfatizamos que qualquer proposta que vise uma resolução do tema e que não inclua a pobreza e a fome, não pode ser considerada sustentável, pois inevitavelmente o capital natural será consumido e destruído.²⁶ A meta 1.1 do ODS2 pretende “*Até 2030, erradicar a pobreza extrema para todas as pessoas em todos os lugares, medida como pessoas vivendo com menos de paridade de poder de compra (PPC) US\$ 3,20 per capita por dia. A erradicação da pobreza extrema será atingida quando o percentual da população nesta condição estiver abaixo de 3%*”. Infelizmente, de acordo com dados do banco mundial, os efeitos prolongados da pandemia de COVID-19 e suas consequências agravaram a crise alimentar global e aumentaram o número de pessoas com fome em todo o mundo. A recuperação desigual econômica em 2021 entre os países e as perdas de receita, agravaram as desigualdades existentes, piorando a situação de segurança alimentar de populações que já tinham maiores dificuldades para alimentar as suas famílias. Os preços dos alimentos aumentaram no ano passado devido a gargalos nas cadeias de suprimentos, aumento dos custos de transporte e outras interrupções causadas pela pandemia do COVID-19. A guerra na Ucrânia veio somar ainda mais à essa problemática, devido envolver dois dos maiores produtores mundiais de *commodities* agrícolas e grãos básicos, Rússia e Ucrânia, e interrompendo, assim, cadeias de abastecimento e afetando diretamente os preços mundiais de grãos, fertilizantes e energia, causando escassez e aumentando ainda mais a inflação dos preços dos alimentos.²⁷ Nesse cenário a reversão total da fome até 2030, ou corte em 50%, dificilmente será alcançada e quase 7% da população mundial ainda viverão com menos de US\$ 2,15 por dia.^{28,29}

Esta realidade está evidente quando se observam os dados contidos no relatório feito pelas agências Food and Agriculture Organization (FAO), International Fund for Agricultural Development (IFAD), Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), Programa Mundial de Alimentos (WFP) e Organização Mundial de Saúde (WHO) em 2022 que aborda sobre a

insegurança alimentar e desnutrição no mundo. Por causa da pandemia, o número de pessoas em situação de fome aumentou entre 2014-2020: em 2020 existiam cerca de 768 milhões de pessoas, isto é, 9,9% da população mundial, em situação de insegurança alimentar grave no mundo; entretanto, em 2022, o relatório³⁰ apontou que a insegurança alimentar grave aumentou para 11,1%, ou seja, 828 milhões de pessoas foram afetadas pela fome em 2021.³¹ Esse número aumentou desde o início da pandemia de COVID-19. Uma em cada três pessoas no mundo, ou cerca de 2,31 bilhões de pessoas, foi afetada por insegurança alimentar moderada ou grave em 2021. Isso representa cerca de 350 milhões de pessoas a mais do que em 2019. Como restam apenas sete anos até 2030, é evidente que se torna mais distante alcançar muitas das metas do ODS 2.

A fome no Brasil não é um fato novo, pois se convive com ele desde o intercâmbio colombiano (chegada de Cristóvão Colombo à América) sendo um problema persistente. O IBGE relatou que no Brasil em 2020 havia aproximadamente 10,3 milhões de brasileiros que viviam em situação de insegurança alimentar grave. Segundo a Agência do Senado Federal³² e o relatório do “2º Inquérito Nacional sobre Insegurança Alimentar no Contexto da Pandemia da Covid-19 no Brasil”, no Brasil havia cerca de 33,1 milhões de pessoas sem garantias de alimentação. O estudo também aponta que mais da metade da população brasileira (58,7%) convive com a insegurança alimentar em algum grau - leve, moderado ou grave (fome).³³

A fome crônica tem sido objeto de estudos através de diversas pesquisas ao longo de muitos anos. A fome nunca foi erradicada do planeta e há farta bibliografia, antigas e recentes, que relatam a fome que leva a morte no mundo. O Prof. Josué de Castro³⁴ foi o cientista social que mais estudou a fome e descreveu em detalhes a situação do Brasil e mostrou muitas possíveis ações que poderiam minimizar a fome. Em um dos seus vários livros sobre o assunto “Geografia da Fome - O Dilema Brasileiro: Pão ou Açúcar” de 1980 escreveu: “*E procurando demonstrar que o caminho da paz e da felicidade humana está numa economia de abundância, na luta contra a fome e a miséria e na vitória integral contra o medo tanto da fome como da guerra. Medo que ameaça paralisar a capacidade criadora do homem e, portanto, provocar o desmoronamento de toda a civilização*”.

No livro a “Agonia da Fome”, Maria do Carmo Soares de Freitas relaciona o descaso dos governos com a fome como uma modalidade de genocídio. Em um parágrafo emblemático afirma “*Em geral, a tendência do homem bem alimentado de esquecer o sofrimento da fome do outro passa pela não aceitação dessa realidade, ou porque o faz sentir-se moralmente culpado em não contribuir para remover tal absurdo, ou, mais provavelmente, porque ele*

*sustenta uma ideologia que o limita a enxergar a fome em outro corpo que não o seu adotando uma autodisciplina que o faz distanciar-se de questões que possam afetar seus acordos sociais”.*³⁵

Há países em que a fome é mais prevalente do que em outros, mas é uma situação que ocorre no mundo todo. Um dos principais fatores que contribuem para a ascensão dos índices da fome são as mudanças climáticas, pois interferem diretamente na produção de alimentos, como no caso das secas prolongadas e outros fenômenos climáticos. Esforços estão sendo feitos para diminuir impactos de mudança climática, entretanto, ainda muito têm que ser feito para alcançar este objetivo. Além disso, essas anomalias climáticas são distribuídas de forma irregular, com maior impacto nos países em desenvolvimento que têm menor capacidade de enfrentar as mudanças climáticas. Todos esses fatores resultam em maior incerteza em termos de provisão de alimentos e especulação de mercado.³⁶ É importante salientar que a perspectiva da mudança climática na produção de alimentos descreve a ligação com ODS 8 da ONU.³⁷ Além disso, o aumento das temperaturas médias globais produz um maior risco potencial de doenças transmitidas por alimentos.³⁶

A fome e a sede não são exclusividades dos humanos, pois atingem todos os seres que habitam esse planeta. A fome é uma sensação fisiológica que acomete todos os animais. Porém, a fome crônica causa dor intensa de vazio no estômago que causa danos ao organismo, tontura, fadiga, fraqueza, náusea, irritabilidade e confusão, tremor e outros sintomas desconfortantes. Ela é um processo bioquímico que foi feito para a sobrevivência das espécies e não pode ficar por muito tempo e voltar periodicamente, pois leva a doenças e morte. Nesse ponto específico o ODS 2 e o ODS 3 se entrelaçam, ou seja, não pode haver saúde onde a fome crônica está instalada. Na população idosa mais solitária e com isolamento social, a fome afeta de forma mais contundente. Essas pessoas idosas têm suas capacidades de comer afetadas na digestão dos alimentos por falta de apetite e problemas dentários, que dificultam a mastigação de alimentos sólidos.

Qual a razão da fome estar correlacionada com as questões do ODS 3? A fome leva a desnutrição e esta situação tem grande impacto na saúde humana. Na Figura 5 estão destacadas as principais doenças causadas pela fome crônica. Quando as pessoas não têm acesso a alimentos nutritivos e em quantidade suficiente a desnutrição promove perda de massa muscular, fraqueza, fadiga, baixa imunidade às doenças oportunistas, atraso no desenvolvimento físico, baixa capacidade de regulação da temperatura do corpo e desajustes comportamentais em adultos crianças. A situação extrema da desnutrição aguda é a morte com altíssimo custo de perda de capital humano. Interessante

é que o excesso de ingestão de alimentos leva obesidade e junto muitas doenças, como diabetes, doenças cardíacas e acidentes vasculares.

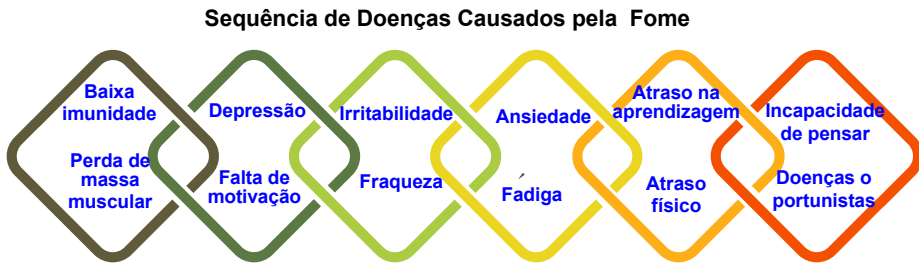


Figura 5. Principais doenças causadas pela fome crônica.

Segundo a OMS, em todo mundo as pessoas ainda não têm acesso a calorias adequadas ou a uma diversidade de alimentos saudáveis e ricos em nutrientes. Essa falta de acesso resulta em fome e deficiências de micronutrientes. Com intuito de orientar ações que possam aumentar a disponibilidade, acessibilidade, apelo/aceitabilidade de alimentos nutritivos, seguros e de alta qualidade, a agência FAO desenvolveu um escopo de ação potencial de possíveis soluções de sistemas alimentares em toda a produção, cadeia de suprimentos, ambientes alimentares e consumidores (Figura 6).³⁸

O ato de zerar a fome no mundo teria um significativo impacto financeiro em todas as áreas da saúde trazendo muitos benefícios para a sociedade, pois com indivíduos mais saudáveis haveria menor ocorrência de doenças e acesso aos serviços públicos de saúde. Haveria uma diminuição de doenças relacionadas à desnutrição, assim como no uso medicamentos, internações por doenças oportunistas e crônicas, tratamentos médicos e psicológicos caros.

Outro fator positivo em se eliminar a fome é o de baixar o custo social pela perda de produtividade e aumentar as contribuições pessoais para a economia. As pessoas bem nutridas podem render mais em todas as atividades econômicas e educacionais, ou seja, há um impacto financeiro positivo na economia. Apesar dos programas de combate a fome e a desnutrição terem um custo financeiro inicial para a sociedade, investir no combater a fome é investir na saúde para melhorar o bem-estar das pessoas e, com isso, em longo prazo trazer retornos financeiros para as pessoas, famílias e comunidades.

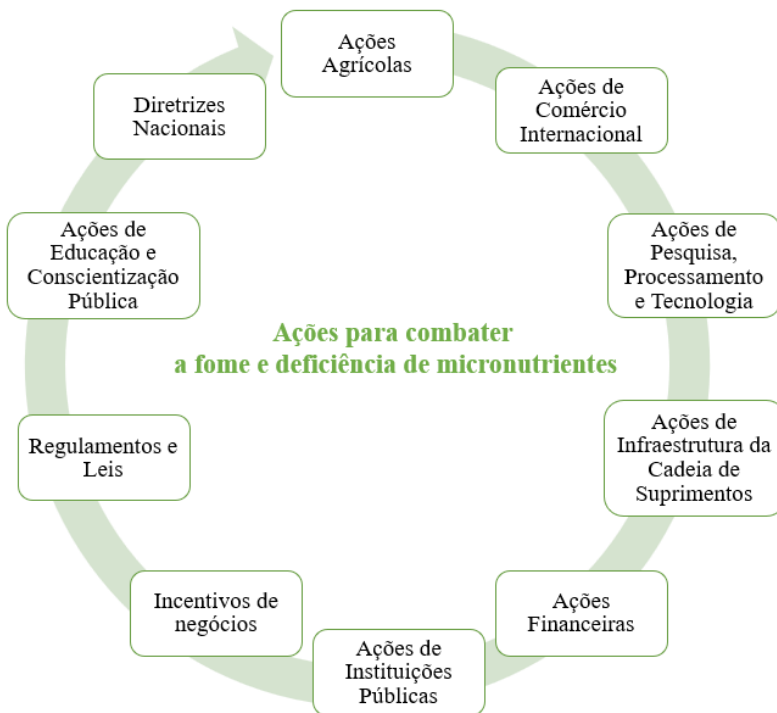


Figura 6. Escopo de ações que impactam as dietas saudáveis e ricas em nutrientes.

As ações para alcançar esse ODS são de amplo escopo, como de possíveis soluções de sistemas alimentares em toda a produção, cadeia de suprimentos, ambientes alimentares e consumidores. Para estabelecer limites e enfatizar como as ações podem ter impacto direto em dietas saudáveis, as ações foram limitadas àquelas com um caminho claro para impactar a disponibilidade, acessibilidade, apelo/aceitabilidade e segurança.

Saúde, Água potável e Saneamento Básico (ODS 6)

A ciência e a tecnologia da sustentabilidade avançam com a nossa compreensão das necessidades de se ter energia limpa, água, ar limpo, alimentos, mobilidade e saúde e as relações de cada um destes aspectos com as mudanças climáticas.³⁹ Esse conceito é conhecido como saneamento ambiental que usa esses e outros elementos que estão relacionados para cortar as rotas de transmissão das doenças.⁴⁰ A Figura 7 resume a relação entre água limpa e saneamento que são sinônimos de qualidade de vida, higiene, saúde e bem-estar. A

água é um capital natural do planeta que pode proporcionar muitas melhorias na saúde pública em grande escala. Ao poluirmos as águas dos rios com agrotóxicos, micro e nanoplásticos, produtos químicos diversos, materiais radioativos e dejetos humanos e animais pagamos mais caro por ela “purificada”, ou seja, invariavelmente os pobres e os ricos pagam o mesmo valor.

Em uma pesquisa recente se constatou que a água que é consumida em 22 municípios do Estado Santa Catarina estava com resquícios de agrotóxicos, cerca de 204 ingredientes ativos de agrotóxicos.⁴¹ Em recente publicação a Repórter Brasil divulgou estudo relatando que a água que se bebe em 763 municípios tem pequenas doses diárias de substâncias químicas e radioativas e outros resíduos da indústria que se misturam aos rios e represas.⁴²

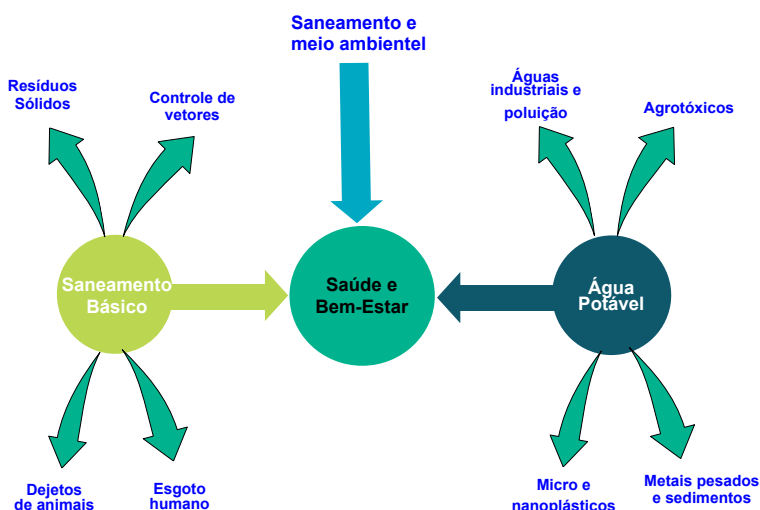


Figura 7. Correlação entre a saúde, água e saneamento ambiental.

A água e o ar sempre foram bens comuns da vida, até que esta foi poluída e passou a ser um grande negócio. A água potável é um bem essencial e vital, não deveria ser cobrada. A água é um bem natural, público, essencial à vida e de uso comum de todos os seres vivos, não somente dos humanos que conseguem pagar por ela. O acesso à água potável deve ser universal e estar sob o controle público.

Caminhando nesse sentido está o Chile que começa a rever a privatização dos serviços de tratamento da água e distribuí-la gratuitamente.⁴³ Um bilhão de pessoas que vivem em extrema pobreza não têm água potável, ou seja, não podem pagar pela água e vivem em regiões onde a água está contaminada. Os oceanos detêm 97% da água da Terra, mas apenas 3% corresponde a água

doce. Quanto mais poluímos a água, maiores são os custos da sua purificação e com isso aumentam os lucros das empresas de água; o que por sua vez contam positivamente para o PIB de uma nação. Trata-se de um ciclo. A conservação dos mananciais de água precisa de muita atenção, assim como o uso consciente desse recurso natural.

A distribuição de água potável é uma das melhores soluções para promover a saúde e o bem-estar, pois muitas doenças são transmitidas pela água ou ela serve de criadouros de insetos e micro-organismos, como bactérias, vírus e diversos parasitas. Algumas pessoas são mais propensas a adoecer devido a presença de micro-organismos e produtos químicos na água, tal como as crianças, grávidas, idosos, pessoas com sistema imunológico enfraquecido, pessoas em tratamento quimioterápico e transplantados.⁴⁴ Além da contaminação biológica da água, há também aquela causada por produtos químicos, como metais pesados, plásticos, pesticidas, herbicidas, resíduos químicos industriais, produtos farmacêuticos e produtos de higiene pessoal. Alguns desses produtos são bioacumulativos e ao longo dos anos podem causar danos à saúde humana e ao meio ambiente.⁴⁵

A mineração é uma das atividades humanas mais prejudiciais para o meio ambiente e para a saúde. A mineração mais deletéria é o garimpo nos rios e suas margens para extrair ouro usando o metal pesado mercúrio⁴⁶, que envenena as águas e afoga a vida aquática nos sedimentos gerados na dragagem por empresas venais e governos indiferentes. Estudo recente revelou que a extensão dessa crise nos rios é global, pois a mineração fluvial aumentou e hoje afeta 173 grandes rios em 49 países, em florestas ao longo de 4 décadas. Os níveis de sedimentos suspensos dobraram, em comparação com os níveis anteriores à mineração, em cerca de 80% dos rios e quase 7% de todos os grandes trechos de rios tropicais estão agora nublados com detritos de mineração.^{47,48,49}

Em recentes anos, o uso de mercúrio na Amazônia brasileira se tornou uma epidemia e um problema de saúde pública. Esse metal pode causar distúrbios como, fadiga, insônia, diminuição da concentração, depressão, irritabilidade, sintomas gástricos, sintomas sensoriais e sintomas motores. As pesquisas recentes mostram que nos moradores da cidade portuária ribeirinha do Pará a contaminação já atingiu mais de 90% de pessoas que já sofrem alterações patológicas nos rins e fígado devido a presença de mercúrio nas águas e peixes. 57,1% dos moradores da área urbana de Santarém apresentaram taxas de mercúrio no sangue acima do nível considerado seguro pela OMS.⁵⁰ Atualmente há pesquisas para substituir o mercúrio com uso de bioextratos obtidos a partir de folhas de pau-de-balsa, *Ochroma pyramidale*, espécie arbórea, nativa da Amazônia, que podem ser competitivas com mercúrio, tanto no

processo de extração, quanto na redução dos impactos na saúde dos trabalhadores e no meio ambiente, bem como também ser uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas com plantios feitos no próprio garimpo, viabilizando uma biofábrica local.⁵¹

Muitas pesquisas já foram realizadas na busca de soluções naturais para remediar a contaminação usando plantas capazes de absorver metais pesados e outros tipos de contaminantes orgânicos.⁵² Esse conceito não é novo sendo conhecido como fitominação,⁵³ que é a técnica de extração de metais valiosos (níquel, zinco e cobalto) de áreas contaminadas usando plantas hiperacumuladoras. Essas plantas podem acumular altos níveis de metais em seus tecidos. A fitominação envolve o cultivo dessas plantas hiperacumuláveis em solo contaminado, colhendo-as e, em seguida, processando as plantas para extrair os metais (ex. *Alyssum bertolonii*, *Alyssum corsicum* e *Alyssum murale* que hiperacumulam níquel, zinco e outros metais).⁵⁴ Existem várias limitações desse processo de bioacumulação, como baixa taxa de acumulação de metais, baixa disponibilidade de plantas hiperacumuladoras, seletividade pelo metal, e altos custos de processamento e refino dos metais extraídos. Há também plantas capazes de absorver nitrogênio e fósforo de águas poluídas com esgoto. Um exemplo é o aguapé (*Eichhornia crassipes*), planta aquática flutuante, nativa da América do Sul, que pode ser encontrada em lagos, rios e outros corpos d'água.

Investir em saneamento básico e água potável é uma forma eficaz de promover a saúde, a sustentabilidade e prevenir a propagação de doenças e de enfermidades do sistema gastrointestinal, como as diarreias graves e desidratação, e também, o cólera (causada pela bactéria *Vibrio cholerae*), a hepatite A (Hepatovírus A), a febre tifoide (causada pela bactéria *Salmonella typhi*), o tracoma (causado pela bactéria *Chlamydia trachomatis* sendo a principal causa de cegueira evitável), a disenteria (causada por várias bactérias, parasitas e vírus), a poliomielite (vírus da poliomielite), a amebíase (causada pelo parasita *Entamoeba histolytica*) e a giardíase (causada pelo parasita *Giardia lamblia*). Há uma série de outras doenças que poderiam também facilmente compor a relação citada anteriormente. Essas doenças podem ser fatais para as populações mais pobres e com insegurança alimentar severa, em face de seus sistemas imunológicos enfraquecidos, a desidratação, a desnutrição e problemas de crescimento em crianças.⁵⁵

O saneamento reduz em muito os custos da saúde. Ele significa a existência de instalações e serviços para o descarte seguro de dejetos humanos, manutenção de condições higiênicas e a não contaminação do lençol freático. O saneamento é um termo bastante abrangente que inclui acesso a água limpa, banheiros seguros e higiênicos, sistemas adequados de gerenciamento

de resíduos sólidos (lixo), controle de vetores de doenças, são fundamentais para garantir um ambiente saudável e seguro para a população. A falta de saneamento básico também contribui para a piora da qualidade do ar, com odores nocivos, e do solo e, conseqüentemente, o aumento de doenças respiratórias e alergias.⁴⁰ Ele é vital para a sustentabilidade da biodiversidade dos rios e lagoas, pois é inadmissível que toneladas de dejetos sejam despejados em suas águas todos os dias.

O saneamento básico e o tratamento da água são essenciais para a prevenção das doenças negligenciadas como estabelecido na meta 3.3 do ODS 3: “Até 2030, acabar com as epidemias de AIDS, tuberculose, malária e doenças tropicais negligenciadas, e combater a hepatite, doenças transmitidas pela água e outras doenças transmissíveis”. A lista das doenças incluídas nessa classe e suas definições não são unânimes e podem refletir apenas prioridades de políticas públicas governamentais. Seja qual for a lista, ou a prioridade à algumas dessas doenças, elas estão relacionadas com a pobreza, fome, águas contaminadas, manejo inadequado do lixo e saneamento básico.⁵⁶ As doenças podem ser: Dengue (causada pelo vírus da dengue e transmitida pelo mosquito *Aedes aegypti*), Zika (causada pelo vírus Zika e transmitida pelo mosquito *Aedes aegypti*), Chikungunya (causada pelo vírus chikungunya e transmitida pelos mosquitos *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*), Doença de Chagas (causada pelo parasita *Trypanosoma cruzi*), Leishmanioses (cutânea, mucocutânea e visceral causadas por parasitas do gênero *Leishmania*), Hanseníase (causada pela bactéria *Mycobacterium leprae*), Malária (causada por protozoários do gênero *Plasmodium* e transmitida pelos mosquitos do gênero *Anopheles*), Tuberculose (causada bactéria *Mycobacterium tuberculosis*), Úlcera de Buruli (causada pela bactéria *Mycobacterium ulcerans*), Micetoma (causada por causada por fungos ou bactérias filamentosas), Cromoblastomicose (causada por fungos do solo), Oncocercose ou cegueira dos rios (causada pelo verme *Onchocerca volvulus*), Raiva (causada pelo vírus da raiva), Dracunculíase ou doença do verme da Guiné causada pelo verme *Dracunculus medinensis*), Sarna (causada por um ácaro chamado *Sarcoptes scabiei*), Equinococose (causada pelo cestódeo *Echinococcus granulosus*), Esquistossomose (causada pelos trematódeos do gênero *Schistosoma*), Trematodíases (causada por platelmintos da classe Trematoda), Helmintíases (causada por vários tipos de vermes como lombrigas (*Ascaris lumbricoides*), e tênias (*Taenia solium* e *Taenia saginata*)), Tripanossomíase africana humana ou doença do sono (causada pelo protozoário *Trypanosoma brucei*), Cisticercose (causada pelas larvas da tênia *Taenia solium*), filariose linfática ou elefantíase (causada por vermes filariais) e Treponematose ou sífilis, boubá, bejel e pinta (causada pela bactéria *Treponema pallidum*). As pessoas que vivem em comunidades sem

acesso com saneamento básico precário ou inexistente são mais propensas a contrair essas doenças e a sofrer complicações graves, especialmente crianças e idosos.

A orientação e educação da população para a não contaminação da água está diretamente relacionada com saúde e bem-estar. Conscientizar sobre a importância da preservação dos recursos naturais e da água potável, bem como sobre as formas de evitar a contaminação da água garantirá um futuro sustentável para todos. Campanhas de conscientização pelas mídias sociais, rádio, televisão, outdoors, assim como programas educativos em escolas, treinamentos em comunidades, eventos educativos em praças e parques, divulgação de boas práticas através de uso de produtos biodegradáveis e descarte adequado de resíduos químicos e incentivo à participação em projetos de preservação como a limpeza de rios e córregos, são ações que podem ser realizadas com intuito de educar a população sobre a importância de não contaminar a água. Entretanto, é um grande desafio, já que a mudança de comportamento da população precisa de ações contínuas e integradas.

No Brasil, o saneamento básico é protegido pela Constituição e definido pela Lei nº. 11.445/2007. É histórico que no Brasil o saneamento básico nunca foi prioridade. Não pode haver ambiente sustentável e saúde de qualidade quando um país não recolhe e trata os dejetos humanos e dos animais. O Instituto Trata Brasil que monitora o saneamento nos maiores municípios brasileiros com base na população, com o objetivo de dar luz a um problema, avaliou alguns indicadores de saneamento básico dos 100 maiores municípios do país e concluiu que mais de 35 milhões de brasileiros não têm acesso a água tratada, apenas 50% do esgoto é tratado e que 100 milhões de famílias não têm coleta de esgoto.^{57,58}

Saúde e a Correlação com Trabalho Decente e Crescimento Econômico (ODS8)

O fornecimento de água potável e saneamento ambiental precário tem impactos diretos na saúde, mas também consequências sociais e econômicas mais amplas.

A meta 8.1 do ODS 8 diz “*Sustentar o crescimento econômico per capita, de acordo com as circunstâncias nacionais e, em particular, pelo menos um crescimento anual de 7% do produto interno bruto nos países de menor desenvolvimento relativo*”. Esta meta está diretamente ao crescimento anual do PIB. Porém, a meta 8.3 é a que está mais relacionada com a geração de trabalho formal, digno, que envolva micro, pequenas e médias empresas e o estímulo ao empreendedorismo e a inovação: “*Promover políticas orientadas*

para o desenvolvimento, que apoiem as atividades produtivas, geração de emprego decente, empreendedorismo, criatividade e inovação, e incentivar a formalização e o crescimento das micro, pequenas e médias empresas, inclusive por meio do acesso a serviços financeiros". O ODS 8 estipula que até 2030 sejam melhoradas as condições de trabalho e crescimento econômico, para combater a situação em que metade da população mundial ainda vive com o equivalente a cerca de US\$ 2 por dia, pois há falta de oportunidades de trabalhos decentes produtivos. Nessas condições, mesmo tendo emprego não há garantia de escapar da pobreza. O importante é destacar que não pode haver crescimento econômico sustentável sem melhorar o padrão de vida⁵⁹ dos trabalhadores e reduzir a miséria e fome. O bem-estar dos empregados é fundamental para atingir os objetivos de uma organização e cumprir sua missão, pois pode ocorrer que há dias que as pessoas não aparecem, ou não se esforçam ao máximo, prejudicam sua produtividade e custam milhões de dólares por causa de problemas de saúde mental e física.

As pessoas nessas condições têm dificuldade de encontrar trabalho que lhes permitam ter uma vida decente com alimentação adequada e essa situação é particularmente crítica para os idosos. Há uma correlação positiva entre trabalho decente e crescimento econômico. Quanto maior for o número de pessoas fora das condições de trabalho decente, pior será para o desenvolvimento econômico. Só com políticas públicas eficientes e fiscalização adequada haverá aumento da produção de bens a longo prazo e paralelamente trabalho decente, pois são objetivos importantes e interconectados.

Emprego e trabalho decente são os elementos-chave para alcançar um crescimento econômico sustentável juntamente com a redução da miséria e fome. A International Labour Organization (ILA) define trabalho decente como: *"O trabalho decente resume as aspirações das pessoas em suas vidas profissionais. Implica oportunidades de trabalho produtivo e com remuneração justa, segurança no local de trabalho e proteção social para todos, melhores perspectivas de desenvolvimento pessoal e integração social, liberdade para que as pessoas expressem suas preocupações, se organizem e participem das decisões que afetam suas vidas e igualdade de oportunidades e tratamento para todas as mulheres e homens"*.⁶⁰

O aumento da produção de bens e serviços ocorre em uma economia em que o trabalho seja em ambiente seguro, saudável, com desenvolvimento pessoal e profissional, respeito, justiça e, mais ainda, que respeite os direitos humanos e trabalhistas. Trabalhadores enfraquecidos, doentes e em condições precárias de trabalho, inseguras e análoga à escravidão têm maior probabilidade de ficarem doentes ou se machucarem. Nessas condições precárias, certamente resultarão em custos mais altos para as empresas e para diminuição

do desenvolvimento econômico. No passado a peste negra, varíola e sarampo, dentre outras, devastaram continentes com perda da força de trabalho pois escasseavam a mão de obra e elevavam os preços dos produtos agrários e com vultosas perdas econômicas.

Portanto, para melhorar todas as condições de saúde das pessoas, mitigar toda degradação ambiental, diminuir a fome e a pobreza e aumentar a renda das pessoas, é necessário um crescimento econômico sustentável. Essa abordagem precisa ser conjunta e multidimensional, pois apenas o crescimento econômico não atende as necessidades e direitos das pessoas.

Melhoria da Saúde com Redução das desigualdades (ODS 10)

A ONU estabeleceu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e reconheceu através do ODS 10 a importância que a desigualdade tem para a construção de sociedades mais justas e que sem isso não é possível promover um desenvolvimento sustentável que beneficie o planeta e, conseqüentemente, aos mais vulneráveis e marginalizados. O ODS 10 é abrangente e explícita que é importante *“Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles”*. No entanto, a meta 10.1 é bem mais modesta no que diz respeito a redução das desigualdades: *“Até 2030, progressivamente alcançar e sustentar o crescimento da renda dos 40% da população mais pobre a uma taxa maior que a média nacional”*. A meta 10.2 define os tipos de igualdade que se quer promover: *“Até 2030, empoderar e promover a inclusão social, econômica e política de todos, independentemente da idade, sexo, deficiência, raça, etnia, origem, religião, condição econômica ou outra”*, mas não inclui igualdade na divisão de recursos financeiros, terras, oportunidades, poder, riqueza, renda, educação, saúde, status social entre indivíduos ou grupos dentro de uma sociedade, o que é um problema grave e um entrave para se alcançar um planeta sustentável. O ODS 10 não tem nenhuma menção sobre as desigualdades na saúde, que é um importante fator para uma sociedade mais justa, pois os mais vulneráveis são os que têm menor oportunidade de acesso ao sistema público ou privado.

A desigualdade em todas as suas dimensões é um fenômeno relacionado ao comportamento humano e com origens diferenciadas.⁶¹ As diversas formas de desigualdade estão enraizadas na humanidade há milênios. Walter Scheidel⁶² considera que: *“Já existiam excedentes há dezenas de milhares de anos, assim como seres humanos dispostos a dividi-los de maneira desigual. Na Era Glacial, os caçadores-coletores dispuseram de tempo e meios para sepultar alguns indivíduos de maneira mais suntuosa do que outros”*.

Ao longo dos milênios a desigualdade se dividiu, cresceu e continuou sendo um grande desafio para um mundo em que países são muito mais desiguais que outros.

Fundamentalmente, a desigualdade é a diferença na distribuição de qualquer bem tangível em função de conceitos estabelecidos por grupos segregacionista (Figura 8). Os tipos de desigualdade envolvem distribuição desigual dentro sociedade de recursos financeiros, recursos naturais, oportunidades, poder, riqueza, renda, religião, educação, saúde, status social, dentre outros aspectos da vida. A desigualdade é um comportamento humano causada por diversos fatores como, discriminação, culturais históricos, sistemas econômicos e judiciários excludente, ideologias que promovem políticas desiguais, falta de acesso à educação, falta de oportunidades e outros fatores sociais. Mesmo nas democracias consolidadas não se conseguem mitigar as desigualdades.



Figura 8. As múltiplas dimensões das desigualdades.

A saúde e o bem-estar (ODS 3) de cada pessoa são importantes para o crescimento da produção econômica e do PIB, pois as pessoas quando estão saudáveis e com a segurança de ter acesso ao sistema de saúde para seus familiares, são mais produtivas e o custos para o estado menores. A desigualdade na saúde, ao nosso entender deveria ter sido enfatizada no ODS 10, que se refere às diferenças injustas de tratamento clínico e que podem melhorar a qualidade, expectativa de vida e felicidade das pessoas. Essas diferenças podem ser baseadas em fatores como renda, educação, ocupação, gênero, raça, etnia, orientação sexual e local de residência. A saúde da população também é importante para o crescimento econômico. Quando as pessoas estão saudáveis, elas podem trabalhar mais produtivamente, o que leva a um aumento da produção econômica e do PIB. As desigualdades na saúde podem levar a disparidades na expectativa de vida, no acesso a serviços de

saúde, no tratamento recebido, na incidência de doenças e em sua gravidade, bem como no resultado do tratamento. Essas desigualdades podem resultar em uma distribuição desigual da carga de doenças e de morte na população. Logo, a materialização e a promoção da saúde na plenitude de seu conceito é função da conjugação e do equilíbrio de diversos fatores, a saber, moradia, alimentação, transporte, trabalho, felicidade, compondo por fim a dignidade da pessoa humana.⁶³

O Sistema Único de Saúde (SUS) ou sistema de saúde pública do Brasil é um programa de assistência médica gratuita e de qualidade para todos os brasileiros independente da sua condição social, financeira ou geográfica. Ele foi criado pela Constituição Federal em 1988 e é financiado pelo povo brasileiro.⁶⁴ Apesar de exitoso e ter demonstrado seu valor na pandemia, é um projeto de saúde equitativa e universal em construção, pois ainda necessita de mais investimentos para que seja mais ágil, abrangente e com cobertura nacional. A competição predatória entre o público e o privado é um grande desafio para um sistema universal de saúde de atenção primária e de doenças complexas.⁶⁵ A redução das desigualdades diminui os custos do SUS, pois a população com educação, emprego, renda e habitação digna é mais saudável e demanda menos da atenção básica (clínicas da família) e dos sistemas mais complexos de saúde (grandes hospitais).

O SUS, através das clínicas da família, grandes hospitais públicos e o programa de Farmácia Popular distribui medicamentos aos pacientes gratuitamente. Porém, nem todos os medicamentos estão na lista do SUS, principalmente os de tecnologia recente e mais caros. A desigualdade nos medicamentos tem consequências graves para a saúde pública, incluindo o aumento de doenças e mortes evitáveis, bem como a perpetuação da pobreza.⁶⁶ Existem três problemas na desigualdade nos medicamentos. O primeiro deles são as pessoas mais pobres, vulneráveis e moradoras em locais remotos, infraestrutura ou logística, que têm acesso limitado a medicamentos essenciais. O segundo está relacionado com os medicamentos mais caros e que pessoas não têm acesso devido a barreiras financeiras, pois muitos medicamentos são extremamente caros. O terceiro está relacionado com as doenças negligenciadas que acometem os mais pobres e não têm medicamentos disponíveis, pois as grandes empresas farmacêuticas não se interessam por essas doenças, como dengue, filariose, tuberculose, hanseníase e dengue. Isso pode acontecer em países em desenvolvimento ou em regiões remotas. Em qualquer das situações listadas acima espera-se dos medicamentos a devida eficácia farmacológica e a segurança terapêutica, sem medicamentos falsificados ou de baixa qualidade, que sabidamente circulam em diversas regiões colocando em risco a saúde das pessoas.

Saúde e Consumo Responsável (ODS 12)

O consumo excessivo de qualquer produto leva a um aumento da produção, necessidade de mais recursos naturais e maiores lucros que retroalimentam o consumo em um ciclo não sustentável. A degradação ambiental começa com o consumo excessivo de bens que desencadeia, a produção de mais resíduos sólidos, a perda da biodiversidade e as mudanças climáticas/eventos climáticos extremos que ameaçam a estabilidade do planeta. Diversas questões sobre a relação entre consumo e produção estão contempladas no ODS 12. Especificamente, a meta 12.1 revela que *“Implementar o Plano Decenal de Programas Sobre Produção e Consumo Sustentáveis, com todos os países tomando medidas, e os países desenvolvidos assumindo a liderança, tendo em conta o desenvolvimento e as capacidades dos países em desenvolvimento”*.

O ODS 12 também enfatiza que deveria haver a gestão sustentável e uso eficiente dos recursos naturais, redução do desperdício de alimentos na pós-colheita e cadeias e abastecimento, geração, prevenção, redução, reciclagem e reuso de resíduos e tratamento dos produtos químicos e de todos os resíduos. Todas essas recomendações são muito importantes para a economia dos recursos naturais. A única meta que faz menção a saúde é a Meta 12.4: *“Até 2020, alcançar o, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionalmente acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente. estilos de vida em harmonia com a natureza”*. No entendimento desse ODS a saúde só é afetada quando o consumo afeta o ar, a água e solo.

No que diz respeito a saúde e o consumo, o fator mais importante está ligado a oferta e qualidade dos alimentos saudáveis que são essenciais para a vida. O consumo em excesso e a escassez de consumo de alimentos saudáveis causam diversos problemas para saúde (Figura 9), como obesidade, sobrepeso, problemas articulares, diabetes tipo 2, doenças cardíacas e vasculares.

Tecnicamente, a obesidade é definida como o acúmulo anormal de $\geq 20\%$ de gordura corporal, acima do peso corporal ideal do indivíduo.⁶⁷ A escassez de consumo de alimentos⁶⁸ nutritivos para pessoas em insegurança alimentar leve ou grave leva a desnutrição, anemia, problemas de retardo do crescimento, problemas de visão, desenvolvimento cognitivo e imunológico. A falta de nutrientes, e de vitaminas e sais minerais essenciais pode afetar negativamente a saúde mental, potencializando doenças como ansiedade e a depressão.⁶⁹ Estas situações são críticas e têm preocupado os sistemas de saúde de todos os países, pois elevam consideravelmente os custos em medicamentos e tratamentos clínicos.⁷⁰ Segundo a OMS, o sobrepeso e a obesidade afetam

quase 60% dos adultos e quase uma em cada três crianças (29% dos meninos e 27% das meninas). O sobrepeso e a obesidade são o quarto fator de risco mais comum para as doenças não transmissíveis, depois da pressão alta, dos riscos alimentares e do tabaco.⁷¹ Em alguns países o problema é a obesidade crescente da população e, em outros, o drama está nos problemas de fome e miséria. Esse paradoxo da fome e obesidade é uma situação que ocorre em países desenvolvidos e em desenvolvimento, onde coexistem altas taxas de desnutrição e fome em algumas populações e altas taxas de obesidade em outras.⁷²

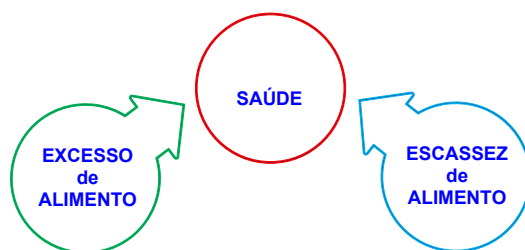


Figura 9. Paradoxo fome e obesidade relacionados com a saúde.

A escassez em geral é uma situação multivariada, mas que no caso da saúde e a falta ou insuficiência de alimentos (e serviços, médicos, hospitalares e dos medicamentos). A desigualdade no fornecimento de alimento está relacionada com a renda das pessoas e não com a falta de alimentos saudáveis. Pessoas mais pobres também sofrem de obesidade por ter acesso restrito aos alimentos saudáveis e nutritivos e dependem de alimentos processados, calóricos, com poucos nutrientes e ricos em açúcares, gorduras saturadas e outros conservantes e aditivos.⁷³ Normalmente esse tipo de alimentos são baratos e de baixa qualidade nutricional e podem levar à obesidade. É importante que as agências de vigilância em saúde regulamentem e fiscalizem as indústrias para garantir que os produtos comercializados sejam seguros e adequados para o consumo.

Por outro lado, a obesidade é um grave problema de saúde que ocorre quando uma pessoa consome mais calorias do que gasta e pode levar a várias doenças crônicas. Silva e colaboradores analisaram o perfil da interseccionalidade da insegurança alimentar com dados reais e concluíram: *“Olhar a insegurança alimentar pela interseccionalidade demonstrou a capacidade dessa abordagem para melhorar a compreensão da situação dos domicílios analisados, especialmente as condições de vulnerabilidade específicas, como a das mulheres negras, as quais apresentaram maiores chances de insegurança*

alimentar moderada ou grave. A insegurança alimentar nos domicílios chefiados por essas mulheres revela-se como uma das consequências da interação estrutural do racismo e do sexismo".⁷⁴ Há a obesidade que não está relacionada com o consumo excessivo de alimento, mas sim problemas genéticos e hormonais. As grandes empresas farmacêuticas por sua vez interpretam isso como grande oportunidade de negócios e investem em pesquisa e desenvolvimento de medicamentos de uso contínuo para tratar a obesidade e suas consequências.

A fome e a insegurança alimentar e suas implicações com os impactos nos sistemas de saúde pública foram tratadas anteriormente. Resumidamente, as pessoas nessas situações tendem a ficar mais doentes, consumir mais medicamentos e cuidados médicos. Porém, os custos da obesidade para os indivíduos e para o sistema público de saúde são muito elevados, pois leva a doenças cardíacas, que é uma das principais causas de morte em todo o mundo, câncer,⁷⁵ depressão,⁷⁶ diabetes,⁷⁷ hipertensão arterial,⁷⁸ etc. As pessoas nessas condições requererem cuidados, medicamentos específicos e atenção médica regular.

Saúde e Mudança Global do Clima (ODS 13)

Há um consenso científico de que as mudanças climáticas que levam aos eventos climáticos extremos são causadas pelo fenômeno do aquecimento global fora do padrão normal causada pelas emissões de gases do efeito estufa. Exemplos destes eventos são inundações, secas, deslizamentos de terra, danos em áreas costeiras, ondas de calor com incêndios florestais, furacões, tufões, ciclones, tempestades tropicais, de areia, de neve e de granizo, derretimento do gelo e aumento do nível do mar e rupturas de barragens. Espera-se que essas mudanças tenham impactos substanciais na saúde humana das pessoas.⁷⁹ Esses elementos causam impactos significativos na sociedade, economia, perda de colheita, deslocamento de populações e destruição do meio ambiente. A origem desses advém das agressões ao meio ambiente ao longo dos séculos. A intensidade e frequência desses eventos vem crescendo a cada ano e à medida que as mudanças climáticas avançam.

O mundo está pagando o preço da exploração desmensurada do capital natural pelas corporações em favor dos grupos mais favorecidos da sociedade. Os desastres ambientais são efeitos colaterais de uma política de destruição constante e espalhada pelo planeta. Algumas vezes os desastres são localizados e em outras distribuídas em áreas e até países. Quando ocorrem os eventos climáticos extremos, os custos para as áreas afetadas são imensos e vão desde custo material (perdas agrícolas, danos à infraestrutura, moradias), custo social (desabrigados, aumento da pobreza, fome), custo para os serviços

de saúde (socorro as vítimas, internações, até perdas de vidas). Os eventos climáticos extremos que ocorrem nas áreas mais vulneráveis aumentam as desigualdades. Recentemente, Ferreira *et al.* detalharam os custos relativos ao pré-desastre, desastre e o pós-desastres para a sociedade e as corporações.⁸⁰

O ODS 13 alerta que é preciso tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos. Esse ODS 13 tem apenas 4 metas, apesar de ser um dos objetivos mais urgentes para o planeta. Ele incentiva que se aumente a resiliência do meio ambiente, mitigação global do clima, adaptação, redução de impacto, e alerta precoce para se enfrentar as catástrofes naturais, com integração das políticas, estratégias e planejamentos nacionais voltadas para neutralizar as mudanças do clima.

É muito estranho que o ODS 13 não tenha em nenhuma das suas metas relacionadas com os problemas saúde e mudanças climáticas, haja vista que ela promove direta e indiretamente, como perda de produtividade e renda, muitas doenças e quando ocorrem os eventos climáticos extremos os custos no uso de medicamentos e atendimento hospitalar com o tratamento das pessoas afetadas aumentam drasticamente. Os serviços essenciais de saúde pública.⁸¹ São muitos os exemplos de doenças promovidas pelas mudanças climáticas, com por exemplo, as doenças relacionadas com ondas de calor nas populações mais vulneráveis, doenças respiratórias devido ao aumento da poluição do ar, mudanças de hábitos dos insetos transmissores de doenças, elevação da temperatura da água e a contaminação por bactérias patogênicas e micro-organismos oportunistas em enchentes e doenças mentais como estresse e ansiedade causados desastres climáticos extremos.

Nos pós-desastres dos eventos climáticos extremos os custos são imensos devido a quantidade de reconstruções que precisam ser realizadas. Ele afeta significativamente o orçamento de qualquer prefeitura que nunca se prepara no pré-desastre, que normalmente ocorre com frequência. Sem dúvida há custos relacionados aos danos na infraestrutura, mobilização de bombeiros e um dano permanente ao meio ambiente dos rios e encostas, mas grandes impactos ocorrem também na área da saúde, pois para atender os impactados pelo desastre é preciso recursos. No pós-desastres as prefeituras nada fazem para que o desastre não ocorra novamente, incluindo controle das doenças transmitidas por vetores e alimentos e água contaminadas, contribuindo para elevar os custos.

A mitigação nas ações climáticas é o aspecto mais urgente e importante para frear os eventos globais extremos. Essas ações se referem aos esforços para reduzir as emissões de gases de efeito estufa por meio de vários métodos, como redução do uso de combustíveis fósseis, combustíveis renováveis, aumento da eficiência energética, agricultura sustentável e redução do desmatamento e uso racional da terra. Muitas mitigações têm sido feitas através de

acordo entre os países, mas isso não tem funcionado muito bem. O Acordo de Paris, por exemplo, que estipulou o aumento da temperatura global abaixo de 2 °C através da redução dos gases de efeito estufa, certamente não será cumprido, pois diversos países assinaram, e posteriormente boicotaram ou retiraram a assinatura do acordo.

As mudanças climáticas, o crescimento populacional e recursos financeiros limitados desafiam os sistemas de saúde na questão da sua sustentação financeira. Com os custos crescentes dos eventos climáticos extremos, devido à falta de sustentabilidade ambiental, mais recursos da saúde terão que ser desviados dos sistemas públicos de saúde. O complexo da saúde é um dos principais contribuintes para as emissões de carbono e precisa passar por transformações e inovações e ter pegada de carbono zero. Então, da mesma forma que todas as outras áreas, os serviços de saúde precisam se aplicar a economia verde em suas práticas, com hospitais com eficiência energética e com captação de energia renovável, aquisição de materiais com selo de sustentabilidade, gestão interna sustentável, gestão de resíduos, infraestrutura saudável e sustentável e educação dos profissionais de saúde sobre sustentabilidade.^{82,83} Se as cidades precisam ser inteligentes para alavancar a sustentabilidade em seus hospitais e clínicas, precisam ter um ecossistema de saúde neutro em carbono.⁸⁴ Os países que mais contribuem para as mudanças climáticas globais deveriam ter maior responsabilidade, bem como arcar com os custos de mitigação de seus impactos e poderiam disponibilizar tecnologias para que as cidades pudessem planejar de forma adequada os ambientes hospitalares.

Considerações finais

Os temas abordados neste artigo destacam a importância de vários paradigmas em relação às ameaças reais e potenciais para a saúde. Existem diversos fatores que podem afetar a saúde e o bem-estar das pessoas, muitas vezes interligados de forma sequencial, contribuindo para as dimensões das desigualdades. É relevante ressaltar que, embora o artigo dê maior ênfase ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 3 - Saúde e Bem-Estar, esse objetivo também está correlacionado com outros sete - 1, 2, 6, 8, 10, 12 e 13. Isso não implica que os demais ODS's não sejam importantes para a saúde, o bem-estar e o desenvolvimento sustentável, mas eles estão mais alinhados com o foco dado neste artigo, pois é necessário reconhecer que a saúde do planeta está diretamente interconectada com diversos elementos, como ar, solo, água, rios, barragens, lagos, florestas, entre outros. Essa interconexão, por sua vez, está relacionada à saúde humana e aos ambientes naturais.

Referências

- 1 Comissão Nacional ODS, Relatório de Atividades 2017-2018. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/ods/publicacoes/relatorio-cnods-2017-18>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 2 Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (CNODS): Plano de Ação 2017-2019. CNODS, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2QNUCCp>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 3 Relatório de Atividades 2017-2018. Comissão Nacional ODS. Disponível em: <<https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2019/05/relatorio-cnods-2017-18.pdf>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 4 Decreto nº 9.759, de 11/04/2019, D.O.U. de 11/04/2019, P. 5 Edição Extra. Disponível em: <<https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEC&numero=9759&ano=2019&ato=279oXW65keZpWT12c>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 5 Projeto de Lei que institui o Plano Plurianual da União para o período de 2020 a 2023. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1800188>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 6 Sítio do IPEA. ODS – Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável Proposta de adequação. Disponível em: <<https://bit.ly/2oJPWy0>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 7 WHO. Disponível em: <<https://www.who.int/about/governance/constitution>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 8 SANTOS, W. C.; FERREIRA, V. F. Some Aspects of the COVID-19 Pandemic in Brazil. *Actualidad en Farmacología y Terapéutica* **2021**, *19*, 146. [Link]
- 9 LI, A. M. L. Ecological determinants of health: food and environment on human health. *Environmental Science and Pollution Research* **2017**, *24*, 9002. [CrossRef]
- 10 IPEA. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/ods3.html>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 11 Sítio do IBGE. 1,90 dólares por dia foram convertidos pela paridade de poder de compra (PPC-2011) de R\$1.66 por dólar. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6682#notas-tabela>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 12 EASTERLY, W. The Big Push Déjà Vu: A Review of Jeffrey Sachs's *The End of Poverty: Economic Possibilities for Our Time*. *Journal of Economic Literature* **2006**, *44*, 96. [Cross-Ref]
- 13 Blog Voluntariado Empresarial. Disponível em: <<https://voluntariadoempresarial.com.br/5-tendencias-do-voluntariado-empresarial/>>. Acesso em: 14 agosto 2023.

- 14 CARVALHO, G. M. Pesquisadora do IFF/Fiocruz analisa o quadro de desnutrição das crianças yanomami. Disponível em: <<https://portal.fiocruz.br/noticia/pesquisadora-do-iff/fiocruz-analisa-o-quadro-de-desnutricao-das-criancas-yanomami#:~:text=Artigos%20cient%20C3%ADficos%20recentes%20revelam%20que,idade%20em%20torno%20de%2080%25>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 15 WHO. Is housing improvement a potential health improvement strategy? Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/363926/9789289057110-eng.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 16 BAKER, K. J.; MOULD, R.; RESTRICK, S. Rethink fuel poverty as a complex problem. *Nature Energy* **2018**, 3, 610. [CrossRef]
- 17 BRADSHAW, J.; HUTTON, S. Social policy options and fuel poverty. *Economic Psychology* **1983**, 3, 249. [CrossRef]
- 18 ALSTONE, P.; GERSHENSON, D.; KAMMEN, D. M. Decentralized energy systems for clean electricity access. *Nature Climate Change* **2015**, 5, 305. [CrossRef]
- 19 GARCIA, G. Preço do gás de cozinha empurra famílias carentes de volta para o fogão à lenha. Disponível em: <<https://www.reporterdiario.com.br/noticia/3192761/preco-do-gas-de-cozinha-empurra-familias-carentes-de-volta-para-o-fogao-a-lenha/>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 20 The World Bank. The 2021 edition of Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. Disponível em: <https://reliefweb.int/report/world/tracking-sdg7-energy-progress-report-2021?gclid=C-j0KCQiAx6ugBhCcARIsAGNmMbjajtZ4a-kj4C6KoltOZK-YQ4WnFbcUIW9_5L7ES3Eg-d84EEOun8pkaAl-FEALw_wcB>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 21 Declaração Universal dos Direitos Humanos. Disponível em: <<https://www.oas.org/dil/port/1948%20Declara%C3%A7%C3%A3o%20Universal%20dos%20Direitos%20Humanos.pdf>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 22 FIAN BRASIL - Curso Básico de Direito Humano à Alimentação e à Nutrição Adequadas (Dhana), Módulo I. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://fianbrasil.org.br/wp-content/uploads/2020/06/Curso-Dhana-M%C3%B3dulo-I-FIAN-Brasil.pdf>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 23 Gazeta do Povo. Manuseio e transporte são as principais causas para desperdício de alimentos. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/bomgourmet/eventos/manuseio-e-transporte-principal-causa-desperdicio-alimentos/>>. Todos os direitos reservados. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 24 JESUS, C. M. Quarto de Despejo - Diário de Uma Favelada. Editora Ática. 1992, p38. Disponível em: <<http://dpid.cidadapopg.sp.gov.br/pde/arquivos/1623677495235~Quarto%20de%20Despejo%20-%20Maria%20Carolina%20de%20Jesus.pdf.pdf>>. Acesso em: 14 agosto 2023.

- 25 SANTOS, W. C.; Hüther, C.M.; Ferreira, V. F. A dimensão da fome e da miséria dentro da sustentabilidade. *Conjecturas* **2022**, 22, 741. [Link]
- 26 FERREIRA, V. F. Fome, miséria e sustentabilidade. Edição 6944, 14 de junho de 2022. Disponível em: <<http://jcnoticias.jornaldaciencia.org.br/27-fome-miseria-e-sustentabilidade/>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 27 Sítio CNN. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/pobreza-extrema-pobreza-e-desigualdade-batem-recordes-nas-metropoles-em-2021-diz-estudo/>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 28 Sítio World Bank. COVID-19 to Add as Many as 150 million Extreme Poor by 2021. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2020/10/07/covid-19-to-add-as-many-as-150-million-extreme-poor-by-2021#:~:text=Extreme%20poverty%2C%20defined%20as%20living,rate%20of%209.2%25%20in%202017>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 29 Poverty and Shared Prosperity. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/publication/poverty-and-shared-prosperity>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 30 FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Rome, FAO. 2022, 260p.
- 31 FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Rome, FAO, 2021.
- 32 Guedes, A. Agência Senado. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2022/10/retorno-do-brasil-ao-mapa-da-fome-da-onu-preocupa-senadores-e-estudiosos#:~:text=Em%202022%2C%20o%20Segundo%20Inqu%C3%A9rito,brasileiros%20em%20situa%C3%A7%C3%A3o%20de%20fome>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 33 Disponível em: <<https://pesquisassan.net.br/2o-inquerito-nacional-sobre-inseguranca-alimentar-no-contexto-da-pandemia-da-covid-19-no-brasil/>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 34 CASTRO, J.; *Geografia da Fome - O Dilema Brasileiro: Pão ou Açã*, 10a. ed., Antares Achiamé: Rio de Janeiro, 1980.
- 35 FREITAS, M. C. S.; *Agonia da Fome*. Ed. Fiocruz e Ed. da Universidade Federal da Bahia. 2003, p. 15.
- 36 Mirón, I. J.; Linares, C.; Díaz, J. The influence of climate change on food production and food safety. *Environmental Research* **2023**, 216, 114674. [CrossRef]
- 37 FILHO, W. L.; SETTI, A. F. F.; AZEITEIRO, U. M.; LOKUPITIYA, E.; DONKOR, F. K.; ETIM, N. A. N. A. MATANDIROTYA, N.; OLOOTO, F. M.; SHARIFI, A.; NAGY, G. J.;

- DJEKIC, I. An overview of the interactions between food production and climate change. *Science of The Total Environment* **2022**, *838*, 156438. [CrossRef] [PubMed]
- 38 Sítio Food Systems Dashboard. Disponível em: <<https://www.foodsystemsdashboard.org/information/data-sources-and-methodology#how-the-42-actions-were-identified>> Acesso em: 14 agosto 2023.
- 39 REHFUESS, E. A. BARTRAM, J. Beyond direct impact: evidence synthesis towards a better understanding of effectiveness of environmental health interventions. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* **2014**, *217*, 155. [CrossRef] [PubMed]
- 40 BUDGE, S.; AMBELU, A.; BARTRAM, J.; BROWN, J.; HUTCHINGS, P. Environmental sanitation and the evolution of water, sanitation and hygiene. *Bulletin of the World Health Organization* **2022**, *100*, 286. [CrossRef] [PubMed]
- 41 Sítio NSC Total. Disponível em: <<https://www.nsctotal.com.br/colunistas/dagmara-spautz/agua-que-chega-as-torneiras-tem-resquicios-de-agrotoxicos-em-22-cidades>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 42 Sítio Repórter Brasil. Disponível em: <<https://reporterbrasil.org.br/2022/03/exclusivo-agua-da-torneira-foi-contaminada-com-produtos-quimicos-e-radioativos-em-763-cidades/>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 43 Sítio Outras Palavras. Disponível em: <<https://outraspalavras.net/movimentoserebeldias/o-chile-comeca-a-desprivatizar-da-agua/>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 44 Center for Disease Control and Prevention. Water Contamination and Diseases. Disponível em: <https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/contamination.html?CDC_AA_refVal=https%3A%2F%2Fwww.cdc.gov%2Fhealthywater%2Fdrinking%2Fpublic%2Fwater_diseases.html>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 45 ALI, H.; KHAN, E.; ILAHI, I. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry* **2019**, ID 6730305. [CrossRef]
- 46 Academia Brasileira de Ciência. Mercury circulation, and impacts extraction. <http://www.abc.org.br/wp-content/uploads/2023/02/Revista-GT-Mercurio-pag-simples-site-da-ABC-vers%C3%A3o-EN-US.pdf>. Acessado em 10/03/2023.
- 47 VOOSE, P. Illegal mining has muddied tropical rivers worldwide. *Science* **2023**, *379*, 124. [CrossRef]
- 48 GERSON, J. R.; SZPONAR, N.; ZAMBRANO, A. A.; BERGQUIST, B.; BROADBENT, E.; DRISCOLL, C. T.; ERKENSWICK, G.; EVERS, D. C.; FERNANDEZ, L. E.; HSU-KIM, H.; INGA, G.; LANSDALE, K. N.; MARCHESI, M. J.; MARTINEZ, A.; MOORE, C.; PAN, W. K.; PURIZACA, R. P.; SÁNCHEZ, V.; SILMAN, M.; URY, E. A.; VEGA, C.; WATSA, M.;

- BERNHARDT, E. S. Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. *Nature Communications* **2022**, *13*, 559. [CrossRef]
- 49 GERSON, J. R.; TOPP, S. N.; VEGA, C. M.; GARDNER, J. R.; YANG, X.; FERNANDEZ, L. E.; BERNHARDT, E. S.; PAVELSKY, T. M. Artificial Lake expansion amplifies mercury pollution from gold mining. *Science Advances* **2020**, *6*, eabd4953. [CrossRef]
- 50 MENESES, H. N. M.; OLIVEIRA-DA-COSTA, M.; BASTA, P. C.; MORAIS, C. G.; PEREIRA, R. J. B.; SOUZA, S. M. S.; HACON, S. S. Mercury Contamination: A Growing Threat to Riverine and Urban Communities in the Brazilian Amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2022**, *19*, 2816. [CrossRef] [PubMed]
- 51 Sítio EMBRAPA, Pesquisa estuda folha da Amazônia para substituição do mercúrio na extração de ouro. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/80747054/pesquisa-estuda-folha-da-amazonia-para-substituicao-do-mercuro-na-extracao-de-ouro#:~:text=Pesquisa%20realizada%20no%20Brasil%20mostrou,%20em%20substitui%C3%A7%C3%A3o%20ao%20merc%C3%B3rio>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 52 RAI, P. K. Heavy Metal Pollution in Aquatic Ecosystems and its Phytoremediation using Wetland Plants: An ecosustainable approach. *International Journal of Phytoremediation* **2008**, *10*, 133. [CrossRef] [PubMed]
- 53 BROOKS, R. R.; CHAMBERS, M. F.; NICKS, L. J.; ROBINSON, B. H. Phytomining. *Trends in Plant Science* **1998**, *3*, 359. [CrossRef]
- 54 CRISTALDI, A.; COPAT, C.; CONTI, G. O.; ZUCCARELLO, P.; GRASSO, A.; FER-RANTE, M. P. Em *The Handbook of Environmental Remediation: Classic and Modern Techniques*; Hussain, C. M., ed.; 2020, cap. 10.
- 55 Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Water-related Diseases and Contaminants in Public Water Systems. Disponível em: <https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/public/water_diseases.html>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 56 RODRIGUES, M. L. Negligenciadas entre as negligenciadas: perspectiva de prevenção, controle e diagnóstico de doenças causadas por fungos / Marcio L. Rodrigues. – Rio de Janeiro: Fundação Oswaldo Cruz, 2019, 22 p.
- 57 SADECK, S. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/radio/1/conexao-senado/2022/03/22/100-milhoes-de-pessoas-nao-tem-coleta-de-esgoto-no-brasil>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 58 OLIVEIRA, G.; SCAZUFCA, P.; SAYON, P. L. Ranking do Saneamento do Instituto Trata Brasil de 2023 (SNIS 2021). Disponível em: <<https://tratabrasil.org.br/wp-content/uplo>>

ads/2023/03/Versao-Final-do-Relatorio_Ranking-do-Saneamento-de-2023-2023.03.10.pdf>.
Acesso em: 14 agosto 2023.

- 59 DALZIEL, P.; SAUNDERS, C.; SAUNDERS, J.; *Wellbeing in Politics and Policy*, Palgrave Macmillan: Switzerland, 2018.
- 60 Decent work. International Labour Organization. Disponível em: <<https://www.ilo.org/global/topics/decent-work/lang--en/index.htm>>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 61 DUBET, F. As desigualdades multiplicadas. *Revista Brasileira de Educação* **2001**, 17, 5. [CrossRef]
- 62 SCHEIDEL, W.; *Violência e a História da Desigualdade*, Zahar: Rio de Janeiro, 2017, p.17.
- 63 SANTOS, R. C. C. L.; SILVA, D. R.; SANTOS, L. D. Em *Saúde ambiental como vertente no controle da poluição sonora em O Direito e Ética na Sociedade Contemporânea*; Nunes Júnior, F. M. A.; Nascimento, G. A. F., org.; Ed. Alínea, 2006, cap. 14
- 64 PAIM, J. S. Sistema Único de Saúde (SUS) aos 30 anos. *Ciência & Saúde Coletiva* **2018**, 23, 1723. [CrossRef]
- 65 MENDES, E. V. Desafios do SUS. Brasília, Conselho Nacional de Secretários de Saúde – CONASS, 2019, 869 p.
- 66 GARCIA, L. P.; DE MAGALHÃES, L. C. G.; SANT’ANNA, A. C.; SANTANA DE FREITAS, L. R.; PACHECO AUREA, A. Dimensões do acesso a medicamentos no Brasil: perfil e desigualdades dos gastos das famílias, segundo as Pesquisas de Orçamentos Familiares 2002-2003 e 2008-2009. Rio de Janeiro: IPEA, 2013. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/handle/10419/91205>>. Acessado em 15/03/2023>. Acesso em: 14 agosto 2023.
- 67 PI-SUNYER, F. X. Obesity: criteria and classification. *Proceedings of the Nutrition Society*, **2000**, 59, 505. [CrossRef] [PubMed]
- 68 TONIAL, J. C. Falta de alimentos no mundo: problema de escassez ou de distribuição? *JURIS. Revista Da Faculdade De Direito* **2012**, 14, 69. [CrossRef]
- 69 KRIS-ETHERTON, P. M.; PETERSEN, K. S.; HIBBELN, J. R.; HURLEY, D.; KOLICK, V.; PEOPLES, S.; RODRIGUEZ, N.; WOODWARD-LOPEZ, G. Nutrition and behavioral health disorders: depression and anxiety. *Nutrition Reviews* **2021**, 79, 247. [CrossRef] [PubMed]
- 70 LEAN, M.; MCCOMBIE, E. L.; HOLE, D. J. The impact of obesity on drug prescribing in primary care. *British Journal of General Practice* **2005**, 55, 743. [PubMed]
- 71 World Health Organization. Regional Office for Europe. WHO European Regional Obesity Report **2022**. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/353747>>. Acesso em: 14 agosto 2023.

- 72 KOH, K. A.; HOY, J. S.; O'CONNELL, J. J.; MONTGOMERY, P. The Hunger–Obesity Paradox: Obesity in the Homeless. *Journal of Urban Health* **2012**, *89*, 952. [CrossRef] [PubMed]
- 73 DIETZ, W. H. Does Hunger Cause Obesity? *Pediatrics* **1995**, *95*, 766. [PubMed]
- 74 SILVA, S. O.; SANTOS, S. M.C.; GAMA, C. M.; COUTINHO, G. R.; SANTOS, M. E. P.; SILVA, N. J. A cor e o sexo da fome: análise da insegurança alimentar sob o olhar da interseccionalidade. *Cadernos de Saúde Pública* **2022**, *38*, e00255621. [CrossRef]
- 75 WOLIN, K. Y.; CARSON, K.; COLDITZ, G. A. Obesity and Cancer. *The Oncologist* **2010**, *15*, 556. [CrossRef] [PubMed]
- 76 STUNKARD, A. J.; FAITH, M. S.; ALLISON, K. C. Depression and obesity. *Biological Psychiatry* **2003**, *54*, 330. [CrossRef] [PubMed]
- 77 LEONG, K. S.; WILDING, J. P. Obesity and diabetes. *Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism* **1999**, *13*, 221. [CrossRef] [PubMed]
- 78 JIANG, S.; LU, W.; ZONG, X.; RUAN, H.; LIU, Y. Obesity and hypertension (Review). *Experimental and Therapeutic Medicine* **2016**, *12*, 2395. [CrossRef] [PubMed]
- 79 BLANK, D. M. P. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. *Mercator* **2015**, *14*, 157. [CrossRef]
- 80 FERREIRA, V. F. F.; HÜTHER, C. M. M.; SANTOS, W. C. Os custos dos ambientes desiguais e insustentáveis. *Conjecturas* **2022**, *22*, 191. [Link]
- 81 FRUMKIN, H.; HESS, J.; LUBER, G.; MALILAY, J.; MCGEEHIN, M. Climate Change: The Public Health Response. *American Journal of Public Health* **2008**, *98*, 435. [CrossRef] [PubMed]
- 82 CHÍAS, P.; ABAD, T. Green Hospitals, Green Healthcare. *International Journal of Energy Production and Management* **2017**, *2*, 196. [CrossRef]
- 83 SENDALL, M.C.; LIDSTONE, J.; FLEMING, M.; DOMOCOL, M. Nurses and Teachers: Partnerships for Green Health Promotion. *Journal of School Health* **2013**, *83*, 508. [CrossRef] [PubMed]
- 84 SINGH, P.; DIXIT, V.; KAUR, J.; *Green Healthcare for Smart Cities in Green and Smart Technologies for Smart Cities*, 1a. Ed., CRC, 2019, 40.

Capítulo 6

Quais são as vantagens de conservar as florestas?

Luana da Silva Magalhães Forezi, Patricia Garcia Ferreira, Yuri Pereira Vidal de Carvalho, Cristina Moll Hüther, Wilson C. Santos, Fernando de Carvalho da Silva, Vitor F. Ferreira

Introdução

“Estou aqui para soar o alarme: o mundo precisa acordar. Estamos à beira do abismo - e caminhando na direção errada.”

António Guterres Secretário-geral da ONU, 2021

Este artigo pretende abordar os efeitos globais causados pelo desmatamento de florestas em diferentes biomas e as oportunidades científicas e econômicas que serão perdidas com a não conservação desses biomas. É imperativo deter a perda de vida e os danos aos ecossistemas, bem como os impactos no abastecimento alimentar e na saúde. Uma das ações mais importantes é tornar o setor florestal neutro em carbono, por meio da interrupção do desmatamento e da recuperação de áreas degradadas, estabilizando, conseqüentemente, os níveis de gases de efeito estufa na atmosfera. Embora o desmatamento não esteja explicitamente escrito nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, ele se encaixa nos ODS 6 (Água limpa e saneamento), 11 (Cidades e comunidades sustentáveis), 12 (Consumo e produção sustentáveis) e 13 (Ação climática). São ações que visam ampliar as múltiplas dimensões da sustentabilidade, fundamentais para a continuidade das espécies e dos ecossistemas que as sustentam, ou seja, uma expansão de nossa percepção de tempo.

Os efeitos das atividades humanas no planeta estão visivelmente presentes nos oceanos, rios, ar, florestas, calotas polares, fauna e flora terrestres e marinhas. Isso leva à alteração do clima da Terra, em grande parte devido às emissões de gases de efeito estufa. A década de 2010-2019 teve o nível mais alto de emissões comparado a qualquer outra década.¹ As alterações extremas do meio ambiente estão atingindo situações que aparentemente estão à beira da irreversibilidade, já que a resiliência desses ambientes dificilmente se recuperará espontaneamente. Por outro lado, as temperaturas globais continuam a aumentar com impactos gravíssimos, afetando os países em desenvolvimento e, nestes, as populações mais pobres que ficam expostas a uma maior incidência de secas e enchentes, escassez de alimentos com perdas agrícolas, falta de água potável, doenças e perda de moradias e meios de subsistência. Os incêndios florestais que grassam em todo o mundo aumentam a poluição e, conseqüentemente, a asma e outras doenças pulmonares graves.^{2,3}

Eventos climáticos extremos em todo o planeta são o resultado de vários fatores normalmente associados e que possuem custos cumulativos. Alguns deles estão destacados na Figura 1, como o crescimento populacional, a exploração intensiva do capital natural, a devastação de florestas e biomas, a exploração e agressão a rios, lagos e oceanos, o uso de combustíveis fósseis, a falta de governança ambiental, o manejo inadequado de resíduos e a educação formal precária da população. É importante destacar e refletir que os desastres naturais afetam desproporcionalmente os mais desfavorecidos. Historicamente, temos visto repetidamente que os efeitos devastadores de eventos naturais como furacões, terremotos, enchentes e secas tendem a ser mais severos para as comunidades mais vulneráveis e marginalizadas.⁴

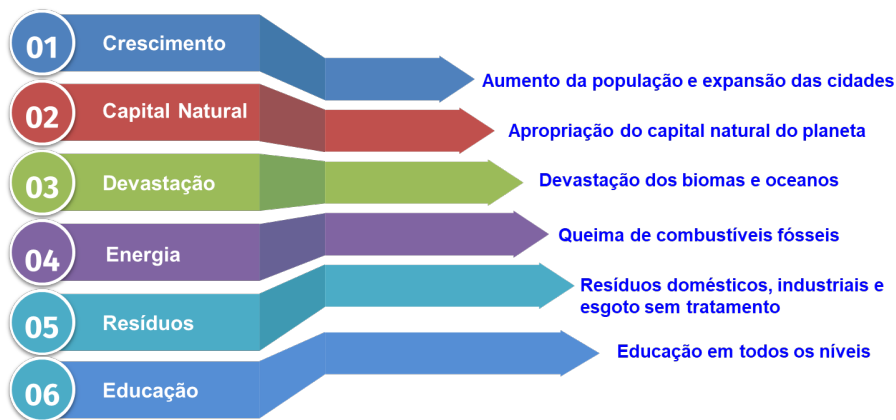


Figura 1. Alguns fatores que contribuem para eventos climáticos extremos.

Uma das atividades que mais impacta todo o meio ambiente é o desmatamento predatório em manguezais e florestas. Essa prática elimina biomas importantes, afetando a vida de todos no planeta para o benefício de grandes corporações que exploram o capital natural de todos em detrimento de alguns. Esse mesmo capital natural das florestas, além da extração de madeira, pode ser uma saída da pobreza, que é o principal propósito dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. No entanto, se a devastação de florestas, rios, lagos e oceanos continuar, o planeta não durará mais um século devido à velocidade com que o mundo avança atualmente, atingindo um ponto de irreversibilidade. Infelizmente, a devastação de diversos biomas só tem aumentado nos últimos anos.⁵ O futuro deste planeta depende das atitudes sensatas dos formuladores de políticas de cada país e do comportamento proativo da sociedade. Jared Diamond, em 2005, relatou o caso de oito civilizações que foram à ruína e desapareceram quando suas florestas foram dizimadas. Portanto, a humanidade neste planeta dependerá fundamentalmente da conservação e restauração das florestas, ou do que resta delas.

Os recursos naturais estão em risco devido ao crescente consumismo nas grandes cidades, que fomenta o crescimento do PIB. Se, por um lado, o PIB é a métrica mais comum de uma economia próspera, por outro lado, ele nos cega para o impacto devastador dessa atividade econômica sobre o meio ambiente e o capital natural. No entanto, o desenvolvimento deve ser centrado nas pessoas e não exclusivamente na produção, já que o consumo e o crescimento econômico são as principais causas da destruição dos ambientes naturais. Há muitos anos, os cientistas alertam para o comprometimento dos recursos naturais e o impacto ambiental, uma vez que o bem-estar humano está sempre associado ao consumo consciente dos recursos naturais renováveis. Nesse sentido, Boyden e Dovers alertaram em 1992 que, em 4 bilhões de anos de vida na Terra, nenhuma espécie causou tantas perturbações ecológicas quanto o *Homo sapiens*,⁶ e que ações urgentes de contenção devem ser tomadas para resolver os problemas ambientais com a implementação de uma escala de economia sustentável, para melhorar as condições de vida das pessoas em um mundo que, estima-se, terá 9 bilhões de habitantes em 2050.

Para garantir o abastecimento de alimentos e água, será necessário recompor as florestas e suas nascentes, além de recuperar rios, lagos e oceanos poluídos.⁷ Esses desafios representam apenas alguns exemplos importantes que a humanidade terá que enfrentar e que podemos chamar de desafios para o desenvolvimento sustentável.

A transição para uma economia de baixo carbono se tornou o ícone do século 21, onde a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável devem se concentrar em pesquisa e pensamento baseado em evidências.⁸ Embora os

termos sustentabilidade e desenvolvimento sustentável estejam gastos pelo uso como forma de engano, sem precisão e comprometimento por parte de governos, empresas e instituições. Em alguns produtos e processos, a sustentabilidade funciona como uma espécie de “maquiagem verde” para aumentar o consumo e as práticas de produção sem comprometer o meio ambiente. Sobre esse assunto, Leonardo Boff escreveu: *“O atual modo de produção, que visa o maior nível possível de acumulação (como posso ganhar mais?), envolve a dominação da natureza e a exploração de todos os seus bens e recursos”*.⁹

Ações da Organização das Nações Unidas (ONU) para o Meio Ambiente

Há 40 anos, a ONU vem se demonstrando bastante preocupada com as questões relacionadas à degradação do meio ambiente em escala global. Desde então, a organização tem promovido conferências periódicas com os países, baseadas nos princípios da cooperação global. Nesses encontros, são estabelecidas metas para alcançar o desenvolvimento ambiental e social sustentável. Por seu foco nos múltiplos aspectos da sustentabilidade, essas conferências atraem grande atenção dos círculos educacionais e acadêmicos.

O conceito de sustentabilidade entrou na literatura científica em 1985 por meio do trabalho de Wes Jackson sobre agricultura sustentável.¹⁰ Ele observou que a agricultura moderna ainda depende muito de pesticidas, herbicidas e fertilizantes químicos, que estão envenenando ecossistemas em todo o mundo.^{11,12} A partir da publicação de Wes Jackson, o termo sustentabilidade começou a ganhar importância nos círculos político e acadêmico. Esse processo foi reforçado com a publicação do Relatório Brundtland, intitulado “Our Common Future: A global agenda for change”, apresentado em 27 de abril de 1987 à Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, presidida por Gro Harlem Brundtland.¹³ O relatório apresenta documentação valiosa sobre questões de crescimento global e problemas socioambientais. Apesar das críticas por não apontar soluções para a raiz dos problemas, o Brundtland Report cumpriu seu objetivo. Ele desafiou a ignorância e a inadequação das políticas ambientais dominantes, que afetavam populações pobres e vulneráveis, fontes alternativas de energia (biocombustíveis),¹⁴ recursos naturais, atividades industriais predatórias e a degradação do mundo em desenvolvimento.¹⁵ Deste relatório ficou a definição mais conhecida sobre o desenvolvimento sustentável que poderia servir ao mundo do próximo século: “Sustainable development is, in essence, development that meets the needs and aspirations of the present generation without destroying the resources needed for future

generations to meet their needs”. Esse relatório desencadeou todas as outras conferências da ONU (“Only One Earth”, 1972, Estocolmo;¹⁶ “Our Common Future”, 1992, Rio de Janeiro;¹⁷ “Objetivos de Desenvolvimento do Milênio”, 2000, Assembleia Geral da ONU¹⁸). Além disso, inspirou a criação de diversos painéis climáticos. Mesmo após 40 anos, o progresso na conscientização e compreensão dos obstáculos ao desenvolvimento sustentável permanece limitado. Esses obstáculos persistem e se agravam, tanto em termos da urgência das necessidades quanto dos indicadores de condições socioambientais.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

A ação mais recente da ONU ocorreu em 2015, quando a assembleia reafirmou todos os seus compromissos de conferências anteriores, estabelecendo uma visão mais ampla chamada “Agenda 2030”. Essa visão preconiza a integração de diversos problemas ao desenvolvimento sustentável em todo o planeta. Dezesete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram elaborados, cujo alcance exigirá comprometimento coletivo de toda a população mundial para superar os desafios e garantir a continuidade da vida no planeta (Figura 2).

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	1 Erradicação da Pobreza	2 Fome zero e agricultura sustentável	3 Saúde e bem-estar	4 Educação de qualidade	5 Igualdade de gênero
6 Água potável e saneamento	7 Energia limpa e acessível	8 Trabalho decente e desenvolvimento econômico	9 Indústria, inovação e infraestrutura	10 Redução das desigualdades	11 Cidades e comunidades sustentáveis
12 Consumo e produção responsáveis	13 Ação contra a mudança climática global	14 Vida na água	15 Vida Terrestre	16 Paz, justiça e instituições eficazes	17 Parcerias e meios de implementação

Figura 2. ODS propostos pela ONU em 2015.

Os ODS são integrados de forma que as ações realizadas em uma área do planeta afetam os resultados em outras. Por isso, o desenvolvimento econômico deve equilibrar a sustentabilidade ambiental e social. A Figura 2 destaca

objetivos como o fim da pobreza e da fome,¹⁹ a promoção da paz e da justiça, e o combate à discriminação contra mulheres e meninas. Os ODS possuem metas e indicadores que devem ser alcançados até 2030 para tornar o planeta mais sustentável e propício ao futuro, garantindo paz e prosperidade para todos. Na verdade, alguns desses ODS baseiam-se em soluções que podem vir das Ciências Básicas, mas outros revelam claramente que os problemas para o desenvolvimento sustentável estão associados a diferentes formas de desigualdade: financeira, de gênero, racial, étnica, educacional, de saúde e de emprego.

A realidade mostra que nossa visão de um futuro solidário e sustentável ainda não foi alcançada. A paz continua sendo uma utopia, e seguimos enfrentando desafios como terrorismo, fome, pobreza, secas, aumento da temperatura global, consumismo desenfreado, poluição dos oceanos e desmatamento.^{20,21} O meio ambiente sofreu maior degradação do que em anos anteriores, enquanto a desigualdade disparou. É evidente que esta é a questão de segurança mais perigosa que a humanidade já enfrentou, e a forma como ela tem sido tratada ameaça o suporte e a sustentabilidade da vida na Terra. Nosso planeta não parece estar indo bem, considerando que eventos climáticos extremos se tornaram frequentes em muitas partes do mundo, onde antes eram apenas atípicos. Muitos dirão que a pandemia de COVID-19 (coronavírus) aumentou o uso de recursos naturais e ampliou a lacuna da desigualdade, desemprego, falta de mobilidade social e, o pior de tudo, fome e miséria. Mas isso não corresponde à realidade. Scheidel relata que “o 1% mais rico das famílias do mundo agora detém pouco mais da metade do patrimônio líquido privado global”.²² O próprio autor considera esse número subestimado, já que muitos bilionários escondem seus recursos em contas secretas no exterior. Harari aponta que há países com níveis crescentes de desigualdade: “A Rússia é um dos países mais desiguais do mundo, com 87% da riqueza concentrada nas mãos dos 10% mais ricos da população”.²³

A importância das florestas

As florestas são áreas com alta densidade e variedade de árvores, arbustos, plantas rasteiras, animais, aves, insetos e microrganismos ligados às plantas e ao solo que ocupam todo o planeta. Seus diversos recursos naturais desempenham papéis importantes na garantia da conservação e na sustentabilidade do meio de vida de milhões de pessoas em todo o mundo, incluindo comunidades indígenas e rurais. Florestas preservadas e conservadas também podem ser socialmente úteis gerando empregos (por exemplo, guias, guardas, agrônomos, jardineiros etc.) e renda quando destinadas ao uso recreativo, turismo

ecológico, pesquisa científica e educacional e para a conservação de locais culturais.

Recentemente, a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) divulgou o relatório “Avaliação Global de Recursos Florestais da FAO”²⁴, que fornece informações essenciais para entender a extensão dos recursos florestais, sua condição, manejo e usos em 187 países e territórios. Segundo dados deste relatório, o mundo possui uma área florestal total de 4,06 bilhões de hectares (ha), o que representa 31% da área total terrestre. Como as florestas não são distribuídas uniformemente entre os países, mais da metade (54%) das florestas do mundo estão concentradas em apenas cinco países, em ordem decrescente: Federação Russa (20%), Brasil (12%), Canadá (9%), Estados Unidos da América (8%) e China (5%). A perda de área florestal entre 1990-2000 foi de 7,8 milhões de ha/ano, mas diminuiu para 4,7 milhões de ha/ano no período 2010-2020. É importante ressaltar que essa taxa ainda é considerada um grande perigo para as florestas mais degradadas. Cerca de 1,15 bilhão de ha (25%) das florestas são manejadas e voltadas para a produção de produtos florestais não-madeireiros (PFNM).²⁵ O relatório também destaca que nos últimos 10 anos as florestas aumentaram em áreas de bacias hidrográficas para proteção do solo e da água doce.

O Brasil possui uma grande diversidade de espécies botânicas, e seu uso pela população varia desde fins medicinais²⁶ até o fornecimento de matéria-prima para a geração de produtos comerciais relevantes para a economia. Os biomas brasileiros, como a Amazônia, o Cerrado, a Mata Atlântica, a Caatinga, o Pampa e o Pantanal, abrigam uma rica diversidade de fauna e flora, com cerca de 9,5% das espécies do mundo, incluindo aproximadamente 50 mil espécies de plantas superiores, representando 19% do total mundial.^{27,28} Todos esses biomas estão altamente degradados, desmatados e reduzidos a fragmentos. A FAO define desmatamento como a conversão de florestas para outros usos da terra (independentemente de ser induzida pelo homem). Devido a isso, um grande número de espécies já está extinto e muitas outras se encontram em situação de vulnerabilidade. O conjunto de florestas mais degradado do Brasil é a Mata Atlântica, que engloba diversas florestas e ecossistemas e corresponde a 15% do território nacional. Ela originalmente se estendia por toda a costa leste, do nordeste ao sul do Brasil, atingindo também o Paraguai e a Argentina. Atualmente, a vegetação original da Mata Atlântica corresponde a apenas 7% de sua extensão original.²⁹ Esta floresta desempenha um papel vital no fornecimento de água, regulação do clima, agricultura, pesca, geração de energia e turismo. No entanto, hoje, restam apenas 12,4% da cobertura florestal original.³⁰

Produtos classificados como PFNM (Produtos Florestais Não Madeireiros) podem desempenhar um papel importantíssimo no apoio ao sustento rural e à economia, já que as florestas possuem alto valor intrínseco.³¹ Esse aspecto deve ser levado em conta para a conservação florestal, pois elas são essenciais para a sobrevivência de humanos, animais, insetos, microrganismos e plantas. Quando algo tem valor intrínseco, merece ser tratado com respeito pelo bem-estar humano. Por exemplo, a coleta e o uso sustentáveis de PFNM podem incentivar a conservação da floresta. Portanto, florestas conservadas proporcionam geração de emprego com redução da pobreza, fornecimento de alimento e remédio, diminuição da evaporação de água dos ecossistemas, disponibilidade de materiais têxteis, conservação de processos ecológicos, manutenção de nascentes de rios, fixação de carbono, redução do aquecimento solar, alimento para peixes, insetos e animais, manutenção da diversidade de espécies (fauna e flora) e ordem climática em micro e macro-regiões. Elas são capazes de transformar grandes quantidades de energia solar e dióxido de carbono principalmente em celulose em folhas, raízes, frutos, troncos e ramos.

O Brasil possui um vasto ecossistema florestal e oferece recursos multifacetados. Abriga um enorme número de espécies botânicas com potencial valor medicinal e alimentício, o que poderia contribuir para alcançarmos os objetivos de desenvolvimento sustentável no setor florestal. Um dos efeitos colaterais do desmatamento é a extinção de espécies, que pode ser permanente, pois trazer um animal ou planta de volta (des-extinção ou recriação de espécies)³² ainda é uma ciência incipiente, cara e impossível de aplicar a todas elas. Defensores da recriação enfatizam o valor tecnológico e científico desse empreendimento, pois o homem tem uma obrigação para com as espécies. Sem florestas, a extinção ocorre mesmo com espécies ainda não catalogadas, afetando a viabilidade do próprio homem no planeta, pois faltará o suporte para a vida. As florestas antigas são formadas por árvores centenárias, que levam no mínimo 100 anos para atingir a maturidade novamente após o corte. Sem florestas, o calor e a falta de água se tornarão insuportáveis. Muitos desses efeitos já podem ser observados nos eventos climáticos extremos.

As florestas desempenham um papel fundamental na manutenção e aumento da biodiversidade, além de fornecerem uma ampla variedade de produtos naturais, valorização econômica e serviços ecossistêmicos.³³ As florestas tropicais representam o bioma mais abundante do mundo e abrigam a maior diversidade de espécies, com mais da metade do total de espécies da Terra. Sua importância pode ser avaliada pela capacidade de gerar produtos naturais abundantes e relevantes para a área medicinal (Figura 3). Nesse contexto, o editorial do Professor Paes de Carvalho é bastante esclarecedor: “A biodiversidade é vista com razão no Brasil como uma das importantes

fontes de riqueza nacional. Em outras palavras, devemos concentrar esforços no desenvolvimento de soluções sustentáveis e conservadoras para possibilitar o acesso a esse recurso pelo setor produtivo brasileiro, entendido como o conjunto de empresas legalmente estabelecidas no Brasil”.³⁴

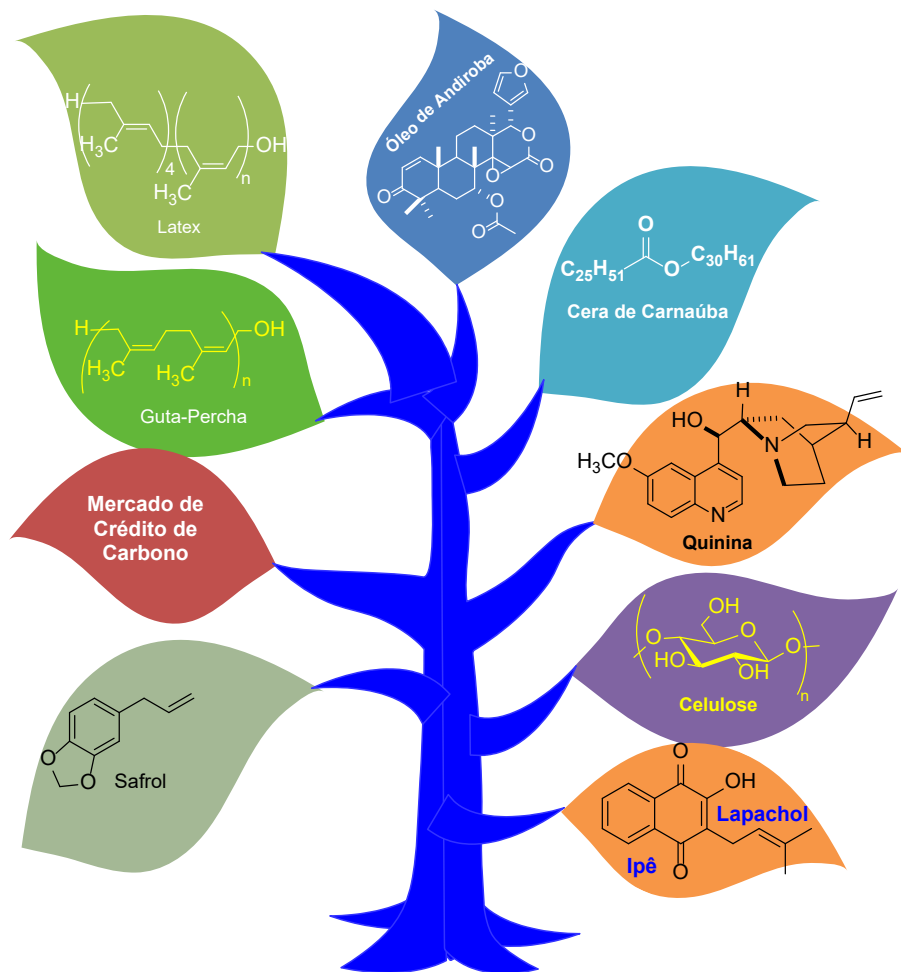


Figura 3. Exemplos de valiosos produtos naturais que podem ser obtidos das florestas.

Manter as florestas intactas é fundamental para a nossa sobrevivência. Nesse sentido, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento argumentou que “o desenvolvimento sustentável não deve colocar em risco os sistemas naturais que sustentam a vida na Terra: atmosfera, águas, solos e seres vivos”.^{35,36} A área mais afetada pela devastação de florestas é a Química

de Produtos Naturais, que sempre esteve a serviço da saúde humana. As florestas se diferenciam de acordo com as regiões do planeta, cada uma com espécies e dinâmicas próprias, porém todas abrigam uma vasta biodiversidade. Ao destruir uma floresta inteira, destruimos a oportunidade de obter alimentos e descobrir novas substâncias bioativas que poderiam se tornar medicamentos e salvar muitas vidas. A literatura é rica em documentação que relata diversos exemplos de produtos naturais extraídos de plantas que se tornaram fármacos de grande sucesso³⁷ ou produtos de interesse industrial (por exemplo, corantes, aromas, emulsificantes, látex, fragrâncias e sabores,³⁸ alcaloides,³⁹ etc.). A floresta mais conhecida é a Amazônia, na América do Sul, que é maior que muitos países, possui a maior densidade de carbono e cobre mais área terrestre do que qualquer outro bioma florestal.

As florestas são ameaçadas por atividades humanas como desmatamento para exploração econômica e fragmentação devido à expansão urbana, mineração e conversão em áreas de produção agrícola. Essas atividades, individualmente ou em conjunto, resultam na perda de habitat e de biodiversidade, conseqüentemente levando ao aumento das emissões de carbono. Simultaneamente, a redução do tamanho da floresta e sua fragmentação contribuem para o aumento da temperatura global, o esgotamento da camada de ozônio (exposição aos raios UV afetando pessoas e ecossistemas) e secas prolongadas, criando condições favoráveis para incêndios florestais que devastam ainda mais os biomas e diminuem a resiliência da floresta ao fogo.⁴⁰ Esses incêndios, por vezes, fazem parte da dinâmica das florestas, mas são os seres humanos que os promovem para “limpar a terra”.^{41,42} O desequilíbrio nos ecossistemas florestais aumenta à medida que o tamanho da área primária diminui pela pressão do uso da terra.⁴³

Celulose: o polissacarídeo natural mais abundante

A celulose é o polissacarídeo natural mais abundante do planeta, presente em algas e em todo o reino vegetal (Figura 4). É a principal substância formada nas florestas e representa o armazenamento de CO₂ e energia na forma de celulose. Suas unidades de D-glicose são formadas diretamente pela fotossíntese e transformadas em polímeros e outros carboidratos por meio de transformações bioquímicas. Este polímero biodegradável não é comestível devido à configuração β -glicosídica nos carbonos anoméricos entre as unidades de D-glicose. Esse polissacarídeo serve de alimento para uma cadeia de diversos animais, insetos e microrganismos capazes de digerir o polissacarídeo e obter energia. É a substância mais abundante nos diversos ecossistemas terrestres espalhados pelo planeta. Apesar de não ser comestível, esse biopolímero tem

O mercado de crédito de carbono está diretamente vinculado às árvores

As florestas desempenham um papel vital como amortecedor natural contra as mudanças climáticas, capturando entre 2,2 e 2,7 gigatoneladas de carbono por ano. Infelizmente, florestas em diversos biomas têm sido devastadas por madeireiros, mineradores e pecuaristas interessados na terra para plantios de monocultura e pecuária extensiva. Essas atividades são responsáveis por quase todas as emissões líquidas de dióxido de carbono. No entanto, a manutenção ou o reflorestamento de áreas degradadas pode ser um negócio muito lucrativo em termos de economia limpa, por meio da comercialização de créditos de carbono para outras empresas que buscam compensar suas emissões de gases de efeito estufa. Esse mercado vem sendo discutido e refinado desde o Protocolo de Kyoto. As multas para empresas que continuarem emitindo gases de efeito estufa serão bem altas. A descarbonização da economia se dará por meio de tecnologias disruptivas, e as empresas que não se adaptarem se tornarão obsoletas.

A implementação do mercado de créditos de carbono é uma história de sucesso político e, atualmente, esses créditos se tornaram parte integrante da política central para o combate global às mudanças climáticas e a transição para uma economia de baixo carbono. Quantitativamente, um crédito de carbono representa uma tonelada de carbono que deixa de ser emitida na atmosfera, contribuindo para a redução do efeito estufa. O crédito de carbono, ou o carbono equivalente obtido pela redução de gases de efeito estufa, pode ser comercializado no mercado internacional, ou seja, funciona como um certificado que permite a uma empresa emitir gases de efeito estufa, desde que pague o valor equivalente à multa que seria aplicada. Esses mercados já estão implementados em diversos países. Na Europa, o valor de um crédito de carbono gira em torno de 60 euros e depende do tipo de projeto. No entanto, é importante destacar que o mercado de créditos de carbono, por si só, não resolverá a questão da sustentabilidade do planeta, pois se trata de um problema que requer um conjunto de ações interligadas.

Existem dois tipos de mercados de crédito de carbono: voluntário e regulado. No mercado voluntário, você encontra um parceiro que possui uma atividade de crédito de carbono certificada e firma um contrato entre as partes. Já o mercado regulamentado deriva de acordos internacionais com regras bem claras e não se aplica a todas as regiões. Empresas com alto nível de emissão de gases causadores do efeito estufa podem comprar créditos de carbono para compensar suas emissões de outras empresas que possuem créditos em qualquer lugar do planeta. Os créditos de carbono podem vir da implementação

de sistemas agroflorestais sustentáveis, reflorestamento, agricultura regenerativa, restauração da fertilidade natural do solo (fixação de carbono), geração de energia renovável, substituição de combustíveis fósseis em fábricas por biomassa ou resíduos de biomassa (por exemplo, caroço de açaí, serragem, glicerol, etc.), recursos renováveis que contribuem para a redução do desmatamento, utilização de dióxido de carbono como reagente para a produção de produtos químicos finos, ecoturismo (o turismo mundial é responsável por 8% das emissões de carbono na atmosfera),⁴⁷ etc. Existem dezenas de projetos de captura de carbono de pequeno e grande porte que poderiam ser citados, os quais conseguiram reduzir seu impacto ambiental com um forte componente de sustentabilidade. Um exemplo é a Cerâmica Bom Jesus (na região da Zona da Mata de Pernambuco),⁴⁸ que produz milhões de tijolos para a construção civil. Essa empresa substituiu combustíveis não renováveis por biomassa renovável, como glicerina, bagaço de cana-de-açúcar, entre outros resíduos do agronegócio local. A receita proveniente dos créditos está sendo revertida em benefícios socioeconômicos e ambientais.

O Brasil publicou recentemente o Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022, posteriormente modificado em 19 de maio de 2022, que estabeleceu os procedimentos para a elaboração dos Planos Setoriais de Mitigação da Mudança do Clima, instituindo o Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Além de dar segurança jurídica, esse decreto regulamentou o mercado de carbono com a criação de um sistema único de registro denominado Sistema Nacional de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SINARE). O Decreto define crédito de carbono, crédito de metano, crédito de redução certificada de emissão e compensação de emissões de gases de efeito estufa.

Essa política de recuperação de áreas devastadas e implementação de sistemas agroflorestais com remuneração pelo cultivo regenerativo, em sua forma final, impacta positivamente os mais vulneráveis, gerando empregos e, conseqüentemente, reduzindo as profundas desigualdades sociais. Além disso, recupera nascentes, melhora a qualidade do ar e do solo. Adicionalmente, gera alimentos que combatem a insegurança alimentar e sequestra CO₂ da atmosfera. A implementação do mercado de carbono só foi possível quando empresas e ambientalistas se sentaram à mesa para discussões, assim como nações desenvolvidas e em desenvolvimento. Por meio desse mecanismo de licenças de poluição comercializáveis, ambos os lados saem ganhando. A solução inovadora foi criar um sistema de licenças de poluição negociável e definir limites de poluição para atender aos ambientalistas e dar flexibilidade à indústria para determinar como atingir as metas.

Além dos créditos de carbono, é importante destacar a importância das florestas na valorização dos serviços ecossistêmicos. Nelas, contribuem para os serviços ambientais hídricos, fundamentais para a nossa sociedade, pois garantem a segurança hídrica. Isso se torna crucial na seleção de áreas que receberão pagamento por serviços ambientais hídricos, uma vez que o papel dos ecossistemas presentes em bacias hidrográficas (florestas e áreas úmidas) é reconhecido como essencial para a manutenção da segurança hídrica.^{49,50}

Látex e Borracha Natural: cis-1,4-poliisopreno

A substância branco-leitosa, amarelada, laranja ou escarlate exsudada de certas árvores e arbustos após lesão tecidual há muito desperta a curiosidade da humanidade há séculos. Ela tem sido utilizada para diversos fins práticos, pois a água presente nesses líquidos pode ser evaporada. Ao entrar em contato com o ar, as partículas lácteas se coalescem para formar uma película polimérica contínua.

O termo “látex” (do latim para “fluido” ou “líquido”), cunhado em 1662, refere-se a essas emulsões complexas, também utilizadas para designar a borracha natural não vulcanizada.⁵¹ O látex é uma suspensão aquosa leitosa ou emulsão presente em mais de 20.000 espécies distribuídas em cerca de 40 famílias. Árvores de florestas tropicais e temperadas produzem esse líquido leitoso como forma de defesa contra inimigos naturais.⁵² O látex compreende partículas microscópicas de polímeros de emulsão, dispersões poliméricas e coloides poliméricos. Ele é extraído de plantas como emulsões de monômeros, ou seja, gotículas de monômeros com pesos moleculares variados dispersas em água, que se polimerizam para originar diferentes tipos de látex. Os monômeros são misturas de polímeros de cadeia linear de unidades de isopreno (poli-isoprenoides cis-1,4), cuja composição depende da planta. A elasticidade da borracha natural depende da configuração cis predominante no polímero. Isoprenos são as unidades básicas da família dos terpenos, formados por hidrocarbonetos cíclicos ou acíclicos, a maioria deles componentes odoríferos das plantas. Alguns poli-isoprenos têm grande potencial e alto valor comercial em diversos produtos, mas o principal uso é como borracha natural. É um dos produtos que podem ser obtidos por extrativismo em florestas sem a necessidade de derrubá-las. Por ser uma mistura polimérica, sua distribuição de composição molecular varia muito e pode conter, além de hidrocarbonetos (cerca de 94%), proteínas, alcaloides, amidos, açúcares, óleos essenciais, taninos, resinas e gomas, entre outros.

A borracha natural pode ser quimicamente modificada por meio da copolimerização com outros monômeros sintéticos. Diante dessa possibilidade,

a capacidade de produzir materiais com propriedades inovadoras é bem ampla. O processo mais comum para modificação química da borracha natural é a vulcanização. As unidades cis-isopreno são reticuladas por ligações intermoleculares com enxofre, e o material resultante se torna duro e resistente à abrasão, calor, luz e óleos, mantendo sua elasticidade única. Isso torna a borracha vulcanizada útil na fabricação de uma variedade de produtos.

A grande maioria das espécies produz látex, porém com baixa produtividade e qualidade para ser usado na fabricação de borrachas comerciais. O látex é transformado em um polímero natural utilizado na produção de muitos produtos, tais como borracha natural, tintas, ceras para polimento de pisos, papel, carpetes, tecidos não-tecidos, adesivos, luvas, preservativos, roupas, cintos, calçados de proteção casuais e formais em solados, toucas de natação, vedações, tubos, juntas, cimento, adesivos de preservação, cateteres cirúrgicos, pneus e balões. A borracha natural é um material elástico preferido em relação à borracha sintética devido à sua alta resistência à tração, amortecimento de vibrações, adesão a metais, resistência à abrasão e ao rasgo. Diversas empresas de pneus utilizam borracha natural, como Michelin, Goodyear e Continental. Isso a torna importante para as indústrias de construção e automobilística. O termo “borracha” surgiu porque o cientista britânico Joseph Priestly observou sua capacidade de apagar escrita feita com lápis de grafite. Essas emulsões naturais são adicionadas ou aplicadas a produtos com a intenção de melhorar a resistência química, estabilidade e durabilidade. As estruturas químicas dos exsudatos, além de variarem em pesos moleculares, também podem apresentar estereoquímica cis e trans nas cadeias poli-isoprenoides. O isômero trans é muito mais rígido do que o cis (Figura 5).

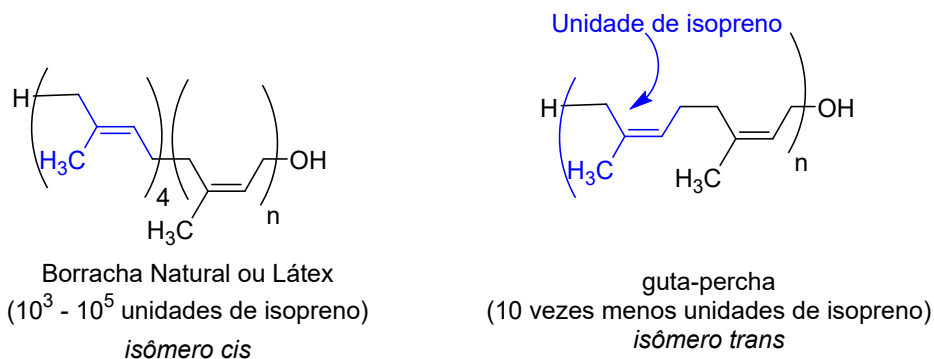


Figura 5. Estrutura química da borracha natural e da guta-percha.

A seringueira (*Hevea brasiliensis*) é a árvore da qual se extrai 99% do látex utilizado na fabricação da borracha natural. Essa espécie do gênero *Hevea* é a mais predominante na região sul da Amazônia, estendendo-se pelos estados do Acre, Mato Grosso e Paraná no Brasil, partes da Bolívia, Peru, norte da Amazônia a oeste de Manaus, até o sul da Colômbia.

A seringueira é uma espécie adaptada ao clima tropical e atualmente cultivada em diversos países da Ásia, África e América do Sul. Os maiores produtores são a Tailândia e a Indonésia. É importante ressaltar que sementes de seringueira foram levadas da Floresta Amazônica por biopirataria, por volta de 1873, para outros países, os quais, mantendo o mesmo epíteto específico, seguem o gênero para formar o nome científico *brasiliensis*. Vale ressaltar que o termo biopirataria sequer era mencionado na época e o Brasil já foi vítima desse crime.⁵³

Apesar de a *H. brasiliensis* ser originária da Bacia Amazônica, 93% da produção está concentrada no Sudeste Asiático, 4,5% na África e apenas 2,5% na América Latina. Essa situação, um tanto paradoxal, se deve à Doença Sul-Americana da Folha da Seringueira (SADF) causada pelo fungo *Microcyclus ulei* P. Henn. Von Arx., um fungo ascomiceto que infecta folhas jovens, causando sucessivas quedas foliares e, possivelmente, a morte das árvores. Essa doença está restrita à América Latina e, embora nunca tenha sido observada em outras partes do mundo, sua ocorrência em algum dos países produtores de borracha da Ásia ou da África seria um desastre, pois os clones de alta produtividade cultivados nesses locais são altamente suscetíveis à doença. Na América Latina, a produção de borracha ainda é bastante limitada, embora existam agora algumas cultivares resistentes que podem ser usadas para desenvolver a produção em áreas onde o fungo parasitário está presente.⁵⁴

A produção global de borracha natural deve ter uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 5,0% durante o período de 2022-2027,⁵⁵ e estima-se que alcance US\$ 21,4 bilhões até 2027.⁵⁶ O mercado deve registrar crescimento constante, e a demanda pela produção de borracha natural deve crescer com o desenvolvimento do mercado automobilístico. Outra indústria que demanda borracha natural é a de fabricação de calçados, devido às suas propriedades como durabilidade, resistência ao deslizamento, resistência à tração etc. Dessa forma, o aumento das aplicações da borracha natural está elevando a demanda por esse produto e, conseqüentemente, pela preservação das seringueiras nas florestas.

Guta-percha: configuração cis-1,4-poli-isopreno

A partir de várias plantas, podem ser obtidas misturas de biopolímeros com pesos moleculares que, em contato com o ar, formam ligações cruzadas, originando materiais com propriedades especiais. A gutapercha é um desses materiais coagulados e secos que pode ser obtido de diversas árvores originalmente presentes nas florestas do Sudeste Asiático, em particular no arquipélago da Malásia e Indonésia. Quando o exsudato seca, forma um material sólido de dureza variável, denominado extrato seco coagulado. Muitas espécies produzem exsudatos que dão origem a vários tipos de gutapercha, provenientes de caules e folhas de árvores e arbustos específicos. Exemplos incluem *Palaguum gutta*, *Parthenium argentatum*, *Isonandra gutta*, *Palaquium gutta*, *Dichopsis gutta*, *Palaquium ellipticum*, *Palaquium obavatum*, *Palaquium polyanthum*, *Palaquium oblongifolium* e *Mimusops globosa* (árvore-bala), entre outras.

A gutapercha é outro produto fornecido pelas florestas à humanidade há centenas de anos (Figura 5). Desde a sua descoberta nas florestas, dezenas de aplicações comerciais foram desenvolvidas para este biopolímero, como isolamento elétrico, bolas de golfe, preenchimento endodôntico de canais radiculares, joias, enfeites domésticos, tala para segurar articulações fraturadas, tratamento de doenças de pele, etc. Muito antes de ser introduzida no Ocidente, a gutapercha era usada pelos malaios nativos para fazer cabos de faca, bengalas, etc. Na medicina, eram usadas como talas para segurar articulações fraturadas e para fabricar cabos de fórceps, cateteres, etc. Também eram usadas para tratar sangramentos após extração dentária e para doenças de pele como varíola, erisipela, psoríase e eczema.⁵⁷

A estrutura química da gutapercha é a trans-1,4-poliisopreno. É similar à estrutura cis-1,4-poliisopreno da borracha natural (Figura 5). A alteração na estereoquímica confere propriedades mecânicas bem diferentes da borracha natural, tornando-a menos elástica. A gutapercha é rígida à temperatura ambiente, torna-se flexível a 25-30°C, amolece a 60°C e funde a 100°C com decomposição parcial. Seu comportamento assemelha-se mais ao de polímeros cristalinos com alguma elasticidade. É composta por duas formas cristalinas distintas, α e β , que podem ser interconvertidas. Até hoje, a gutapercha continua sendo explorada na natureza⁵⁸ e utilizada, sozinha, combinada com outros materiais e nanopartículas, ou quimicamente modificada, na odontologia para obturação de canais⁵⁹ e outras aplicações.⁶¹ A gutapercha é o material de obturação endodôntico mais comum e certamente irreparável em odontologia.⁶²

O mercado global de gutapercha foi avaliado em US\$ 182,0 milhões em 2020 (US\$ 268,82 milhões em 2027), ou seja, expandiu a uma taxa de

crescimento anual composta (CAGR) de 5,77% entre 2021 e 2027.⁶² As empresas que analisam o mercado global preveem que o aumento da prevalência de cárie dentária deva impulsionar o mercado devido à maior preocupação com a saúde bucal e aos avanços realizados nos procedimentos de obturação de canal radicular.

Quinina: O medicamento da Floresta que salvou milhões de vidas

As florestas são reservatórios de substâncias que um dia podem se tornar remédios, ou inspirações para novos medicamentos, para tratar as mais diversas doenças. A história do alcaloide quinino é um grande sucesso e uma das mais antigas e fascinantes histórias de uma substância extraída da floresta amazônica da Bolívia, Colômbia, Equador, Peru e norte da Venezuela. Os povos do Império Inca já conheciam as propriedades curativas da casca da “quina-quina” contra febres, muito antes da chegada dos colonizadores espanhóis na América do Sul.⁶³ Ainda há controvérsia sobre se a malária existia antes da chegada dos europeus na América.⁶⁴ Sua expansão na Amazônia começou com o Império Espanhol, que tomou posse da região chamada Peru, que era habitada pela civilização Inca e que foi elevada no século 16 ao Vice-reinado do Peru (América Peruana).⁶⁵

O chá da quina contém diversos alcaloides, mas o mais importante é a quinina, que se tornou um medicamento de renome mundial e salvou centenas de milhares de vidas de pessoas que contraíram malária causada pela picada de um mosquito *Anopheles* fêmea infectado, portador de uma das espécies do protozoário *Plasmodium* (*P. falciparum*, *P. Vivax*, *P. malariae*, *P. ovale* e *P. knowlesi*) descritas em 1880 pelo médico francês Charles Louis Alphonse Laveran.⁶⁶ Além disso, a quinina se tornou o produto natural que mais inspirou a descoberta de novos medicamentos sintéticos no século 20 para tratar a malária e outras doenças. É importante ressaltar que a diversidade biomolecular amazônica possui enorme potencial como fonte de moléculas com atividade biológica contra *Plasmodium sp.*⁶⁷

A malária acompanha a humanidade há milênios e se espalhou pela maior parte do planeta, causando grandes epidemias que mataram milhões de pessoas.⁶⁸ Há registros de sua ocorrência na China desde 2.700 AC. No Império Romano, era conhecida como Febre Romana e também é considerada um dos fatores que contribuíram para o seu declínio.⁶⁹ O primeiro declínio da doença ocorreu em meados do século 17, quando a casca da cinchona (pó

jesuítico) foi trazida da América do Sul para a Europa.^{70,71} A resistência adquirida pelo protozoário ao longo dos anos diminuiu sua eficácia. Durante e após a Primeira Guerra Mundial, a doença se tornou um grande problema de saúde pública na Europa, com um grande número de casos.

A casca da cinchona contém de 6 a 10% de alcaloides quinolínicos. Os principais constituintes desses alcaloides são a quinina, a quinidina, a cinchonina e a cinchonidina, além de outras 30 bases menores relacionadas à quinina (Figura 6). Esses alcaloides contêm anéis de quinolina e quinuclidina com um grupo vinil ligado a eles. Além dos alcaloides, a casca possui corantes (até 10%), flavonoides, óleo essencial e polifenóis. A quinina purificada e cristalizada como sulfato é um pó branco, inodoro e de sabor amargo. Até o século 19, era o tratamento mais utilizado no mundo contra a malária e outras doenças. Foi o primeiro medicamento a combater a malária de forma eficaz em larga escala. Mais tarde, cientistas observaram seus efeitos no coração e a quinina começou a ser aplicada contra arritmias cardíacas, pois afeta diretamente a membrana muscular e os canais de sódio, atuando também como antitérmico, analgésico e para distúrbios musculares, especialmente câimbras noturnas nas pernas.⁷² A quinina também é usada como aromatizante em refrigerantes de água tônica. O sulfato de quinina também é suave e já foi usado em preparações para resfriado comum.

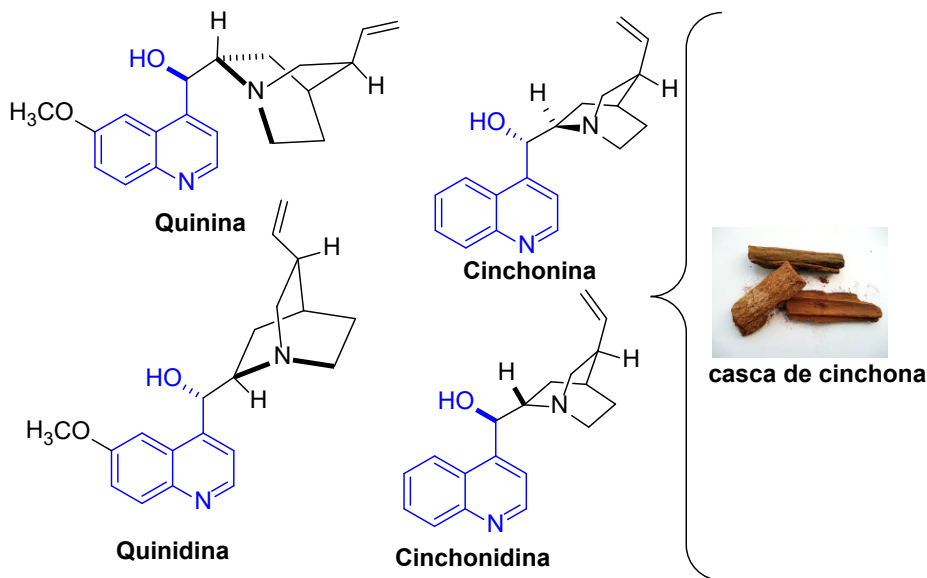


Figura 6. Principais alcaloides isoquinolínicos presentes na casca de cinchona.

A quinina é um alcaloide presente em várias espécies de quina, quineira ou cinchona, uma árvore da família Rubiaceae. A quina é nativa da Cordilheira dos Andes e da Bacia Amazônica, e seu nome científico do gênero foi chamado de *Cinchona* em homenagem à condessa de Chinchón, esposa do vice-rei espanhol no Peru. Em 1638, a condessa foi curada da febre causada pela malária pelos indígenas com um chá de “quina-quina”.⁷³ Os jesuítas que pregavam no Peru foram os responsáveis por introduzir o pó da casca da *Cinchona* na Europa para prevenir e tratar a malária. Conforme relatado por Pinto et al.,⁷⁴ em 1645 a casca foi levada para Roma e amplamente utilizada entre o clero. O cultivo da *Cinchona* foi de capital importância para a economia do Vice-reinado do Peru. A extração e exportação para a Europa era um processo tão lucrativo que o governo peruano proibia a exportação de sementes e proibia a retirada de mudas da planta. No entanto, os holandeses conseguiram enviar sementes da árvore para Justus Hasskarl, superintendente do Jardim Botânico de Java.⁷⁵ Aparentemente, um turista holandês coletou sementes de cinchona em 1852 como souvenirs enquanto percorria o território do Peru. Em 1659, a planta foi levada para a Índia e de lá para outros países asiáticos e africanos, como Filipinas, Indonésia (antiga Java), Sri Lanka, China, Taiwan, Burundi, Zaire, etc

Atualmente, a biopirataria tem sido muito discutida em relação aos aspectos da biodiversidade e do compartilhamento de recursos biológicos. A biopirataria não se restringe apenas aos recursos genéticos da fauna e da flora, mas também ao conhecimento tradicional da floresta. Na maioria dos casos, os biopiratas se infiltram em comunidades indígenas se dizendo voluntários, porém, com o propósito oculto de obter o antigo conhecimento herbal da cultura desses povos.⁷⁶

Os holandeses foram os primeiros a alcançar o sucesso comercial com a *Cinchona* na colônia de Java. O cultivo da *Cinchona* na Índia era difícil, pois a planta necessita de condições especiais, como clima frio com pouca variação de temperatura, e não pode ser cultivada em planícies. Além disso, poucas espécies de *Cinchona* possuem alto teor de quinina. Atualmente, a planta é cultivada em muitas regiões tropicais, produzindo anualmente algo em torno de 8.000 a 10.000 toneladas de casca, das quais se extrai de 400 a 500 toneladas de quinina.

O gênero *Cinchona* possui cerca de 38 a 50 espécies de árvores e 150 variedades de arbustos perenes. Essas plantas são encontradas nas encostas úmidas e quentes da Cordilheira dos Andes, principalmente em altitudes entre 1.500 e 3.000 metros. As espécies com teores mais altos de quinino são *Cinchona ledgeriana* Moons e *Cinchona officinalis* Linn. Outras espécies possuem concentrações menores de quinino, como *Cinchona pubescens* Vahl,

Cinchona calisaya, *Cinchona pahudiana* e *Cinchona lancifolia*. É importante destacar que a espécie presente na Amazônia Andina não é a mesma encontrada no Brasil (*C. amazonica* Standl.).⁷⁷

O cultivo de espécies do gênero *Cinchona* foi de grande importância para a economia do Vice-reinado do Peru desde o século 17. Atualmente, a planta é cultivada em muitas regiões tropicais, produzindo anualmente algo em torno de 8.000 a 10.000 toneladas de casca, das quais se extrai de 400 a 500 toneladas de alcaloides (principalmente quinina). Em 1811, Bernardo Antonio Gomes isolou um composto da casca da cinchona, a variedade cinza, e o chamou de cinchonina. Poucos anos depois, em 1820, Joseph Pelletier e Joseph Caventou, dois cientistas especializados no isolamento de alcaloides, descobriram que o composto de Gomes era na verdade uma mistura de duas moléculas: quinina e cinchonina (Figura 1). Eles também descobriram que a quinina era a substância mais ativa contra o protozoário da malária.^{78,79} Após essa descoberta, o pó comercializado feito com a casca da árvore passou a conter o composto ativo isolado, a quinina. Porém, a produção da quinina na forma de sulfato de quinina só ocorreu em 1887. A extração dessa substância é demorada, mas continua até os dias de hoje. As cinconas continuam sendo a única fonte economicamente viável de quinina. Várias empresas farmacêuticas fabricam o medicamento, incluindo GlaxoSmithKline Pharmaceuticals, Novartis AG e Sanofi-Aventis. O mercado global de sulfato de quinina deve crescer a uma taxa anual de crescimento composta (CAGR) de 5,68% entre 2019 e 2025. A demanda global foi avaliada em aproximadamente US\$ 804,98 milhões em 2018 e deve gerar receita de aproximadamente US\$ 1.184,15 milhões até o final de 2025. O crescimento do mercado farmacêutico para o sulfato de quinina pode ser atribuído a fatores como o aumento da prevalência da malária, seu uso na água tônica (que confere o sabor amargo), o tratamento da babesiose, varizes, hemorroidas internas, cãibras nas pernas e a crescente conscientização sobre seus benefícios.⁸⁰

O tratamento da malária mudou ao longo dos anos devido ao desenvolvimento de cepas de *Plasmodium* resistentes aos medicamentos usuais. Por isso, diversas pesquisas foram realizadas para suprir a demanda por novos medicamentos antimaláricos, os quais são destacados na Figura 7.⁸¹ Os medicamentos mais usados no combate à malária contêm moléculas com ampla ação biológica, sendo eficazes não apenas contra a malária, mas também com atividades antivirais, antifúngicas e antibacterianas (Figura 7).^{82,83,84} A quinina serviu de inspiração para todas essas substâncias que possuem o núcleo quinolínico em comum (destacado em azul), mas a resistência das cepas de *Plasmodium falciparum* foi o impulso para todo esse desenvolvimento. Mesmo hoje, a malária continua sendo uma infecção letal. Estima-se que em

2020 tenha havido 14 milhões de casos a mais de malária e 47.000 mortes a mais do que em 2019. Globalmente, houve cerca de 241 milhões de casos de malária em 2020 em 85 países endêmicos da doença.⁸⁵

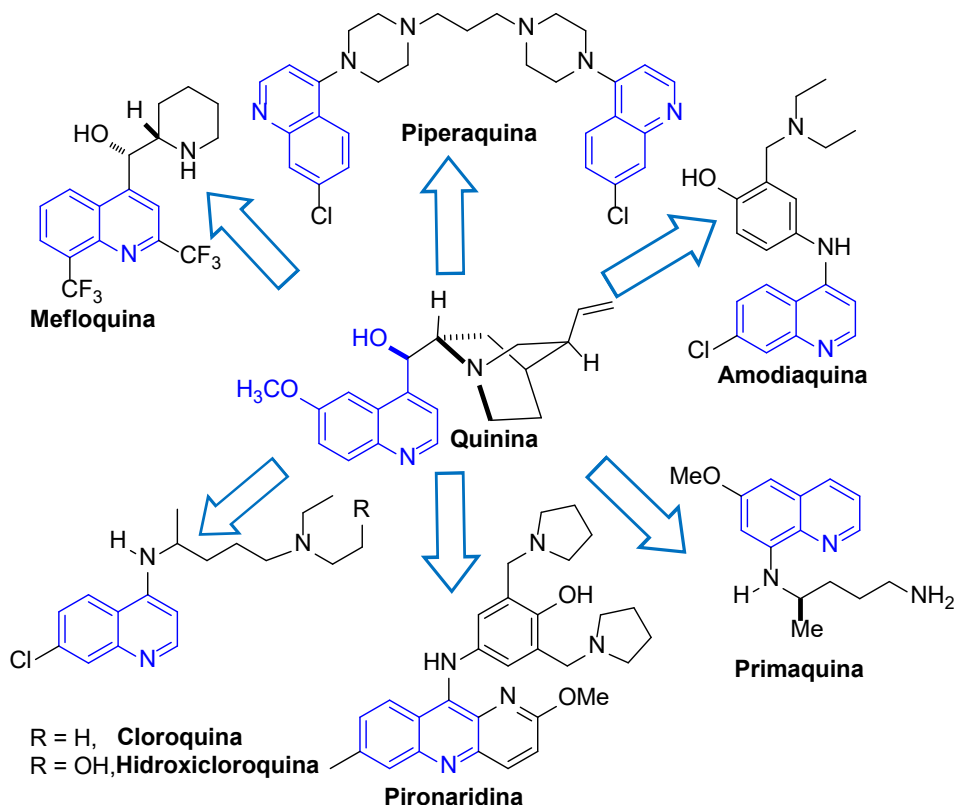


Figura 7. Medicamentos inspirados pela quinina ou fármacos derivados da quinina.

Andiroba: pau-santo de curas milagrosas

A Andiroba é uma árvore alta que pode alcançar 30 metros de altura. É nativa da Amazônia brasileira e peruana, mas se espalhou por outras florestas no oeste da Índia e na África do Sul. A Andiroba (nome botânico *Carapa guianensis* Aubl.) pertence ao gênero *Carapa*, que possui cerca de 100 espécies distribuídas pela África Central, América do Sul e Sudeste Asiático. Ela recebe diversos nomes dependendo da região (ex: pau-santo e candiroba, etc.). Seu nome tem origem na língua Tupi e significa óleo amargo. O óleo de Andi-

roba é uma mistura complexa de substâncias que contêm limonoides como compostos bioativos. O óleo é um produto comercial nacional e internacional obtido a partir das castanhas e possui grande tradição na medicina popular como fitoterápico para agir como analgésico no alívio de dores, hematomas, inchaço, reumatismo, cicatrizes, sendo também adstringente, antioxidante, anti-inflamatório, inseticida e repelente de insetos, antibacteriano, antiparasitário, leishmanicida e como remédio anticâncer. O óleo de Andiroba também é usado como larvicida e para a preparação de óleos essenciais para o alívio da dor e medicamentos para a pele (acne, psoríase e eczema).⁸⁶ Em formulações de condicionamento para o cabelo, o óleo de Andiroba aumenta o brilho, a textura, a flexibilidade e a saúde do couro cabeludo.

Na indústria cosmética, o óleo de andiroba é utilizado na produção de hidratantes para pele, sabonetes, shampoos e detergentes. O processo de extração do óleo da noz é trabalhoso, pois requer fervura em água, seguida de fermentação por 25 dias e, por fim, separação do óleo. A composição do óleo inclui compostos com atividade medicinal e outros óleos como palmítico, andirobina, ácido linoleico, ácido linolênico, ácido esteárico e ácido oleico. Além disso, o óleo de andiroba é rico em ácidos graxos ômega 3 e vitaminas A, C e E.

O óleo de Andiroba, extraído da *Carapa guianensis*, é rico em limonoides, um tipo de tetranortriterpenoide responsável por suas diversas atividades biológicas. Os principais limonoides presentes no óleo incluem deoxigedunina, 7-desacetoxigedunina, andirobina e 17-glicolildeoxigedunina (Figura 8).^{87,88}

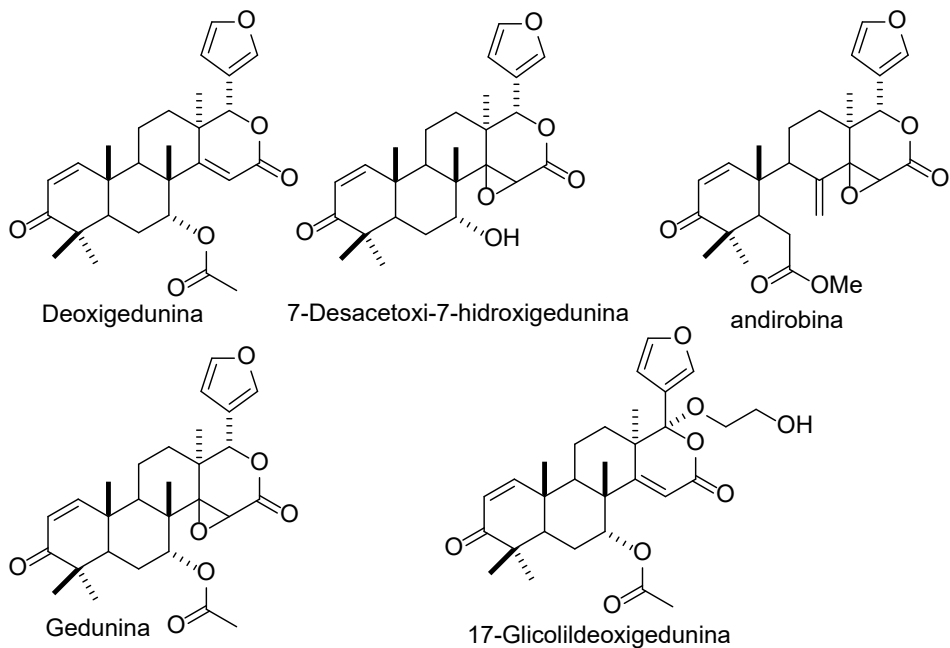


Figura 8. Principais limonoides encontrados no óleo de andiroba.

O mercado global de óleo de andiroba está estimado em US\$ 95,1 milhões em 2021 e deve atingir US\$ 145,02 milhões em 2028, apresentando um CAGR (Taxa de Crescimento Anual Composta) robusto de 6,21% entre 2022 e 2028.⁸⁹ Um atrativo especial para esse crescimento se deve à sua origem natural e orgânica, fácil disponibilidade de matéria-prima e baixo custo, impulsionando o mercado global na fabricação de produtos de saúde e cosméticos. O mercado global de óleo de andiroba está dividido geograficamente em cinco regiões principais: América do Norte, América Latina, Europa, Ásia-Pacífico e Oriente Médio e África.

Carnaúba: A árvore da vida

As palmeiras da família Arecaceae são as espécies botânicas mais abundantes nas florestas. Desde os tempos dos primeiros caçadores-coletores sapiens, elas sempre tiveram vital importância para a sobrevivência de humanos e animais. Tudo é aproveitado nessas palmeiras, pois seus frutos são ricos em nutrientes e seus troncos e folhas são usados na construção de casas. Muitas palmeiras nativas foram domesticadas e se tornaram de enorme importância econômica e sociocultural. O Brasil possui 38 gêneros e cerca de 270 espécies, sendo algumas delas de interesse comercial e importantes para a preservação da

biodiversidade brasileira.⁹⁰ Dentre as palmeiras, algumas se destacam com excepcional interesse comercial para diferentes aplicações: Açai (*Euterpe oleracea* Mart.), Buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.), Coco (*Cocos nucifera* L.), Babaçu (*Attalea speciosa* Mart.), Carnaúba (*Copernicia prunifera* Mill.), Dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.), Juçara (*Euterpe edulis* Mart.), Jerivá (*Syagrus romanzoffiana* Cham), Pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) e Tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer).

Dentre as palmeiras da família Arecaceae, destaca-se a carnaubeira (*Copernicia prunifera* (Miller) H.E), nativa do Brasil e adaptada ao clima seco, solos arenosos e pantanosos, várzeas e margens de rios da Caatinga. Seu nome, carnaúba, origina-se de caraná-iba, que por sua vez vem de caraná, do tupi karaná, que significa madeira cheia de escamas, áspera e que arranha, devido à camada de espinhos que cobre a parte inferior do tronco. Desde a chegada dos navegadores portugueses até os dias de hoje, a carnaubeira tem sido de grande utilidade. Além de sua beleza que atrai visitantes, possui múltiplas aplicações econômicas. Do ponto de vista social, sempre sustentou e abrigou gerações de comunidades extrativistas.⁹¹ Portanto, a manutenção dessas palmeiras é necessária para promover e incentivar cada vez mais boas práticas⁹² para a sustentabilidade dessa cadeia produtiva. A produção e exploração da carnaúba está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a agenda global (Agenda 2030) estabelecida pela Organização das Nações Unidas para promover o desenvolvimento sustentável em todo o mundo.

A população do norte do Brasil considera a carnaubeira como a “Árvore da Vida” devido não apenas à cera produzida, mas também a uma infinidade de usos econômicos dela derivados. Tudo se aproveita da carnaubeira, como tronco, frutos, folhas, palmito, raízes e sementes, que possuem utilidades que vão desde a alimentação, artesanato, cosméticos até produtos farmacêuticos.⁹³ A cera vegetal, extraída das folhas na forma de pó (100 g por árvore ao ano), é o material de maior importância econômica, sendo utilizada na indústria automobilística, computadores, revestimento de papel⁹⁴, cosméticos, óleos essenciais, proteção do solo e fertilização na agricultura, alimentos (como agente de glazeamento de frutas)⁹⁵, formulações farmacêuticas e alimentícias⁹⁶ (como agente volumizador, regulador de acidez, transportador e antiaglutinante) e produtos farmacêuticos (com autorização de órgãos de vigilância sanitária), componente de tintas para impressão térmica, discos de vinil, vernizes, lacres, ceras para polimento, ceras para pisos, agindo também como impermeabilizante, em embalagens, isolante em materiais elétricos, microencapsulamento de aromas para alimentos (aromatizante), na preparação de filmes comestíveis

e super-hidrofóbicos e em embalagens biodegradáveis, e ainda como matéria-prima para a fabricação de velas.⁹⁷

Suas principais características são a dureza, baixa solubilidade e ponto de fusão mais alto do que outras ceras naturais comerciais. Sua composição possui predominantemente ésteres alifáticos e diésteres do ácido cinâmico, sendo relativamente estáveis ao ar, não tóxicos, atuam como estabilizantes e modificadores de viscosidade, e não sofrem ataque de microrganismos. Essas características biológicas e físico-químicas são importantes para diversas aplicações. Em produtos para o cuidado do cabelo, a cera de carnaúba proporciona estabilidade e, em emulsões W/O (água em óleo), é usada como estabilizante e modificador de viscosidade.

A cera de carnaúba é uma mistura complexa de compostos presentes em proporções variáveis (Figura 9). Existem duas formas de extração da cera de carnaúba: a artesanal, que a classifica em três tipos: cera amarela ou de cabeça, de areia e gorda; e a industrial. Sua composição principal inclui ésteres graxos com ácidos graxos de cadeia longa (C18-C30) (entre 80-85%), álcoois graxos livres com cadeias de 30-34 átomos de carbono (10-15%), ácidos graxos livres (3-6%) e hidrocarbonetos (1-3%), além de menores quantidades de triterpenos (ésteres triterpênicos, esteroides, etc.).^{98,99} A capacidade antioxidante da cera é atribuída ao ácido fenólico presente na forma livre, hidroxilada ou metoxilada.¹⁰⁰ Derivados do ácido cinâmico (ácidos trans-fenil-3-propenóicos) possuem amplo espectro de atividades biológicas.

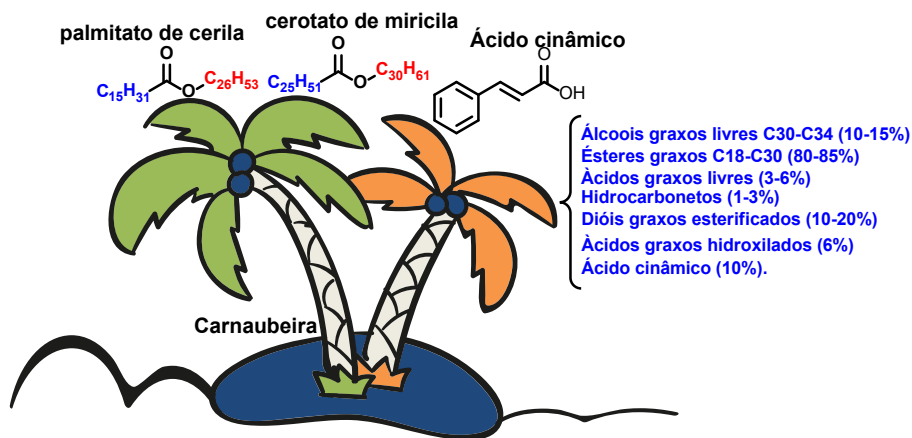


Figura 9. Composição parcial da cera de carnaúba

A carnaubeira oferece muitos outros produtos importantes. Seus frutos verdes, cozidos em água, amolecem e podem ser misturados com leite quente

e consumidos como alimento. A polpa é usada para a produção de farinha e a extração de um líquido leitoso. As sementes também podem ser torradas, moídas e utilizadas na alimentação como substituto do café moído. As folhas e troncos são usados na fabricação de telhados para casas, e as fibras servem para confecção de sacolas, cestos e redes. Além disso, as raízes possuem uso medicinal como diurético.

De acordo com a Grand View Research, empresa especializada em pesquisa de mercado de produtos em escala mundial, o mercado global de cera de carnaúba atingiu US\$ 246,0 milhões em 2015 e espera-se um crescimento significativo nos próximos oito anos devido ao aumento do uso em produtos de confeitaria. O aumento dessa demanda deve-se à sua utilização em balas, chicletes e como agente de glazeamento para alimentos e cosméticos, principalmente na região da Ásia-Pacífico.

De acordo com o relatório de mercado da Future Market Insights para cera de carnaúba, seu mercado deverá ter um CAGR (Taxa de Crescimento Anual Composta) efetivo de 4,2% durante o período de 2022-2032.¹⁰¹ O mercado de cera de carnaúba deve crescer de US\$ 290,0 milhões em 2022 para US\$ 435,8 milhões em 2032. Anteriormente, o mercado cresceu a uma taxa mais rápida de 3,4% entre 2015 e 2021,¹⁰² culminando em um mercado de US\$ 281,3 milhões em 2021. O aumento da demanda do mercado por esta cera especial será impulsionado pelo crescente interesse no uso de produtos naturais de fontes renováveis. As características desta cera ganharam importância entre os fabricantes de cosméticos, impulsionando o crescimento do mercado em produtos de uso pessoal, como protetores labiais, desinfetantes para as mãos, shampoos, produtos para cabelo, batons e rímel.

Safrol. Um Intermediário Químico fino direto da Floresta

O óleo de sassafrás é o nome genérico dado aos óleos essenciais nos quais o composto químico safrol (1,3-benzodioxol-5-(2-propenil)) é o principal produto natural da mistura. O óleo de sassafrás possui diversas atividades biológicas e aplicações em materiais de uso pessoal e doméstico (como fragrância em ceras de polimento, lustra-móveis, sabonetes, detergentes e produtos de limpeza). No entanto, seu principal uso atual é como matéria-prima para o isolamento do safrol.¹⁰³ O safrol extraído do óleo é mais um produto químico comercial obtido a partir das florestas e que segue diretamente para as indústrias para a produção de diversos medicamentos e produtos bioativos. Seu principal uso na indústria química está na obtenção de dois derivados importantes: o piperonal ou heliotrópina, amplamente utilizado como fragrância e

aromatizante, e o butóxido de piperonal (PBO), um ingrediente sinérgico para inseticidas piretroides. Além dessas aplicações, também serviu como precursor para diversas sínteses orgânicas na busca de novos protótipos.^{104,105,106,107}

O óleo de sassafrás pode ser extraído de diversas plantas e é atrativo por se tratar de um produto renovável e biodegradável. Inicialmente, ele era obtido a partir de espécies da família Lauraceae, como a *Ocotea pretiosa* (Nees) Mez., *Ocotea odorifera*, *Cinamomum petrophilum*, *Cinamomum mollissim*, *Cinnamomum camphora* e *Sassafras albidum* Nutt. Por muitos anos, o óleo de sassafrás foi obtido da planta brasileira *Ocotea pretiosa*, árvore nativa da Mata Atlântica que ocorre da Bahia até Santa Catarina. Desse óleo, através da destilação, era obtido o composto químico safrol. O Brasil chegou a produzir 1.500 toneladas anuais desse óleo, mas atualmente se tornou importador devido à exploração predatória que ameaçava a extinção dessa espécie, já que para se obter o óleo era necessário o uso da madeira na destilação. Esta árvore tem crescimento muito lento e frutificação esporádica. O corte para extração do óleo de *O. pretiosa* foi proibido pelo Ibama na década de 1990, para não erradicar a população dessas árvores na Mata Atlântica. Posteriormente, descobriu-se que o óleo proveniente das folhas da pimenta longa (*Piper hispidinervium*),^{108,109,110} arbusto retorcido e ramificado endêmico do Acre e de outros países da América do Sul, apresentava teor de safrol no óleo que chegava a 90%.^{111,112} A Amazônia brasileira concentra uma grande diversidade de espécies de Piper, mas o foco acabou recaindo sobre as espécies *P. hispidinervium* e *P. callosum*, ambas com alto teor de safrol, sendo a *P. hispidinervium* a escolhida para a produção industrial do safrol. As vantagens desse arbusto estão na facilidade de cultivo, capacidade de rebrotação, possibilitando que a mesma planta seja explorada várias vezes ao longo dos anos, facilidade de colheita e transporte das folhas destinadas à extração do óleo, e processo simples de industrialização para se extrair o óleo. Outras espécies do gênero Piper, como *P. divaricatum*, *P. nigrum*, *P. callosum*, *P. aduncum* e *P. auritum* também produzem óleo a partir das folhas com teores variados de safrol, podendo ser fontes econômicas e sustentáveis dessa importante substância. Atualmente, a principal fonte desse óleo no Brasil, com cerca de 90% de safrol, é a pimenta longa (*P. hispidinervium*). Na China, o óleo de sassafrás é obtido a partir de *Cinnamomum camphora*, apresentando teores de safrol em torno de 80% ou mais. Nos Estados Unidos, a *Sassafras albidum* era utilizada para a fabricação do “root beer”, um tipo de cerveja onde o óleo de sassafrás conferia sabor especial. No entanto, seu uso em alimentos e bebidas foi proibido há alguns anos devido a questões toxicológicas relacionadas ao consumo do safrol.

As características moleculares do safrol, incluindo um anel benzeno trissubstituído e fácil manipulação ao redor desse anel, uma ligação dupla capaz

de isomerizar para isosafrol, e a abundância e diversidade de fontes renováveis, tornam este produto natural particularmente notável em transformações de produtos da química fina. O safrol serve como precursor para compostos como o piperonal e o isosafrol, que são matérias-primas utilizadas em diversas sínteses orgânicas, conforme resumido na Figura 10. Na indústria farmacêutica, o safrol já foi utilizado como precursor sintético de diversos medicamentos, como o tadalafil (indicado para disfunção erétil, hiperplasia prostática benigna e hipertensão pulmonar),¹¹³ a cinoxacina (indicada como antimicrobiano para infecções do trato urinário)¹¹⁴ e a levodopa (um neurotransmissor usado no tratamento da doença de Parkinson).¹¹⁵ Outro produto comercial importante obtido do safrol é o butóxido de piperonila, que possui efeito sinérgico com diversos inseticidas e pesticidas organofosforados, como a deltametrina piretroide.¹¹⁶

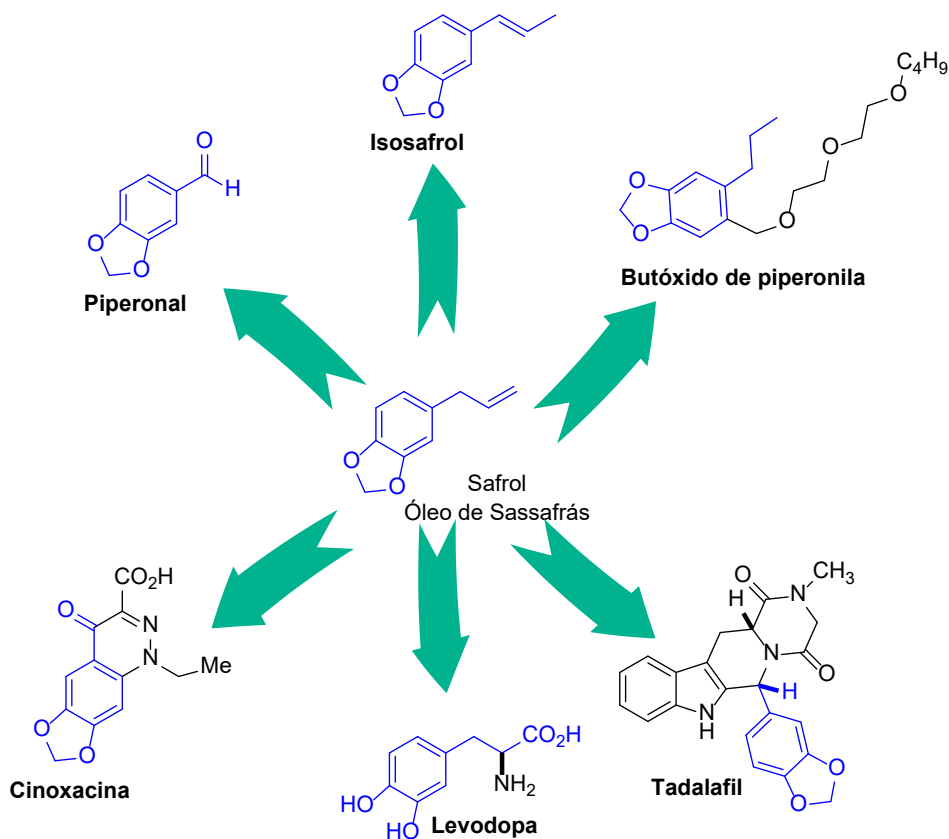


Figura 10. Exemplos de usos do safrol na síntese orgânica.

Lapachol: Um Produto Natural com múltiplas atividades biológicas derivado do Ipê

A grande árvore conhecida como Ipê tem ampla distribuição em todas as regiões do Brasil e pertence a uma variedade de gêneros e espécies das famílias Bignoniaceae, Verbenaceae e Proteaceae. Sua beleza está relacionada à exuberância dos cachos florais e às cores variadas. Curiosamente, seu nome Ipê vem da língua Tupi, que significa casca dura. O Ipê- amarelo (*Handroanthus ochraceus* ou *Tabebuia ochracea*) está distribuído em diversos biomas da América do Sul. É comum na Amazônia, Cerrado, Pantanal, Caatinga e Mata Atlântica, podendo ser encontrado até o sul da América do Sul. No Cerrado, ele ocorre como uma árvore tortuosa e de menor porte (*Tabebuia aurea* ou *Handroanthus caraiva*). É interessante notar que sua floração ocorre fora da primavera.

Do centro dessas árvores é extraído um naftoquinona funcionalizada chamada lapachol. Dependendo da espécie, pode-se obter até 5% dessa substância, como é o caso do Ipê- roxo (*Tabebuia impetiginosa*) encontrado nas regiões norte e nordeste. O lapachol foi isolado pela primeira vez em 1858 (Figura 11)¹¹⁷ por extração ácido-base.¹¹⁸ Desde que demonstrou atividade significativa contra o carcinoma Walker-256, em estudo realizado pelo CCNSC (Centro Nacional de Serviços de Quimioterapia do Câncer), o lapachol sofreu diversas modificações estruturais para obtenção de novos compostos bioativos contra patógenos diversos, o que demonstra sua grande relevância na área da química medicinal. O lapachol e seus derivados têm sido objeto de investigações farmacológicas no Brasil desde a década de 1960, e os resultados obtidos indicam que as propriedades redox das naftoquinonas conferem atividades em diversos processos biológicos oxidativos, como ação antitumoral, antimalárica, bactericida e fungicida.¹¹⁹

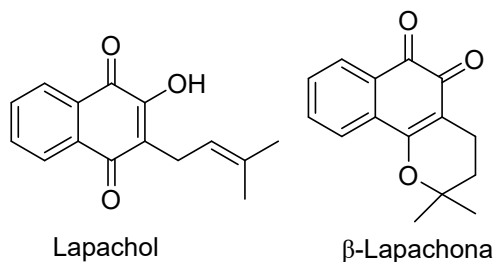


Figura 11. Produtos obtidos do Ipê - Lapachol e β -lapachona.

O mercado global de lapachol, avaliado em milhões de dólares em 2020, deve experimentar um crescimento exponencial no setor industrial durante o período de 2020-2030.¹²⁰

A partir do lapachol, pode-se obter facilmente a β -lapachona por semi-síntese (Figura 11), a qual também é uma substância de origem natural, encontrada como componente minoritário no cerne das árvores da família Bignoniaceae.^{121,122} Suas atividades farmacológicas contra células cancerígenas e o *T. cruzi*, causador da doença de Chagas, a distinguem de outras naftoquinonas. No entanto, devido à sua alta citotoxicidade, não pode ser usada no tratamento da doença de Chagas. Porém, sua estrutura serve de inspiração para os químicos medicinais que buscam estruturas análogas com o anel quinonoide intacto, visando o desenvolvimento de substâncias mais seletivas contra o parasita.¹²³

Essa citotoxicidade é importante para controlar a proliferação de vários tipos de células cancerígenas, como linhas celulares malignas humanas de pulmão, mama, colorretal, próstata, melanoma e leucemia.¹²⁴ Atualmente, a β -lapachona está na fase 2 de ensaios clínicos para o câncer de pâncreas e na fase 1b para tumores sólidos. O ARQ 761 é um pró-fármaco sintético e solúvel da β -lapachona, com atividade antineoplásica e radio sensibilizante, que demonstrou atividade *in vitro* contra vários tumores sólidos.¹²⁵ Devido à variedade de efeitos microbicidas da β -lapachona, seu fácil acesso a partir de fontes naturais e, mais recentemente, por rotas sintéticas, tornou-se um ponto de partida para a aplicação de naftoquinonas na química medicinal.¹²⁶

Considerações finais

Se a comunidade internacional não tomar nenhuma atitude para reduzir o desmatamento, a fragmentação florestal, o envenenamento por mercúrio da fauna causado pela mineração de ouro e o uso indiscriminado de recursos naturais, o prejuízo econômico global decorrente do aquecimento global deverá chegar a US\$ 1 trilhão por ano até 2100. O desmatamento deve acelerar o aquecimento global, causando eventos climáticos devastadores com imensas mortes e perdas financeiras. Sem o combate à perda de florestas, é altamente improvável que a humanidade continue a existir.

A devastação das florestas está comprometendo o meio ambiente global, ocasionando o desaparecimento da diversidade de fauna e flora, contribuindo para o aquecimento global, e afetando a qualidade da água, solo e ar. Consequentemente, a saúde humana e o surgimento de novas doenças endêmicas são colocados em risco. A situação do planeta vem se deteriorando continuamente, pois poucas ações efetivas têm sido implementadas para conter

o desmatamento e recuperar as áreas devastadas. No entanto, se medidas de reflorestamento e exploração consciente das florestas forem tomadas, é possível obter diversos produtos valiosos para as indústrias, alimentos, geração de empregos e renda, utilizando a floresta como um bem comum e essencial para a humanidade.

Os Produtos Florestais Não-Madeireiros (PFNMs) desempenham um papel fundamental na relação entre conservação florestal, sustentabilidade e impacto econômico. Esses produtos abrangem uma ampla variedade de recursos fornecidos pelas florestas, além da madeira, como frutas, castanhas, óleos, resinas, ervas medicinais, fibras, entre outros. A diversidade e abundância de PFNMs ressaltam a importância das florestas como ecossistemas multifuncionais, capazes de oferecer diversos benefícios às comunidades locais e à sociedade como um todo.

As reuniões da ONU sobre o meio ambiente são muito importantes e tentam conscientizar os países, mas não têm poder para impor políticas ambientais positivas. Muitas propostas e acordos firmados nesses encontros não têm sido efetivamente implementados pelos signatários, o que impede o combate à insustentabilidade que se manifesta em eventos climáticos extremos. É improvável que os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) sejam totalmente alcançados até 2030. A grave situação das florestas do planeta, aliada à pobreza, fome, desigualdade, mineração e mau gerenciamento de resíduos, causará a aniquilação da biodiversidade. Embora haja avanços no uso de produtos comerciais de base biológica, com viabilidade econômica, ambiental e social, esse progresso ainda é muito tímido, dada a situação quase irreversível do meio ambiente global. A 27ª Conferência das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (COP27), em novembro de 2022, apresentou mais dados climáticos do mundo real que indicam que veremos mais eventos climáticos extremos compostos (como temperaturas extremas e precipitação) nesta década e o objetivo de alcançar o aumento da temperatura global em 1,5 grau não será alcançado.

Referências

1. The evidence is clear: the time for action is now. We can halve emissions by 2030, <https://www.ipcc.ch/2022/04/04/ipcc-ar6-wgiii-pressrelease/>, acesso em Novembro de 2023. [link]
2. WEST, J. J.; COHEN, A.; DENTENER, F.; BRUNEKREEF, B.; ZHU, T.; ARMSTRONG, B.; BELL, M. L.; BRAUER, M.; CARMICHAEL, G.; COSTA, D. L.; DOCKERY, D. W.; KLEEMAN, M.; KRZYZANOWSKI, M.; KÜNZLI, N.; LIOUSSE, C.; LUNG, S.-C.

- C.; MARTIN, R. V.; PÖSCHL, U.; POPE III, C. A.; ROBERTS, J. M.; RUSSELL, A. G.; WIEDINMYER, C.; What We Breathe Impacts Our Health: Improving Understanding of the Link between Air Pollution and Health. *Environmental Science & Technology* **2016**, *50*, 4895. [Crossref]
3. SUSANTO, A. D.; Air pollution and human health. *Medical Journal of Indonesia* **2020**, *29*, 8. [Crossref]
 4. FERREIRA, V.F.; HÜTHER, C. M.; SANTOS, W.C.; Os custos dos ambientes desiguais e insustentáveis *Conjecturas* **2022**, *22*, 191. [Crossref]
 5. DIAMOND, J.; *Collapso – how societies choose to fail or succeed*, Ed. Penguin: New York, 2005.
 6. BOYDEN, S.; DOVERS, S.; Natural-Resource Consumption and Its Environmental Impacts in the Western World. Impacts of Increasing per Capita Consumption. *AMBIO* **1992**, *21*, 63. [Link]
 7. FERREIRA, P. G.; CARVALHO, A.S.; SANTOS, W. C.; FOREZI, L. S. M, DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; Sustainable Synthetic Strategies for the Preparation of Low Molecular Weight Drugs by Biotech Routes. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2022**, *33*, 664. [Crossref]
 8. ROCHA FILHO, R. C.; Movimento Química Pós 2022, Aspirando ao Desenvolvimento Sustentável e Soberano do Brasil Ajudado pela Química. *Química Nova* **2022**, *45*, 363
 9. BOFF, L.; *SUSTENTABILIDADE: o que é: e o que não é*, 5th ed.; Vozes: Petrópolis, 2020.
 10. JACKSON, W.; Toward a Sustainable Agriculture. *Trumpeter* **1985**, *2*, 6. [Link]
 11. LELE S. M.; Sustainable development: A critical review. *World Development* **1991**, *19*, 607. [Crossref]
 12. HOWARTH, R. B.; Defining Sustainability: An Overview. *Land Economics* **1997**, *73*, 445. [Link]
 13. KEEBLE, B. R.; The Brundtland report: ‘Our common future’. *Medicine and War* **1988**, *4*, 17. [Crossref]

14. MOTA, C. J. A.; MONTEIRO, R. S.; Química e sustentabilidade: novas fronteiras em bio-combustíveis. *Química Nova* **2013**, *36*, 1483. [Crossref]
15. HAUFF, V.; BRUNDTLAND REPORT: A 20 YEARS UPDATE CHAIR. German Council on Sustainable Development, http://profwork.org/wsy/intro/20_year_brundlandt_update.pdf/, accessed in November 2023. Colocar num [Link]
16. Report of the United Nations Conference on the Human Environment, Stockholm, 5–16, June 1972 (A/CONF.48/14/Rev.1), part one, chapter. I, <https://digitallibrary.un.org/record/523249/>, accessed in November 2023. Colocar num [Link]
17. Report of the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3-14, June 1992, <https://globalforestcoalition.org/wp-content/uploads/2010/12/Rio-Declaration-on-Environment-and-Development-principles1.pdf/>, accessed in November 2022. Colocar num [Link]
18. ROMA, J. C.; Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. *Ciência e Cultura* **2019**, *71*, 33. [Crossref]
19. SANTOS, W. C.; HUTHER, C. M., FERREIRA, V. F.; A dimensão da fome e da miséria dentro da sustentabilidade. *Conjecturas* **2022**, *22*, 741. [Crossref]
20. ALAVA, J. J.; In *Predicting Future Oceans*; Cisneros-Montemayor, A. M.; Cheung, W. W. L.; Ota, Y., eds.; Elsevier, 2019, ch. 47. [Crossref]
21. ERIKSEN, M.; LEBRETON, L. C. M.; CARSON, H. S.; THIEL, M.; MOORE C. J.; BORRERO, J. C.; GALGANI, F.; RYAN, P. G.; REISSER, J.; Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS One* **2014**, *9*, e111913. [Crossref]
22. SCHEIDEL W.; *Violência e História da desigualdade*, Zahar: Rio de Janeiro, 2020.
23. HARARI, Y. N.; *21 Lições para o Século 21*, Companhia das Letras: São Paulo, 2018.
24. Global forest resources assessment 2020: main report, FAO, Rome 2020, <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/en/>, accessed in November 2022. Colocar num [Link]
25. FERREIRA, P. G.; HÜTHER, C. M.; SANTOS, W. C.; FOREZI, L. S. M.; DA SILVA, F. C. FERREIRA. V. F.; Aqui Tem Química: Parte VIII. Produtos Florestais não Madeireiros (PFNM). *Revista Virtual de Química* **2024**, *16*, 51. [Crossref]
26. FARIAS, P. A. M.; SILVA, I. A.; QUEIROZ, A. L. F. G.; SILVA, J. G.; MELO, E. R. DINIZ; BARROS J. M. M.; LAURENTINO, C. S.; COIMBRA, C. G. O.; Therapeutic properties of plants of the genus *Syagrus*: an integrative review. *Brazilian Journal of Development* **2021**, *7*, 76999. [Crossref]

27. DA SILVA, B. V.; HAMERSKI, L.; REZENDE, M. J. C.; A Mata Atlântica e o Projeto I-FLORA. *Revista Virtual de Química* **2013**, *5*, 326. [Crossref]
28. LEWINSOHN, T. M.; Prado, P. I.; How Many Species Are There in Brazil?. *Conservation Biology* **2005**, *19*, 619. [Crossref]
29. ROSA, M. R.; BRANCALION, P. H. S.; TAMBOSI, L. R.; PIFFER, P. R.; LENTI, F. E. B.; HIROTA, M.; SANTIAMI, E.; METZGER, J. P.; Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs. *Science Advances* **2021**, *7*, eabc4547. [Crossref]
30. Fundação SOS Mata Atlântica, <https://www.sosma.org.br/>, accessed in November 2022. Colocar num [Link]
31. RASHID, A. Z. M. M.; KHAN, N. A.; HOSSAIN, M.; In *Non-Wood Forest Products of Asia Knowledge, Conservation and Livelihood*. Springer Nature: Switzerland AG, 2022, cap. 1.
32. OGDEN, L. E.; Extinction Is Forever... Or Is It?. *BioScience* **2014**, *64*, 469. [Crossref]
33. PINTO, A. C.; O Brasil dos Viajantes e dos Exploradores e a Química de Produtos Naturais Brasileira. *Química Nova* **1995**, *18*, 608. [Link] química nova deve ser [Crossref] ??
34. DE CARVALHO, A. P.; Chemical biodiversity and its industrial applicability. *Journal of The Brazilian Chemical Society* **2011**, *22*, 384. [Crossref]
35. NOAH, T.; *Sustainable Development: An Introduction*. Centre for Environment Education, 2007.
36. BARNES, P. W.; WILLIAMSON, C. E.; LUCAS, R. M.; ROBINSON, S. A.; MADRONICH, S.; PAUL, N. D.; BORNMAN, J. F.; BAIS, A. F.; SULZBERGER, B.; WILSON, S. R.; ANDRADY, A. L.; MCKENZIE, R. L.; NEALE, P. J.; AUSTIN, A. T.; BERNHARD, G. H.; SOLOMON, K. R.; NEALE, R. E.; YOUNG, P. J.; NORVAL, M.; RHODES, L. E.; HYLANDER, S.; ROSE, K. C.; LONGSTRETH, J.; AUCAMP, P. J.; BALLARÉ, C. L.; CORY, R. M.; FLINT, S. D.; DE GRUIJL, F. R.; HÄDER, D.-P.; HEIKKILÄ, A. M.; JANSEN, M. A. K.; PANDEY, K. K.; ROBSON, T. M.; SINCLAIR, C. A.; WÄNGBERG, S.-Å.; WORREST, R. C.; YAZAR, S.; YOUNG, A. R.; ZEPP, R. G. Ozone depletion, ultraviolet radiation, climate change and prospects for a sustainable future. *Nature Sustainability* **2019**, *2*, 569. [Crossref]
37. ALMEIDA, M. R.; MARTINEZ, S. T.; PINTO, A. C.; Química de Produtos Naturais: Plantas que Testemunham Histórias. *Revista Virtual de Química* **2017**, *9*, 1117. [Crossref]
38. FOREZI, L. S. M.; FERREIRA, P. G.; HÜTHER, C. M.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; Aqui Tem Química: parte IV. Terpenos na Perfumaria. *Revista Virtual de Química* **2022**, *14*, 1005.

39. HÜTHER, C. M.; SANTOS, W. C.; DA SILVA, F. C.; FOREZI, L. S. M.; FERREIRA, P. G.; FERREIRA, V. F.; *Aqui tem Química. Parte IX. Os Alcaloides das Florestas. Revista Virtual de Química* **2024**, *16*, 195. [Crossref]
40. TYUKAVINA, A.; POTAPOV, P.; HANSEN, M. C.; PICKENS, A.; STEHMAN, S.; TURUBANOVA, S.; PARKER, D.; ZALLES, V.; LIMA, A.; KOMMAREDDY, I.; SONG, X.-P.; WANG, L.; HARRIS, N.; *Global Trends of Forest Loss Due to Fire From 2001 to 2019. Frontiers in Remote Sensing* **2022**, *3*, 825190. [Crossref]
41. JOLLY, W. M.; COCHRANE, M. A.; FREEBORN, P. H.; HOLDEN, Z. A.; BROWN, T. J.; WILLIAMSON, G. J.; BOWMAN, D. M. J. S.; *Climate-induced variations in global wild-fire danger from 1979 to 2013. Nature Communications* **2015**, *6*, 7537. [Crossref]
42. FLANNIGAN, M.; CANTIN, A. S.; DE GROOT, W. J.; WOTTON, M.; NEWBERY, A.; GOWMAN, L. M.; *Global wildland fire season severity in the 21st century. Forest Ecology and Management* **2013**, *294*, 54. [Crossref]
43. HANSEN, M. C.; WANG, L.; SONG, X.-P.; TYUKAVINA, A.; TURUBANOVA, S.; POTAPOV, P. V.; STEHMAN, S. V.; *The fate of tropical forest fragments. Science Advances* **2020**, *6*, eaax8574. [Crossref]
44. LICHTENTHALER, F. W.; PETERS, S.; *Carbohydrates as green raw materials for the chemical industry. Comptes Rendus Chimie* **2004**, *7*, 65. [Crossref]
45. CUMPSTEY, I.; *Chemical Modification of Polysaccharides. International Scholarly Research Notices* **2013**, Article ID 417672. [Crossref]
46. BAISHYA, P.; MAJI, T. K.; *A comparative study on the properties of graphene oxide and activated carbon based sustainable wood starch composites. International Journal of Biological Macromolecules* **2018**, *115*, 970. [Crossref]
47. LENZEN, M.; SUN, Y.-Y.; FATURAY, F.; TING, Y.-P.; GESCHKE, A.; MALIK, A.; *The carbon footprint of global tourism. Nature Climate Change* **2018**, *8*, 522. [Crossref]
48. Sustainable Carbon, <https://www.sustainablecarbon.com/projetos/bom-jesus/>, accessed in November 2023. [Link]
49. FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; SCHULER, A. E.; *Manual para pagamento por serviços ambientais hídricos: seleção de áreas e monitoramento*. Embrapa: Brasília, DF, 2017.
50. SMITH, M.; DE GROOT, D.; PERROT-MAÎTRE, D.; BERGKAMP, G.; *Pay-establishing payments for watershed services*. Gland: IUCN, 2008, <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2006-054.pdf>, accessed in November 2023. [Link]
51. MAHLBERG, P. G.; *Laticifers: An historical perspective. The Botanical Review* **1993**, *59*, 1. [CrossRef]

52. LEWINSOHN, T. M.; The geographical distribution of plant latex. *Chemoecology* **1991**, *2*, 64. [Crossref]
53. HAAG, C.; As sementes da discórdia: Pesquisas discutem impacto do contrabando de sementes da seringueira por ingleses, <https://revistapesquisa.fapesp.br/as-sementes-da-discordia/>, accessed in November 2023. [Link]
54. RIVANO, F.; MATTOS, C. R. R.; CARDOSO, S. E. A.; MARTINEZ, M.; CEVALLOS, V.; LE GUEN, V.; GARCIA, D.; Breeding Hevea brasiliensis for yield, growth and SALB resistance for high disease environments. *Industrial Crops and Products* **2013**, *44*, 659. [Crossref]
55. Mordor Intelligence, https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/natural-rubber-market?gclid=Cj0KCQjwjIKYBhC6ARIsAGEds-Kwf69hkb7dUK7sulGnIF4M4sz-7tzD83EKpXASUj2qHjSb7miH2My8aAjjrEALw_wcB, accessed in November 2023. COLOCAR NUM [Link]
56. IndustryARC™, https://www.industryarc.com/Research/Global-Natural-Rubber-Industry-Market-Research-511885?https://www.industryarc.com/Research/Global-Natural-Rubber-Industry-Market-Research-511885&gclid=Cj0KCQjwr4eYBhDrARIsANPywCi-jSmIlzEwSmyE6NSEkO1pdWttJd8v11_bJpNPnLfqotyXDPGoc0DYaAlUgEALw_wcB, accessed in November 2023. COLOCAR NUM [LINK]
57. FELTER, H. W.; LLOYD, J. U.; Gutta percha From King's American Dispensatory http://www.ibiblio.org/herbmed/eclectic/kings_isonandra.html, accessed in November 2022. [Link]
58. CUI, G.; YANG, X.; LIU, Z.; WEI, M.; LIU, T.; GU, H.; YANG, L.; Potential Use of Limonene as an Alternative Solvent for Extraction of Gutta-Percha from *Eucommia ulmoides*. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* **2022**, *10*, 11057. [Crossref]
59. MOHAN, A.; DIPALLINI, S.; LATA, S.; MOHANTY, S.; PRADHAN, P. K.; PATEL, P.; MAKKAR, H.; VERMA, S. K.; Oxidative stress induced antimicrobial efficacy of chitosan and silver nanoparticles coated Gutta-percha for endodontic applications. *Materials Today Chemistry* **2020**, *17*, 100299. [Crossref]
60. YANG, Y.; PENG, P.; YANG, Q.; WANG, D.; DONG, J.; Fabrication of renewable gutta percha/silylated nanofibers membrane for highly effective oil-water emulsions separation. *Applied Surface Science* **2020**, *530*, 147163. [Crossref]
61. MANIGLIA-FERREIRA, C.; SILVA JR, J. B. A.; DE PAULA, R. C. M.; FEITOSA, J. P. A.; CORTEZ, D. G. N.; ZAIA, A. A.; DE SOUZA-FILHO, F. J.; Brazilian gutta-percha points: Part I: chemical composition and X-ray diffraction analysis. *Brazilian Oral Research* **2005**, *19*, 193. [Crossref]

62. GUTTA-PERCHA MARKET SIZE, SHARE & TRENDS ANALYSIS REPORT BY PRODUCT, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/gutta-percha-market>, accessed in November 2022. [Link]
63. CASSAUWERS, T.; The global history of quinine, the world's first anti-malaria drug, <https://medium.com/@tcassauwers/the-global-history-of-the-world-s-first-anti-malaria-drug-d1e11f0ba729>, accessed in November 2022. [Link]
64. DE CASTRO, M. C.; SINGER, B. H.; Was malaria present in the Amazon before the European conquest? Available evidence and future research agenda. *Journal of Archaeological Science* **2005**, *32*, 337. [Crossref]
65. DORÉ, A.; America Peruana e Oceanus Peruvianus: uma outra cartografia para o Novo Mundo. *Tempo* **2014**, *20*, artigo 1. [Crossref]
66. Nair, K. P. P.; *The Agronomy and Economy of Important Tree Crops of the Developing World*, Elsevier Inc., 2010, 111. [Crossref]
67. CALDERON, L. A.; SILVA-JARDIM, I.; ZULIANI, J. P.; E SILVA, A. A.; CIANCAGLINI, P.; DA SILVA, L. H. P.; STÁBELI, R. G.; Amazonian biodiversity: a view of drug development for Leishmaniasis and malaria. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2009**, *20*, 1011. [Crossref]
68. MATES, M.; NESHER, G.; ZEVIN, S.; Quinines-past and present. *Harefuah* **2007**, *146*, 560. [Link]
69. Antiga como a humanidade. <https://agencia.fapesp.br/antiga-como-a-humanidade/12343/>, accessed in November 2022. [Link]
70. .; Three hundred and fifty years of the Peruvian fever bark. *British Medical Journal* **1988**, *296*, 1486. [Crossref]
71. TANABE, K.; MITA, T.; JOMBART, T.; ERIKSSON, A.; HORIBE, S.; PALACPAC, N.; RANFORD-CARTWRIGHT, L.; SAWAI, H.; SAKIHAMA, N.; OHMAE, H.; NAKAMURA, M.; FERREIRA, M. U.; ESCALANTE, A. A.; PRUGNOLLE, F.; BJÖRKMAN, A.; FARNERT, A.; KANEKO, A.; HORII, T.; MANICA, A.; KISHINO, H.; BALLOUX, F.; Plasmodium falciparum Accompanied the Human Expansion out of Africa. *Current Biology* **2010**, *20*, 1283. [Crossref]
72. BOLZANI, M. S.; BOLZANI, V. S.; Do Peru à Java: A trajetória da Quinina ao longo dos séculos, https://i-flora.iq.ufrrj.br/hist_interessantes/quinina.pdf, accessed in November 2022. [Link]
73. DE OLIVEIRA, A. R. M.; SZCZERBOWSKI, D.; Quinina: 470 anos de história, controvérsias e desenvolvimento. *Química Nova* **2009**, *32*, 1971. [Crossref]

74. ALMEIDA, M. R.; MARTINEZ, S. T.; PINTO, A. C.; Química de Produtos Naturais: Plantas que Testemunham Histórias. *Revista Virtual Química* **2017**, *9*, 1117. [Crossref]
75. GOSS, A.; Building the world's supply of quinine: Dutch colonialism and the origins of a global pharmaceutical industry. *Endeavour* **2014**, *38*, 8. [Crossref]
76. PEREIRA, C. A. C.; CAPAZ, G. K. C.; *Revista Eletrônica da Graduação da Faculdade de Direito do Sul de Minas* **2019**, *2*, 69. [Link]
77. POLLITO, P. A. Z.; FILHO, M. T.; Cinchona amazonica Standl. (Rubiaceae) no estado do Acre, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais* **2006**, *1*, 9. [Crossref]
78. OLIVEIRA, K. R. H. M.; DOS ANJOS, L. M.; ARAÚJO, A. P. S.; LUZ, W. L.; KAUFFMANN, N.; BRAGA, D. V.; PASSOS, A. C. F.; DE MORAES, S. A. S.; BATISTA, E. J. O.; HERCULANO, A. M.; Ascorbic acid prevents chloroquine-induced toxicity in inner glial cells. *Toxicology in Vitro* **2019**, *56*, 150. [Crossref]
79. DELEPINE, M.; JOSEPH PELLETIER AND JOSEPH CAVENTOU. *Journal of Chemical Education* **1951**, *28*, 454. [Crossref]
80. Research and Markets, <https://www.researchandmarkets.com/reports/4854590/quinine-market-global-industry-perspective>, accessed in November 2022. COLOCAR NUM [Link]
81. GRACIANO, I. A.; DE CARVALHO, A. S.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; 1,2,3-Triazole- and Quinoline-based Hybrids with Potent Antiplasmodial Activity. *Medicinal Chemistry* **2022**, *18*, 521. [Crossref]
82. MARELLA, A.; TANWAR, O. P.; SAHA, R.; ALI, M. R.; SRIVASTAVA, S.; AKHTER, M.; SHAQUIQUZZAMAN, M.; ALAM, M. M.; Quinoline: A versatile heterocyclic. *Saudi Pharmaceutical Journal* **2013**, *21*, 1. [Crossref]
83. XUE, H.; LI, J.; XIE, H.; WANG, Y.; Review of Drug Repositioning Approaches and Resources. *International Journal of Biological Sciences* **2018**, *14*, 1232. [Crossref]
84. O'NEILL, P. M.; WARD, S. A.; BERRY, N. G.; JEYADEVAN, J. P.; BIAGINI, G. A.; ASADOLLALY, E.; PARK, B. K.; BRAY, P. G.; A Medicinal Chemistry Perspective on 4-Aminoquinoline Antimalarial Drugs. *Current Topics in Medicinal Chemistry* **2006**, *6*, 479. [Crossref]
85. World Health Organization. WHO's *World malaria report*, 2021, <https://www.who.int/publications/i/item/9789240040496>, accessed in November 2022. [LINK]
86. AMBROZIN, A. R. P.; LEITE, A. C.; BUENO, F. C.; VIEIRA, P. C.; FERNANDES, J. B.; BUENO, O. C.; SILVA, M. F. G. F.; PAGNOCCA, F. C.; HEBLING, M. J. A.; BACCI JR., M.; Limonoids from andiroba oil and Cedrela fissilis and their insecticidal activity. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2006**, *17*, 542. [Crossref]

87. OLIVEIRA, I. S. S.; TELLIS, C. J. M.; CHAGAS, M. S. S.; BEHRENS, M. D.; CAL-ABRESE, K. S.; ABREU-SILVA, A. L.; ALMEIDA-SOUZA, F.; Carapa guianensis Aublet (Andiroba) Seed Oil: Chemical Composition and Antileishmanial Activity of Limonoid-Rich Fractions. *BioMed Research International* **2018**, ID5032826. [Crossref]
88. SILVA, S. G.; NUNOMURA, R. C. S.; Nunomura, S. M.; Limonoides isolados dos frutos de Carapa guianensis Aublet (Meliaceae). *Química Nova* **2012**, 35, 1936. [Crossref]
89. Market Watch, <https://www.marketwatch.com/press-release/andiroba-oil-market-2022-global-industry-analysis-development-revenue-future-growth-business-prospects-and-forecast-to-2028---top-countries-data-2022-08-03>, accessed in August 2022. Colocar num [LINK]
90. SANTOS, W. C.; HÜTHER, C. M.; FERREIRA, P. G.; DA SILVA, F. C.; FERREIRA, V. F.; *Três Importantes Palmeiras: Das contribuições Sociais à Sustentabilidade em Temas emergentes voltados para as ciências sociais*; Catapan, E. A., ed.; Brazilian Journals: São José dos Pinhais, Brasil, 2022. [Crossref]
91. CARVALHO, F. P. A.; GOMES, A. J. M.; Eco-eficiência na produção de cera de Carnaúba no município de Campo Maior, Piauí, 2004. *Revista de Economia e Sociologia Rural* **2008**, 46, 421. [Crossref]
92. GONÇALVES, M.; LÍCIA, A.; SILVA, A.; SILVA, L.; SILVA, K.; JÚNIOR, F.; GRUGIKI, M.; SILVA, M.; Field development of Caatinga species using carnauba waste. *Brazilian Journal of Development* **2020**, 6, 1188. [Crossref]
93. SILVA, A. J. B.; SEVALHO, E. S.; MIRANDA, I. P. A.; Potencial das palmeiras nativas da Amazônia Brasileira para a bioeconomia: análise em rede da produção científica e tecnológica. *Ciência Florestal* **2021**, 31, 2. [Crossref]
94. KHWALDIA, K.; LINDER, M.; BANON, S.; DESOBRY, S.; Effects of Mica, Carnauba Wax, Glycerol, and Sodium Caseinate Concentrations on Water Vapor Barrier and Mechanical Properties of Coated Paper. *Journal of Food Science* **2006**, 70, E192. [Crossref]
95. CARON, V. C.; JACOMINO, A. P.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; MIGUEL, A. C. A.; Carnauba Wax and Modified Atmosphere in Refrigerated Preservation of ‘Tahiti’ Acid Limes. *Packaging Technology & Science* **2015**, 28, 647. [Crossref]
96. CARVALHO NETO, J. P.; BEZERRA, L. R.; SILVA, A. L.; MOURA, J. F. P.; PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA FILHO, E. C.; GUEDES, A. F.; ARAÚJO, M. J.; EDVAN, R. L.; OLIVEIRA, R. L.; Methionine microencapsulated with a carnauba (*Copernicia prunifera*) wax matrix for protection from degradation in the rumen. *Livestock Science* **2019**, 228, 53. [Crossref]

97. FREITAS, C. A. S.; DE SOUSA, P. H. M.; SOARES, D. J.; DA SILVA, J. Y. G.; BENJAMIN, S. R., GUEDES, M. I. F.; Carnauba wax uses in food - A review. *Food Chemistry* **2019**, *291*, 38. [Crossref]
98. ALMEIDA, B. C.; ARAÚJO, B. Q.; BARROS, E. D. S.; FREITAS, S. D. L.; MACIEL, D. S. A.; FERREIRA, A. J. S.; GUADAGNIN, R. C.; JÚNIOR, G. M. V.; LAGO, J. H. G.; CHAVES, M. H.; Dammarane Triterpenoids from Carnauba, *Copernicia prunifera* (Miller) H. E. Moore (Arecaceae), Wax. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2017**, *28*, 1371. [Crossref]
99. ALMEIDA, B. C.; ARAÚJO, B. Q.; CARVALHO, A.; FREITAS, S. D. L.; MACIEL, D. S. A.; FERREIRA, A. J. S.; TEMPONE, A. G.; MARTINS, L. F.; ALEXANDRE, T. R.; CHAVES, M. H.; LAGO, J. H.; Antiprotozoal activity of extracts and isolated triterpenoids of 'carnauba' (*Copernicia prunifera*) wax from Brazil. *Pharmaceutical Biology* **2016**, *54*, 3280. [Crossref]
100. SHAHIDI, F.; CHANDRASEKARA, A.; Hydroxycinnamates and their in vitro and in vivo antioxidant activities. *Phytochemistry Reviews* **2010**, *9*, 147. [Crossref]
101. Market Insights on Carnauba Wax covering sales outlook, <https://www.futuremarketinsights.com/reports/carnauba-wax-market>, Acessado em: 24 agosto 2022. Colocar num [Link]
102. Carnauba Wax Market Analysis by Product (Type 1, Type 3, Type 4) by Application (Cosmetics, Food, Automotive, Pharmaceutical) and Segment Forecasts to 2024. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/carnauba-wax-market>, accessed in November 2022. Colocar num [Link]
103. EID, A. M.; HAWASH, M.; Biological evaluation of Safrole oil and Safrole oil Nanoemulgel as antioxidant, antidiabetic, antibacterial, antifungal and anticancer. *BMC Complementary Medicine and Therapies* **2021**, *21*, 159. [Crossref]
104. LIMA, L. M.; Safrole and the Versatility of a Natural Biophore. *Revista Virtual de Química* **2015**, *7*, 495. [Crossref]
105. LIMA, P. C.; LIMA, L. M.; DA SILVA, K. C. M.; LÉDA, P. H. O.; DE MIRANDA, A. L. P.; FRAGA, C. A. M.; BARREIRO, E. J. L.; Synthesis and analgesic activity of novel N-acylarylhydrazones and isosters, derived from natural safrole. *European Journal of Medicinal Chemistry* **2000**, *35*, 187. [Crossref]
106. DE LIMA, M. E. F.; GABRIEL, A. J. A.; CASTRO, R. N.; Synthesis of a new strigol analogue from natural safrole. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2000**, *11*, 371. [Crossref]
107. DE AMORIM, M. B.; DA SILVA, A. J. M.; COSTA, P. R. R.; The reaction of safrole derivatives with aluminum chloride: improved procedures for the preparation of catechols or their

mono-O-Methylated Derivatives and a mechanistic interpretation. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2001**, *12*, 346. [Crossref]

108. ROCHA S. F. R.; MING, L. C.; In *Perspectives on new crops and new uses*; Janick, J., ed.; ASHS Press: Alexandria, VA, 1999.
109. MAIA, J. G. S.; SILVA, M. L.; LUZ, A. I. R.; ZOGHBI, M. G. B.; RAMOS, L. S.; Espécies de Piper da Amazônia ricas em safrol. *Química Nova* **1987**, *10*, 200. [Link]
110. MAIA, J. G.; GREEN, C. L.; MILCHARD, M. J.; Biological Effects of Fragrances and Essential Oils. *Perfumer & Flavorist* **1993**, *18*, 19. [Link]
111. CHAVES, J. L.; Pimenta longa reativa o safrol. *Química e Derivados* **1994**, *2*, 40.
112. BRAGA, N. P.; CREMASCO, M. A.; VALLE, R. C. C. R.; The effects of fixed-bed drying on the yield and composition of essential oil from long pepper (*Piper hispidinervium* C. DC) leaves. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* **2005**, *22*, 257. [Crossref]
113. HATZIMOURATIDIS, K.; A review of the use of tadalafil in the treatment of benign prostatic hyperplasia in men with and without erectile dysfunction. *Therapeutic Advances in Urology* **2014**, *6*, 135. [Crossref]
114. LANDES, R. R.; HALL, J. W.; CINOXACIN: New antimicrobial agent for urinary tract infections. *Urology* **1977**, *10*, 312. [Crossref]
115. GOSHIMA, Y.; MASUKAWA, D.; KASAHARA, Y.; HASHIMOTO, T.; ALADEOKIN, A. C.; L-DOPA and Its Receptor GPR143: Implications for Pathogenesis and Therapy in Parkinson's Disease. *Frontiers in Pharmacology* **2019**, *10*, 1119. [Crossref]
116. BECKEL, H. S.; LORINI, I.; LAZZARI, S. M. N.; Efeito do sinérgico butóxido de piperonila na resistência de *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera, Silvanidae) a deltametrina e fenitrotiom. *Revista Brasileira de Entomologia* **2006**, *50*, 110. [Crossref]
117. ARNAUDON, G.; Recherchessurun nouvelacideatraitdu boisde taigu du Paraguay. *Comptes Rendus Des Seances De L'académie Des Sciences* **1858**, *46*, 1152. [Link]
118. FERREIRA, V. F.; Aprendendo sobre os conceitos de ácido e base. *Química Nova na Escola* **1996**, *4*, 35. [Link]
119. RAO, K. V.; MCBRIDE, T. J.; OLESON, J.; Recognition and Evaluation of Lapachol as an Antitumor Agent. *Cancer Research* **1968**, *28*, 1952. [Link]
120. One Stop Shop for All Your Market Research Reports. Global Lapachol Market By Type (Min Purity Less Than 98%, Min Purity 98%-99%, and Min Purity More Than 99%), By Application (Research, and Medical), By Country, and Manufacture - Industry Segment, Competition Scenario and Forecast by 2030, https://market.biz/report/global-lapachol-market-gm/767515/#Market_Overview, accessed in November 2022. [Link]

121. SUN, J. S.; GEISER, A. H.; FRYDMAN, A. H.; A preparative synthesis of lapachol and related naphthoquinones. *Tetrahedron Letters* **1998**, *39*, 8221. [Crossref]
122. ALVES, G. B. C.; LOPES, R. S. C.; LOPES, C. C.; SNIECKUS, V.; Two Expedient Syntheses of γ -Lapachone. *Synthesis* **1999**, 1875. [Crossref]
123. DA SILVA, M. N.; FERREIRA, V. F.; DE SOUZA, M. C. B. V.; Um panorama atual da química e da farmacologia de naftoquinonas, com ênfase na beta-lapachona e derivados. *Química Nova* **2003**, *26*, 407. [Crossref]
124. BEY, E. A.; BENTLE, M. S.; REINICKE, K. E.; DONG, Y.; YANG, C. R.; GIRARD, L.; MINNA, J. D.; BORNMANN, W. G.; GAO, J.; BOOTHMAN, D. A.; An NQO1- and PARP-1-mediated cell death pathway induced in non-small-cell lung cancer cells by β -lapachone. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2007**, *104*, 11832. [Crossref]
125. JAISWAL, A. K.; Human NAD(P)H:quinone oxidoreductase2. Gene structure, activity, and tissue-specific expression. *Journal of Biological Chemistry* **1994**, *269*, 14502. [Crossref]
126. SANTOS, E. V. M.; CARNEIRO, J. W. M.; FERREIRA, V. F.; Quantitative structure–activity relationship in aziridiny-1,4-naphthoquinone antimalarials: study of theoretical correlations by the PM3 method. *Bioorganic & Medicinal Chemistry* **2004**, *12*, 87. [Crossref]

Capítulo 7

Aqui tem Química: Hidrogênio, das Reações Químicas até ao Combustível Verde

Patricia Garcia Ferreira, Acácio Silva de Souza, Iva Souza de Jesus, Rafael Portugal Rizzo Franco de Oliveira, Alcione Silva de Carvalho, Luana da Silva Magalhães Forezi, Fernando de Carvalho da Silva, Debora Omena Futuro, Vitor Francisco Ferreira

Introdução

Há materiais transportadores de energia em suas estruturas químicas, como por exemplo, carvão, o petróleo, o gás natural, a água, combustíveis de urânio, etc. A luz solar e o vento já transportam a energia sem necessidade de transformação.¹ A disponibilidade de energia tem sido a base do desenvolvimento humano e o impulso do seu progresso. Durante milênios os humanos obtiveram a sua energia da própria alimentação para caçar, transportar materiais e construir os abrigos. Nessa época pré-histórica, antes do desenvolvimento da agricultura, os humanos dependiam inteiramente dos recursos naturais disponíveis em seu ambiente imediato para o consumo de energia. Posteriormente, a energia para o uso em iluminação e geração de calor veio da queima de biomassas vegetais e animais. Muitos milênios a frente, a energia passou a vir da força dos animais, fluxo da água e do vento. Mais recentemente, a partir da revolução industrial acrescentou-se o carvão que em seguida passou a competir com o petróleo.² Com o aumento da produção de energia, aumentou também a quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera ocasionando o aumento a temperatura.³ No século 21 a transição energética para energia sustentável e descarbonizadas acelerou o processo de busca por novas fontes, mas o caminho ainda está cheio de incertezas, tendências tecnológicas, risco geopolítico e comportamento do consumidor. Dentro destes cenários é cada

vez mais difícil tomar decisões e cumprir as metas de longo prazo para a descarbonização, mas ações como circularidade das matérias primas é essencial para ampliar o multiespaço da sustentabilidade.⁴

O consumo global de energia acompanha o crescimento populacional, transformando-se em uma mercadoria de comércio internacional. Para suprir todas as necessidades humanas, como alimentação, saúde, transporte, trabalho e água potável, é necessário aumentar a produção energética. A disponibilidade de energia é essencial para o desenvolvimento e a qualidade de vida da humanidade. Prevê-se que a demanda global por energia aumente em 56% até 2040 em comparação com os níveis de 2010.⁵

A questão da demanda energética é de grande importância, pois todas as outras necessidades humanas dependem de fontes energéticas para sua produção. Essa demanda mundial por mais energia é importante para a produção de alimentos, medicamentos, entre outros, e o consumo desses produtos está aumentando rapidamente. Apesar dos combustíveis fósseis ainda continuarem a serem as principais fontes energéticas e que atendem às necessidades globais, seu uso resulta na emissão de gases de efeito estufa e partículas tóxicas.

A ciência tem avançado na busca de fontes energéticas mais sustentáveis, eficientes, seguras e ecologicamente mais limpas. Inicialmente, madeira, óleos vegetais e gordura animal foram as fontes renováveis mais comuns, porém, com a revolução industrial, carvão, e posteriormente, o petróleo e gás natural entraram em cena, exacerbando os problemas ambientais.⁶

As alterações no clima têm sido parcialmente agravadas pela utilização de combustíveis fósseis que por centenas de anos impactaram negativamente o sistema climático da Terra com produção de CO₂, conduzindo a uma cascata de eventos desastrosos para o meio ambiente e a saúde das pessoas.⁷ Para mitigar a crise climática causada pelas emissões de CO₂, a energia elétrica obtida de fontes renováveis terá papel importante na mitigação futura dos danos ambientais causados pelos combustíveis fósseis usados no passado. Seu papel será fundamental na matriz energética global com a descarbonização dos setores intensivos energia (ex. transportes, residências, indústrias, etc.). As centrais elétricas devem estar baseadas em fontes de energia renováveis, verdes e limpas que não produzem dióxido de carbono. Porém, ainda existem plantas de energia elétrica que causam impactos negativos para o meio ambiente e que não podem ser ignorados.⁸ Os novos estudos estão direcionados para buscas de novas fontes energéticas mais eficientes, tais como, solar, eólica, maremotriz, geotérmica e biomassas. Essas fontes são fontes abundantes, de baixo carbono e ambientalmente amigável.

O gás hidrogênio (H₂) é uma molécula bastante versátil em muitas áreas, além de ser considerado o combustível não tóxico do futuro devido à sua

natureza mais limpa em comparação com o metano e a gasolina. Ele é considerado perigoso devido à sua extremamente inflamabilidade, especialmente desde o desastre do dirigível Hindenburg, em 6 de maio de 1937. Ele é muito mais leve que o ar e dissipa-se rapidamente no ar em caso de vazamento. Essa capacidade de dissipação no ar torna o hidrogênio mais seguro do que outros combustíveis voláteis.

Essa substância não é abundante na atmosfera na sua forma natural elementar, porém ele é abundante preso no subsolo durante centenas de anos, como inclusões em vários tipos de rochas e como gás dissolvido em águas subterrâneas. Em alguns casos, pode estar misturado com outros gases, como o metano. Ele também está presente em muitos materiais com alta relação C/H (ex. metano, etanol, metanol, petróleo, nafta, gás natural, água e biomassas lignocelulósicas) (Figura 1).

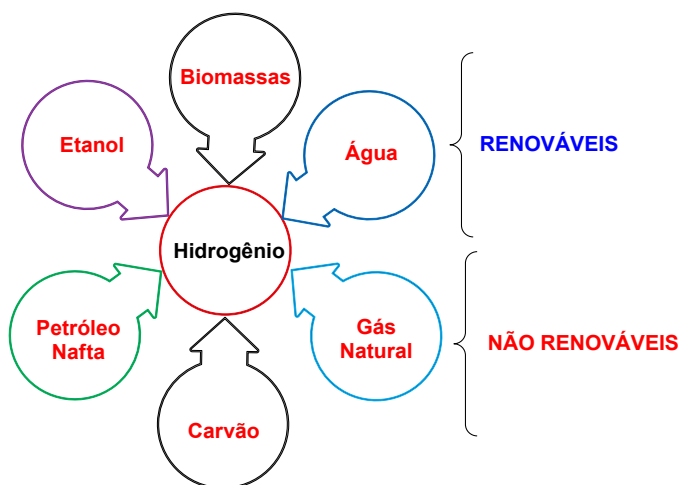


Figura 1. Materiais abundantes portadores de hidrogênio

Ciclo Hidrogênio na Economia

Os combustíveis líquidos renováveis como o etanol e o éster metílico de triglicerídeos da soja e da palma, ou seja, o biodiesel já são realidades com a vantagem de já existirem infraestruturas para as suas distribuição e uso em veículos com motores convencionais. A geração de energia elétrica por processo fotovoltaico é a que tem maior crescimento, mas ainda tem a produção limitada na geração somente durante o dia, a energia geotérmica pode trazer substâncias químicas tóxicas que estão contidas no interior da terra⁹ e

a produção de energia elétrica através de equipamentos eólicos depende de ventos fortes e estáveis.¹⁰ No entanto, é de fundamental importância se procurar novas formas de energia limpas para o setor dos transportes (automóveis, ônibus, trens, etc.) que desempenha um papel fundamental para o crescimento dos países, bem como na sustentabilidade ambiental e social. Porém, é preciso intensificar os estudos científicos para se encontrar essas novas fontes viáveis para a produção de energia renovável. É importante ressaltar que as biomassas são fontes de energia renováveis via fotossíntese e que atualmente podem fornecer um fluxo estável de energia para a humanidade.

O hidrogênio é o único combustível que pode redesenhar a economia energética global, substituir os combustíveis fósseis, reduzir os gases do efeito estufa e ajudar na diminuição dos eventos climáticos extremos. Essa fonte de energia tem zero de emissões de carbono e associada ao conceito de Economia do Hidrogênio pode afetar positivamente diversas dimensões da sustentabilidade, como setores de difícil descarbonização, produção de alimentos, qualidade de vida, disseminação de doenças, mortes por desastres climáticos, derretimento das geleiras e do permafrost, armazenamento de energia, transporte, etc. Zuben et al. enfatizam que o hidrogênio é indispensável para um mundo sustentável desde que o seu processo de produção seja ambientalmente recomendável.¹¹ O transporte é a alavanca do desenvolvimento e a possibilidade de esgotamento dos combustíveis fósseis é preocupante e, conseqüentemente, há grande expectativa pelo uso do hidrogênio como combustível alternativo para transporte, desde que seja produzido em abundância e com preço competitivo.

O hidrogênio pode ser produzido através de uma variedade de tecnologias e de recursos, muitos dos quais são considerados renováveis e permanente (hidrogênio do subsolo). A produção atual de hidrogênio está longe de ser renovável, pois depende quase inteiramente da reforma e gaseificação de fontes fósseis de hidrocarbonetos, como o gás natural (76%) e o carvão (23%), resultando altas em emissões de CO₂. Mais recentemente, ele surgiu como uma alternativa promissora para fornecer energia limpa tanto para as cidades e as indústrias. Há algumas alternativas emergentes usando materiais de partida portadores de hidrogênio para a produção de hidrogênio dos quais destacam-se a pirólise do metano, metanol, ácido fórmico e a eletrólise de água e que constituem tecnologias viáveis para reduzir o impacto ambiental e, portanto, apresentam uma alternativa econômica e ambientalmente sustentável.¹²

O hidrogênio é uma *commodity* industrial produzida em dezenas de milhões de toneladas por ano por diversas corporações em diversos países para uso em processos químicos e combustível. Ele entra na produção de amônia que é a matéria prima para produção de fertilizantes nitrogenados,

refino de petróleo, produção de alimentos (ex. margarinas) e na metalurgia, etc. Quando usado como combustível para produção de energia, ele é limpo e neutro se for oriundo de um processo de produção limpo que não impacte o balanço geral de emissão de CO₂. Cabe destacar que o CO₂ é o componente mais abundante dos gases do efeito estufa que por sua vez é um dos responsáveis pelo aquecimento global.¹³

O mercado global para a geração de hidrogênio atingiu um valor impressionante de US\$ 129,85 bilhões em 2021, com projeções de expansão a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 6,4% entre 2022 e 2030. Esta tendência ascendente reflete a crescente demanda por fontes de energia limpa e a urgência em reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Além do hidrogênio verde derivado de fontes renováveis, como a eletrólise da água utilizando energia solar ou eólica, há uma crescente necessidade por hidrogênio de alta pureza, que não contribua para o aumento dos gases do efeito estufa. Esta demanda abrange não apenas o uso direto em equipamentos ou na geração de eletricidade, mas também em aplicações industriais sensíveis, como a produção de materiais sem emissões de carbono.

É notável que o conglomerado Ásia-Pacífico tenha dominado o mercado global em 2021, representando mais de 41,40% da receita total. Este domínio é impulsionado em grande parte pela liderança da China na geração de hidrogênio e pelos ganhos financeiros das áreas Ásia-Pacífico, que contam com um grande número de refinarias na região. Este cenário destaca a importância crescente da Ásia-Pacífico na transição para uma economia global de baixo carbono. No entanto, é importante observar que o mercado global de hidrogênio é dinâmico e está sujeito a mudanças significativas, influenciadas por avanços tecnológicos, políticas governamentais e pressões ambientais. Portanto, uma compreensão abrangente das tendências atuais e futuras é essencial para os players do setor que buscam se posicionar estrategicamente nesta indústria em rápida evolução. O mercado global para a geração de hidrogênio foi avaliado em 2021 em US\$ 129,85 bilhões, com uma previsão de expansão a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 6,4% entre 2022-2030. A demanda global vai exigir além do hidrogênio verde derivados de fontes renováveis, para usos diretos em equipamento ou geração de eletricidade, mas também um hidrogênio mais puro que não contribua para o aumento dos gases do efeito estufa. O conglomerado Ásia-Pacífico dominou o mercado global em 2021 e foi responsável pela maior participação na receita de mais de 41,40 %. A China lidera geração de hidrogênio e os ganhos financeiros das áreas Ásia-Pacífico com maior número de refinarias na região.¹⁴

Classificação por Cores Para os Tipos de Hidrogênio

O hidrogênio pode ser obtido partir de diversas fontes renováveis e não renováveis.¹⁵ Associado à essas fontes estão diversos processos químicos. O hidrogênio se apresenta como a fonte alternativa de energia para o futuro e deverá ser o pilar mais promissor para a descarbonização global, mas ele precisa ser obtido a partir de fontes renováveis que não é prejudicial para o ambiente. O hidrogênio verde ou limpo pode ser produzido a partir de fontes de energia renováveis. Para facilitar o entendimento da sua produção é utilizado um sistema de códigos por cores que indicam a fonte dos materiais portadores de hidrogênio e o processo. Essas denominações de cores são essencialmente códigos, ou nomes fantasia, usados pelos setores industriais de energia para diferenciar os tipos de fonte e o processo de produção do hidrogênio.¹⁶ Por exemplo, o hidrogênio rosa é obtido pela eletrólise da água, onde a eletricidade é derivada da energia nuclear. A Figura 2¹⁷ destaca os principais tipos de hidrogênio por cores relacionados ao processo de produção. Esse modelo de código de cores não consegue determinar com precisão o quão limpo (com baixas emissões de carbono) é esse hidrogênio porque não consegue determinar a quantidade dos gases do efeito estufa que são emitidos durante o processo de produção, limpeza do processo, subsistemas ou durante o ciclo de vida dos equipamentos utilizados.¹⁸

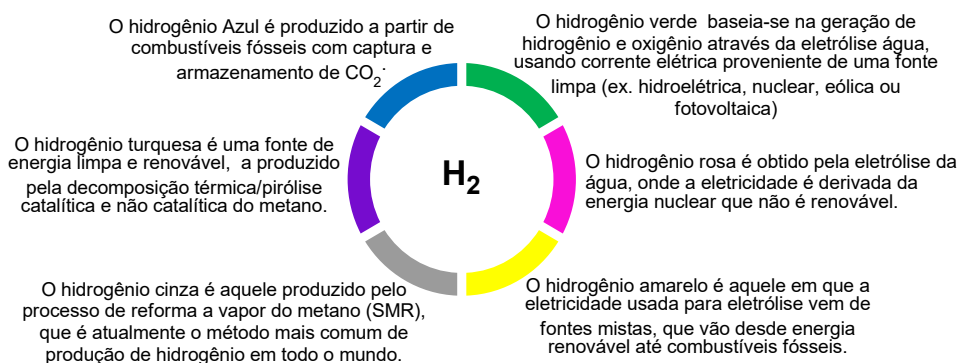
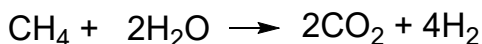
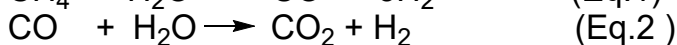
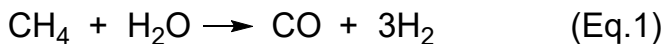


Figura 2. Código de cores usados para classificar o hidrogênio

Hidrogênio cinza

O hidrogênio cinza é aquele produzido pelo processo de reforma a vapor do metano (SMR). É uma tecnologia já bem consolidada o que a torna importante

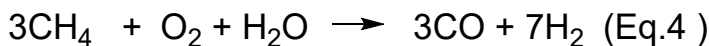
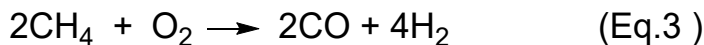
para a transição para uma economia energética de hidrogênio. É o método mais usado na produção de hidrogênio em todo o mundo. Este processo ocorre e alta temperatura, normalmente entre 700-1100 °C, onde vapor de água super aquecido reage com o gás natural rico metano (e outros hidrocarbonetos no gás natural), ou o próprio metano, sobre um catalisador de níquel, produzindo uma mistura gasosa de hidrogênio e monóxido de carbono (Eq. 1), conhecido com gás de síntese (syngas). O gás natural é uma matéria-prima conveniente e fácil de manusear, com uma alta relação carbono/ hidrogênio. O monóxido de carbono resultante reage com vapor metano para produzir hidrogênio adicional e CO₂ como subproduto (Eq. 2). Nesse processo não se captura os gases do efeito estufa produzidos nele. O hidrogênio cinza é essencialmente igual ao hidrogênio azul, mas sem o uso de captura e armazenamento de carbono. Mais de 99% dos atuais 70 milhões de toneladas de hidrogênio puro produzidos anualmente em todo o mundo é hidrogênio cinza, produzido a partir de combustíveis fósseis. A eficiência do processo de reforma a vapor é de cerca de 65% a 75%, entre os mais altos métodos de produção disponíveis comercialmente. O custo do hidrogênio produzido pela SMR depende do preço do gás natural e é atualmente o mais barato entre todas as tecnologias de produção de hidrogênio a granel. O mercado global de hidrogênio cinza foi avaliado em 131,8 mil milhões de dólares em 2022 e deverá atingir 174,9 mil milhões de dólares até 2032, crescendo a uma CAGR de 2,9% de 2023 a 2032.¹⁹



O termo cinza é usado para indicar que este método de produção de hidrogênio não é limpo, pois gera quantidades significativas de dióxido de carbono. Por esta razão, o hidrogênio cinza é considerado uma forma de produção de hidrogênio sem descarbonização e, frequentemente, é comparado com o hidrogênio verde, que é produzido utilizando fontes de energia renováveis, como a energia eólica ou solar, através de processos como a eletrólise da água sem emitir dióxido de carbono.²⁰

A oxidação parcial é outra rota para produzir hidrogênio cinza. O metano é misturado com oxigênio ou ar suficiente para produzir gás de síntese. Isto pode novamente ser processado pela reação de deslocamento água-gás (WSR)

para produzir mais hidrogênio (Eq. 3). Esta reação produz calor, que pode ser usado para conduzir a reforma a vapor do metano (SMR). Se quantidades suficientes de vapor de metano e oxigênio forem misturadas em alta pressão e alta temperatura, a reforma autotérmica pode ser promovida (Eq. 4).



Hidrogênio Azul

Al Humaidan *et al.* destaca que o hidrogênio azul irá desempenhar no futuro um papel fundamental na matriz energética mundial considerando as novas políticas para a transição energética e que visa ocupar 10-18% da procura total de energia mundial até 2050. Ele é produzido a partir de combustíveis fósseis com captura de CO_2 e sua posição em termos de processo sustentável fica entre o hidrogênio cinza e o hidrogênio verde (emissão de CO_2 zero).²¹ É uma solução potencial de baixo carbono, pois captura e armazena no subsolo o dióxido de carbono formado. O gás natural rico em metano (CH_4) entra no processo de reforma produzindo hidrogênio e dióxido de carbono. O CO_2 é injetado nos reservatórios de gás natural. O hidrogênio turquesa é produzido usando o processo pirólise de metano para produzir hidrogênio e carbono sólido (Figura 3).

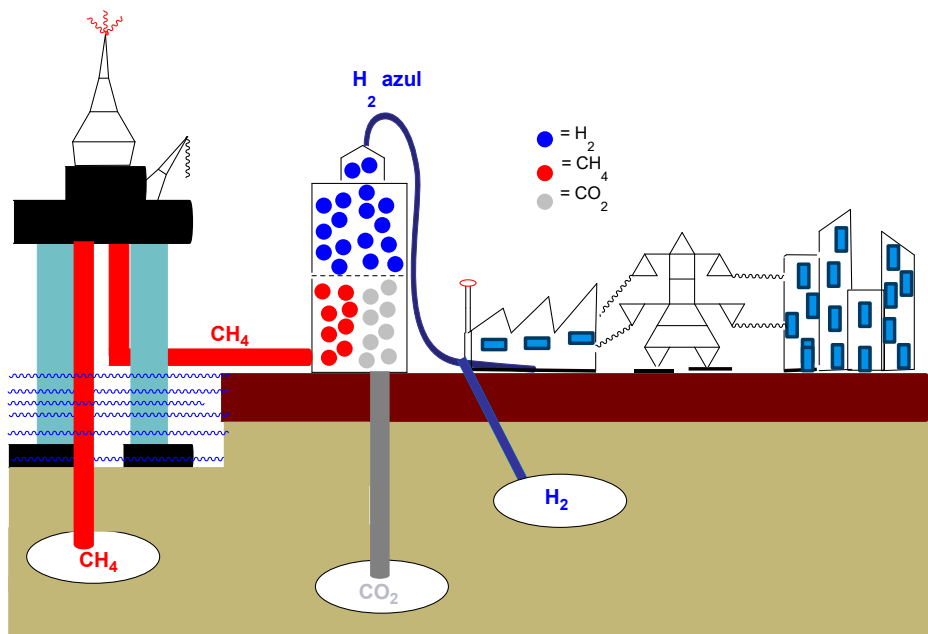


Figura 3. Produção do “hidrogênio azul” a partir do metano com captura e armazenamento de CO_2

Hidrogênio Verde

O hidrogênio verde é o combustível que tem causado enormes esperanças para mitigar o aquecimento global causado pelos combustíveis fósseis. Esta tecnologia baseia-se na geração de hidrogênio e oxigênio através da eletrólise da água, usando corrente elétrica proveniente de uma fonte limpa (ex. hidroelétrica, nuclear, eólica ou fotovoltaica).²² Portanto, hidrogênio é obtido sem emitir dióxido de carbono para a atmosfera. A reação do hidrogênio com oxigênio forma água. 1 kg de hidrogênio gera 141.600 kJ (= 134.200 Btu). Ele é incolor, inodoro, insípido e não tóxico em condições normais e tem uma densidade de 0,07 g/cm³. Ele é muito mais energético (poder calorífico de 141,9 kJ g⁻¹) do que outros combustíveis líquidos. O seu poder calorífico em massa é três vezes superior ao da gasolina, por exemplo, 1 Kg de hidrogênio equivale a 2,75 kg de gasolina (~3x) e 6 kg de metanol (~6x) e 7 vezes mais energético do que o carvão.²³ Comparado com outros combustíveis, como etanol e gás natural, o hidrogênio é mais leve. Portanto, é necessário mais espaço para armazenar a mesma quantidade de energia que a gasolina ou o gás natural.

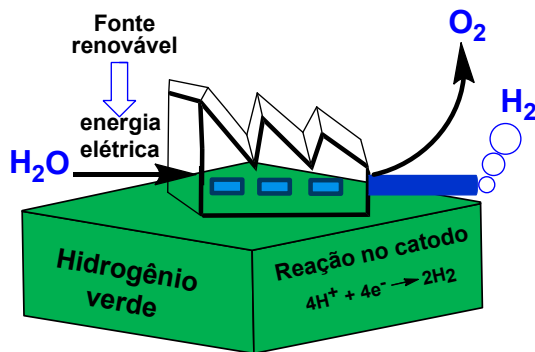


Figura 4. Descrição esquemática de uma planta de “Hidrogênio Verde” por eletrólise da água

O hidrogênio verde tem muitas vantagens sobre a energia fóssil tradicional devido à sua emissão zero de carbono (azul ou verde), alta eficiência de conversão e alta densidade energética. Essa onda tem sido chamada por alguns autores como a “era do hidrogênio verde”.²⁴ Ele se destaca pela sua natureza sustentável da produção, uma vez que não resulta na emissão de gases de efeito estufa e não depende de combustíveis fósseis. Assim, o hidrogênio verde é considerado uma parte importante da transição para uma economia de baixo carbono e vai desempenhar um papel crucial na redução das emissões de carbono e no combate às mudanças climáticas. Espera-se que esse hidrogênio verde seja incorporado nos setores dos transportes, aquecimento de grandes instalações, como edifícios, lojas e shopping, e na transição a médio prazo para 100% de energias renováveis.²⁵

Hidrogênio Turquesa

O hidrogênio turquesa representa uma fonte de energia limpa e renovável a partir do metano, mas não é zero-carbono. Ele é produzido pela decomposição térmica/pirólise catalítica e não catalítica do metano via plasma térmico de alta intensidade energética gerando como sub produtos o carvão, o *carbon black*.²⁶ O plasma térmico converte energia elétrica em energia térmica, atingindo altas temperaturas que é particularmente interessante para processos endotérmicos por sua entalpia ajustável e pela ausência de emissões diretas de CO₂ no processo.²⁷

Todos os produtos energéticos têm grande valor no mercado. O tamanho do mercado de hidrogênio verde foi avaliado em US\$ 0,28 bilhões em 2021. O mercado de hidrogênio verde deve crescer de US\$ 0,44 bilhões em 2022 para US\$ 10,55 bilhões até 2030, exibindo uma taxa composta de

crescimento anual (CAGR) de 57,41% durante o período (2022-2030). A crescente demanda por recursos energéticos renováveis e a necessidade de reduzir as emissões de carbono são os principais impulsionadores do Mercado de Hidrogênio Verde que aumentam o crescimento do mercado.²⁸ No entanto, é necessário aumentar a capacidade de fabricação de eletrolisadores em até 200 unidades até 2030.²⁹

No Brasil, há uma política governamental estabelecida pelo Ministério de Minas e Energia visando estimular a exploração do hidrogênio para a transição energética e descarbonização da economia, pois o hidrogênio é fundamental para a produção de fertilizantes, usos em refinarias, siderúrgicas e metalúrgicas. As informações do MME destacam que o país tem potencial para produzir 1,8 gigatoneladas de hidrogênio com baixo custo de produção.³⁰ O Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), aprovado pela Resolução nº 6, de 23 de junho de 2022, com a missão de criar ações, programas e iniciativas dentro de uma Política Nacional de Transição Energética.³¹ O seu Art. 1º destaca *“Fica instituído o Programa Nacional do Hidrogênio - PNH 2, com o objetivo de fortalecer o mercado e a indústria do hidrogênio enquanto vetor energético no Brasil.”*³² O arcabouço do programa se desdobra em 6 eixos temáticos que envolvem marcos legais, cooperação internacional e planejamento energético. Seguindo essa linha, a Eletrobras assinou um memorando de entendimento com a Paul Wurth do Brasil para produção de hidrogênio renovável priorizando o uso do hidrogênio renovável na descarbonização de diversos processos siderúrgicos.³³

Hidrogênio amarelo

O hidrogênio amarelo refere-se ao hidrogênio produzido a partir da eletrólise gerada por fontes híbridas, de acordo com a disponibilidade do recurso energético que variam desde uma fonte de energia renovável (ex. energia elétrica de origem fotovoltaica) até uma fonte de combustíveis fósseis, ou seja, ele é produzido por eletrólise usando eletricidade da rede elétrica. A rede elétrica é uma mistura de todas as fontes de energia disponíveis. As emissões de carbono variam ao longo do tempo, dependendo das fontes de energia da rede.³⁴

O Hidrogênio do Subsolo ou Hidrogênio Branco

Em certas áreas geológicas o hidrogênio é encontrado em altas concentrações e muitas vezes como o gás principal. A sua quantidade está estimada em trilhões de toneladas de hidrogênio subterrâneo e pode atender a todas as demandas necessárias para a humanidade. Zgonnik estimou que é possível se

obter 23 Tg/ano, um teragrama é igual a um milhão de toneladas, de hidrogênio proveniente de fontes geológicas.³⁵ Há também outras maneiras de se gerar hidrogênio usando energia renovável para retirá-lo das fontes disponíveis na natureza. Ele está presente em muitos compostos naturais, como água, biomassas e petróleo, que são compostos com alta quantidade de hidrogênio e, portanto, para a sua produção é necessária a sua extração dos compostos em que ele ocorre. O hidrogênio é um combustível não poluente e versátil, pois pode ser transformado em calor por combustão ou energia elétrica nas células de combustíveis sendo altamente promissor para todos os tipos de aplicações.

Apesar do hidrogênio do subsolo ser uma fonte rica de energia ele também pode ser produzido a partir de algumas fontes renováveis, como madeira, gordura e óleos vegetais. É importante destacar que ou sendo retirado do subsolo ou sendo produzido por processos químicos ou eletroquímicos, ele primeiro precisa ser produzido e armazenado para depois ser usado para produzir energia.

O hidrogênio do subsolo pode ter sido formado por vários processos naturais envolvendo a decomposição anaeróbica de matéria orgânica. Isso ocorre em ambientes como pântanos e camadas sedimentares subterrâneas onde materiais orgânicos como plantas e animais mortos são enterrados e submetidos a alta pressão e temperatura em escalas de tempo geológicas. À medida que a matéria orgânica se decompõe, ela libera gases metano (CH_4) e hidrogênio (H_2). No entanto, a hipótese mais aceita para a geração de H_2 são a da redução da água subterrânea através da oxidação do ferro e da radiólise das rochas da crosta terrestre. Ele também pode ter sido gerado pela interação de certos minerais ricos em ferro (ofiolitos) com a água no chamado processo serpentização.³⁶ Em todas as hipóteses, entretanto, a formação e liberação de H_2 são consideradas um processo contínuo no subsolo. Quando essas rochas entram em contato com a água resulta na formação de novos minerais e na liberação de gás hidrogênio (Figura 3). Os principais minerais envolvidos na serpentização são olivina e piroxênio, que minerais ricos em silício, ferro e magnésio.³⁷

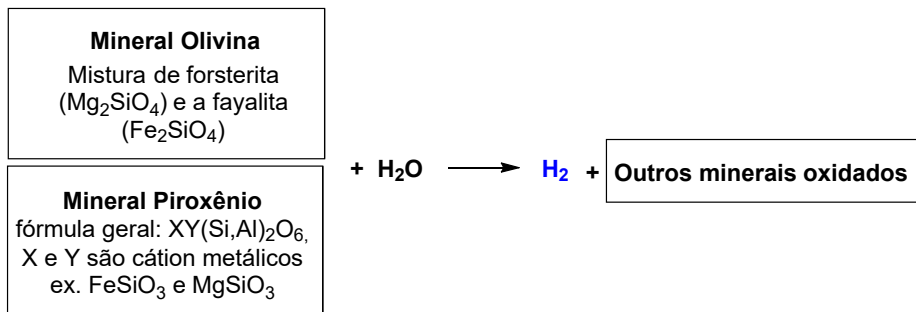


Figura 5. Reação de serpentinização de olivina e piroxênio produzindo H_2

Sua baixa densidade significa que deve ser armazenado em grandes quantidades para qualquer aplicação prática como combustível. Há também outras desvantagens de em termos de segurança quando comparado a outras fontes alternativas de energia, como gás natural liquefeito (GNL), metano e gasolina. Ele é um gás altamente explosivo quanto em contato com o oxigênio do ar devido ao seu baixo ponto de ebulição e baixa taxa de compressão, o que torna muito perigoso por risco de explosões e incêndios e, portanto, deve ser armazenado em tanques de pressão especiais. Para compensar, as aplicações modernas de transporte estão forçando os limites da tecnologia com pressões mais altas e temperaturas criogênicas extremas. Essas características limitantes trazem complicações para o seu transporte por duto ou via terrestre, mas que pode ser armazenado e utilizados com segurança dependendo da aplicação.³⁸ Mesmo com todas as características limitantes do hidrogênio e seu custo elevado em relação a maioria dos combustíveis fósseis, há muitas aplicações recentes do hidrogênio verde, como por exemplo, uso em pallet jacks, trens, carros, caminhões de transporte urbano e marítimo.³⁹

Importância do Hidrogênio nas Transformações de Grupos Funcionais

A literatura mostra que o hidrogênio é altamente reativo frente a diversos grupos funcionais e, conseqüentemente, há grande variedade de métodos sintéticos, catalisadores e materiais de partida capazes de serem transformados com hidrogênio. Portanto, sem dúvida a hidrogenação é uma das reações mais úteis para o químico orgânico sintético. É muito difícil selecionar reações específicas que demonstre a versatilidade desse reagente. A reação conhecida como hidrogenação pode ser catalítica, ou não, em baixa ou alta pressão, sendo uma das reações mais úteis e abrangentes disponível para realizar essas

transformações. O químico orgânico sintético utiliza bastante essa reação, pois a maioria dos grupos funcionais pode facilmente reagir com o hidrogênio em condições brandas. Dependendo das condições reacionais essas reações podem ser realizadas com alta quimio-, regio- e estereosseletividade. As reações de redução com hidrogênio podem utilizar catalisadores heterogêneos ou homogêneos. É importante ressaltar que a grande maioria das reações de redução com hidrogênio são realizadas com catalisadores heterogêneos que formam duas fases distintas (sólidos em meio gasoso ou líquido). Na Figura 6 foram selecionadas algumas destas importantes reações envolvendo transformações de grupos funcionais com o uso do hidrogênio.

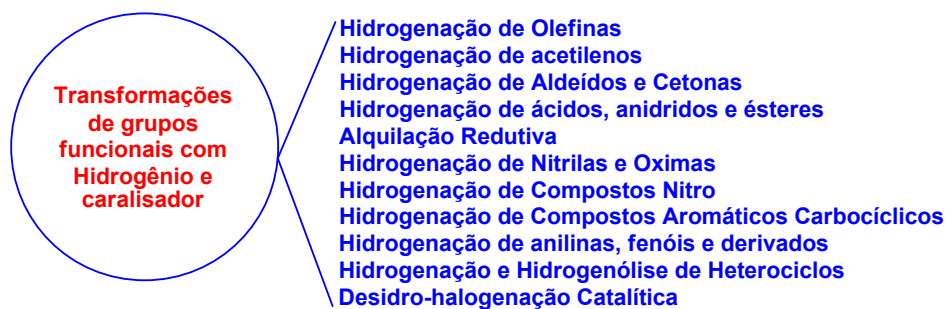


Figura 6. Transformações de grupos funcionais com Hidrogênio

Os catalisadores homogêneos se dissolvem no meio líquido, formando apenas uma única fase. Há uma grande variedade de catalisadores e suportes capazes de promoverem as hidrogenações. Essas reações em condições homogêneas ou heterogêneas estão relatadas em diversos livros e artigos de revisão.⁴⁰ Essas reações são de amplo escopo de utilidade e podem ser realizadas em laboratório com hidrogenadores simples de bancada (Figura 4) ou hidrogenadores para uso em escala industrial (ex. hidrogenação parcial de óleos vegetais), como por exemplo, na indústria oleoquímica onde tem grande importância na produção de óleos vegetais mais saturados (ex. soja, girassol e óleo de linhaça) para uso como biodiesel e nos biolubrificantes de baixa viscosidade e alta estabilidade oxidativa e térmica.

Nas refinarias o hidrogênio é usado em processos de craqueamento de óleos para remover compostos de enxofre e nitrogênio.⁴¹ A valorização de óleos vegetais renováveis e seus produtos representa uma alternativa sustentável aos produtos da química fina produzidos a partir do petróleo não-renovável e biocombustíveis.⁴² Esses produtos naturais abundantes podem ser utilizados como blocos de construção para novos produtos químicos,

fármacos e materiais em aplicações industriais alimentícias e cosméticas. Não menos importante são as sínteses dos alcenos de cadeia linear com a configuração *cis*, similar aos óleos vegetais. No Esquema 1 estão destacados alguns exemplos que foram considerados significativos na redução de grupos funcionais. A redução parcial de alcino genérico ocorre em etanol absoluto para dar o desejado olefina em 83% empregando-se o clássico catalisador de Lindlar (Pd/CaCO₃/quinolina) que é comercialmente disponível.⁴³ Outro exemplo interessante onde a hidrogenação é importante são reações de redução do 5-hidroximetilfurfural⁴⁴ para a obtenção do bis(hidroximetil)furano e 2,5-bis(etoximetil)furano.⁴⁵ O 5-hidroximetilfurfural é um intermediário obtido a partir da hidrólise das biomassas lignocelulósica e reconhecido como um importante produto químico que pode ser convertido em muitos outros de alto valor agregado⁴⁶ oferecendo muitas oportunidades para o design de materiais de base biológica.^{47,48} Outros aldeídos furânicos, como o furfural, também podem ser hidrogenados seletivamente gerando importantes produtos para diversos usos nas indústrias químicas.^{49,50} Outra reação de redução com hidrogênio que vale a pena ser destacada é a transformação da celulose, um polímero de D-glucose com ligações β-1,4-glicosídicas não comestível para humanos, em D-sorbitol e D-manitol que são plataformas para a produção de isosorbido, 1,4-sorbitano, glicóis, glicerol, ácido láctico e vitamina C.⁵¹ A hidrogenação com catalisadores de Platina e Rutênio suportados convertem a celulose em D-glucose que então é reduzida aos álcoois poli-hidroxilados.⁵²

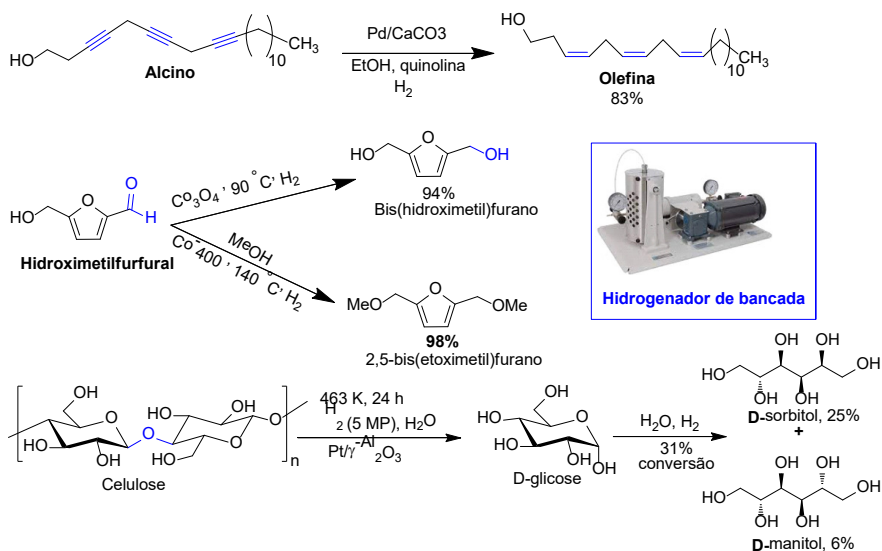


Figura 7. Exemplos de redução de grupos funcionais com hidrogênio

Processos para a Produção do Hidrogênio

Essencialmente há 4 métodos gerais de processos de produção de hidrogênio: termoquímicos (reforma do gás natural), processo de oxidação parcial de hidrocarbonetos, gaseificação do carvão e processos diretos de divisão do hidrogênio da água (eletrólise e fotoeletrólise) (Figura 8). Ainda existem os processos biológicos e radiolíticos. Os processos térmicos são bem diversificados a partir de carreadores de hidrogênio, como gás natural, carvão ou biomassa. A partir da água há os processos eletrolíticos que usam eletricidade para dividir a água em hidrogênio e oxigênio, mas também os processos diretos de divisão solar de água por fotoeletroquímico ou fotobiológico (processo biológico).⁵³

Não menos importante são os parâmetros das pesquisas para a escolha da tecnologia do processamento do combustível selecionado para a produção do hidrogênio. Esses parâmetros devem incluir projeto do reator, design e preparação do catalisador e os métodos de controle do processo. Para a sua produção existem diversos processos que se mostraram eficientes, como por exemplo, a reforma a vapor ou craqueamento térmico de gás natural ou frações de petróleo, hidrocarbonetos fósseis, biogás, materiais biológicos, ou obtido da água por eletrólise (clivagem da água em H_2 e O_2 com eletricidade).

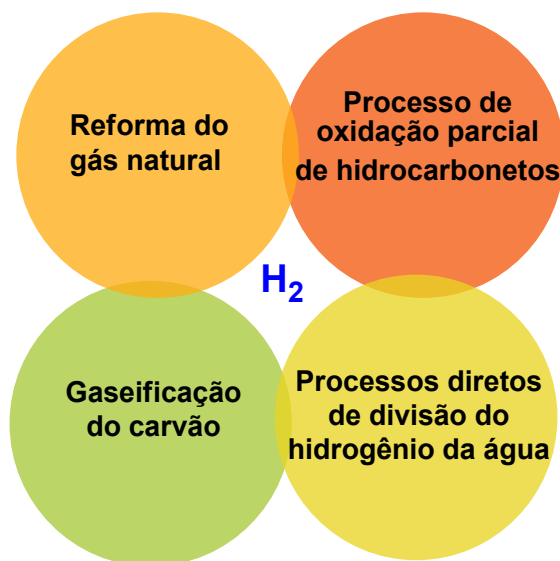


Figura 8. Principais métodos gerais de produção de hidrogênio

Como destacado na Figura 8, a produção do hidrogênio pode ser realizada por vários processos químicos e também a partir de diversas fontes renováveis e não renováveis. As fontes não renováveis incluem gás natural, petróleo e carvão. As fontes renováveis incluem água, metanol, etanol, biomassas, resíduos de biomassas e subprodutos da indústria química (exemplo biogás ou éter dimetílico). Apesar de todas as alternativas para sua produção do hidrogênio e, ele ser um combustível que pode substituir a gasolina, gás natural e o diesel em veículos automotores, essa ainda não é a realidade para o hidrogênio em diversas áreas. O fato é que em qualquer situação que se deseje utilizar o hidrogênio é preciso escolher bem o material de partida e o processo para sua produção.

A produção de hidrogênio a partir de fontes não renováveis ainda é a majoritária, no mundo, mesmo havendo diversas outras fontes energéticas disponíveis.⁵⁴ A Figura 9 resume algumas dessas fontes. Na produção por eletrólise (dividir a molécula da água em moléculas de hidrogênio e oxigênio) é usada a eletricidade produzida gerada por diversas fontes (nuclear, eólica, fotovoltaica, geotérmica, termoelétrica a base de combustíveis fósseis), processos fotoeletroquímicos, células de eletrólise microbiana, sistemas usando bioalgas, termoquímica decomposição da água, reforma do metano por vapor, onde metade do hidrogênio produzido vem do gás natural ou biogás e metade vem do vapor usado na reação, gaseificação ou pirólise de resíduos de celulose, separação. A reforma do metano (methane steam reforming, MSR) é o processo industrial que corresponde a 50% da produção mundial de hidrogênio a partir do gás natural, pois o gás natural tem o metano como principal componente associado com pequenas parcelas de etano, propano e outros hidrocarbonetos. Esse processo pode ser realizado em reatores de leito fixo e reatores de membrana que apresenta algumas vantagens.⁵⁵ Em termo de usos, destacam-se os usos na indústria petroleira onde o hidrogênio é usado para hidrogenar olefinas do petróleo bruto e aumentar a relação hidrogênio-carbono do combustível, síntese industrial do metanol, hidrogenação de óleos vegetais para uso em alimentos, tratamento de metais para a fabricação de circuitos semicondutores, combustível de foguete, vidro, metais refinados, vitaminas, cosméticos, sabões, lubrificantes, produtos de limpeza, e produção do fertilizante amônia pelo processo Haber.⁵⁶

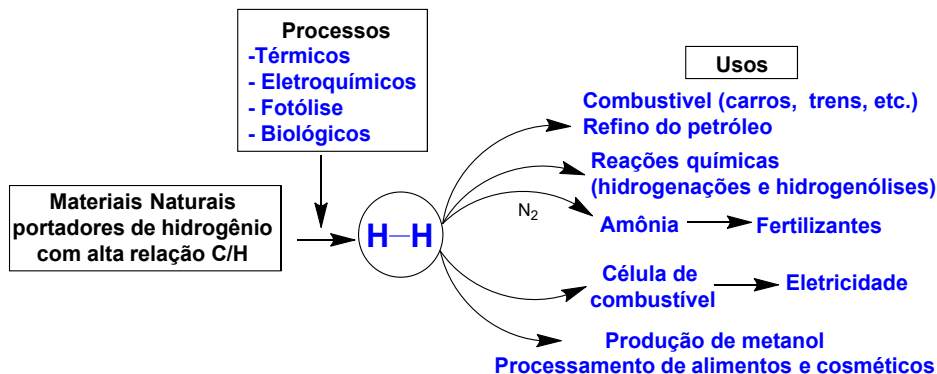
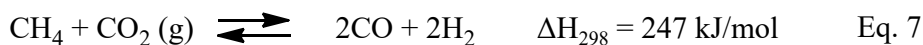
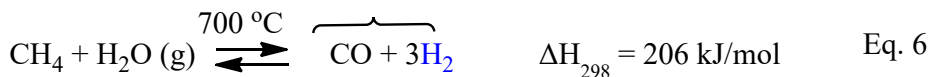


Figura 6. Materiais de partida, processos para produzir H_2 e exemplos de usos.

O processo mais antigo de produção de hidrogênio são as reações de deslocamento água-gás (water-gas shift reaction, WGSR). Essa reação foi descoberta quando o vapor de água sob alta pressão reagiu com ferro produzindo óxido de ferro e hidrogênio (Eq. 5). WGSR pode ser aplicado a outros materiais de partida ricos em hidrogênio. Quando aplicada ao carvão causa a sua gaseificação produzindo um hidrogênio de alta pureza, e com metano (gás natural ou biogás) o vapor de água converte CH_4 em H_2 e CO (Eq. 6). O catalisador mais comum usado para reações de deslocamento água-gás é o níquel, suportado em óxidos cerâmicos ou óxidos estabilizados, como alumina, magnésia, aluminato de cálcio ou aluminato de magnésio. Outros metais do grupo VIII também são ativos, mas apresentam desvantagens quanto ao preço e estabilidade. A reforma a seco de metano usando dois gases de efeito estufa, CO_2 e CH_4 (Eq. 7) é muito atrativa para a produção de hidrogênio.⁵⁷



Alta proporção H_2/CO , 3:1.



Prevê-se que o mercado global de hidrogênio cresça significativamente devido à sua crescente utilização em refinarias de petróleo e em outras indústrias-chave, como a produção de produtos químicos, processamento de metais e vidros, fabricação de veículos e muito mais. No entanto, para que o hidrogênio limpo se torne uma realidade econômica e viável em larga escala, é imperativo investir em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias. Essas pesquisas devem abordar diversos aspectos, como a redução dos custos de produção do hidrogênio por meio de métodos inovadores, o desenvolvimento de formas de armazenamento eficazes, a criação de redes de gasodutos de hidrogênio, além do aprimoramento da tecnologia para uma combustão segura e eficiente. Além disso, é crucial aumentar a durabilidade das células de combustível, a fim de garantir uma produção de energia elétrica competitiva em comparação com os motores térmicos tradicionais. Não menos importante é o contínuo aprimoramento das células de combustível, buscando aumentar sua potência e durabilidade. Essa melhoria é essencial para garantir uma geração de energia elétrica eficiente e competitiva, alinhada aos padrões cada vez mais rigorosos de sustentabilidade ambiental e econômica. Portanto, ao investir em pesquisa e desenvolvimento nas áreas mencionadas, será possível impulsionar significativamente a adoção do hidrogênio limpo como uma alternativa confiável e sustentável para as necessidades energéticas globais, promovendo assim uma transição mais rápida para uma economia de baixo carbono.

Processos Químicos de Produção de Hidrogênio

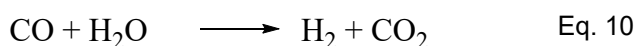
Basicamente existem três modalidades de processos e técnicas que podem ser empregados para a produção de H_2 em escala industrial usando hidrocarbonetos como matéria-prima. São conhecidas como reformas que dependem do tipo de reações que podem ser realizadas nos hidrocarbonetos ou álcoois e estas são denominadas de reforma a vapor (SR, endotérmica), oxidação parcial (POX, exotérmica) e a combinação conhecida como vapor oxidativo ou reforma autotérmica (OSR, ATR, oxidativa). Adicionalmente podem ser realizadas sob condições catalítica e não oxidativa.⁵⁸

Reformas a Vapor (SR)

Nas reformas a vapor (SR) as fontes de materiais energéticos utilizadas para produção do hidrogênio são variáveis e devem ter alta relação H/C, alta densidade de energia, transporte e facilidade de armazenamento. A SR é um processo industrial em que uma fonte de hidrocarbonetos, álcool e éter, como metano, naftas, metanol,^{59,60,61,62} etanol,⁶³ gás natural, biogás, dimetiléter^{64,65,66,}

é passado sobre um leito de catalisador sólido em alta pressão e temperatura (processo endotérmico ~900 °C, e.g. forno elétrico) com vapor de água para formar uma mistura com alta relação hidrogênio e monóxido de carbono.^{67,68} Alternativamente, biomassas vegetais servem para produção de álcool e biodiesel que podem ser usados diretamente em motores à combustão ou no caso do álcool, como fonte de hidrogênio para células a combustível, gerando energia elétrica.⁶⁹ Atualmente, a principal fonte para a produção de hidrogênio para combustível é a partir do gás natural que é rico em metano.⁷⁰ Os catalisadores mais comuns para SR são os metais nobres e metais de transição como rutênio, ródio, platina, níquel, cobre, zinco, ligas, catalisadores multicomponentes e diversos nanocatalisadores possuem excelente desempenho catalítico.⁷¹

Especificamente a reforma a vapor do metano (SMR) é o processo mais usado para a produção do gás de síntese (CO + H₂) ou da mistura hidrogênio e dióxido de carbono. A SRM é atualmente é o principal processo, e o mais econômico, para a produção de hidrogênio em larga escala em duas etapas.⁷² O SMR consiste em duas etapas e depende das condições para que a segunda etapa da reação de deslocamento com o monóxido de carbono reaja com vapor é produzir mais hidrogênio. O metano é misturado com vapor de água que é passado sobre um leito de um catalisador sob pressão em alta temperatura e para formar o syngas (Eq. 9). A segunda etapa é a reação de deslocamento na qual o monóxido de carbono reage com vapor de água para dióxido de carbono e liberar uma molécula de hidrogênio (Eq. 10).

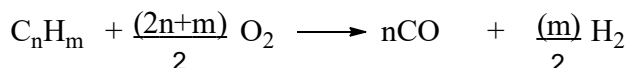


Como a reforma a vapor é um processo endotérmico, ele necessita de uma fonte externa de calor. Uma das alternativas é o processo reforma do gás natural (metano), carvão e óleos impulsionados por energia solar térmica concentrada.⁷³ A reforma solar é um processo termoquímico sustentável mais avançado que utiliza a energia solar para promover a reação WGSR. A combinação energia solar e reforma a vapor de materiais carbonáceos ou água para produzir hidrogênio pode ser realizada por três caminhos possíveis: solar termólise, que é a separação fotoquímica da molécula de água^{74,75,76}, reforma solar (fotoquímico ou termoquímico), craqueamento solar (termoquímico) e gaseificação solar (termoquímico). O uso de radiação solar concentrada como fonte de energia de calor pode alcançar altas temperaturas suficiente para

conduzir uma transformação química endotérmica.^{77,78,79} Alternativamente pode-se utilizar outras fontes de energia como nuclear ou geotérmica como fontes de calor para a produção de hidrogênio.

Reforma por Oxidação Parcial (POX)

A reforma por oxidação parcial (POX) ou thermal (noncatalytic) partial oxidation (TPOX) é um processo onde uma fonte de C/H (natural gas, fuel oils, gas oils, methane, metanol, DME, coal) é misturado com uma quantidade limitada de oxigênio (subestequiométrica) e parcialmente queimado em uma câmara de pré-combustão. Como toda a oxidação é uma reação exotérmica, parte do calor da combustão é liberada sob a forma de calor e a temperatura do gás alcança aproximadamente 870 °C. Nessas condições forma-se um fluxo de syngas rico em hidrogênio que pode ser usado posteriormente numa máquina, por exemplo, em uma célula de combustível para gerar eletricidade. Esse processo de oxidação parcial, não catalítico, foi desenvolvido pela Texaco e Shell e tem como vantagem a capacidade de poder utilizar quase todos os materiais energético carbonáceos de alto e baixos pesos moleculares (e.g. metanol,^{80,81} etanol,⁸² DME,⁸³ coque de petróleo).⁸⁴



Processo de Reforma Autotérmica (ATR)

Uma das aplicações mais importantes e promissoras para o uso do hidrogênio e que impactaria consideravelmente o aquecimento global seria o seu uso como combustível para veículos em transportes públicos. Nesse aspecto, os reatores que utilizem os processos combinados SR ou POX para produção de H₂ ou syngas (com alta relação H₂/CO) não são tecnologias atraentes para essas aplicações. automotivas, considerando a simplicidade do sistema e pureza do produto. O processo ATR pode ser operado sob condições exotérmicas suas para compensar a dissipação de calor durante a produção de hidrogênio. Porém, a reforma autotérmica poderia ser uma alternativa combinando SR e POX, onde o calor para promover SR pode ser fornecido pela energia liberada na oxidação parcial (POX).⁸⁵ Esse processo é de baixo investimento e livre de fuligem, pois utiliza um reator simples com queimador e um catalisador de leito fixo. A principal aplicação desse tipo de reator foi para a síntese de

amônia e metanol. Recentemente, Kim *et al.*⁸⁶ desenvolveram um processo de reforma autotérmica (ATR) do éter dimetílico (DME) integrado com células de combustível de membrana para fornecer energia externa adequada para ser usada em um veículo automotivo.

Produção de Hidrogênio a partir de Biomassas

As biomassas renováveis primárias são compostas de vários polímeros obtidos de plantas, algas, fungos, crustáceos e insetos. Em termos de produção de energia são considerados combustíveis sólidos. Os mais abundantes são celulose, quitina e o amido, sendo a celulose e o amido originalmente formadas através do processo de fotossíntese. Essas biomassas são polímeros baseados em unidades de carboidratos, normalmente a D-glucose ou D-glucosamina. Os mais importantes para a alimentação são o amido produzido pelas plantas verdes, um polímero homopolissacarídeo constituído de D-glucose com ligações α -1,4-glicosídicas, solúvel em água e que constitui os alimentos como milho, arroz, trigo, batata, mandioca e muitos outros vegetais de grande importância nutricional e industrial. Da D-glucose dessas biomassas pode-se produzir etanol e muitos outros produtos químicos. A celulose é a biomassa mais abundante do planeta baseada em D-glucose não digerível para humanos devido à configuração das ligações β -1,4-glicosídicas e consiste em 50% da composição da madeira. É um polissacarídeo bastante resistente à degradação, mas existem muitos processos envolvendo enzimas, ácidos minerais, bases e água supercrítica⁸⁷ que quebram as unidades glicosídicas. Pode existir em uma forma bastante pura nos pelos das sementes do algodão, onde o teor de celulose é superior a 90% em peso. A quitina é o segundo polissacarídeo natural mais abundante na natureza, ficando atrás apenas da celulose, e tem a vantagem de apresentar taxa de reposição duas vezes superior. Na natureza, a quitina é encontrada na parede celular dos fungos e no exoesqueleto dos artrópodes, e suas funções estão relacionadas com formação de estruturas e proteção. Esse polissacarídeo é constituído por uma longa cadeia de *N*-acetil- β -D-glicosamina (2-acetamido-2-desoxi-D-glicopirranose), unidas entre si por seus carbonos 1 e 4 em ligações glicosídicas β (1,4'). Comparando a sua estrutura com a da celulose observa-se a mesma distribuição e arranjos espaciais dos anéis pirâmicos, porém o grupo hidroxila do carbono C-2 foi substituído por um grupo amino acetilado. A quitina também não é digerida pelos animais vertebrados devido a ligação β (1,4')⁸⁸ As biomassas abundantes (primárias e secundárias) têm origens e composições diferentes e devem ser tratadas por rotas diferentes para a produção do gás de síntese (syngas) e hidrogênio, principalmente as biomassas baseadas em carboidratos derivadas de plantas, lixo e algas. As bio-

massas secundárias se referem aos resíduos gerados nas atividades agrícolas, florestais, humanas e urbanas (waste). Esses materiais são extremamente valiosos e podem ser aproveitados para gerar materiais energéticos como óleos, biocharcoal, biogás e hidrogênio. São conhecidas como fontes secundárias de biomassa e incluem: bagaço de cana, resíduos da indústria da laranja e outras frutas comerciais, resíduos das diversas palmas, glicerol do biodiesel, plantas aquáticas, dejetos animais (esterco), gorduras do esgoto urbano, pó de café, casca de arroz, resíduos de alimentos, etc.^{89,90} Apesar do ciclo fotossíntese/biomassa/hidrogênio ser relativamente simples, a obtenção de hidrogênio desses materiais não é tão simples (Figura 7).

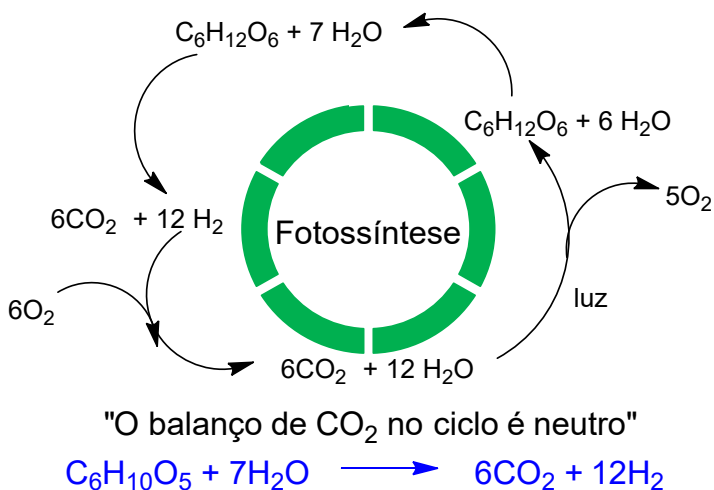


Figure 7. Ciclo estequiométrico fotossíntese/ biomassa baseada em carboidratos

Processo de Produção de hidrogênio por Pirólise

O processo de pirólise das biomassa lignocelulósicas (celulose, hemicelulose e lignina) se inicia por um aquecimento rápido em altas temperaturas (400 a 600 °C) na ausência de oxigênio.^{91,92} Nessas condições são formados, além do hidrogênio, metano, etano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, alcatrão, óleos, carbono e outros produtos sólidos, líquidos e gasosos. A distribuição desses produtos depende da natureza da biomassa. A produção de hidrogênio depende de diferentes parâmetros, como composição da biomassa, teor de umidade, tamanho das partículas, taxa de aquecimento, temperatura,

gás inerte, sistema de reator e catalisador na produção.⁹³ O metano formado e outros hidrocarbonetos formados, também podem ser convertidos em hidrogênio por outros métodos (*steam methane reforming* ou SMR, oxidação parcial e *water-gas shift reaction* ou WGSR). Os processos de reforma das biomassas para produção de hidrogênio incluem reforma a vapor, oxidação parcial, reforma a seco e reforma autotérmica (combinação de oxidação parcial com reforma adiabática a vapor). Nesse processo, praticamente todo tipo de biomassas primária e resíduos podem ser usados para geração de hidrogênio (ex. bagaço de azeitona, resíduos de coco, palha de arroz; madeira de algodão, pinho etc.)⁹⁴ e outros gases. O sistema do reator de leito fixo pode ter dois estágios para reformar o metano e hidrocarboneto leve gerado na pirólise.⁹⁵ A reação de pirólise pode ser ilustrada por uma reação simples mostrada na Eq.11.



Produção de hidrogênio por Gaseificação Termoquímica da Biomassa

A gaseificação termoquímica da biomassa ou resíduos de biomassa, é um processo endotérmico. Ele é uma alternativa viável para a produção de hidrogênio renovável, desde que a energia venha de fonte renovável.⁹⁶ A biomassa sólida é transformada em gás ou líquido, como o metanol, por um processo denominado de gaseificação onde o vapor de água age como um oxidante. É um processo economicamente atrativo, tendo em vista que não libera emissões líquidas de carbono (forma de CO_2), ou seja, não há saldo de CO_2 formado na fotossíntese. Sob essas condições o rendimento máximo teórico é de 165 g H_2 /kg de biomassa. O metanol é produzido pela reforma a vapor a partir de hidrogênio e monóxido de carbono e pode ser um intermediário entre as biomassas sólidas e um combustível líquido, que pode ser usado para produzir o hidrogênio limpo sem emissões de óxidos de nitrogênio e enxofre durante a combustão. Como a produção das biomassas consomem energia solar, CO_2 e H_2O do ambiente através da fotossíntese e liberam oxigênio, a degradação controlada dessas biomassas leva a produção de CO_2 e hidrogênio. Em comparação com as fontes fósseis para a produção de hidrogênio, o uso de biomassa é considerado como um processo neutro em carbono (CO_2), pois ele é capturado via fotossíntese durante o crescimento da biomassa e reduz a emissão de gases de efeito estufa. O hidrogênio ao ser usado numa célula de combustível reage com oxigênio e produz energia e água. Esse processo

de reforma das biomassas é similar fabricação comercial de hidrogênio pela reforma química catalítica do metano do gás de síntese com vapor de água.⁹⁷

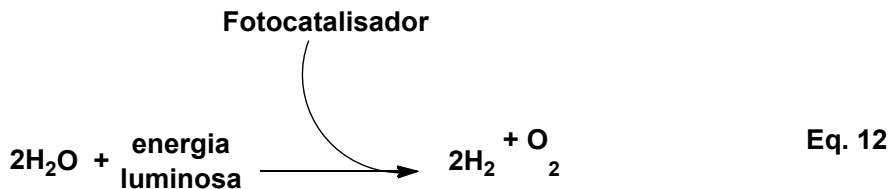
Os processos de gaseificação das biomassas produzem o syngas e a partir deste pode-se obter o metanol que posteriormente pode ser transformado em uma variedade de derivados, tais como, os hidrocarbonetos usados como combustíveis através da tecnologia Fischer-Tropsch. No entanto, o processo de gaseificação produz resíduos como o alcatrão e outros subprodutos, que precisam ser removidos antes do passo de síntese de combustível líquido.⁹⁸

Bioprocessos de Produção de Hidrogênio

Como já foi destacado, o gás hidrogênio pode ser sintetizado por muitos processos químicos, mas ele também pode ser produzido nos bioprocessos envolvendo micro-organismos em condições fermentativas anaeróbicas.^{99,100} Dentro dessa área encontram-se os processos como bio-fotólise promovida por algas, e dark- e foto-fermentação de materiais promovida por bactérias a partir de biomassas. Os substratos para que as bactérias produzam hidrogênio nos processos fermentativos geralmente são os materiais contendo carboidratos. A fermentação escura¹⁰¹ e foto-fermentativa são métodos de produção do hidrogênio por diversas cepas de bactérias a partir de resíduos sólidos de biomassas da agroindústria e da indústria alimentícia ricas em carboidratos (celulose, amido e de materiais lignocelulósicos). O uso dessas biomassas (wastes) dos resíduos alimentícios domésticos além de produzir hidrogênio limpo, promove o tratamento de resíduos sólidos das cidades.^{102,103,104}

Fotólise da água (Water Splitting)

A fotólise da água é um processo químico no qual a água é decomposta em oxigênio e hidrogênio através da luz, geralmente a luz solar, na presença de um catalisador. Esse processo ocorre naturalmente na fotossíntese, o processo pelo qual as plantas convertem energia solar em energia química para produzir glicose e oxigênio.¹⁰⁵ A reação química geral da fotólise da água pode ser representada na Equação 12. A fotólise da água é um passo fundamental na produção de oxigênio na Terra, pois é responsável pela liberação do oxigênio molecular necessário para a respiração de muitas formas de vida aeróbicas. Além disso, é um processo essencial para a fotossíntese, que é a base da cadeia alimentar e do ciclo do oxigênio no planeta.



Nesta equação, a energia luminosa é absorvida pela água com auxílio de um fotocatalisador, o que leva à quebra das ligações moleculares formando H_2 e O_2 (eletrolise ou fotocátalise). São três etapas sequenciais: (i) absorção de fótons com energias mais altas que o *bandgap* dos fotocatalisadores, levando à excitação de pares elétron-buraco nas partículas, (ii) separação de carga e migração desses portadores fotoexcitados, e (iii) reações químicas superficiais baseadas nesses transportadores.¹⁰⁶ O hidrogênio pode então ser utilizado em diversos processos metabólicos, enquanto o oxigênio é liberado como um subproduto. A divisão da água é um processo fascinante com implicações profundas em vários campos, desde a produção de energia renovável até à sustentabilidade ambiental. Essencialmente, a divisão da água envolve a quebra das moléculas de água (H_2O) em seus elementos constituintes, hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2). Este processo de eletrolise é o método mais conhecido de divisão da água. Que envolve a passagem de uma corrente elétrica pela água. A fotocátalise, por outro lado, utiliza energia luminosa para conduzir a reação de divisão da água. Essa abordagem normalmente envolve fotocatalisadores de óxidos metálicos, que absorvem fótons e geram pares elétron-buraco. Esses elétrons e buracos fotoexcitados podem então participar de reações redox na superfície do catalisador, levando à divisão da água em hidrogênio e oxigênio. A fotocátalise tem merecido uma atenção, pois pode ser usado em exploração espacial onde houver água e luz.¹⁰⁷

Células de combustível e produção de hidrogênio

É bem conhecido que hidrogênio é uma molécula energética, abundante no universo, capaz de armazenar energia em sua ligação química e que pode ser eficientemente convertido em energia elétrica ou calor por combustão. O que tem atraído muitas pesquisas é o processo de conversão do hidrogênio em energia elétrica (50-70%) sem produzir poluentes. Os equipamentos que podem fazer essa conversão são chamados de células de combustível (Figura 8). Esses dispositivos são conhecidos há quase 200 anos e convertem eletroquimicamente a energia química livre de reagentes gasosos ou líquidos em energia elétrica e, desta forma, podem movimentar diversas máquinas.

As células de combustível convertem eletroquimicamente a “energia livre” química de reagentes gasosos ou líquidos em energia elétrica. Os conceitos básicos da química das células de combustível foram identificados pela primeira vez no final da década de 1830 por Christian Friedrich Schönbein, que a reconheceu como “eletrólise inversa”.

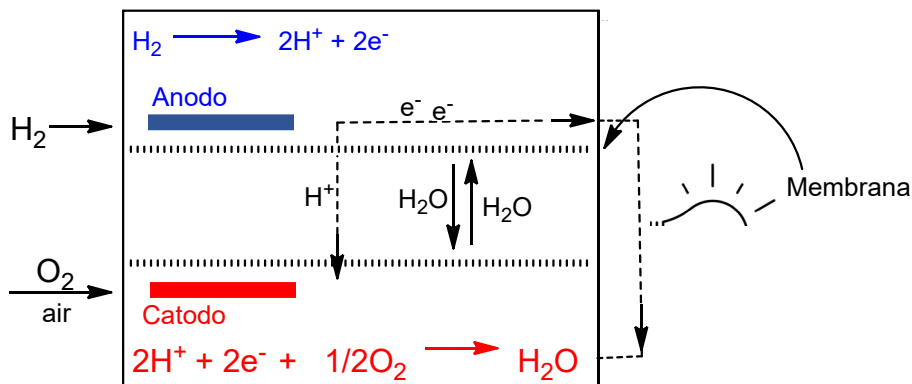


Figura 8. Esquema genérico de uma célula de combustível

As células de combustível (*fuel cells* em inglês) são conhecidas mundialmente como dispositivos eletroquímicos capazes de gerar eletricidade através de uma reação redox. São altamente eficientes, silenciosas, convenientes e ambientalmente recomendáveis (poluição zero), que utilizam principalmente o hidrogênio ou gás rico em hidrogênio combustível. Essas células tem excelente potencial para substituir os combustíveis fósseis em várias aplicações. O subproduto das células de combustível é emissão de água pura. As moléculas de hidrogênio são quebradas no anodo em dois prótons (H^+) e são capturados dois elétrons (e^-). Os prótons passam através de uma membrana eletrolítica e os elétrons fluem através de um circuito externo, criando eletricidade a partir da energia química armazenada no hidrogênio. Os prótons se combinam com moléculas de oxigênio (ar) que reagem para formar água como subproduto (Figura 8).¹⁰⁸

Existem diferentes tipos de células de combustível, cada uma com suas próprias características e aplicações específicas. As mais comuns incluem células de combustível de hidrogênio-oxigênio, células de combustível de metanol, células de combustível de óxido sólido (SOFCs) e células de combustível de membrana de troca de prótons (PEMFCs). As PEMFCs são frequentemente utilizadas em veículos elétricos devido à sua alta eficiência, baixas emissões e rápida resposta às mudanças na demanda de energia.¹⁰⁹ Elas

funcionam com hidrogênio e oxigênio do ar, produzindo eletricidade e água como subprodutos. No entanto, a infraestrutura de abastecimento de hidrogênio ainda é limitada, o que representa um desafio significativo para a adoção em larga escala desses veículos. Já as SOFCs operam em temperaturas mais elevadas e podem usar uma variedade de combustíveis, incluindo hidrogênio, metano e gases de síntese. Devido à sua alta eficiência e flexibilidade de combustível, elas são frequentemente utilizadas em aplicações estacionárias, como sistemas de geração distribuída, cogeração e aplicações militares.¹¹⁰ Além disso, as células de combustível também estão sendo exploradas em outras áreas, como eletrônica portátil, sistemas de energia para espaçonaves e aplicações estacionárias de backup de energia.^{111,112} No entanto, há desafios a serem superados, como a redução dos custos de fabricação, o aumento da durabilidade e a expansão da infraestrutura de abastecimento de hidrogênio.

As células de combustível representam a tecnologia mais promissora para a transição para uma economia de energia mais limpa e sustentável, oferecendo uma alternativa viável aos combustíveis fósseis em uma variedade de aplicações. O desenvolvimento contínuo e a adoção em larga escala dessas tecnologias têm o potencial de desempenhar um papel significativo na mitigação das mudanças climáticas e na redução da dependência dos combustíveis fósseis.

Considerações Finais

O crescimento populacional e a deterioração do clima da Terra demandam ações mais enérgicas em prol da energia limpa, especialmente considerando que a energia está intrinsicamente ligada a todos os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU. É crucial criar alternativas que eliminem a dependência dos recursos fósseis na geração de energia para os usos atuais. Estima-se que até 2050, o mundo necessitará de 30 TW de energia elétrica para sustentar uma população de aproximadamente 9 bilhões de pessoas. O hidrogênio verde emerge como o combustível do futuro, a ser explorado através do processo de eletrólise da água. Não menos importante é o hidrogênio azul, que envolve a captura e o armazenamento do CO₂ gerado em bolsões antes ocupados pelo gás natural. Todas as empresas que realizam pesquisas de mercado global indicam um crescimento na produção de hidrogênio verde até 2050. Esse combustível é leve, armazenável e versátil, capaz de gerar calor ou eletricidade de forma eficiente, sem produzir emissões diretas de poluentes ou gases de efeito estufa. No entanto, ainda existem diversos desafios tecnológicos a serem superados, pois atualmente estamos produzindo hidrogênio principalmente a partir de combustíveis fósseis, sem a captura e armazena-

mento do CO_2 . O hidrogênio verde desponta como uma opção extremamente promissora a curto prazo, embora seja plausível que no futuro a fotólise da água se torne o processo mais economicamente viável. Cabe destacar que o hidrogênio possui um amplo espectro de aplicação na produção de energia limpa em diversas áreas, e sua utilização pode ser expandida para outras indústrias. Suas aplicações já estão presentes em muitos produtos utilizados na sociedade até o momento. A divulgação deste artigo visa ressaltar que o hidrogênio está destinado a se tornar uma fonte energética limpa, segura e acessível, porém, para que isso se concretize, é crucial que a sua produção seja realizada em larga escala.

Referências

- 1 ABDALLA, A. N., NAZIR, M.S., TAO, H., CAO,S., JI,R., JIANG,M., YAO.L. Integration of energy storage system and renewable energy sources based on artificial intelligence: An overview. *Journal of Energy Storage* 2021, 40, 102811. [Crossref]
- 2 ZOU,C.,ZHAO,Q., ZHANG,G., XIONG, B. Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. *Natural Gas Industry B* 2016, 3, 1-11. [Crossref]
- 3 MA,S., CHEN,G., GUO,M., ZHAO,L., HAN,T.,ZHU,S. Path analysis on CO2 resource utilization based on carbon capture using ammonia method in coal-fired power Plants. *Renew Sustain Energy Rev.* 2014, 37, 687-697. [Crossref]
- 4 LIMA,A.L.,GONÇALVES,A.D. FERNANDES,D.R., SANTOS,T.C., MOTA,C.J.A.. Química e Circularidade. *Rev. Virtual Quim.*, 2024, 16, 138-156. [Crossref]
- 5 AHMAD,T.,ZHANG,D. A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far. *Energy Reports* 2020, 6, 1973-1991. [Crossref]
- 6 ZOU, C., MA,F, PAN,S, LIN,M., ZHANG,G., XIONG,B, WANG,Y., LIANG Y., YANG, Z.. Earth energy evolution, human development and carbon neutral strategy. *Petroleum Exploration and Development* 2022, 49, 468-488. [Crossref]
- 7 HASSAN, Q., VIKTOR, P., AL-MUSAWI, T. J., ALI, B.M., ALGBURI, S., ALZOUBI, H.M., AL-JIBOORY, A.K., SAMEEN, A.Z., SALMAN,H.M., JASZCZUR, M. The renewable energy role in the global energy Transformations. *Renewable Energy Focus* 2024, 48, 100545. [Crossref]
- 8 RAHMAN, A., FARROK,O., HAQUE,M.M.. Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2022, 161, 12279. [Crossref]
- 9 SHORTALL,R.,DAVIDSDOTTIR,B.,AXELSSON,G. Geothermal energy for sustainable development: A review of sustainability impacts and assessment frameworks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2015, 44, 391-406. [Crossref]
- 10 GUALTIERI, G. A comprehensive review on wind resource extrapolation models applied in wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2019, 102, 215-233. [Crossref]
- 11 VON ZUBEN;T.W., MOREIRA,D.E.B.; GERMSCHIEDT,R,L.;YOSHIMURA,R,G.; DORRETTO, D.S.; ARAUJO,A.B.S.; SALLES JR.,A.G.; BONACIN, J.A.. Is Hydrogen Indispensable for a Sustainable World? A Review of H2 Applications and Perspectives for the Next Years. *J. Braz. Chem. Soc.* 2022, 33, 824-843. [Crossref]

- 12 HERMESMANN, M., MÜLLER, T.E.. Green, Turquoise, Blue, or Grey? Environmentally friendly Hydrogen Production in Transforming Energy Systems. *Progress in Energy and Combustion Science* **2022**, 90, 100996. [Crossref]
- 13 ZHOU, S.H., DAI, F.T., CHEN, Y.A., DANG, C. , ZHANG, C.Z., LIU, D.T., HAISONG, Q. Sustainable hydrothermal self-assembly of hafnium-lignosulfonate nanohybrids for highly efficient reductive upgrading of 5-hydroxymethylfurfural *Green Chem.*, **2019**, 21, 1421-1431. [Crossref]
- 14 <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/hydrogen-generation-market#:~:text=The%20global%20hydrogen%20generation%20market%20size%20was%20estimated%20at%20USD,USD%20136.96%20billion%20in%202022> accessed in June 09, 2022.
- 15 AMIN,M, SHAH, H.H,, FAREED,A.G., KHAN,W.U., CHUNG, E., ZIA,A., FAROOQI,Z.U.R., LEE, C.. Hydrogen production through renewable and non-renewable energy processes and their impact on climate change. *International Journal of Hydrogen Energy* **2022**, 47, 33112-33134. [Crossref]
- 16 DAWOOD, F.,ANDA,M.,SHAFIULLAH,G.M.. Hydrogen production for energy: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy* **2020**, 45, 3847-3869.[Crossref]
- 17 AJANOVIC, A.; SAYER, M.; HAAS, R. The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen. *Int. J. Hydrogen Energy* **2022**, 47, 24136-24154. [Crossref]
- 18 ALTER, L. There Are More Colors of Hydrogen Than Green, Blue, and Gray—Meet Brown, Turquoise, and Purple, *Treehugger, Sustainability for All*. Available online: <https://www.treehugger.com/more-colors-of-hydrogen-brown-turquoise-purple-5218320> acessado em 23/03/2024. [Link]
- 19 <https://www.alliedmarketresearch.com/grey-hydrogen-market-A74587#:~:text=The%20global%20grey%20hydrogen%20market,2.9%25%20from%202023%20to%202032> acesso em 13/03/2024.
- 20 ATILHAN,S.,PARK,S.,EL-HALWAGI,M.M.,ATILHAN,M.,MOORE,M., NIELSEN,R.B.. Green hydrogen as an alternative fuel for the shipping industry. *Current Opinion in Chemical Engineering* **2021**, 31, 100668. [Crossref]
- 21 ALHUMAIDAN,F.S.,HALABI,M.A.,RANA,M.S.,VINOBA,M. Blue hydrogen: Current status and future Technologies. *Energy Conversion and Management* **2023**, 283, 116840. [Crossref]
- 22 KUMAR,S.S., LIM,H.. An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production. *Energy Reports* **2022**, 8, 13793-13813. [Crossref]

- 23 GRIMES, C. A., VARGHESE, O. K., RANJAN, S. Light, Water, Hydrogen. The solar generation of hydrogen by water photoelectrolysis. New York, Springer, **2008**, p.17. [Crossref]
- 24 ZHU, B., CHU, W. A Green Hydrogen Era: Hope or Hype? *Environ. Sci. Technol.* **2022**, 56, 16, 11107-11110. [Crossref]
- 25 OLIVEIRA, A.M., BESWICK, R.R., YAN, Y. A green hydrogen economy for a renewable energy Society. *Current Opinion in Chemical Engineering* **2021**, 33, 100701. [Crossref]
- 26 DIAB, J., LAURENT FULCHERI, L., HESSEL, V., ROHANI, V., FRENKLACH, M.. Why turquoise hydrogen will be a game changer for the energy transition. *International Journal of Hydrogen Energy* **2022**, 47, 25831-25848. [Crossref]
- 27 FULCHERI, L., SCHWOB, Y.. From methane to hydrogen, carbon black and water. *Int J Hydrogen Energy* **1995**, 20, 197-202. [Crossref]
- 28 https://www.marketresearchfuture.com/reports/green-hydrogen-market-10083?utm_term=&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=2893753364&hsa_cam=20513425143&hsa_grp=151528861085&hsa_ad=685356700778&hsa_src=g&hsa_tgt=dsa-2193005914497&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1 acessado em 12/03/2024. [Link]
- 29 WAPPLER, M., UNGUDER, D., LU, X., OHLMEYER, H., TESCHKE, H., LUEKE, W.. Building the green hydrogen market – Current state and outlook on green hydrogen demand and electrolyzer manufacturing. *International Journal of Hydrogen Energy* **2022**, 47, 33551-33570. [Crossref]
- 30 Nota Técnica - Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio. [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20\(2\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20(2).pdf) [Link]
- 31 <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/hidrogenio-de-baixa-emissao-e-considerado-fundamental-para-a-transicao-energetica> acesso em 13/03/2024. [Link]
- 32 <https://in.gov.br/en/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-419972141> acesso em 13/03/2024. [Link]
- 33 <https://www.moneytimes.com.br/eletrobras-elet3-fecha-parceria-com-paul-wurth-para-producao-de-hidrogenio-renovavel/> acesso em 13/03/2024. [Link]
- 34 ARCOS, J.M.M.; SANTOS, D.M.F. The Hydrogen Color Spectrum: Techno-Economic Analysis of the Available Technologies for Hydrogen Production. *Gases* **2023**, 3, 25-46. [Crossref]
- 35 ZGONNIK, V. The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. *Earth-Science Reviews* **2020**, 203, 103140. [Crossref]

- 36 ARROUVEL,C., PRINZHOFER,A. Genesis of natural hydrogen: New insights from thermodynamic simulations. *International Journal of Hydrogen Energy* **2021**, 46, 18780-18794. [Crossref]
- 37 EPELLE,E.I., OBANDE,W., UDOURIOH,G.A., AFOLABI,I.C., DESONGU,K.S., ORIVRI,U., GUNES,B., OKOLIE,J.A.. Perspectives and prospects of underground hydrogen storage and natural hydrogen. *Sustainable Energy Fuels*, **2022**, 6, 3324-3343. 10.1039/D2SE00618A
- 38 HORD,J., Is hydrogen a safe fuel? *International Journal of Hydrogen Energy* **1978**, 3, 157-176. [Crossref]
- 39 <https://wha-international.com/10-hydrogen-fuel-cell-applications-you-might-not-know/> accessed in June 09, 2022.
- 40 RYLANDER,P.N. *Hydrogenation Methods*. Academic Press, NY, 1895.
- 41 RAMACHANDRAN,R.,MENON,R.K.. An overview of industrial uses of hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy* **1998**, 23, 593-598. [Crossref]
- 42 LEUNG, D. Y. C.; WU, X.; LEUNG, M. K. H. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Appl. Energy* **2010**, 87, 1083-1095
- 43 HUANG,W.,PULASKI,S.P.,MEINWALD,J.. Synthesis of Highly Unsaturated Insect Pheromones: (Z,Z,Z)-1,3,6,9-Heneicosatetraene and (Z,Z,Z)-1,3,6,9-Nonadecatetraene, *J. Org. Chem.* **1983**, 48, 2270.
- 44 KAMM,B. Production of Platform Chemicals and Synthesis Gas from Biomass. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, 46, 5056-5058 [Crossref]
- 45 LI,X.-L.,ZHANG,K, CHEN,S., CHUANG LI,C., LI,F. ,XU,H., FU,Y. A cobalt catalyst for reductive etherification of 5-hydroxymethyl-furfural to 2,5-bis(methoxymethyl)furan under mild conditions. *Green Chem.*, **2018**, 20, 1095-1105. [Crossref]
- 46 SHEN,G.,ANDRIOLETTI,B.,QUENEAU,Y..Furfural and 5-(hydroxymethyl)furfural: Two pivotal intermediates for bio-based chemistry. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* **2020**, 26, 100384. [Crossref]
- 47 GALKIN, K. I.; ANANIKOV, V. P. When Will 5-Hydroxymethylfurfural, the Sleeping Giant” of Sustainable Chemistry, Awaken? *ChemSusChem* **2019**, 12, 2976.
- 48 ROSATELLA, A. A.; SIMEONOV, S. P.; FRADE, R. F. M.; AFONSO, C. A. M. 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) as a building block platform: Biological properties, synthesis and synthetic applications. *Green Chemistry* **2011**, 13, 754.

- 49 VETERE, V. MERLO, A.B., RUGGERA, J.F., CASELLA, M.L. Transition Metal-based Bimetallic Catalysts for the Chemoselective Hydrogenation of Furfuraldehyde. *J. Braz. Chem. Soc.* **2010**, 21, 914-920.
- 50 Patricio Reyes, Daniela Salinas, Cristian Campos y Marcelo, Julie Murcia, Hugo Rojas y Gloria, José Luís García Fierro. Selective Hydrogenation of Furfural on Ir/TiO₂ Catalysts. *Quim. Nova* **2010**, 33, 777-780.
- 51 de Oliveira, P. S. M.; Ferreira, V. F.; de Souza, M. V. M. Utilização do D-manitol em síntese orgânica. *Química Nova* **2009**, 32, 441.
- 52 Atsushi Fukuoka, Paresh L. Dhepe. Catalytic Conversion of Cellulose into Sugar Alcohols. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2006**, 45, 5161-5163. <https://doi.org/10.1002/anie.200601921>
- 53 SCHÖNBEIN, C.F. On the voltaic polarization of certain solid and fluid substances. *Philos. Mag. Ser.* **1839**, 14, 43-45. [Crossref]
- 54 SINHA P, PANDEY A. An evaluative report and challenges for fermentative biohydrogen production. *Int J Hydrog Energy* **2011**, 36, 7460-7478. [Crossref]
- 55 IULIANELLI, A., LIGUORI, S., WILCOX, J., BASILE, A.. Advances on methane steam reforming to produce hydrogen through membrane reactors technology: A review. *Catalysis Reviews* **2016**, 58, 1-35. [Crossref]
- 56 GRIMES, C.A., VARGHESE, O.K., RANJAN, S. Light, Water, Hydrogen. The solar generation of hydrogen by water photoelectrolysis. New York, Springer, LLC; **2008**, p.9. [Crossref]
- 57 PINHEIRO, A.L.; PINHEIRO, A.N.; VALENTINI, A.; FILHO, J.M.; DE SOUSA, F.F.; DE SOUSA, J.R.; ROCHA, M.; DA GRAÇA, C.; BARGIELA, P.; OLIVEIRA, A.C. Analysis of coke deposition and study of the structural features of MAI₂O₄ catalysts for the dry reforming of methane. *Catal. Commun.* **2009**, 11, 11-14.
- 58 HAVVA, B. ELIF, K.. Hydrogen from biomass - Present scenario and future prospects. *Int J Hydrogen Energy* **2010**, 35, 7416-26. [Crossref]
- 59 LIU X, TOYIR J, Ramírez de la Piscina P, Homs N. Hydrogen production from methanol steam reforming over Al₂O₃- and ZrO₂-modified CuOZnOGa₂O₃ catalysts. *Int J Hydrogen Energy* **2017**, 42, 13704-13711.
- 60 HARYANTO, A., FERNANDO, S., MURALI, N., ADHIKARI, S. Current status of hydrogen production techniques by steam reforming of ethanol: a review. *Energy Fuel* **2005**, 19, 2098-2106.
- 61 PÉREZ-HERNÁNDEZ R., GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ A., GUTIÉRREZ-WING C.E. Effect of Cu loading on CeO₂ for hydrogen production by oxidative steam reforming of methanol. *Int. J. Hydrogen Energy* **2007**, 32, 2888-2894.

- 62 DALENA,F., SENATORE,A., MARINO,A., GORDANO,A., BASILE,M., BASILE,A.. Methanol Production and Applications: An Overview in Methanol. Ed(s): Angelo Basile, Francesco Dalena, Elsevier, **2018**, 3-28. [Crossref]
- 63 MATTOS, L. V., JACOBS, G., DAVIS, B. H., NORONHA, F.B. Production of hydrogen from ethanol: review of reaction mechanism and catalyst deactivation. Chem. Rev. **2012**, 112, 4094-123.
- 64 SEMELSBERGER,T.A.,BORUP,R.L.,GREENE,H.L., Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel. Journal of Power Sources **2006**, 156, 497-511. [Crossref]
- 65 GONZÁALEZ-GIL R., HERRERA, C., LARRUBIA, M. A., KOWALIK, P., PIETA, I. S., ALEMANY, L. J. Hydrogen production by steam reforming of DME over Ni-based catalysts modified with vanadium. Int. J. Hydrogen Energy **2016**, 41, 19781-19788.
- 66 ZHANG,Q.,LI,X.,FUJIMOTO,K, ASAMI,K.. Hydrogen production by partial oxidation and reforming of DME. Applied Catalysis A: General **2005**, 288, 169-174. [Crossref]
- 67 ZHAI, X.; DING, S.; LIU, Z.; JIN, Y.; CHENG, Y. Catalytic performance of Ni catalysts for steam reforming of methane at high space velocity. International Journal of Hydrogen Energy **2011**, 36, 482-489. [Crossref]
- 68 FAJÍN,J.L.C.,CORDEIRO,M.N.D.S., Light alcohols reforming towards renewable hydrogen production on multicomponent catalysts. Renewable and Sustainable Energy Reviews **2021**, 138, 110523. [Crossref]
- 69 MAIA, T.A.,BELLIDO, J.D.A.,ASSAF,E.M., ASSAF,J.M.. Produção de hidrogênio a partir da reforma a vapor de etanol utilizando catalisadores Cu/Ni/ γ -Al₂O₃. Quim. Nova **2007**, 30, 339-345.
- 70 SCHEN,S.Y., LI,C.,REN,H.J.. Design and optimization of reforming hydrogen production reaction system for automobile fuel cell. International Journal of Hydrogen Energy **2021**, 46, 25252-25263. [Crossref]
- 71 FAJÍN,J.L.C.,CORDEIRO, M.N.D.S.. Insights into the Mechanism of Methanol Steam Reforming for Hydrogen Production over Ni–Cu-Based Catalysts. ACS Catal. **2022**, 12, 1, 512-526. [Crossref]
- 72 ARMOR,J.N. The multiple roles for catalysis in the production of H₂. Applied Catalysis A: General **1999**, 176, 159-176. [Crossref]
- 73 KODOMA T, KONDOH Y, KIYAMA A, SHIMIZU K Hydrogen production by solar thermochemical water splitting/methane-reforming process. International Solar Energy Conference **2003**, 121-128.
- 74 LEDE, J., RICART, E.E., FERRER, M. Solar thermal splitting of zinc oxide: A review of some of the rate controlling factors. J Solar Energy Eng **2001**, 123, 91-97.

- 75 AGRAFIOTIS, C., ROEB, M., KONSTANDOPOULOS, A. G., NALBANDIAN, L., ZASPALIS, V.T., SATTLER C, STOBBE, P., STEELE, A. M., Solar water splitting for hydrogen production with monolithic reactors. *Sol Energy* **2005**, 79, 409-421.
- 76 WEGNER, K., LY, H. C., WEISS, R. J. PRATSINIS, S. E., STEINFELD, A. In situ formation and hydrolysis of Zn nanoparticles for H₂ production by the 2-step ZnO/Zn water-splitting thermochemical cycle. *Int J Hydrogen Energy* **2006**, 31, 55-61.
- 77 STEINFELD, A.. Solar thermochemical production of hydrogen-a review. *Solar Energy* **2005**, 78, 603-615. [Crossref]
- 78 YADAV, D., BANERJEE, R.. A review of solar thermochemical processes, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2016**, 54, 497-532. [Crossref]
- 79 GUNAWAN, A., SINGH, A.K.. A solar thermal sorption-enhanced steam methane reforming (SE-SMR) approach and its performance assessment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* **2022**, 52, Part A, 102036. [Crossref]
- 80 OU, T., CHANG, F., L., ROSELIN, L.S.. Production of hydrogen via partial oxidation of methanol over bimetallic Au-Cu/TiO₂ catalysts. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* **2008**, 293, 8-16. [Crossref]
- 81 HOHN KL, LIN YC. Catalytic partial oxidation of methanol and ethanol for hydrogen generation. *Chem Sus Chem* **2009**, 2, 927-40.
- 82 HOHN, K. L., LIN, Y. C. Catalytic partial oxidation of methanol and ethanol for hydrogen generation. *Chem Sus Chem* **2009**, 2, 927-940.
- 83 ZHANG, Q., XIAOHONG LI, X., FUJIMOTO, K., ASAMI, K. Hydrogen production by partial oxidation and reforming of DME. *Applied Catalysis A: General* **2005**, 288, 169-174. [Crossref]
- 84 SPEIGHT, J.G.. Gasification processes for syngas and hydrogen production in *Gasification for Synthetic Fuel Production* Editor(s): Rafael Luque, James G. Speight. Woodhead Publishing Series in Energy **2015**, 119-146, [Crossref]
- 85 RAMPE T, HEINZEL A, VOGEL B. Hydrogen generation from biogenic and fossil fuels by autothermal reforming. *J Power Sources* **2000**, 86, 536-41.
- 86 ZHANG, T., MALIK, F.R., JUNG, S., KIM, Y.. Hydrogen production and temperature control for DME autothermal reforming process. *Energy* **2022**, 239, Part A, 121980. [Crossref]
- 87 ANTAL, M.J., ALLEN, S.G., SCHULMAN, D., XU, X., DIVILIO, R.J. Biomass gasification in supercritical water. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2000**, 39, 4040-4053.
- 88 KHATTAK, S.; WAHID, F.; LIU, L.-P.; JIA, S.-R.; CHU, L.-Q.; XIE, Y.-Y.; LI, Z.-X.; ZHONG, C. Applications of cellulose and chitin/chitosan derivatives and composites as anti-

bacterial materials: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology* **2019**, 103, 1989.

- 89 L. CAO, I.K.M. YU, S.S. CHEN, D.C.W. TSANG, L. WANG, X. XIONG, S. ZHANG, Y.S. OK, E.E. KWON, H. SONG, C.S. POON. Production of 5-hydroxymethylfurfural from starch-rich food waste catalyzed by sulfonated biochar. *Bioresour. Technol.*, 2018, 252, 76-82.
- 90 C.M. LAM, I.K.M. YU, S.C. HSU, D.C.W. TSANG. Life-cycle assessment on food waste valorisation to value-added products. *J. Clean. Prod.* **2018**, 199, 840-848
- 91 C.L. YIIN, A.T. QUITAIN, S. YUSUP, Y. UEMURA, M. SASAKI, T. KIDA. Sustainable green pretreatment approach to biomass-to-energy conversion using natural hydro-low-transition-temperature mixtures. *Bioresour. Technol.*, **2018**, 261, 361-369.
- 92 CZERNIK,S., FRENCH,R.. Distributed production of hydrogen by auto-thermal reforming of fast pyrolysis bio-oil. *International Journal of Hydrogen Energy.* **2014**, 39, 744-750. [Crossref]
- 93 UDDIN,M.,N.; DAUD, W.M.A.W.; ABBAS, H.F.. Effects of pyrolysis parameters on hydrogen formations from biomass: a review. *RSC Adv.* **2014**, 4, 10467-10490. [Crossref]
- 94 LIU,P., YUE WANG,Y., ZHOU,Z., YUAN,H., ZHENG,T., CHEN,Y.. Effect of carbon structure on hydrogen release derived from different biomass pyrolysis. *Fuel* **2020**, 271, 117638. [Crossref]
- 95 DUMAN,G., YANIK,J.. Two-step steam pyrolysis of biomass for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy* **2017**, 42, 17000-17008. [Crossref]
- 96 FANG,Y., PAUL, M.C.,VARJANI,S., LI,X., PARK,Y., YOU,S.. Concentrated solar thermochemical gasification of biomass: Principles, applications, and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2021**, 150, 111484. [Crossref]
- 97 HOOK,J.P.V.. Methane-Steam Reforming. *Catalysis Reviews: Science and Engineering* **1980**, 21, 1-51. [Crossref]
- 98 Syngas: production, applications, and environmental impact. Ed. A. Indarto, J. Palguandi. Nova Science Publishers, Inc. New York, **2011**.
- 99 BARTACEK, J. Development and constraints in fermentative hydrogen production. *Biofuels Bioprod Bioref* **2007**, 1, 201-14.
- 100 DAS, D., VEZIROGLU, T. N. Advances in biological hydrogen production processes. *Int J Hydrogen Energy* **2008**, 33, 6046-57.
- 101 HAWKES,F.R. INES HUSSY,I., KYAZZE,G., DINSDALE,R., HAWKES, D.L., Continuous dark fermentative hydrogen production by mesophilic microflora: principles and progress. *Int J Hydrogen Energy* **2007**, 32, 172-84. [Crossref]

- 102 WANG,J., WAN, W.. Factors influencing fermentative hydrogen production: A review. *International Journal of Hydrogen Energy* **2009**, 34, 799-811. [Crossref]
- 103 KAPDAN, I. K., KARGI, F. Bio-hydrogen production from waste materials. *Enz Microb Technol* **2006**, 38, 569-82.
- 104 YADAV,S. VINOTH R., YADAV, D.. Bio-hydrogen production from waste materials: A review. *MATEC Web of Conferences* **2018**, 192, 02020. [Crossref]
- 105 MARQUES,F.C.,STUMBO,A.M., CANELA, M.C.. Estratégias e materiais utilizados em fotocatalise heterogênea para geração de hidrogênio através da fotólise da água. *Quim. Nova* **2017**, 40, 561-571. [Crossref]
- 106 Particulate Photocatalysts for Light-Driven Water Splitting: Mechanisms, Challenges, and Design Strategies. *Chem. Rev.* **2020**, 120, 2, 919-985. [Crossref]
- 107 UDOM,I., HEPP,A., KULIS,M., ERGAS,S. D. GOSWAMI, JAWORSKE,D. AND JONES,C.. Enhanced TiO₂ Photocatalytic Processing of Organic Wastes for Green Space Exploration. 2013, 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting. [Crossref]
- 108 T. E. LIPMAN, A. Z. WEBER (eds.), *Fuel Cells and Hydrogen Production*, Springer Science, **2019**. [Crossref]
- 109 WANG,Y. LUO,S.,KWOK,H.Y.H.WENDING PAN, ZHANG,Y. ,ZHAO,X. LEUNG, D.Y.C.. Microfluidic fuel cells with different types of fuels: A prospective review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2021**, 141, 110806. [Crossref]
- 110 S. MEKHILEF, R. SAIDUR, A. SAFARI. Comparative study of different fuel cell technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2012**, 16, 981-989. [Crossref]
- 111 M.F. Serincan. Reliability considerations of a fuel cell backup power system for telecom applications. *J Power Sources* **2016**, 309, 66-75. [Crossref]
- 112 N. LAPEÑA-REY, J. BLANCO, E. FERREYRA, J. LEMUS, S. PEREIRA, E. SERROT. A fuel cell powered unmanned aerial vehicle for low altitude surveillance missions. *Int. J. Hydrogen Energy* **2017**, 42, 6926-6940. [Crossref]

Sobre os autores

Dr. Acacio Silva de Souza

Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde, Laboratório de Inovação em Química e Tecnologia Farmacêutica CEP 24241-000 Niterói-RJ, Brazil.
acaciosouza@id.uff.br, <https://orcid.org/0000-0002-9008-058X>

Dra. Alcione Silva de Carvalho

Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde, Laboratório de Inovação em Química e Tecnologia Farmacêutica CEP 24241-000 Niterói-RJ, Brazil.
alcionecarvalho@id.uff.br, <http://orcid.org/0000-0002-5230-4511>

Dra. Cristina Moll Hüther

Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente, CEP 24210-240, Niterói-RJ, Brazil.
cristinahuther@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-0655-5966>

Dra. Debora Omena Futuro

Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Departamento de Tecnologia Farmacêutica, Laboratório de Inovação Química e Tecnologia Farmacêutica, CEP 24241-000, Niterói-RJ, Brazil.
dfuturo@id.uff.br, <https://orcid.org/0000-0002-9152-4330>

Dr. Fernando de Carvalho da Silva

Universidade Federal Fluminense, Instituto de Química, Departamento de Química Orgânica, CEP 24020-141, Niterói-RJ, Brazil.
fcsilva@id.uff.br, <https://orcid.org/0000-0002-2042-3778>

Dra. Iva Souza de Jesus

Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde, Laboratório de Inovação em Química e Tecnologia Farmacêutica CEP 24241-000 Niterói-RJ, Brazil.
ivasouza.quimica@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0254-3589>

Dra. Luana da Silva Magalhães Forezi

Universidade Federal Fluminense, Instituto de Química, Departamento de Química Orgânica, CEP 24020-141, Niterói-RJ, Brazil.
luaneforezi@id.uff.br, <https://orcid.org/0000-0002-7657-4268>

Dra. Patricia Garcia Ferreira

Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde, Laboratório de Inovação em Química e Tecnologia Farmacêutica CEP 24241-000 Niterói-RJ, Brazil.
patricia.pharma@yahoo.com.br, <https://orcid.org/0000-0003-0640-5079>

Dr. Rafael Portugal Rizzo Franco de Oliveira

Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde, Laboratório de Inovação em Química e Tecnologia Farmacêutica CEP 24241-000 Niterói-RJ, Brazil.
rizzo@id.uff.br, <https://orcid.org/0009-0000-1145-0275>

Dr. Vitor Francisco Ferreira

Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Departamento de Tecnologia Farmacêutica, Laboratório de Inovação Química e Tecnologia Farmacêutica, CEP 24241-000, Niterói-RJ, Brazil.
vitorferreira@id.uff.br, <https://orcid.org/0000-0002-2166-766X>

Dr. Wilson da Costa Santos

Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Departamento de Farmácia e Administração Farmacêutica, Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde. CEP 24241-000, Niterói-RJ, Brazil.
wsantos@id.uff.br, <https://orcid.org/0000-0001-9971-094X>