

# BIOLOGIA SINTÉTICA

CONTEÚDO  
**LIVRE**  
DE PROPRIEDADE  
INTELLECTUAL



**Fabricando  
novas formas  
de vida**

# Apresentação

A ASA Brasil e a Rede Ecovida de Agroecologia estão promovendo, juntamente com o Centro Ecológico e o apoio e colaboração de entidades parceiras, a série Novas Tecnologias, com seis publicações: a (1) foi Nanotecnologia - a manipulação do invisível; a (2) é esta, *Biologia Sintética - fabricando novas formas de vida*. As outras serão: (3) Mudança climática e Geoengenharia; (4) Mudança Climática e Biotecnologia; (5) Genômica e Biopirataria e, por fim, (6) Controle Corporativo.

O objetivo é disponibilizar informações sobre o desenvolvimento técnico e comercial das novas tecnologias e seus impactos na agricultura, na alimentação e na saúde, bem como as consequências sociais, ambientais e econômicas de suas possíveis utilizações.

Acreditamos que, democratizando o acesso a esse tipo de conhecimento, estamos estimulando o debate público sobre as novas tecnologias e sobre as perspectivas de implementação de uso pelas grandes corporações transnacionais, assim como sobre os meios e formas de regulamentação dessas tecnologias no País.

Verão 2009/2010

## Promoção:

ASA Brasil  
Rede Ecovida de Agroecologia

## Produção:

Centro Ecológico

## Apoio:

Fundação Heinrich Böll  
Conosur Sustentable  
FASE

## Organização:

Maria José Guazzelli  
Julian Perez

## Design e diagramação:

Amanda Borghetti

## Impressão:

CV Artes Gráficas Ltda.

# Conteúdo

## Biologia Sintética – Fabricando novas formas de vida

Introdução	1
<b>1. O que é a biologia sintética</b>	2
No que a biologia sintética é diferente da transgenia?	3
Biologia sintética - uma tecnologia convergente	5
<b>2. Por que é importante conhecer a biologia sintética?</b>	6
O negócio de sintetizar genes cresce rapidamente enquanto seu custo baixa	6
Quem tem o controle e a propriedade da biologia sintética?	8
Quem investe em biologia sintética?	9
Quem faz biologia sintética?	9
<b>3. Por que é um assunto que afeta a todos?</b>	12
Bioguerra	12
Conservação sintética da biodiversidade	14
Biossegurança	16
A biologia sintética na agricultura	17
Biodegradação - uma economia pós-petróleo baseada em biomassa	18
Uma panorâmica de algumas das empresas de biologia sintética	26
<b>4. Regulamentação</b>	33
Desafios para avaliar riscos e regulamentar	35
O que tem acontecido na discussão sobre regulamentação	37
<b>5. O que se pode fazer em relação à biologia sintética?</b>	38

---

A grande maioria das informações apresentadas neste texto são adaptações ou transcrições parciais dos seguintes documentos:

- Grupo ETC. *Ingeniería genética extrema: una introducción a la biología sintética*. 2007. [http://www.etcgroup.org/upload/publication/603/03/synbiospanish\\_lite.pdf](http://www.etcgroup.org/upload/publication/603/03/synbiospanish_lite.pdf)
- Grupo ETC. *Peak Soil + Peak Oil = Peak Spoils, Communiqué*. 2007. [http://www.etcgroup.org/en/materials/publications.html?pub\\_id=668](http://www.etcgroup.org/en/materials/publications.html?pub_id=668)
- Grupo ETC. *Biología sintética: opciones para evadir el escrutinio social*. 17 de outubro de 2007. [http://www.etcgroup.org/upload/publication/655/01/nwsrsls\\_synbioenterreport17oct07.pdf](http://www.etcgroup.org/upload/publication/655/01/nwsrsls_synbioenterreport17oct07.pdf)
- Grupo ETC. *Cómo volver mercancía hasta la última brizna de hierba*. 2008 [http://www.etcgroup.org/upload/publication/704/01/commodiflaststraw\\_spa\\_lite.pdf](http://www.etcgroup.org/upload/publication/704/01/commodiflaststraw_spa_lite.pdf)
- Grupo ETC. *Novas Tecnologias: modas, mentiras e perigos*. Caderno 27. Revista Biodiversidade, Sustentabilidade e Culturas nº 60. 2009. [http://www.grain.org/biodiversidad\\_files/biodiv-60-pt.pdf](http://www.grain.org/biodiversidad_files/biodiv-60-pt.pdf)
- Ribeiro, Silvia. *La economía post-petrolera del azúcar: ni dulce ni limpia*. 2008 <http://www.jornada.unam.mx/2008/11/22/index.php?section=opinion&article=025a1eco>
- Seminário Internacional "Agrocombustíveis como obstáculo à construção da Soberania Alimentar e Energética". *Carta Final*. 2008. [http://www.ihu.unisinos.br/index.php?option=com\\_noticias&Itemid=18&task=detalhe&id=18391](http://www.ihu.unisinos.br/index.php?option=com_noticias&Itemid=18&task=detalhe&id=18391)

CAPA: Montagem com fotos de Rodolfo Clix; Ramzi Hashisho; Bo de Visser; Stock.xchng e Wikimedia Commons

---

A leitura da revista *Nanotecnologia – a manipulação do invisível* auxilia a entender melhor o tema da biologia sintética. Ela está disponível gratuitamente em

[http://www.centroecologico.org.br/novastecnologias/novastecnologias\\_1.pdf](http://www.centroecologico.org.br/novastecnologias/novastecnologias_1.pdf)

Para obter exemplares impressos o contato é [centro.serra@centroecologico.org.br](mailto:centro.serra@centroecologico.org.br)



# Biologia Sintética:

## Fabricando novas formas de vida

### Introdução

Cerca de 30 anos depois do início das técnicas de DNA recombinante, que possibilitam produzir plantas transgênicas, uma nova geração de entusiastas da biotecnologia dá mais um passo para o limite seguinte da manipulação da vida: construí-la a partir do nada. A isso se dá o nome de biologia sintética, também conhecida como *synbio*, genômica sintética, biologia construtiva ou biologia de sistemas. É uma tecnologia que envolve obter um novo código genético usando DNA fabricado, a partir do qual é possível projetar e construir, ou re-projetar, organismos vivos para que executem tarefas específicas.

A biologia sintética evolui rapidamente. Sai dos laboratórios para usos aplicados no dia a dia sem debate público e regulamentação apropriada. Os entusiastas dizem que esse novo campo de desenvolvimento tecnológico tem um enorme potencial para beneficiar a sociedade e para criar riqueza em áreas como saúde, energia e meio ambiente.

As grandes empresas transnacionais que controlam agrocombustíveis, sementes (inclusive transgênicas), comercialização de grãos, petróleo, fabricação de automóveis, monocultivos florestais, fabricação de celulose e de produtos farmacêuticos apostam nessa tecnologia. A biologia sintética oferece uma nova plataforma tecnológica capaz de transformar os setores de alimentação, agricultura, saúde, indústria manufatureira, e toda a natureza. Ela também significa um instrumental mais barato e acessível para construir armas biológicas, patógenos virulentos e organismos artificiais que podem representar graves ameaças para os seres humanos e para o Planeta. Essa tecnologia permite amplas alianças entre corporações de setores distintos, por exemplo, entre companhias petrolíferas, de reflorestamento e do agronegócio, associadas a empresas emergentes de biologia sintética. Entusiastas dizem que, nos próximos 20 anos, a genômica sintética se tornará o padrão para fazer qualquer coisa. E a indústria química - talvez também a indústria de energia - dependerá dela.

Já está ocorrendo um massivo e deliberado redirecionamento na economia do planeta, buscando aproveitar ao máximo a produção de biomassa para transformá-la em químicos, combustíveis e novos materiais 'verdes' de alto valor. É a chamada 'economia de carboidratos' ou 'economia do açúcar'. O objetivo é substituir recursos fósseis (carvão, petróleo e gás) por carboidratos vivos (plantas) e monetizar o valor ecológico da flora, fauna e dos chamados 'serviços ambientais'.

No geral, o que se ouve falar são as coisas positivas da biologia sintética, os benefícios que ela pode trazer para a humanidade. Mas há uma série de questões ainda não respondidas. O que ela significa em termos éticos quando rompe o limite natural, criando novas formas de vida? Que impactos essa tecnologia pode ter na saúde e no meio ambiente? E no campo social?

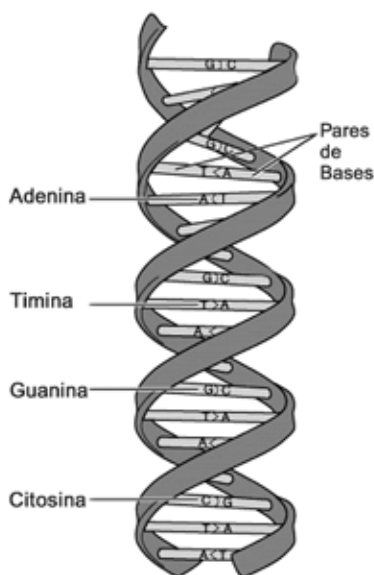
Este material não pretende esgotar o assunto. Busca apresentar informações que dêem uma ideia geral da situação atual e futura, assim como algumas possibilidades do que fazer enquanto indivíduos e sociedade.

# 1. O que é a biologia sintética

*A biologia sintética é uma tecnologia que possibilita fabricar artificialmente o código genético (o DNA). Com o DNA sintético é possível criar vírus que funcionam, ou inserir elementos artificiais em organismos vivos que já existem, reprogramando-os para que realizem novas tarefas, diferentes das naturais. A meta é fabricar organismos vivos completos, totalmente artificiais e autorreplicantes, para que executem funções úteis à indústria.*

Utilizando conceitos de engenharia, tomados emprestados da eletrônica e da computação, os biólogos sintéticos estão construindo versões simplificadas de bactérias e reprogramando o DNA, na tentativa de montar sistemas genéticos controlados pelo homem.

Os avanços nas tecnologias em nanoescala<sup>1</sup> – a manipulação da matéria em nível de átomos e moléculas – contribuem para o desenvolvimento da biologia sintética.



## O que é mesmo o DNA?

O DNA é uma molécula longa encontrada nas células de todas as formas de vida, desde os vírus até os seres humanos. A molécula de DNA contém o código da informação genética - os genes - ou seja, contém as instruções genéticas para o desenvolvimento e funcionamento de qualquer forma de vida. Essas informações são responsáveis pelo comando da atividade das células e pelas características hereditárias, isto é, as que passam de uma geração para a outra. Cada molécula de DNA contém vários genes arranjados em linha ao longo da molécula.

Pode-se imaginar o DNA como duas fitas paralelas em forma de dupla espiral. Essas fitas, em todos os seres vivos, são formadas por uma seqüência de 4 bases, a **adenina**, a **timina**, a **citocina** e a **guanina**. Essas quatro bases são representadas pelas suas letras iniciais: **A**, **T**, **C** e **G**. Elas se arranjam aos pares – a adenina faz par com a timina (**A-T**) e a citosina faz par com a guanina (**C-G**).

Pode-se imaginar, também, que o DNA é como uma escada em caracol, em que os degraus são formados pelos pares de bases.

O código genético de um ser vivo é determinado pela ordem, ou pela seqüência, de pares de bases ao longo das fitas paralelas. A espessura do DNA é medida em nanômetros<sup>2</sup>, enquanto o comprimento pode



<sup>1</sup> Ver revista *Nanotecnologia, a manipulação do invisível*, da série Novas Tecnologias.

<sup>2</sup> 1 nanômetro = 1 bilionésimo de 1 metro.

alcançar até alguns metros. Como ele é todo enrolado, parecendo um novelo de lã, cabe dentro de cada célula. No ser humano, praticamente cada célula tem as 2 fitas de DNA, cada uma delas com o comprimento de 3 bilhões de bases.

O DNA coordena a fabricação dele mesmo (sua duplicação), assim como a fabricação de outros componentes das células, como, por exemplo, as proteínas.

Durante muitas décadas, o enfoque foi conseguir **LER** e **DECIFRAR** o código genético de organismos vivos. Hoje, com a biologia sintética, a atenção se volta para **ESCREVER** e **PROGRAMAR** o código.

## No que a biologia sintética é diferente da transgenia?

Na transgenia, os cientistas cortam e emendam sequências genéticas que já existem na natureza. Ou seja, fazem o intercâmbio de genes entre organismos que não são parentes, como, por exemplo, entre plantas e bactérias, ou entre animais e bactérias. A biologia sintética aposta em usar sequências de DNA projetadas artificialmente para reprogramar microrganismos vivos, ou em modificar seu metabolismo através de engenharia genética. Aposta também em fabricar a própria vida.

Em resumo, com a biologia sintética é possível: (a) usar microrganismos que foram reprogramados para fabricar moléculas similares às naturais; (b) incorporar novas letras ao código genético, além das 4 que existem (A, C, G, T); e, (c), criar organismos completamente novos. Isso significa que não se tem mais o limite de ter que trabalhar com sistemas genéticos naturais. A tecnologia genética, nas duas últimas décadas, estava mais envolvida em decifrar a informação genética (o sequenciamento dos genes), com a finalidade de identificar e entender o papel dos genes que existem na natureza.

### Há três possibilidades de re-escrever o código genético ou modificar o DNA:

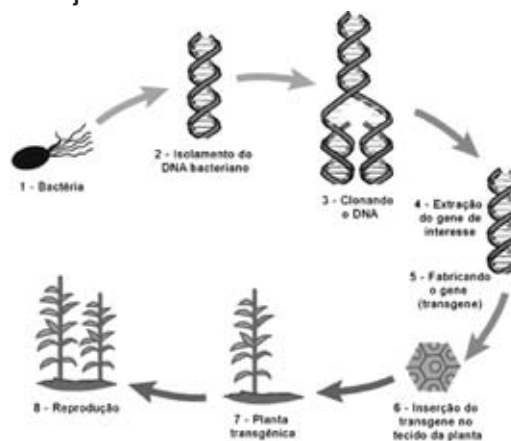
#### 1. Sexo = cruzar

No método 'tradicional' de reprodução, a célula reprodutiva feminina e a célula reprodutiva masculina se juntam para formar um embrião, que carrega sua bagagem de genes com as características que lhe foram transmitidas.



#### 2. Transgênicos = cortar e emendar

Em laboratório, genes são retirados de uma espécie e colocados nas células de uma outra. O resultado é um organismo geneticamente modificado (OGM). Para criar a soja transgênica, por exemplo, os cientistas 'cortaram' um gene de uma bactéria de solo e 'emendaram' numa célula de soja.



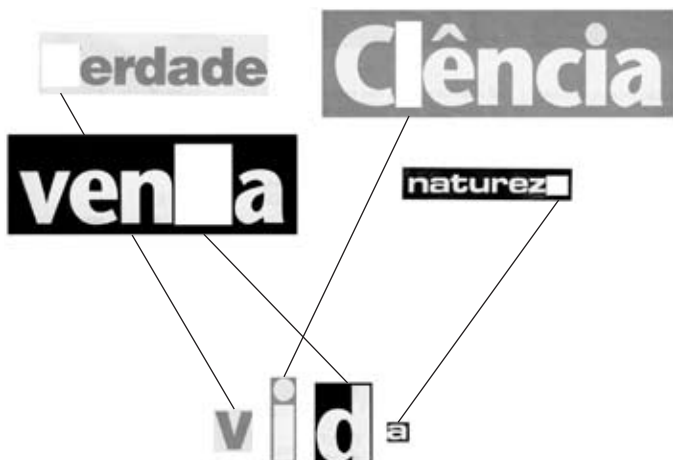
#### 3. Síntese = escrever

É possível comprar as quatro bases, **A, T, C e G**, pelo correio.





A engenharia genética (biotecnologia) é como recortar as letras de um jornal e montar uma palavra.



Já a biologia sintética pode ser comparada com ter que escrever cada uma das letras para poder montar a palavra.



E, com o uso de aparelhos chamados de sintetizadores de genes, é possível escrever as 'frases' do código do DNA juntando uma 'letra' por vez.

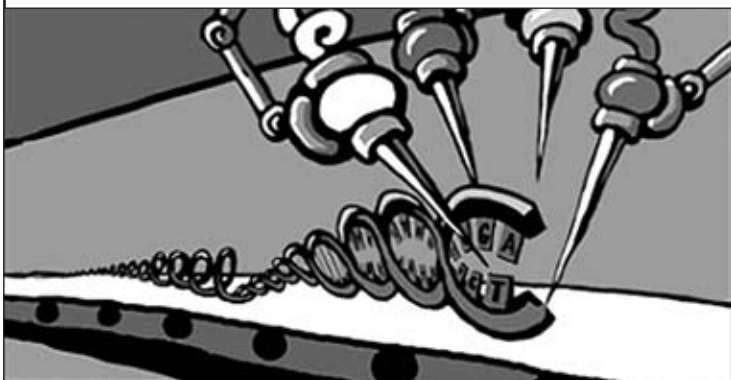


Ilustração: Stig

Como resultado da corrida para ler e mapear genomas, agora é possível sequenciar dezenas de milhares de pares de bases por minuto, e de forma barata. Na medida em que o foco passa do ler para o escrever o código genético, os cientistas podem ir deixando de lado os programas da natureza, favorecendo formas de vida feitas sob medida.

As empresas comerciais sintetizadoras de DNA estão localizadas nos 5 continentes. Há empresas que se especializam em sintetizar longas peças de fita dupla de DNA. Encomendar genes pelo correio\* já é uma realidade, e fazer encomenda de genomas está a caminho. Segundo propaganda de empresas na internet, a síntese de genes é muito mais rápida e tem custo/benefício maior do que a biologia molecular tradicional – é muito mais rápido fazer genes sintéticos. Em resumo, o DNA sintético é hoje uma *commodity*.

Na base da biologia sintética está a visão de que a natureza funcionaria como uma máquina. A crença é de que todas as partes da vida podem ser feitas sinteticamente (quer dizer, com química), que podem ser projetadas com engenharia, e acopladas/unidas para produzir organismos que funcionem.

A biologia sintética é um campo emergente de pesquisa. E, ao mesmo tempo, é uma indústria crescente.



\* O exemplo dado na página 15 mostra como é possível:

1. Identificar e localizar uma sequência desejada de bases (as ATCGs) num banco de dados na internet.
2. Encomendar essa sequência de uma empresa de síntese de DNA e recebê-la pelo correio.

Foto: Rodolfo Clix / Stock.xchng



*Seria necessário mais de 1 milhão de CDs de música para armazenar a informação que o DNA pode guardar em 1centímetro cúbico.*

**Grupo ETC**

## **Biologia sintética - uma tecnologia convergente**

A biologia sintética é um bom exemplo de uma tecnologia convergente<sup>3</sup>. Uma tecnologia convergente combina conhecimentos de diferentes áreas para poder obter resultados.

Uma molécula de DNA tem um diâmetro extremamente pequeno, de cerca de 2,5 nanômetros. Para sintetizar DNA é necessário conseguir fabricar uma molécula biológica que carregue a informação, o código genético. Para conseguir isso, é necessário usar conhecimentos da nanotecnologia, da biotecnologia, da informática e da engenharia.

Portanto, a biologia sintética só é possível devido à convergência, em escala nano, da biologia molecular, da informática e da engenharia para a fabricação de sistemas biológicos.

De fato, se dermos uma olhada na biografia dos expoentes da biologia sintética, encontraremos doutores em engenharia química, elétrica e bioquímica, em física e farmacologia (e o mais surpreendente: bem poucos são biólogos).

A convergência de tecnologias é vista por distintos governos ao redor do mundo como a mais nova estratégia industrial. Eles abrem os braços com entusiasmo para acolher (e financiar abundantemente) a convergência tecnológica em nanoescala.

<sup>3</sup> Mais informações sobre convergência tecnológica na revista *Nanotecnologia, a manipulação do invisível*, da série Novas Tecnologias.



Flavio Takemoto / Stock.xchng



Rodolfo Clix / Stock.xchng

## 2. Por que é importante conhecer a biologia sintética?

*As ferramentas para sintetizar DNA avançam num ritmo muito rápido, se dispersam geograficamente pelo mundo ao mesmo tempo em que se tornam cada vez mais baratas e amplamente acessíveis. As barreiras econômicas e técnicas para a pesquisa em genômica sintética estão desaparecendo. Os cientistas da biologia sintética falam em objetivos nobres: novos medicamentos, despoluição do ambiente, biocombustíveis mais sustentáveis, etc. Mas os perigos de se lidar com seres vivos, que podem se reproduzir e fugir do controle, são enormes.*

O uso de micróbios vivos artificiais implica um aumento exponencial dos riscos e problemas já acarretados pelos transgênicos sobre a saúde e o meio ambiente. Outra grave consequência, quase imediata, é uma disputa ainda mais agressiva por terras, para poder dispor da biomassa natural, ou para cultivá-la, a fim de poder satisfazer a demanda de insumos dessa nova forma de produção industrial.

Além disso, como essa tecnologia permite alianças novas entre as corporações de distintos setores da economia, há tendência de uma concentração ainda maior de poder nas mãos de um punhado de conglomerados. Exemplo bem atual disso são as grandes companhias petrolíferas e as do agronegócio investindo volumes imensos de recursos em empresas emergentes de biologia sintética, ou seja, empresas criadas há pouco tempo, de rápido crescimento, que têm produtos inovadores para o mercado.



### O negócio de sintetizar genes cresce rapidamente, enquanto seu custo baixa

Algumas empresas afirmam que não há limite técnico para o comprimento de DNA que podem produzir (embora a maioria das sequências não esteja isenta de erros). A maior parte delas produz sequências com alguns mil pares de bases. Mas é uma questão de tempo ter capacidade para construir genomas de milhões de pares de bases, como, por exemplo, de uma levedura. Ou construir o cromossoma de uma planta. Nos próximos anos, será possível sintetizar qualquer vírus, e será rotineiro sintetizar genomas de bactérias simples.

Usar sintetizadores portáteis de DNA ou encomendar DNA pela internet e receber pelo correio torna possível o 'faça você mesmo' na montagem de genes sintéticos, quase em qualquer lugar do mundo. Para poder construir genes comple-





tos são usadas máquinas especiais de síntese de DNA, cujos preços são relativamente baratos. Os custos de equipamentos de um laboratório de biologia sintética são baixos e continuam a cair.

Mais de dez mil laboratórios em todo o mundo têm capacidade técnica para fazer pesquisa sobre biologia sintética. Estudantes universitários de graduação podem ter as habilidades requeridas para fazer biologia sintética sem que tenham recebido treinamento em ciências biológicas.

A eficiência das máquinas sintetizadoras de genes aumenta aceleradamente, de tal forma que, em alguns anos, será possível uma pessoa sequenciar seu próprio genoma em questão de segundos. A ideia é trabalhar num nível menor ainda do que o de genes.

*Não há barreiras técnicas para a síntese de plantas e de animais. Isso ocorrerá no momento que alguém pagar para que seja feito.*

**Drew Endy**, *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*

### **Fabricar vida é barato e rápido**

O crescimento da indústria da síntese do DNA torna as tecnologias mais rápidas, mais baratas e mais fáceis.

Em 2000, o preço do DNA sintético era de uns 10 dólares por par de bases. Hoje, cada par custa cerca de 35 centavos de dólar.

Em 1973, um cientista levava 1 ano para fazer uma sequência de DNA com o comprimento de 11 pares de bases. Hoje, isso levaria apenas alguns minutos e custaria somente cerca de US\$ 4.

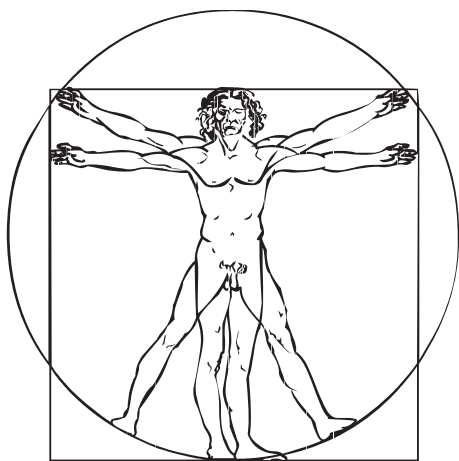
No final de 2007, quase 700 genomas tinham sido completamente sequenciados e publicados. Até setembro de 2009 já eram mais de 1.100 genomas completos e mais de 4.543 projetos ainda sendo trabalhados.

Isso significa que a disponibilidade de código genético está crescendo. O número de pares de bases que uma pessoa sequencia por dia aumentou mais de 500 vezes nos últimos dez anos.

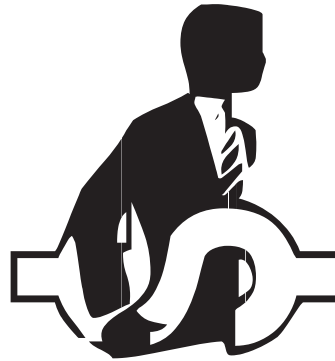


### **Quanto custaria fabricar um ser humano?**

Sabendo-se o custo de cada par de bases, é possível colocar um preço teórico na vida humana. O mapeamento do genoma humano, encerrado em 2003, demorou 13 anos e custou cerca de 2,7 bilhões de dólares, em valores de 1991. Em dólares atuais seria um valor muito mais elevado. Em 2010, construir o genoma completo do ser humano – com cerca de 3 bilhões de pares de bases – custaria pouco mais de 350 milhões de dólares e umas poucas semanas. Há previsões de que, em 2013, será possível ler um genoma completo por US\$100, em 15 minutos. Em breve seremos pagos para sequenciar nossos genomas.



Entretanto, para azar de quem pretende construir vida, o código genético não é tão linear quanto se quer achar. A visão popular da genética tem a ideia de que cada unidade de DNA (os genes) corresponde a características específicas, mas a realidade se mostra bem mais complicada. Na vida real, os genes e suas partes cooperam em redes sutis e complexas, e cada rede produz substâncias (proteínas) que promovem ou suprimem a conduta de outros genes. Entender as interações entre os genes é, atualmente, uma área importante de estudos.



## **Quem tem o controle e a propriedade da biologia sintética?**

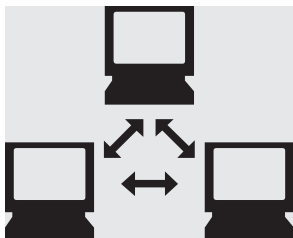
*A biologia sintética não é limitada pela biodiversidade natural - não está restrita aos padrões estabelecidos pela natureza ou às formas de vida existentes.*

Apesar de haver quem fale em favor de uma biologia aberta, que compartilhe suas fontes e permita sua utilização mais livremente, os cientistas de universidades e de corporações têm buscado obter patentes monopólicas sobre os produtos e os processos da genética sintética.

O material genético sem alterações e em seu ambiente natural não é patenteável. Porém, uma vez que esse material genético (inclusive o DNA sintético) é isolado, modificado, purificado, alterado ou recombinado, ele pode ser objeto de direitos de patente. Além disso, por ser uma tecnologia convergente, os possíveis direitos de propriedade intelectual não se referem só ao DNA em nanoescala produzido através de síntese, mas também aos programas de computador e aos próprios equipamentos.

Da mesma forma como ocorreu com os transgênicos, o poder para fabricar vida sintética pode acabar concentrado nas mãos das grandes empresas transnacionais.

À medida que a síntese genética se tornar mais barata e mais rápida, será mais fácil sintetizar um micróbio do que procurá-lo na natureza ou buscá-lo em um banco de genes. As amostras biológicas, sequenciadas e armazenadas em forma digital, se moverão instantaneamente por todo o globo, para serem ressuscitadas nos laboratórios das corporações, a milhares de quilômetros de distância — uma prática que poderia prejudicar, no futuro, o respaldo para a conservação genética e que criaria novos desafios nas negociações internacionais sobre diversidade biológica.





## Quem investe em biologia sintética?

Governos de diversos países, especialmente dos Estados Unidos, fundos de investimento e corporações investem milhões de dólares na biologia sintética. As primeiras empresas de biologia sintética, que faziam experimentação pura, hoje estão abertas para fazer negócios. Corporações e empresas detêm uma quantidade crescente de patentes e buscam produtos industriais para obtenção de combustíveis, para remediação da crise climática, limpeza de tóxicos, limpeza de água, produção de fármacos e de têxteis, entre outras aplicações.

As previsões de mercado dizem que, em 2015, de 15 a 20% da indústria química global será baseada na biologia sintética. E que a contribuição dessa tecnologia para a produção de energia poderia aumentar o mercado de biocombustíveis líquidos para 150 bilhões de dólares em 2020.

## Quem faz biologia sintética?

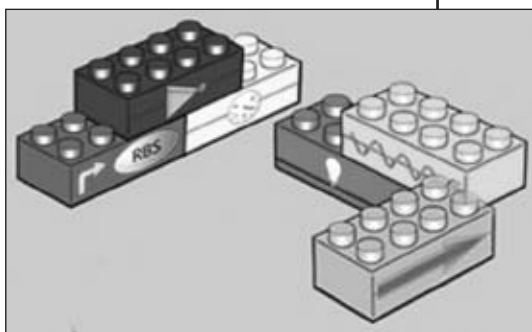
Usando um computador portátil, sequências genéticas disponíveis para venda ao público e sequências desejadas de DNA sintético encomendadas pelo correio, através da internet, praticamente qualquer um pode construir genes e genomas completos a partir do nada.

Mas são empresas, como a Synthetic Genomics, criada pelo magnata da genômica Craig Venter, e empresas emergentes, criadas por pesquisadores anteriormente ligados a universidades, que fazem pesquisa e desenvolvimento de aplicações com essa tecnologia, geralmente em parceria com corporações. Um exemplo de empresa emergente é a Amyris, criada pelo cientista Jay Keasling e outros (adiante, veremos mais detalhes sobre as empresas).

Há também grupos de estudantes universitários de graduação e de *biohackers* que se dedicam a montar novos organismos. O sonho é fabricar produtos que beneficiem a humanidade. O risco é ter disponibilidade de materiais que podem levar à criação de novos patógenos perigosos, ou à remontagem de antigos, letais, como o vírus da influenza de 1918, por exemplo.

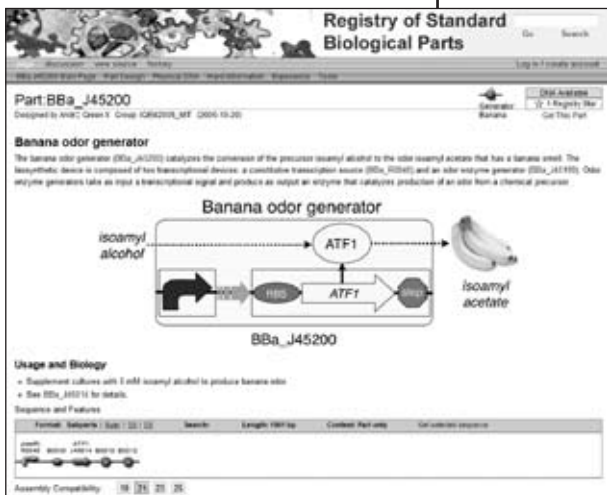
### As principais empresas envolvidas com biologia sintética:

✂ ADM ✂ Agrivida ✂ Ambrx  
 ✂ Amyris Biotechnology ✂  
 Athenix ✂ ATG biosynthetics  
 ✂ Basf ✂ BP ✂ Bristol-Myers Squibb Company  
 ✂ Blue Heron ✂ Bunge ✂  
 Cargill ✂ Catchlight Energy  
 ✂ Chromatin ✂ Chevron ✂  
 CMEA Ventures ✂ Codexis  
 ✂ ConocoPhillips ✂ Diversa  
 ✂ DNA2.0 ✂ Draths Corporation ✂ DSM ✂  
 DuPont ✂ Egea Biosciences  
 ✂ Engene OS ✂ EraGen Biosciences ✂ Exxon ✂ Febit  
 ✂ Firebird ✂ GE ✂ Genearth ✂  
 Genencor ✂ Genomatica ✂  
 Genscript ✂ Genting Group  
 ✂ Gevo ✂ GM ✂ Good Year  
 ✂ Greenfuel ✂ Invitrogen ✂  
 Iogen ✂ Khosla Ventures ✂  
 KPCB ✂ LS9 ✂ Marathon  
 ✂ Mascoma ✂ Maxygen ✂  
 Merck Serono ✂ Metabolix  
 ✂ Microsoft ✂ Morgan Stanley ✂ Novozymes ✂  
 OPX Biotechnologies ✂  
 Pfizer ✂ Pioneer ✂ Protolife  
 ✂ Roche ✂ Sangamo Biosciences ✂ Sanofi  
 Aventis ✂ Scarab Genomics  
 ✂ Schering-Plough ✂ Shell  
 ✂ Solazyme ✂ Syngenta  
 ✂ Synthetic Genomics ✂  
 Tate Lyle ✂ Verdezyne ✂  
 Virgin Fuels ✂ Verenum ✂  
 Votorantim ✂ Weyerhaeuser  
 ✂ XSeed ✂ Yulex



### Biotijolos ou 'biolegos'

Os biotijolos (*biobricks*, em inglês) são segmentos padronizados de DNA que têm encaixes nas duas pontas, lembrando as peças do brinquedo Lego. Esses módulos podem ser encaixados entre si e/ou inseridos em genomas de micróbios para constituir novos genomas. As células dos micróbios funcionam como um chassi ao qual são acoplados os biolegos. Os biotijolos são capazes de alterar as funções do organismo original, pois são projetados para programar para funções biológicas determinadas.



Em 2003, foi criada a BioBricks Foundation, uma organização sem fins lucrativos, comandada por cientistas do Massachusetts Institute of Technology (MIT), da Universidade de Harvard e da Universidade da Califórnia, com o propósito de estimular o uso de partes biológicas padronizadas, os biotijolos, para programar organismos vivos. A ideia é que a biologia sintética, apesar de complexa, pode ter a simplicidade de um jogo que pode ser praticado por muitos. Para difundir essa tecnologia, dispõe de uma biblioteca de biolegos de acesso livre, o *Registry of Standard Biological Parts* (Registro de Partes Biológicas Padrão), e, desde 2003, organiza uma competição anual, a iGEM. Em 2009, competiram 110 equipes, com mais de 1200 participantes, cuja maioria são estudantes universitários de graduação, alguns poucos estão no nível secundário e a maioria não tem treinamento em biologia molecular. Cada equipe recebe um kit com partes biológicas padronizadas e intercambiáveis, que usam junto com outras que desenvolveram, para construir sistemas biológicos e fazê-los funcionar em células vivas. Nesses anos, essas equipes criaram, entre outras coisas, bactérias de iogurte autoflavorizantes e autocorantes; bactérias que mimetizam o comportamento e as propriedades das células vermelhas do sangue; e células vivas que detectam e removem mercúrio da água. Os alunos não começam esse trabalho em um laboratório, mas em seus próprios computadores.

Foto: David Appleyard / iGEM





**Como fabricar, em sete passos, células que cheiram a banana:**

Com poucos equipamentos baratos é possível produzir células que exalam cheiro de banana. Basta acessar o Registry e encomendar o biotijolo necessário, que fez parte do iGEM 2006. Depois, é (1) retirar o DNA da folha que foi recebida e (2) colocar no tubo de ensaio contendo as células que estavam preparadas; (3) deixar esfriar, (4) mergulhar em água morna, (5) adicionar uma determinada substância e (6) colocar em algum lugar que mantenha temperatura morna. Depois, (7) despejar numa placa de laboratório e deixar, de novo, em lugar morno, durante a noite.

**Fim do trabalho!**

Adaptado de <http://openwetware.org/images/ef/TransformationFoo-v1.png>

**Biohackers**

Na definição tradicional, *hacker* é alguém que modifica alguma coisa que já está pronta ou sendo desenvolvida, com o objetivo de torná-la melhor, sem visar lucros.

A DIYbio (biologia faça você mesmo, do inglês *do it yourself biology*) é uma organização norte-americana que tem por objetivo tornar a biologia um tema de investigação que valha a pena para biólogos amadores, cientistas ocasionais e engenheiros biólogos. A idéia é que qualquer pessoa apaixonada por adaptar segmentos de DNA, trabalhando em cozinhas ou garagens, no seu tempo livre, contribua com projetos que tragam benefícios à sociedade. Um exemplo de *biohacker* é Meredith Patterson, uma engenheira de software de São Francisco que está trabalhando em um projeto de iogurte que se torna fluorescente na presença de melamina, substância mortal que intoxicou crianças na China. A mescla de experiências pode trazer descobertas e avanços maiores, mas organismos sintéticos nas mãos de amadores podem escapar e provocar surtos de doenças incuráveis ou danos ambientais imprevisíveis.

**Letras artificiais adicionadas ao alfabeto da vida**

Há uns 20 anos, um dos pioneiros da biologia sintética, Steven Benner, chefiou uma equipe que conseguiu criar um DNA contendo 2 bases artificiais (K e X), além das 4 naturais (A,C,G,T). Segundo ele, o DNA artificial não sobreviveria fora de laboratório na Terra, mas um DNA de 6 letras poderia ser o suporte da vida em outros planetas onde a vida tivesse começado com 6 letras e fosse compatível com ele.

A partir do trabalho de Benner, em 2005, Floyd Romesburg acrescentou a letra F às 4 bases naturais. Em janeiro de 2008, sua equipe anunciou 2 letras artificiais que, de forma precisa e eficiente, são replicadas por uma enzima natural. Isso permitiria tipos completamente diferentes de engenharia genética, e, no futuro, poderiam ser adicionadas ao código genético de organismos vivos. Um novo par de bases artificial, segundo eles, multiplicaria e diversificaria as já centenas de aplicações de uso do DNA existentes, como, por exemplo, construir estruturas nanométricas complexas, silenciar genes existentes e, até, fazer cálculos.

***Não tentamos imitar a natureza, tentamos complementá-la.***

**Dr. Floyd E. Romesburg, Scripps Research Institute**

Adaptado de Grupo ETC e <http://www.sfgate.com/cgi-bin/article.cgi?f=/c/a/2009/12/20/MNFT1B1899.DTL>

### 3. Por que é um assunto que afeta a todos?

*Conhecida popularmente como “engenharia genética anabolizada”, a biologia sintética implica ameaças armamentistas, ambientais e sociais que ultrapassam todos os perigos e abusos possíveis da biotecnologia. As aplicações da biologia sintética são muitas. Abrangem desde a criação de novas armas biológicas até a de novos materiais, tais como substâncias que podem substituir o plástico, passando por medicamentos e produção de alimentos. Mas, um dos objetivos maiores das empresas é desenvolver novas formas de combustíveis agroindustriais (incluindo o processamento de monocultivos de árvores).*



... se alguma vez já se pensou em uma ciência que garantiria alarme e indignação por parte do público, é essa. Se a comparamos com a biotecnologia e a engenharia genética convencionais, os riscos que a biologia sintética acarreta são muito mais aterrorizantes.

**Philip Ball**, *editor consultor da revista científica Nature*

Ainda são desconhecidos os danos que podem ser causados ao ambiente pela utilização da biologia sintética na produção de agrocombustíveis ou de outros produtos. São utilizados micróbios artificiais vivos, e, mesmo que as empresas os usem em tanques de fermentação, não existem medidas de biossegurança para evitar escapes para o ambiente. Ninguém sabe o que poderia suceder com a interação desses micróbios na natureza.

Mas se sabe que a produção de agrocombustíveis de segunda geração pode ter impactos imediatos significativos sobre a biodiversidade natural, no agravamento da disputa por terra, água e nutrientes, e no aumento exponencial da contaminação com agrotóxicos e transgênicos. Já estamos sujeitos a consumir comida, aditivos alimentares e medicamentos sem ter a menor ideia de que estão sendo produzidos com biologia sintética. Assim como ocorreu com a nanotecnologia, a biologia sintética está entrando no nosso dia a dia praticamente sem qualquer controle governamental ou social.

#### **Bioguerra**

Atualmente, existem inúmeras empresas de biotecnologia que oferecem síntese de pares de base por um preço bem reduzido. Ao mesmo tempo em que disponibiliza uma ferramenta para pesquisa, esse acesso tão fácil à fabricação artificial de genes traz riscos. Essa tecnologia pode ser utilizada para criar novas linhagens de organismos patogênicos (como vírus e bactérias), ou então para que se possa “ressuscitar” organismos perigosos já extintos.

A biologia sintética vai tornar muito mais fácil fabricar patógenos mortais em laboratório – tanto por acidente como intencionalmente. Isso levanta uma gama de aspectos de biossegurança e de segurança ao desenvolvimento da biologia sintética.



Epidemia da gripe espanhola de 1918. - Foto cortesia de History of Medicine (NLM).

### **A cronologia da construção de vírus funcionais**

- ✂ 2002 – A equipe de Eckard Wimmer utiliza sequências de DNA sintético solicitadas pelo correio e as une para criar um vírus funcional da pólio. Em 2006, ele diz numa entrevista que repetiu o experimento 6 vezes e cada vez foi mais fácil e mais rápido.
- ✂ 2005 – Reconstrução do vírus da gripe de 1918, a partir de uma cepa já completamente erradicada (eles recuperaram e sequenciaram material de tecidos congelados de vítimas da epidemia de 1918 que ficaram enterrados no gelo do Alasca). Esse vírus matou entre 20 e 50 milhões de pessoas em 1918-1919, mais do que a 1ª guerra mundial. O genoma completo foi publicado no Genbank.
- ✂ 2008 - Ralph Baric reconstrói o vírus SARS do morcego, “o maior organismo sintético replicante já feito – é infeccioso em culturas de células e em camundongos”.

Micróbios construídos também poderiam funcionar como ‘fábricas biológicas’ para produzir venenos naturais, como de víboras, insetos, toxinas de bactérias que podem causar antrax, botulismo, cólera, difteria, intoxicação alimentar ou tétano.

A proliferação de técnicas da biologia sintética significa que a ameaça do bioterrorismo evolui constantemente, o que desafia as capacidades da Convenção Internacional sobre Armas Biológicas e Tóxicas e a sociedade civil para monitorar e evitar uma guerra biológica. A guerra mudará de forma: armas convencionais serão substituídas por armas biológicas que não são vistas nem sentidas.



*A mesma ciência que  
pode curar algumas  
de nossas piores  
doenças também  
pode ser usada para  
criar as armas mais  
terríveis do mundo.*

**The Darker Bioweapon  
Future, 2003**

## Biodiversidade - conservação digital e biopirataria



*“Temos que ser capazes de fazer, dentro de um micróbio, qualquer composto produzido por uma planta.”*

**Jay Keasling, Amyris**

*“A equipe de cientistas e engenheiros da Amyris já está preparada para comercializar fármacos e outros químicos finos, de alto valor, encontrados nas florestas e oceanos do mundo todo, fabricando esses compostos em micróbios sintéticos.”*

Na Convenção sobre Diversidade Biológica não está prevista a fabricação de biodiversidade, mas a biologia sintética pode gerar diversidade biológica. Então, deve haver limites para gerar biodiversidade? Que tipos novos de biodiversidade podem ser considerados aceitáveis? Quais as potenciais implicações da biologia sintética sobre a proteção da biodiversidade e sobre as regulamentações atuais de acesso e intercâmbio de materiais genéticos?

Quando forem fabricados organismos vivos completamente novos, deveremos contar as espécies que se extinguem e também passar a contar as novas espécies que forem sintetizadas? Esses novos organismos certamente serão patenteados, terão donos. O que isso significa, caso se multipliquem por conta própria no ambiente?

Hoje, a biodiversidade é mantida na terra (*in situ*) ou em bancos de genes (*ex situ*). Em alguns anos, será possível manter a biodiversidade na forma digital. Se o DNA pode ser sequenciado com rapidez e armazenado digitalmente, existe a possibilidade de conseguir ressuscitar o genoma de um organismo vivo através da biologia sintética. Para os burocratas, será que armazenar digitalmente será mais interessante do que destinar recursos para bancos de genes e para outras estratégias de conservação? Quais as potenciais implicações da biologia sintética para os direitos dos agricultores?

A inovação tecnológica permite a obtenção de dados genéticos e de materiais sem a necessidade de ter acesso a amostras físicas. Isso abre novas rotas à biopirataria. Algumas empresas de biologia sintética estão engenheirando micróbios para que produzam valiosas substâncias derivadas de plantas – recursos que têm sido produzidos e conservados por comunidades camponesas e indígenas.





## Biopirataria digital

A biologia sintética permite a biopirataria ‘legalizada’, já que não precisa obedecer a nenhum Acordo de Transferência de Material (Acesso e Repartição de Benefícios), porque não há transferência de nenhum material. Em poucos passos, é possível construir produtos, por exemplo, derivados de plantas.



Vamos dizer que se quer piratear digitalmente o guaraná...

Passo 1: é necessário identificar a planta = *Paullinia cupana* é o guaraná

GenBank EC760998.1

**EST 5494 Guarana fruits cDNA library Paullinia cupana var. sorbilis cDNA, mRNA sequence**

**IDENTIFIERS**

dbEST Id: 40322568  
 EST name: EST 5494  
 GenBank Acc: EC760998  
 GenBank gi: 196460311

**CLONE INFO**

Clone type: cDNA

**PRIMERS**

PolyA Tail: Unknown

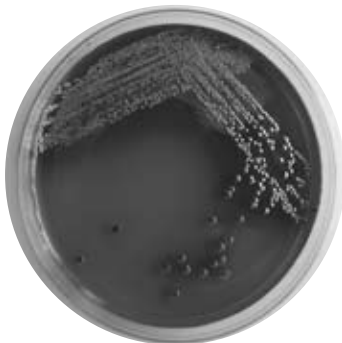
**SEQUENCE**

```
CTGGTTCTTTTCTCTTCTTTCTGCTAATTCTCTGTTGGTGGGTCACTGATGTGAT
GAAAAGACCGGTTGATTAGACAGGTTGTGTATCTGCGCTCCCGGAGGATCATCTTC
TTGGAGCGGAGACACCCTCTCTCTTTCAAATCGAAGTTTGTAAACCTATGCTACTC
AACAGAGCACGACTATGATTTGTGCGTTTCAAGGCTAACTCC
```

Passo 2: tem-se que encontrar seqüências de genes adequadas buscando no GENBANK (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez>)

Passo 3: é preciso encomendar as seqüências de genes de uma empresa qualquer de síntese de DNA

Passo 4: basta engenheirar o DNA sintético dentro de micróbios e ‘emendar’ para produzir extrato de guaraná



DNA 2.0

Gene Synthesis   Expression Optimization   Libraries   Scientific Resources   Company   My Account

Welcome emailer

- Bioarray Card (5)
- 96-Well Bioarray
- 384-Well
- 96-Well
- Storage Container
- Barcode

Request a Quote

Sequence type:  DNA  AA/Protein

Sequence file (optional)  Upload sequence file...

ID:

OR Paste-type sequence:

```
1-2233556677889900112233445566778899001122334455667788990011
2-2233556677889900112233445566778899001122334455667788990011
3-2233556677889900112233445566778899001122334455667788990011
4-2233556677889900112233445566778899001122334455667788990011
```

Additional '1' sequence (optional)  Additional '2' sequence (optional)

Optimize sequence:

Make as ordered

Optimize for expression in:

Or specify organism (BOT or list):

Check one or both of the following choices:

Regular gene synthesis (DNA 2.0™)

Rapid order (DNA 2.0™)

All orders are shipped overnight from California to arrive USA next day or worldwide in 10



### O monstro que quase escapou

A *Klebsiella planticola*, uma bactéria de solo bem comum, se desenvolve nos resíduos de cultivos e os decompõe. Nos anos 1990, foi geneticamente engenheirada para ser ainda mais eficiente nessa atividade e produzir álcool. A universidade de Oregon testou e demonstrou que a bactéria mataria todas as plantas com as quais tivesse contato. A falta de testes de segurança adequados antes de comercialização quase permitiu que o produto chegasse ao mercado. Isso mostrou, na prática, que há riscos de outros monstros biológicos serem liberados no ambiente.

## Segurança biossintética

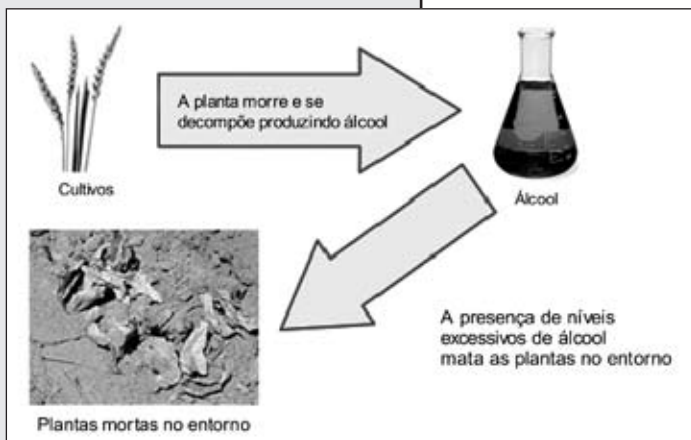
Os organismos transgênicos têm sido liberados com base no princípio de 'equivalência substancial', em que o organismo alterado equivaleria à versão convencional, natural, devido à semelhança genética. No Brasil, a regulamentação é determinada pela Lei de Biossegurança. Os organismos resultantes da biologia sintética não podem ser submetidos a esse mesmo princípio. Afinal, todo o argumento dessa tecnologia é justamente criar organismos novos, que são substancialmente distintos daqueles que existem na natureza – o DNA sintético é, em geral, feito sob medida e altamente manipulado. Não é uma 'mera' transferência a partir da natureza. À medida que os produtos sintéticos se movem dos computadores para o mundo real, a pergunta que ainda fica sem resposta é: serão seguros?

Os cientistas argumentam que, como constroem sistemas completos, podem programar a segurança de sua tecnologia. Por exemplo, poderiam programar células que se autodestruíssem se comesçassem a se reproduzir muito rapidamente. Obviamente, isso seria viável se os construtores de vida tivessem domínio pleno de seu trabalho. Mas, eles têm que conviver com os componentes da evolução natural, cheia de imprevisibilidades. Os organismos vivos evoluem e sofrem mutações, portanto, antes de garantir que os organismos com programação sintética são seguros, os biólogos deveriam mostrar que sabem como suas criações se comportarão, de geração em geração, ao longo de centenas de milhares de gerações, uma vez que os organismos microbianos se reproduzem em alta velocidade.

Ainda não sabemos muitas coisas sobre os organismos vivos. Apesar de já fazer mais de 5 décadas que a dupla hélice de DNA foi descoberta, os biólogos moleculares continuam descobrindo novas informações de como os genes funcionam e qual o papel que desempenham nas funções da vida.

Os organismos vivos podem escapar e interagir com seu entorno. É extremamente difícil conseguir avaliar antecipadamente os riscos de uma liberação acidental ou intencional de um organismo sintético que tem uma 'herança' genética construída a partir de múltiplos elementos genéticos.

As bactérias têm a capacidade de trocar material genético entre si. As bactérias sintéticas, sob determinadas circunstâncias, podem transferir fragmentos sintéticos de DNA a bactérias do solo e do trato digestivo. Uma vez incorporados a bactérias naturais, podem alterar o funcionamento e o comportamento de ecossistemas microbianos – o que afetaria o ambiente de formas imprevisíveis.



*“A extrapolação lógica desse experimento sugere que é possível fabricar um microorganismo geneticamente engenheirado que mataria todas as plantas terrestres.”*

**Dr Elaine Ingham,**  
Universidade do Oregon



## A biologia sintética na agricultura

A síntese de DNA permite reduzir o tempo que os engenheiros genéticos levam para isolar e transferir DNA para poder construir organismos geneticamente modificados – os transgênicos. Com as técnicas de síntese de DNA, os cientistas de laboratórios podem encomendar os genes completos de que necessitam e obtê-los em questão de dias ou semanas, o que reduz muito o tempo de produção. Há empresas, como Chromatin, Agrivida, Ceres e Mendel, aplicando biologia sintética em cultivos agrícolas. Também empresas, como Monsanto e Syngenta, vêm, há algum tempo, sintetizando e usando DNA para inserir em cultivos transgênicos.



### Bens de consumo sintéticos

Há o risco de impactos significativos sobre as economias de países mais pobres e sobre os modos de vida das populações locais caso os organismos sintéticos comecem a deslocar os bens de consumo existentes.

Se for possível produzir compostos de forma mais barata, a partir de fábricas microbianas, incluindo medicamentos, óleos tropicais, nutrientes e flavorizantes, haverá um grande impacto sobre o comércio global de bens de consumo tradicionais.

Outra questão ainda sem resposta é saber se as substâncias produzidas com micróbios sintéticos terão comportamento igual ao das suas contrapartes naturais conhecidas.



### Minicromossoma

A empresa norte-americana Chromatin tem a patente de tecnologias de minicromossoma. Essas tecnologias possibilitam desenvolver novas variedades de sementes transgênicas e o emprego de traços genéticos múltiplos pelo empilhamento (piramidização) de genes.

Em 2007, a Chromatin e a Monsanto anunciaram um acordo de colaboração para a Monsanto usar a tecnologia em milho, algodão, soja e canola. Também em 2007, a Chromatin fez um acordo de licenciamento para pesquisa e comercialização com a Syngenta, para uso de sua tecnologia em milho e soja, e, em 2009, fez acordo para uso em cana-de-açúcar. Ainda em 2009, assinou acordo com a Dow Chemical para desenvolver traços de nova geração em milho, soja e canola, e com a Bayer CropScience para melhoramento de cultivos.

### Transgênicos piramidados são aprovados no Brasil

Em setembro de 2009, a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) aprovou a liberação comercial de duas variedades de milho transgênico com eventos piramidados, das empresas Monsanto e Syngenta, através de um procedimento simplificado, ou seja, sem avaliação de riscos da ocorrência de efeitos adversos.



## Biodevastação - uma economia pós-petróleo baseada em biomassa

Atualmente, a febre é cair fora da dependência do petróleo (matéria orgânica fossilizada) e trocar por biomassa (matéria orgânica viva). Para fazer frente às atuais crises financeira, geopolítica e climática, empresas e o governo dos Estados Unidos estão investindo pesado para desenvolver fontes de energia e de materiais que não dependam do petróleo.

Um dos eixos principais é o desenvolvimento da chamada 'economia de biomassa', 'economia de carboidratos' ou 'economia do açúcar'. É uma nova escalada tecnológica, promovida como uma mudança 'limpa' e 'verde', que até agora tem recebido abundantes investimentos e apoio político, mas muito pouca avaliação crítica. Porém, mais do que idealismo verde e soberania energética de cada país, o grande motor da economia de carboidratos tem sido os interesses estratégicos da indústria de biotecnologia.

Associar biomassa, biocombustíveis e outras formas de bioenergia como parte das estratégias de mitigação do aquecimento global legitimou seu uso como uma forma fácil de reduzir a emissão de carbono. Consumir biomassa, entretanto, está



longe de ser uma opção de baixa emissão de carbono. As moléculas de carbono oriundas da queima de combustível fóssil ou de biomassa são idênticas e, portanto, têm o mesmo impacto ambiental.

Hoje, o etanol é produzido a partir de cana-de-açúcar, de milho, de trigo, de centeio, de beterraba e de outros cultivos. Mas, o surto do etanol, que ocorreu de 2005 a 2008, com sua febre de investimentos, aumento do número de famintos no mundo e ilusão de um futuro de emissão neutra de carbono, já ficou para trás. São muitas as evidências de que essa geração de agrocombustíveis está repleta de problemas – entre outros, consomem mais petróleo para serem obtidos do que a quantidade de energia que geram.

As apostas tecnológicas agora se baseiam no uso de praticamente qualquer matéria-prima de origem biológica. A biologia sintética, também denominada de engenharia genética extrema pelo Grupo ETC, é a aposta tecnológica para produzir, a partir de biomassa, os agrocombustíveis de segunda geração.

Equipes de biólogos sintéticos desenvolveram a fabricação de micróbios que transformam os carboidratos de plantas em hidrocarbonetos idênticos aos produzidos pela indústria petroquímica. Através do uso de micróbios artificiais, são acelerados os processos de extração de açúcares da biomassa, sua fermentação e sua conversão em químicos, em polímeros e outras substâncias. A matéria-prima são cultivos agrícolas e de árvores, gramíneas, algas, etc., que podem ser geneticamente modificados para apresentar maior teor de celulose, fermentar mais facilmente ou se desenvolver em solos e condições climáticas menos favoráveis. O resultado é a produção de combustíveis, plásticos, tintas, cosméticos, fármacos, adesivos, têxteis e muitos outros produtos.

As mesmas transnacionais da química, energia, agronegócio e farmacêutica que fomentaram a economia dependente do petróleo do século 20 estão hoje tomando as rédeas para implementar a transição para a economia de biomassa no século 21. Como resultado, teremos carros rodando com biocombustível, aparelhos funcionando com bioeletricidade, cartões de crédito confeccionados com bioplástico, e os sistemas naturais, dos quais todos dependemos, sujeitos a estar nas mãos de poucas empresas. Há um evidente crescimento de investimentos no setor de energia, especialmente nos agrocombustíveis de segunda geração e nos cultivos transgênicos. O desenvolvimento da biologia sintética alimentará a fusão da agricultura com a biotecnologia industrial e com os setores de energia.



Foto: Gildazio Fernandes - <http://www.panoramio.com/photo/17898784>



Apesar de ser um campo recente, uma rodada de consolidações já está em curso – as empresas emergentes estão fazendo *joint ventures*, apostando em ser compradas pelas grandes empresas de energia, de sementes e agroquímicos, e de monocultivos de árvores. Nos próximos anos, deve ocorrer uma clara consolidação vertical, na qual os grandes provedores de biomassa, como Cargill, ADM, Bunge, Syngenta, Monsanto e outras, vão ter a propriedade ou o controle das atuais empresas de biologia sintética.

Na economia de biomassa, as plantas deixam de ser centenas de espécies e milhares de variedades. São tratadas numa perspectiva industrial como uma única *commodity* a ser convertida em *produtos* através de processos industriais homogeneizados, usando tecnologias de larga escala, com consequências desconhecidas. Nessa perspectiva, biomassa é qualquer material biológico não fossilizado que pode ser usado como matéria-prima para produzir, além de biocombustíveis, outros produtos industriais. Já se sabe que a grande maioria dos bioplásticos e bioquímicos não é biodegradável, apesar de serem fabricados a partir de açúcares de plantas. À medida que a indústria mudar para a bioprodução, veremos muitos dos tóxicos já existentes no mercado serem produzidos a partir de plantas, ao invés de petróleo.



A visão dessa economia assume que é possível manter os atuais níveis de consumo e de crescimento econômico com a simples mudança da economia de carbono fóssil para a economia baseada no carbono da biomassa. É uma visão equivocada, pois a produção e o uso de biomassa têm limites bem definidos no nosso Planeta finito. Não teremos quantidades ilimitadas de biomassa celulósica à disposição conforme assumem os que advogam a favor da biologia sintética e da economia baseada no açúcar. É preocupante que, na corrida para sair do pesadelo da energia fóssil, políticos, cientistas e membros da sociedade civil, bem intencionados, estejam correndo para os braços de uma alternativa igualmente perigosa, injusta, com riscos à saúde e ao ambiente, e insustentável. Parece que não aprenderam nada com a primeira geração de agrocom-

bustíveis, responsável por forçar agricultores empobrecidos e comunidades indígenas a abandonar suas terras, pelo aumento dos preços dos alimentos e por deslocar populações do nível de subsistência para o de fome.

Há várias perguntas precisando de respostas: Que quantidade de biomassa pode ser colhida de forma sustentável, sem provocar erosão e degradação dos solos, destruir a biodiversidade, aumentar a insegurança alimentar e deslocar populações marginalizadas? De onde virá a terra para produzir toda a biomassa necessária? A terra de que populações será considerada 'marginal', e então utilizada para plantar cultivos ou árvores? Os micróbios sintéticos funcionarão de forma previsível? Podem ser contidos e controlados com segurança? Como a biologia sintética será regulamentada? Ninguém sabe as respostas para essas questões, mas isso não reduz o entusiasmo das corporações.

Os entusiastas afirmam que, ao empregar celulose, árvores e resíduos de colheitas (o que provocaria enorme degradação dos solos), não competiriam com alimentos, o que é totalmente falso. Essa economia aumentará a disputa por água, por terras, por monocultivos de árvores e por cultivos agrícolas, com efeitos devastadores para a biodiversidade, camponeses e povos indígenas. A resposta às perguntas segue um padrão já familiar! Mais uma vez, terra e trabalho no Sul serão explorados para satisfazer o consumo excessivo, especialmente do Norte. Há o risco de erosão dos direitos, da segurança e da soberania das populações mais vulneráveis, ao mesmo tempo em que se pioram, mais do que se resolvem, as múltiplas crises da mudança climática, da extinção de espécies, da falta de água, da perda de biodiversidade. Usar biomassa como energia renovável é distinto de usar

energia solar e eólica, que são fontes permanentes. Árvores, cultivos e outros materiais vegetais podem ser exauridos se sobre-explorados, assim como os solos em que são cultivados ou os ecossistemas e lençóis freáticos de onde são coletados. Por isso, há grupos ecologistas e comunidades afetadas pelas fábricas que convertem biomassa fazendo pressão para que a biomassa não seja identificada como uma energia renovável.



## A disponibilidade de biomassa no Planeta:

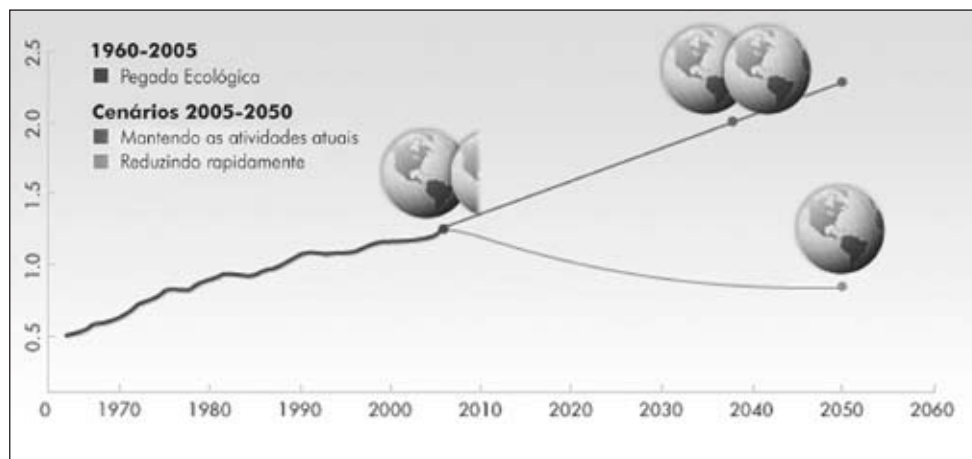
Se fizermos a conta da disponibilidade de biomassa no Planeta, considerando a que tem que permanecer intocada para que os ecossistemas continuem funcionando, veremos que não só não temos biomassa sobrando como já estamos nos apropriando de uma quantidade maior do que a disponível para nosso uso – um débito ecológico com implicações graves.

Uma das medidas usadas para ver quanta biomassa o Planeta é realmente capaz de fornecer “sustentavelmente” para essa transição na economia é a **‘Pegada Ecológica’**, desenvolvida pela Global Footprint Network. O termo biocapacidade mede o quanto de recursos está disponível, de forma ‘sustentável’, para uso da humanidade, descontado o que é necessário para que a natureza se mantenha. O excesso de uso da biocapacidade afeta negativamente os ecossistemas e os leva ao declínio.

Desde o final dos anos 1970, temos uma pegada ecológica maior que a biocapacidade da Terra. Em 2003, atingimos 25% acima, transformando recursos em lixo mais rapidamente do que a natureza é capaz de transformar lixo em recursos. Nesse ritmo, em 2050 estaremos usando 2 vezes a biocapacidade do Planeta, o que é inviável. Achar que o modelo de agricultura e de plantio de árvores que está aí justamente provocando problemas cada vez maiores na biosfera, solos e águas, poderia ser expandido para tornar a biosfera ainda mais produtiva é um contrassenso.

A única forma de superar esse impasse é desenvolver uma civilização que reduza drasticamente sua pegada ecológica.

### Pegada Ecológica ou Biocapacidade utilizada - N° de Planetas / Ano



- ✂ **Produção anual global de biomassa: 230 bilhões de toneladas**
- ✂ Porcentagem da biomassa anual imobilizada em micróbios no oceano profundo: cerca de 90 bilhões de toneladas
- ✂ Apropriação humana atual da biomassa: Mais de 25%



## A celulose

Folhas, troncos, palhas, frutos, raízes, brotos, algas têm formas muitos diferentes, mas um componente molecular em comum: a celulose.

A celulose é uma forma de açúcar encontrada em todas as plantas e em alguns micróbios, formada por longas cadeias de glicose. É o componente orgânico mais abundante no Planeta, e é flexível. Os primeiros plásticos e fibras sintéticas, como o acetato dos antigos filmes das máquinas fotográficas ou o papel celofane, assim como o Rayon, eram feitos de celulose vegetal. A celulose tem a característica de poder ser modificada e tornada funcional em inúmeras formas para produzir novos polímeros, membranas, películas, óleos e combustíveis. Também, nanofibras de celulose podem ser modificadas para exibir novas propriedades.

O desenvolvimento, através da biologia sintética, de enzimas que quebram a celulose, conhecidas como celulasase, está transformando a celulose num composto mais acessível para uso industrial.

Os defensores dos combustíveis derivados de celulose afirmam que eles são a solução para o dilema alimento X combustíveis. Segundo eles, usar a celulose de folhas, caules e ramos permitiria que frutos e grãos continuassem sendo usados para alimentação. E que a madeira de árvores, a fonte mais abundante de celulose, de qualquer forma é uma fonte pequena de nutrientes para a humanidade. Numa olhada superficial, isso é verdade. Mas se apropriar de terras para plantar cultivos ricos em celulose (os chamados cultivos energéticos) ou remover dos solos agrícolas os resíduos que sobram dos cultivos pode comprometer seriamente a produção de alimentos.



## Setor sucroenergético

O Brasil e a Índia são os países que mais produzem cana-de-açúcar, representando quase 60% da produção mundial. O Brasil utiliza cerca de 48% da sua produção de cana-de-açúcar para produzir etanol. Países como Índia, China, Tailândia, Filipinas e Paquistão têm planos ambiciosos para usar a cana-de-açúcar como cultura de biocombustível para a produção de etanol.

A Argentina tem um programa nacional de biocombustíveis que prevê investimentos privados de mais de US\$ 500 milhões na produção de cana-de-açúcar nas províncias do norte do País.

O governo paraguaio pretende ampliar a produção nacional de etanol, dobrando de 50 mil para 100 mil hectares a área de cultivo da cana-de-açúcar destinada à produção de álcool no país. No total, o país possui 500 mil hectares disponíveis para o cultivo da cana.

A Etiópia terá etanol produzido a partir da cana-de-açúcar, que já é cultivada no país. Angola está começando a investir na produção industrial de cana-de-açúcar.

Entre os países que já adotam a mistura obrigatória de biocombustíveis ao combustível de petróleo estão o Brasil, a Colômbia, Índia, Tailândia, China, Taiwan e Uruguai.

Nos Estados Unidos, há legislação assegurando que não só o combustível para transporte, mas também químicos, plásticos, aquecimento e outros usos de energia devem ser baseados em biomassa. No Japão, a estratégia visa a energia e bioplásticos. Na Europa, a biomassa é promovida para aquecimento e resfriamento, produção de energia elétrica e transporte.





*Pode parecer doce e limpa, mas a chamada economia do açúcar irá acelerar a apropriação corporativa sem precedentes de toda a biomassa, bem como a destruição da biodiversidade, numa escala maciça.*

**Grupo ETC**

### **Biorrefinarias de açúcares**

O grande projeto comercial para a biologia sintética são as biorrefinarias de açúcares, que funcionam com micróbios fabricados fermentando biomassa. Em geral, as biorrefinarias são o resultado de alianças corporativas entre empresas de distintos setores industriais.

Empresas recentes de biologia sintética têm parcerias com as principais petrolíferas (Shell, BP, Marathon Oil, Chevron), com as empresas que controlam mais de 80% do comércio mundial de cereais (ADM, Cargill, Bunge, Louis Dreyfuss), com o oligopólio de produtoras de sementes, de transgênicos e de agrotóxicos (Monsanto, Syngenta, DuPont, Dow, Basf) e com as maiores farmacêuticas (Merck, Pfizer, Bristol Myers Squibb), além da General Motors, Procter & Gamble, Marubeni e outras.

As características dessas empresas, em vários casos financiadas pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, deixam claro que se tratam de empreendimentos concebidos para se apropriar da maior quantidade possível de biomassa produzida na Terra e mercantilizá-la.

As alianças corporativas estão se movimentando rapidamente para buscar fontes de matéria-prima, e o Brasil tem papel chave no desenvolvimento da segunda geração dos biocombustíveis, pela farta produção de cana-de-açúcar, com aproveitamento tanto do bagaço quanto da palha, e pela possibilidade de ampliação da área cultivada.

# BIOINDÚSTRIA SINTÉTICA

## A emergente indústria da devastação



### Os poderosos chefões da biologia sintética

Investem em pesquisa de biologia sintética e se aliam a empresas emergentes.

#### Empresas:

Shell, BP, Marathon Oil, Chevron, ADM, Cargill, Bunge, Louis Dreyfuss, Monsanto, Syngenta, DuPont, Dow, Basf, Merck, Pfizer, Bristol Myers Squibb, General Motors, Procter & Gamble, Marubeni, etc.

### Os novos competidores

Buscam desenvolver micróbios para a produção de químicos, de fármacos e, atualmente, sobretudo de biocombustíveis.

#### Empresas:

Amyris, Athenix, Codexis, Coskata, Genencor, Genomatica, Gevo, LS9, Mascoma, Metabolix, Novozymes, Solazyme, Synthetic Genomics, Verenum



### Sintetizadoras de DNA

Distribuídas pelo mundo todo, essas empresas produzem DNA sintético para criar vida artificial, numa velocidade cada vez maior e a um custo cada vez mais baixo.

*Os promotores da biologia sintética esperam que a promessa de uma "solução tecnológica verde" – micróbios sintéticos que fabriquem biocombustíveis ou parem a mudança climática – seja tão sedutora que faça a tecnologia ser aceita pelo público, apesar de seus riscos e perigos.*





## Uma panorâmica de algumas das empresas de biologia sintética

### Amyris Biotechnologies, Inc.

Empresa com sede em Emeryville, Califórnia, criada em 2003, a partir de pesquisa básica no Departamento de Engenharia Química e Bioengenharia da Universidade da Califórnia, em Berkeley, por Jay Keasling e outros três pesquisadores da mesma universidade. Inicialmente, recebeu investimentos da Kleiner Perkins Caufield & Byers, da Khosla Ventures, da TPG Ventures e da eDAG Ventures.

A Amyris aplica biologia sintética para alterar rotas metabólicas de microorganismos, construindo assim 'fábricas vivas' que transformam açúcar em qualquer uma das 50 mil distintas moléculas usadas numa ampla gama de aplicações em energia, farmacêutica e química. Em sua página web, a empresa afirma que "... está traduzindo a promessa da biologia sintética em soluções para problemas no mundo real. Partindo de avanços na biologia molecular, celular e de sistemas, estamos desenhando micróbios capazes de produzir compostos de alto valor para atender grandes desafios globais de saúde e energia. Estamos empregando estas fábricas químicas vivas para produzir fármacos novos, combustíveis renováveis e substâncias químicas especializadas". A Amyris está desenvolvendo um substituto de gasolina compatível com os carros atuais e com a infraestrutura de distribuição atualmente existente. Também está desenvolvendo substitutos de diesel e de combustível de aviação, a partir das mesmas fontes e fábricas usadas para produzir etanol. Os combustíveis da Amyris são biologicamente formulados por meio da fermentação da cana-de-açúcar para criar hidrocarbonetos, a mesma estrutura molecular encontrada em combustíveis tradicionais e de petróleo. No final de 2009, informa ter 13 patentes nos EUA e outros países e 187 patentes de aplicações ainda pendentes.



Com recursos de US\$ 42,6 milhões da Fundação Bill & Melinda Gates, a empresa iniciou desenvolvendo a artemisinina sintética (substância utilizada na cura da malária), o que afetou os meios de vida de agricultores africanos, pois a artemisina natural é obtida de uma planta, hoje cultivada na África. Usada a mais de 2.000 anos na medicina chinesa, nos anos 1950 teve sua eficácia comprovada para curar a malária. Aparentemente, também seria eficaz contra alguns tipos de câncer.

A tecnologia da Amyris, que permite a produção de artemisinina sintética a partir, também, da cana-de-açúcar, foi transferida para a Sanofi Aventis, uma das três maiores empresas farmacêuticas do mundo, produzir em escala comercial medicamentos contra a malária.

Produzir artemisinina sintética, biocombustíveis ou outros materiais é possível porque a tecnologia da Amyris obtém a molécula farneseno. O farneseno é então utilizado como matéria-prima para a produção de diesel, gasolina, querosene de aviação, lubrificantes, cosméticos, solventes, adesivos, agrotóxicos, vitaminas, etc.

A Amyris usa a mesma tecnologia para dominar a indústria de agrocombustíveis de segunda geração.

Sua subsidiária Amyris do Brasil Pesquisa e Desenvolvimento de Biocombustíveis Ltda. iniciou suas atividades no nosso país através de uma *joint venture* com a Crystalsev (do Grupo Santelisa Vale), em 2008, para comercializar, a partir de 2011, diesel, combustível de aviação e gasolina produzidos com cana-de-açúcar. A empresa tem um centro de pesquisa e desenvolvimento e uma instalação piloto em Campinas, São Paulo, inaugurada em junho de 2009. Em 2008, a Amyris Biotechnologies recebeu investimentos da Votorantim Novos Negócios, que se tornou uma das 5 principais empresas sócias. Em maio de 2009, a parceria com a Crystalsev deixou de existir. Em outubro desse ano, o Grupo Cornélio Brennand (atuação na área de energia, produção de vidro e imóveis), com sede em Recife, tornou-se investidor na Amyris Brasil. Em novembro de 2009, a Amyris estabeleceu parceria com a Embraer, a GE (General Electric) e a Azul para desenvolver o bioquerosene de aviação produzido a partir da cana-de-açúcar, que poderá estar disponível para utilização comercial a partir de 2013 ou 2014. Em dezembro de 2009, fechou acordo com a São Martinho para a criação de uma *joint venture* para a produção de



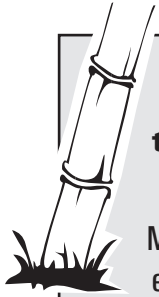
Foto: Birgit Betzelt

### Malária:

Causada pelo *Plasmodium* e transmitida ao homem pela picada de mosquitos do gênero *Anopheles*, a malária é curada pela substância naturalmente extraída da planta *Artemisia annua*, hoje cultivada por agricultores africanos.



Foto: Birgit Betzelt - www.stopmalarianow.org




### Parcerias na cana-de-açúcar transgênica

No final de 2008, a Monsanto comprou as empresas CanaVialis e Allelyx, que pertenciam à Votorantim Novos Negócios. A CanaVialis desenvolve variedades para o plantio de cana no Alabama (EUA), de onde sairá a matéria-prima para a produção de combustível de aviação pela Amyris.

Em meados de 2009, a CTNBio autorizou pesquisa em campo com novos cultivares geneticamente modificados de cana com alto teor de sacarose, cuja solicitação havia sido feita pela Allelyx.

De acordo com a Amyris, a nova variedade de cana com mais sacarose vai reduzir os custos da empresa e “a agilidade na aprovação desses testes mostra que o Brasil tem grande compromisso com o futuro da biotecnologia”. A expectativa dos especialistas é que a cana GM seja liberada para plantio comercial até 2012.

Além de desenvolver variedades com maior teor de sacarose, há busca de aumento da biomassa. Essas variedades, chamadas de cana-fibra, com altos teores de celulose e lignina, serão, em longo prazo, a matéria-prima adequada para a tecnologia de etanol celulósico.



especialidades químicas a partir da cana-de-açúcar. O Grupo São Martinho é um dos maiores produtores de açúcar e etanol no Brasil, gerando ainda energia elétrica. Também em dezembro, assinou carta de intenções com a Cosan (uma das maiores empresas mundiais fabricantes, distribuidoras e exportadoras de açúcar e etanol, que, em 2008, entrou no mercado de distribuição de combustíveis e lubrificantes, quando comprou os ativos da Esso), com a Bunge e a Açúcar Guarani (terceira maior empresa processadora e produtora de açúcar no Brasil, com usina também em Moçambique, é controlada pelo grupo francês Tereos, quarto maior produtor mundial de açúcar, álcool-etanol e amidos), para a produção de combustíveis e materiais químicos renováveis de alto valor agregado, para a safra 2013-2014. Nas usinas em que for instalada a tecnologia da Amyris, além de açúcar e etanol, será possível também a produção de farneseno.

Esses 4 acordos resultam numa capacidade de esmagamento anual de mais de 12 milhões de toneladas de cana.

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) também poderá ser mais um parceiro da Amyris Brasil.

Segundo a empresa, “A Amyris Brasil está avançando para a escala total de produção em usinas através de duas atividades paralelas: a Amyris Brasil terá produção em usinas próprias para assegurar a primeira produção em 2011; a Amyris Brasil trabalhará com todas as empresas do setor para permitir-lhes produzir os combustíveis e produtos químicos Amyris, onde a Amyris fornece a tecnologia e o projeto da indústria, e os proprietários das destilarias as convertem para a produção. A Amyris Brasil então adquirirá os produtos para vendê-los e distribuí-los aos consumidores finais.”

A empresa prevê a produção inicial de 400 milhões de litros de diesel em 2011.

No longo prazo, quer produzir produtos farmacêuticos, flavorizantes, fragrâncias e nutracêuticos, tudo com a mesma levedura, apenas variando o genoma sintético.

Em 2008, a Amyris Brasil obteve o CQB (Certificado de Qualidade de Biossegurança), emitido pela Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio), para o manuseio de organismos geneticamente modificados. E, em outubro de 2009, a Amyris solicitou à CTNBio parecer para liberação comercial de levedura (*Saccharomyces cerevisiae*) manipulada com biologia sintética, para produção de Farneseno Cepa & 1979. Em fevereiro seguinte, a Comissão aprovou a liberação comercial da levedura, que permite a produção de diesel a partir da cana-de-açúcar. É a primeira vez que um organismo de biologia sintética é aprovado pela comissão. A rapidez na tramitação surpreendeu até mesmo a empresa, que declarou ter que apressar a finalização da linha de produção, pois não contava com tanta agilidade.

## Novozymes



A empresa da Dinamarca anuncia ser a maior empresa mundial de 'biossoluções' (manipulação genética para produção de enzimas), com 700 produtos em 130 países e 5.000 patentes e patentes de aplicações, para 30 indústrias distintas, sendo a de agrocombustíveis uma delas. A empresa dinamarquesa afirma que essas tecnologias possibilitarão converter lascas de madeira em combustíveis para automóveis.

A Novozymes Latin America Ltda. iniciou as suas atividades no Brasil em 1975. Em 1989, inaugurou a sua unidade industrial multipropósito em Araucária, Paraná, dando início à produção industrial de enzimas e processos enzimáticos. Segundo a empresa, suas soluções naturais melhoram e facilitam tudo, desde a remoção de gordura hidrogenada (trans) até os avanços nos biocombustíveis que moverão o mundo do amanhã.

Em 2007, fez uma parceria com o CTC – Centro de Tecnologia Canavieira - para desenvolver a segunda geração de agrocombustíveis, para produzir etanol a partir do bagaço da cana-de-açúcar, estimando a comercialização em 2011-2012.

Em abril de 2009, assinou acordo com a empresa de biologia sintética Verdezyne. Em dezembro de 2009, formalizou uma parceria de pesquisa de pelo menos 5 anos com a BRASKEM, empresa brasileira petroquímica do Grupo Odebrecht, para desenvolver polipropileno (plástico) a partir da cana-de-açúcar. Esse tipo de plástico é conhecido como 'bioplástico' ou 'plástico verde'. Segundo a Novozymes, esse é um movimento em direção a uma economia verde, na qual o açúcar será o novo petróleo. Também em dezembro, anunciou parceria com a Cetrel S.A. (Empresa de Proteção Ambiental do Pólo de Camaçari, Bahia) para produzir biogás e eletricidade a partir do bagaço da cana.

Em 2009, a organização ambientalista WWF estabeleceu uma parceria com a Novozymes denominada "Iniciativa das Biossoluções - Eliminando o primeiro trilhão de toneladas de CO<sub>2</sub>".

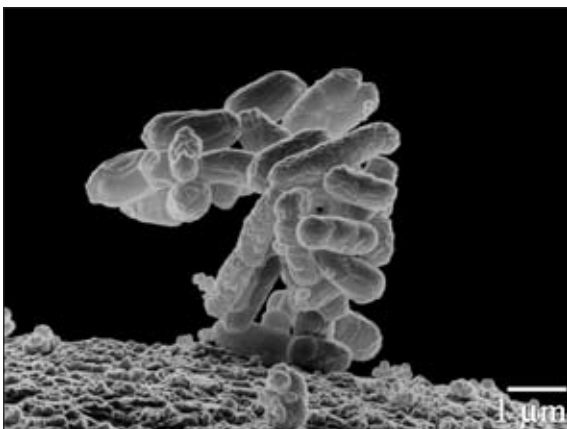


*“Com os avanços na biotecnologia, qualquer substância química fabricada a partir do carbono contido no petróleo poderá ser produzida a partir do carbono encontrado nas plantas.”*

*Diretor de produtos bioindustriais da Cargill*



Imagens de DuPont™ Sorona® EP thermoplastic polymer, em [http://www2.dupont.com/Plastics/en\\_US/Products/Sorona/Sorona\\_ep.html](http://www2.dupont.com/Plastics/en_US/Products/Sorona/Sorona_ep.html)



*Escherichia coli*

## DuPont

Em 2004, a DuPont, segunda maior empresa de sementes do mundo, fez uma joint venture com a Tate & Lyle (gigante do açúcar que foi vendida à Bunge em 2008) para, em parceria com a Genentech, estabelecer uma biorrefinaria no Tennessee (EUA) para produzir a fibra sintética Sorona, parcialmente obtida de milho, através da fermentação pela bactéria *Escherichia coli*, comum no intestino grosso de seres humanos, que foi sinteticamente reprogramada.

A ideia é que a fibra biológica substitua o nylon, podendo ser usada para produzir desde roupas íntimas até carpetes, passando por filmes, filamentos e resinas, tecidos e peças plásticas para automóveis, entre outras aplicações. O modelo de carro SAI, da Toyota, por exemplo, usa a fibra no teto, painel e laterais, e é anunciado como um carro de luxo altamente ‘ecológico’ porque usa ecoplásticos feitos de materiais de plantas.

Na realidade, a fibra contém de 20-37% de materiais de fontes renováveis (por peso), sendo o restante derivado de petróleo. Mas são necessárias mais de 150 mil toneladas de milho para produzir umas 45 mil toneladas de Sorona. A fibra também pode ser feita de cana-de-açúcar. Ao contrário do que pode parecer, e apesar da empresa anunciá-lo como ambientalmente correto, esse “plástico” não é nem biodegradável nem compostável.

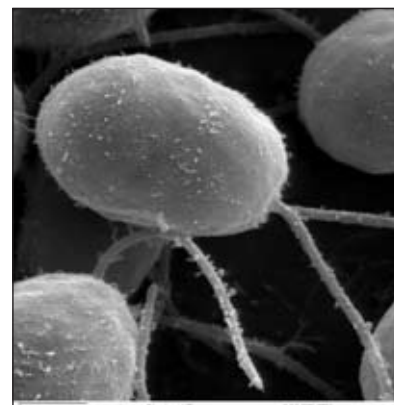


## Synthetic Genomics

Em 2004, o geneticista norte-americano Craig Venter, famoso pelo sequenciamento do genoma humano com sua companhia Celera Genomics e por ter solicitado o patenteamento de genes do cérebro, realizou uma expedição marítima pelo mundo, num projeto com financiamento do Departamento de Energia dos Estados Unidos, para coletar microorganismos aquáticos. No final de 2003, Craig Venter construiu um vírus sintético em quatorze dias, "juntando" pedaços de informações genéticas disponíveis. Em 2005, iniciou a empresa Synthetic Genomics, para criar novas formas de vida totalmente artificiais, e declarou que a empresa usaria as informações coletadas na expedição marítima. Em sua página web, a empresa diz que "Estamos desenvolvendo estratégias novas baseadas na genômica para atender desafios globais energéticos e ambientais. Avanços recentes no campo da genômica sintética apresentam aplicações aparentemente ilimitadas, que poderiam revolucionar a produção de energia, de substâncias químicas e de fármacos, e facilitar o sequestro de carbono e a remediação ambiental... Estamos numa posição única para desencadear uma revolução biológica industrial, e estamos comprometidos em abrir as portas para um futuro de energia limpa mediante a genômica." Em meados de 2009, a Exxon Mobil Corp., a maior empresa de petróleo dos Estados Unidos, anunciou que planeja investir mais de US\$ 600 milhões no desenvolvimento de biocombustíveis a partir de algas, em parceria com a Synthetic Genomics Inc. As algas seriam convertidas em óleo para fabricar combustível para aviões e motores.



Craig Venter. Ilustração: Stig.



Alga verde unicelular

## LS9

Fundada em 2005, tem sede na Califórnia. Produz biocombustíveis 'avançados' e pode produzir outros químicos. Tem como principais investidores os fundos Flagship Ventures, Khosla Ventures, Lightspeed Venture Partners, e Chevron Technology Ventures

Em 2008-2009, fez parceria com a Procter & Gamble para desenvolver e comercializar produtos químicos a serem usados pela P&G. Um de seus produtos combustíveis, o LS9's UltraClean™ Diesel atende às especificações da ANP (Agência Nacional do Petróleo) para rodar no Brasil.



**Os atores da biologia sintética e seus sócios corporativos**

<b>Companhia</b>	<b>Sócios/Investidores</b>
Amyris Biotechnology, EUA	Sanofi-Aventis, Khosla Ventures, Kleiner Perkins Caufield & Byers, TPG Ventures, Votorantim, Grupo Cornélio Brennand, Grupo São Martinho, Bunge, Cosan, Açúcar Guarani, EMBRAER, GE, Azul
Athenix Research Triangle Park, EUA	Syngenta, Monsanto, Iowa Corn Promotion Board
Codexis, EUA	Shell, Merck, Schering-Plough, Bristol-Myers Squibb, Pfizer, Chevron, Maxygen, Pequot Ventures, CMEA Ventures, Bio*One Capital
Coskata EUA	General Motors, ICM
Genencor (subsidiária da Danisco), EUA	Goodyear Tire & Rubber, DuPont, Procter & Gamble, Cargill, Dow, Eastman Chemical
Genomatica, EUA	Iceland Genomic Ventures, Mohr Davidow Ventures, Alloy Ventures, Draper Fisher Jurvetson
Gevo, EUA	Virgin Group, Khosla Ventures, Burrill & Company, Malaysian Life Sciences Capital Fund
LS9, EUA	Diversa, Khosla Ventures, Flagship Ventures, Lightspeed Ventures Partners
Mascoma, EUA	General Motors, Marathon Oil, Khosla Ventures, Kleiner Perkins Caufield & Byers, Pinnacle Ventures, Vantage Point Ventures Partners, Departamento de Energia dos EUA
Metabolix, EUA	Archer Daniels Midland, Departamento de Energia dos EUA
Novozymes (Novo Nordisk Foundation), Dinamarca	Centro para Sustentabilidade e Química Verde e Departamento de Engenharia Química da Universidade Técnica da Dinamarca, Fundação Nacional Dinamarquesa de Tecnologia Avançada, Laboratório Nacional de Energia Renovável do Departamento de Energia
Solazyme, EUA	Chevron, Imperium Renewables Inc., Blue Crest Capital Finance L.P.
Synthetic Genomics, EUA	BP, Centro Asiático para Tecnologia Genômica (subsidiária do Genting Group); Biotechnology LLC, Draper Fisher Jurvetson, Desarrollo Consolidado de Negocios, Meteor Group LLC
Verenium, EUA	Marubeni Corp., Tsukishina Kikai Co., BASF, DuPont, Danisco, Cargill, Bunge, Syngenta

Adaptado de Grupo ETC



## 4. Regulamentação

*Os avanços de aplicações emergentes da biologia sintética para a produção de biocombustíveis, de químicos, de produtos agrícolas, de aditivos alimentares, de medicamentos ou armas, entre outros, criam desafios significativos para a sociedade e para os órgãos reguladores. Até agora, praticamente não houve discussão sobre o que significa essa tecnologia. As implicações potenciais (em sua maioria desconhecidas) sobre o ambiente, a biodiversidade, a economia, a segurança bélica e a civil são imprevisíveis e podem ser extremamente graves. Na ausência de qualquer controle social, a biologia sintética ultrapassa fronteiras éticas de forma sem precedentes, afetando a todos, apesar de só beneficiar umas poucas empresas.*

Cientistas e empresas dizem que os organismos sinteticamente manipulados são fundamentais para produzir biocombustíveis baratos, para poder curar diversas doenças, para mitigar as crises climática e alimentar, e para remediar problemas de contaminação do ambiente, entre outros 'benefícios'. Governos e investidores não têm resistido ao lobby tecnológico, embarcando de maneira apressada na corrente dessa inovação.

Em geral, os governos acreditam que as regulamentações que existem para os organismos geneticamente modificados são suficientes para cobrir a biologia sintética. O bordão que diz 'na realidade a biologia sintética não tem nada de novo', similar aos já usados para a biotecnologia e a nanotecnologia, será escutado com mais frequência à medida que o tema passar a ser discutido pela sociedade.

Organismos feitos sob medida podem converter-se facilmente em fábricas de combustíveis e medicamentos, mas, também, em fábricas de armas biológicas. A experiência com os transgênicos já demonstrou que a promessa de controle feita por empresas e governos não é suficiente para evitar contaminação. De forma similar, os organismos vivos criados através da biologia sintética serão difíceis de conter e de controlar.

Devido à ampla disponibilidade de ferramentas de biologia sintética, praticamente ao alcance de quem quiser, há quem argumente que é impossível regulá-la. No que se refere à regulamentação e a estudos de impactos/riscos, as posições da sociedade civil e da comunidade científica são praticamente opostas. A sociedade exige regulação governamental e global na área da biologia sintética e se preocupa com aspectos sociais, econômicos e de direitos humanos, bem como com aspectos de segurança relacionados a saúde, ambiente, medicina, etc. Por seu lado, a comunidade científica diretamente envolvida com a biologia sintética propõe autorregulação, e a preocupação



“Em última instância, a biologia sintética significa ferramentas mais baratas e amplamente acessíveis para construir armas biológicas, patógenos virulentos e organismos artificiais que poderiam representar graves ameaças para a população e o Planeta. O perigo não é somente o bioterrorismo, mas também o ‘bioerrorismo’.”



*“Não se pode permitir que cientistas que criam novas formas de vida atuem como juiz e jurado. As possíveis implicações sociais, ambientais e de armas biológicas são demasiadamente sérias para serem deixadas nas mãos de cientistas que, ainda que bem intencionados, têm interesses próprios.”*

**Sue Mayer**, *GeneWatch*,  
Reino Unido

maior de cientistas e governos é quanto aos problemas de segurança relacionados a armas e agentes biológicos tóxicos.

Obviamente, não cabe aos cientistas orientar o discurso público nem determinar os marcos regulatórios, e as negociações têm que ocorrer sob a responsabilidade de governos. Cabe aos governos determinar

o que é seguro e aceitável para a sociedade, fomentando e ampliando o debate público com a inclusão de todos os atores sociais nas discussões e com conhecimento muito mais amplo dos riscos potenciais e do controle dessa tecnologia. Nessa discussão social, que deve ser ampla e transparente, é fundamental que sejam ouvidos os países do Sul e a sociedade civil que não visa lucro com essa tecnologia. E, quem tem conflito de interesses (como a indústria, por exemplo) não deveria ter o mesmo nível de participação. O debate público deve incluir as implicações sociais, econômicas e éticas da biologia sintética, bem como regulamentação e fiscalização. Não pode se limitar à segurança biológica (o bioterrorismo ou as armas biológicas) nem às medidas de segurança biológica nos espaços de trabalho ou no ambiente. É necessário incorporar discussões sobre quem controla e é dono de tal tecnologia, e se ela é socialmente aceitável ou desejável.

Praticamente não existem avaliações científicas independentes que verifiquem as afirmações da indústria sobre os benefícios da tecnologia. É necessária uma avaliação estratégica das tecnologias propostas antes de poder declará-las seguras e úteis, senão, como sociedade, teremos que lidar com os problemas decorrentes no futuro próximo ou remoto, como já fazemos em relação a substâncias químicas e agrotóxicos.

Devido à enorme descentralização da biologia sintética, ao seu avanço veloz, e à conseqüente globalidade de seus impactos, não é adequado regulá-la apenas em nível nacional. As opções de sua governança devem ser debatidas em um marco de referência internacional para assegurar que os interesses da sociedade sejam respeitados.

A biologia sintética é uma tecnologia em nanoescala e deve ser tratada no contexto mais amplo da convergência tecnológica. Os diálogos internacionais acerca da nanotecnologia deveriam incorporar em suas discussões tudo o que se relaciona com a síntese biológica. Na realidade, é necessário regulamentar o conjunto das tecnologias convergentes, e não perder tempo tentando enquadrar cada novo desenvolvimento tecnológico em regulamentações já existentes, elaboradas para atender um diferente conjunto de aspectos e de riscos potenciais.

## Desafios para avaliar riscos e regulamentar

As agências de regulamentação terão o grande desafio de avaliar riscos potenciais e adequar os controles de uma tecnologia que está saltando muito à frente de políticas e de regulamentações.

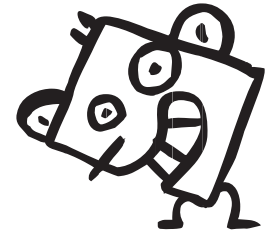
A criação de novas formas de vida traz em si própria enormes complexidades. Hoje, a fabricação intencional de organismos baseia-se na ideia de que a expressão dos genes (o comportamento que se vai obter) será controlada pelas sequências sintetizadas de DNA. Esse é o paradigma que dominou o desenvolvimento da biologia durante muitas décadas. Entretanto, já se sabe que a expressão dos genes envolve muito mais do que apenas a sequência do DNA e que a interação epigenética tem papel muito relevante.

### Epigenética - os organismos são mais que os seus genes

Os seres vivos não são controlados apenas pelos genes, pois o ambiente é capaz de influenciar o comportamento das células sem que o código genético tenha sido modificado. Ou seja, o ambiente também controla a expressão dos genes. E variações não-genéticas adquiridas no ciclo de vida de um organismo podem, eventualmente, ser passadas para seus descendentes.

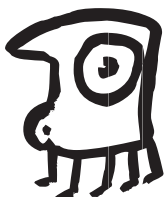
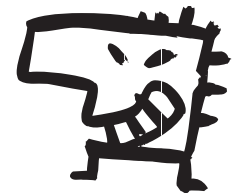
Como qualquer um que tenha acesso a computador pode, via internet, acessar bancos de dados com sequências de DNA, pode obter programas gratuitos para projetar DNA, e pode encomendar DNA sintetizado e receber pelo correio, a biologia sintética é preocupante, e as avaliações de riscos devem ser de longo prazo.

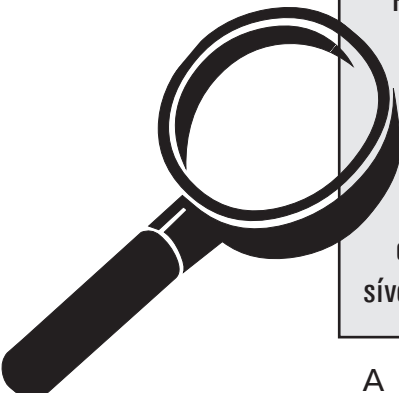
Microorganismos sintéticos liberados no ambiente (deliberadamente ou inadvertidamente) podem apresentar transferências horizontais de genes, afetando equilíbrios bióticos, ou evoluir para além das funções para as quais foram programados, com risco de efeitos colaterais desconhecidos e sem precedentes sobre o ambiente, sobre outros organismos e a saúde. Atendendo ao princípio da precaução, deveria ser proibida a liberação no ambiente até que haja um amplo debate social, uma avaliação de riscos feita para cada aplicação proposta, considerando todo o seu ciclo de vida, e seja estabelecida uma governança estrita.



*“Os engenheiros podem vir e ‘emendar’ aqui e ali. Mas os sistemas biológicos não são simples assim... E os engenheiros um dia vão descobrir que as bactérias estão, na realidade, rindo deles.”*

**Eckard Wimmer, SUNY  
Stony Brook**



**O Princípio da Precaução:**

Precaução quer dizer tomar cuidado. Esse princípio deve ser aplicado quando há risco de danos graves ou irreversíveis, decorrentes de atividades humanas, que ainda não são claramente entendidos, e que o estágio de desenvolvimento atual da ciência não consegue avaliar adequadamente (a falta de provas não prova que não há riscos). Tem a função primordial de evitar os riscos e a ocorrência de danos ambientais e à saúde, preservando melhor qualidade de vida para as gerações presentes e futuras, já que pode ser impossível reparar esses danos.

A biologia sintética permite produzir organismos com características múltiplas oriundas de distintos organismos doadores. Como prever as propriedades finais de tais organismos? Como avaliar os riscos de organismos contendo genes que nunca estiveram juntos anteriormente, que combinam elementos de múltiplas origens?

Do ponto de vista ético, como são definidos os limites do que é permitido, aceitável, na fabricação de vida? Quem deveria ter o poder de decidir? Quem define esses limites? Quem supervisiona aqueles que definem os limites? Quem será responsável por fiscalizar a pesquisa, e como isso será feito? Como evitar sua liberação acidental no ambiente? Como avaliar os efeitos de longo prazo de sua liberação intencional?

É pertinente reprogramar a vida dessa maneira, quando os questionamentos ambientais e relativos à segurança humana são tão vastos?



## O que tem acontecido na discussão sobre regulamentação

O Conselho Internacional de Controle de Riscos (*International Risk Governance Council*), uma organização independente da Suíça, publicou em 2008 um estudo sobre riscos e oportunidades da biologia sintética, para auxiliar na tomada de decisões sobre governança da biologia sintética. O trabalho levanta questões tais como: diferentes níveis de síntese biológica deveriam ter diferentes níveis de regulação? Os organismos sintéticos deveriam ser patenteados? A discussão sobre o tema deveria ser mais inclusiva? E quem deveria participar desse debate?

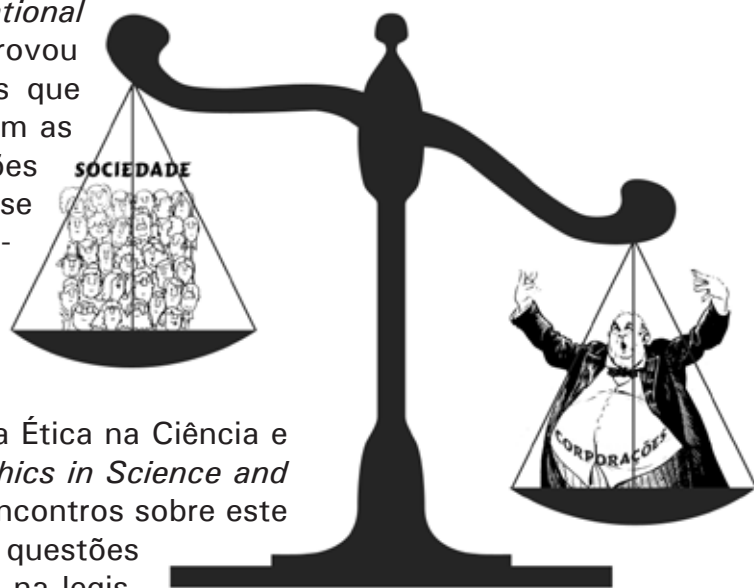
No Reino Unido, em 2008, o BBSRC (órgão de pesquisa governamental) reuniu cientistas, financiadores de pesquisa, fazedores de políticas, regulamentadores e assessores para considerar a adequação do sistema regulatório do país para produtos que possam surgir da biologia sintética.

A Organização Mundial da Saúde realizou rodadas de discussão sobre a regulamentação da síntese da varíola.

Nos Estados Unidos, uma preocupação principal é a possibilidade de novos organismos serem usados como arma biológica, o chamado bioterrorismo. Em 2009, o *National Science Advisory Board for Biosecurity* aprovou regulamentação demandando às empresas que vendem DNA que tenham mais cuidado com as encomendas que são feitas. São orientações voluntárias, isto é, as empresas de síntese de genes, se quiserem, filtrarão mais as encomendas de síntese de DNA, para evitar mau uso, mas não há vinculação legal. Também não trata de aspectos relacionados à segurança e ao ambiente.

Também em 2009, o Grupo Europeu para Ética na Ciência e Novas Tecnologias (*European Group on Ethics in Science and New Technologies*) realizou uma série de encontros sobre este tema e publicou um documento avaliando questões éticas contempladas ou não contempladas na legislação da União Europeia.

No Brasil, em 2007, o deputado Edson Duarte (PV), da Bahia, solicitou a elaboração de um projeto de lei que proibisse no país organismos e componentes biológicos gerados por técnicas de biologia sintética, e um estudo técnico sobre o assunto para acompanhar o projeto. Na conclusão do estudo feito, a Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados recomendou que o projeto de lei com a proibição não fosse protocolado para não atrapalhar a pesquisa e a economia. Obviamente, a regulamentação da biologia sintética não acompanhou a velocidade das aplicações comerciais hoje presentes no Brasil.



## 5. O que se pode fazer em relação à biologia sintética?

*A biologia sintética aumenta enormemente a possibilidade de impactos sobre a natureza e a saúde humana. E, mais uma vez, o Estado tem sido omissivo na sua responsabilidade de regulamentação. Ao mesmo tempo, a sociedade mal sabe do que está ocorrendo, e a maior parte do que se escuta são informações louvando a tecnologia como a grande solução para inúmeros dos problemas atuais.*



Em 2006, a comunidade científica diretamente envolvida com a biologia sintética fez um movimento de autorregulação para controlar os possíveis riscos ligados a sua atividade. Na ocasião, 35 organizações da sociedade civil de todo o mundo enviaram uma carta aberta à comunidade, reunida no encontro Synbio 2.0, solicitando o abandono da proposta de autorregulação e expressando sua preocupação de que essa tecnologia esteja sendo desenvolvida sem um debate adequado, que assegure plena participação da sociedade e no qual se abordem as implicações socioeconômicas, de propriedade intelectual, de segurança bélica e civil, ambientais, de saúde e direitos humanos. De lá para cá, pouca coisa mudou. A tecnologia avança em suas pesquisas e aplicações praticamente sem nenhum controle e regulamentação por parte dos governos e sem avaliação dos impactos que pode ter.

Não é fácil a sociedade conseguir se resguardar de tecnologias que se desenvolvem em alta velocidade e que têm tantos impactos potenciais. O primeiro passo é ter acesso a informações que permitam entendê-las. É urgente que a sociedade conheça o que é a biologia sintética, o que ela significa, bem como o que está ocorrendo sobre esse tema, no Brasil e no mundo.

Um passo seguinte é exigir que o Estado cumpra seu papel regulador, estabelecendo legislação abrangente, baseada no princípio da precaução. É lutar para que sejam elaboradas recomendações detalhadas sobre os aspectos de segurança relacionados à biologia sintética; para que, aplicando-se o princípio da precaução, os micróbios sintéticos sejam considerados e tratados como perigosos até que se prove que são inofensivos. Como passo mínimo, deve ser proibida a liberação de novos organismos sintéticos no ambiente, até que tenha ocorrido um amplo debate social e exista uma governabilidade real, e até que tenham sido consideradas, em profundidade, suas implicações socioeconômicas, ambientais e de saúde. Também é lutar para que haja tolerância zero em relação a agentes de guerra biológica, sintetizados ou não, e para que sejam adotadas for-



tes medidas legais e estratégias de cumprimento, que previnam a síntese de agentes de guerra biológica.

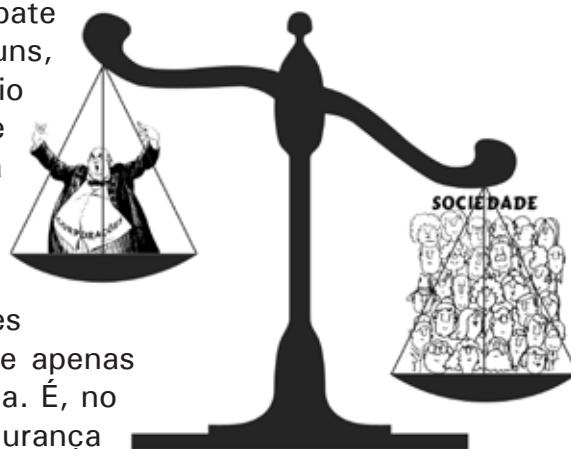
Portanto, entre tantas outras prioridades, o tema de **difundir informações e participar de discussões a respeito de biologia sintética** necessita, imediatamente, ser incorporado às agendas e às ações dos movimentos sociais e organizações da sociedade civil. É uma discussão que tem que envolver quem luta pelos direitos humanos, pela paz, pelo desarmamento, pelo meio ambiente, entre outros setores da sociedade.

### **A biologia sintética potencializa e aumenta todas as questões relacionadas aos transgênicos**

A ideia de organismos sintéticos novos levanta bandeiras vermelhas de alerta para quem tem uma visão crítica sobre a biotecnologia. Caso a biologia sintética seja encarada como a última solução técnica para a energia, a agricultura e a medicina, então teremos que dizer “não aos organismos transgênicos e aos sintéticos”. A sociedade civil e os movimentos sociais, particularmente os que têm lutado contra a engenharia genética e o patenteamento da vida, estão conscientes de que a engenharia genética extrema é uma tecnologia perigosa, que não deve se desenvolver na ausência de um amplo debate social e de uma regulação legal vinculante. Para alguns, tentar construir novos organismos vivos em laboratório ultrapassa, de maneira inaceitável, os limites éticos e significa o fortalecimento de uma ciência reducionista que tem sérias implicações para a sociedade.

Os organismos provenientes de manipulação sintética têm que ser tratados como um tema especial pela CTNBio, para não se repetirem liberações semelhantes à da levedura da Amyris, aprovada num processo de apenas 4 meses, que surpreendeu inclusive a própria empresa. É, no mínimo, ingenuidade acreditar que a Lei de Biossegurança seja mecanismo eficiente para tratar de organismos sintéticos, quando nem existem critérios específicos de avaliação.

*É, no mínimo, ingenuidade acreditar que a Lei de Biossegurança seja mecanismo eficiente para tratar de organismos sintéticos, quando nem existem critérios específicos de avaliação.*



### **A biologia sintética potencializa e aumenta todas as questões relacionadas aos agrocombustíveis**

No Brasil, também os agrocombustíveis de 2ª geração são parte de um modelo agrícola insustentável. Conforme afirmado pelas organizações da sociedade civil e movimentos sociais participantes do Seminário Internacional “Agrocombustíveis como obstáculo à construção da Soberania Alimentar e Energética”, realizado em 2008, os agrocombustíveis não são vetores de desenvolvimento e nem de sustentabilidade. Na realidade, são obstáculos à necessária mudança estrutural nos sistemas de produção, consumo e agricultura, e na matriz energética, que responda efetivamente aos desafios das mudanças climáticas.

Também afirmam que, entre os impactos da produção de cana-de-açúcar no Brasil, destacam-se a superexploração e as condições degradantes de trabalho e a utilização de mão de obra escrava; a contaminação dos solos, do ar e da água e redução da biodiversidade; o encarecimento das terras e a concentração fundiária, que fragilizam ainda mais os programas de reforma agrária e promovem, concomitantemente, um processo brutal de invasão de territórios de populações tradicionais e povos indígenas e de expropriação das terras de pequenos e médios agricultores; e a ameaça à produção dos alimentos que são consumidos no país. A estrangeirização da terra, seja através da compra ou contratos de arrendamento, para a produção de agroenergia, também é um fator recente e extremamente preocupante, pois hipoteca as áreas de terras agriculturáveis disponíveis e as condições estruturais de produção de alimentos.

Além disso, afirmam que o avanço dos agrocombustíveis, do etanol de segunda geração e da produção de bioplásticos inclui um componente estrutural de biotecnologia, transgenia e biologia sintética, fatores que representam uma nova frente de ameaça à biodiversidade.

E que, como sociedade, não estamos enfrentando uma crise de energia, mas sim uma crise de excesso de produção e de excesso de consumo. Substituir o petróleo por biomassa é apenas substituir um problema por outro. A única saída, politicamente difícil, mas ecologicamente realista, é reduzir a demanda

total de energia.

Ainda não há um movimento mundial organizado para fazer frente a essa nova economia de biomassa, mas, cada vez mais, grupos envolvidos na luta contra a monopolização de terras, a expansão de monocultivos de árvores, a produção de agrocombustíveis, de transgênicos, de incineração de resíduos, entre outros, estão se unindo a movimentos globais por soberania alimentar, justiça climática, democracia tecnológica, direitos de camponeses e indígenas, conservação de biodiversidade e contra o monopólio das corporações, à medida que esse modelo emerge, como uma fonte comum de oposição. É necessário que a sociedade civil conheça e entenda melhor o que está ocorrendo, para poder se mobilizar e agir contra as falsas promessas e as ações destrutivas da economia de biomassa.

Foto: Matheus Galvão - <http://galeria.brfoto.com.br/>





Foto: Ana Luiza Meirelles

Terezinha, Ana Paula, João Luis, Marta e Gabriel na agrofloresta - Litoral Norte do Rio Grande do Sul

## **É necessário um paradigma radicalmente diferente do atual.**

*O atual modelo de produção e consumo, promovido pelos países do Norte, é insustentável e coloca em risco a vida do planeta. Diante da crise estrutural do sistema capitalista, que engloba a questão energética, ambiental, alimentar, financeira e de valores, é preciso repensar o modelo de sociedade e de civilização.*

## **Simplemente não há saída, temos que reduzir os padrões de consumo se quisermos sobreviver neste Planeta!**

*Isso significa, entre outras tantas coisas, mudar drasticamente a forma como produzimos, comercializamos e consumimos alimentos, aumentando a diversidade biológica natural da agricultura, orientando a produção para mercados locais, mantendo as populações rurais na terra, diversificando os sistemas de produção agrícola, utilizando e expandindo o conhecimento local e colocando as comunidades locais novamente à frente do desenvolvimento rural.*

Mais uma vez estamos sendo cobaias  
de uma tecnologia pouco conhecida.

# Queremos REGULAMENTAÇÃO JÁ para a biologia sintética!

Promoção:



Apoio:

