



ESTUDO SOBRE ALGUMAS TÉCNICAS DE GEOENGENHARIA PARA REDUZIR O AQUECIMENTO GLOBAL

Ilidia da Ascensão Garrido Martins Juras

Consultora Legislativa da Área XI

Meio Ambiente e Direito Ambiental, Organização Territorial, Desenvolvimento Urbano e Regional

ESTUDO

NOVEMBRO/2010



Câmara dos Deputados
Praça 3 Poderes
Consultoria Legislativa
Anexo III - Térreo
Brasília - DF



SUMÁRIO

1. Introdução.....	3
2. Técnicas de Remoção de Dióxido de Carbono (CDR) da atmosfera.....	4
3. Técnicas de Gerenciamento da Radiação Solar (SRM).....	5
3.1. Técnicas relacionadas ao albedo de superfície.....	6
3.2. Telhados brancos.....	6
3.3. Outras alternativas de SRM.....	7
4. Conclusões.....	8

© 2010 Câmara dos Deputados.

Todos os direitos reservados. Este trabalho poderá ser reproduzido ou transmitido na íntegra, desde que citados(as) o(a) autor(a) e a Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. São vedadas a venda, a reprodução parcial e a tradução, sem autorização prévia por escrito da Câmara dos Deputados.

Este trabalho é de inteira responsabilidade de seu(sua) autor(a), não representando necessariamente a opinião da Câmara dos Deputados.



ESTUDO SOBRE ALGUMAS TÉCNICAS DE GEOENGENHARIA PARA REDUZIR O AQUECIMENTO GLOBAL

Ilidia da Ascensão Garrido Martins Juras

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade de sugestão para obrigar as grandes indústrias e fábricas em geral a pintarem os telhados das áreas construídas, na cor branca. Essa medida, segundo o autor da sugestão, ajudaria a reduzir o aquecimento global.

De fato, pesquisando o assunto, foram encontradas algumas referências a essa opção. O pesquisador Hashem Akbari, do Laboratório Nacional *Lawrence Berkeley*, na Califórnia, concluiu que “pintar os telhados das casas de branco poderia ajudar a abrandar as alterações climáticas, refletindo a luz solar de volta para o espaço sideral”¹. Ele lançou campanha mundial para que comunidades, autoridades locais e famílias usem mais materiais refletores em eventuais manutenções e reparos, o que não acarretaria aumento dos custos. O cientista afirma que a medida não afasta a necessidade de reduzir as emissões de carbono, mas que poderia dar-nos mais tempo para fazer isso.

Em outro estudo², realizado por cientistas do Centro Nacional para Pesquisa Atmosférica dos Estados Unidos (NCAR, na sigla em inglês), foram usados modelos computacionais para simular os impactos de coberturas brancas na temperatura de áreas urbanas. Segundo os pesquisadores, em teoria, telhados brancos podem ser um método efetivo na redução do calor urbano, enquanto vias asfaltadas, pavimentos cobertos por resinas impermeabilizantes e outras “superfícies artificiais” absorvem calor, elevando as temperaturas nas cidades entre 1°C e 3°C em relação às áreas circundantes não urbanizadas. As simulações efetuadas indicam uma redução de 33% da temperatura com todas as coberturas possíveis e imagináveis pintadas de

¹ Telhados brancos são nova arma contra aquecimento global. Opinião e Notícia. 17/01/2009. Disponível em: <http://opiniaoenoticia.com.br/vida/meio-ambiente/telhados-brancos-sao-nova-arma-contra-aquecimento-global/>
Acesso em: 15 jun 2010.

² Telhados brancos reduzem temperatura de cidades, demonstra simulação. Ciência e saúde/aquecimento global Portal de Notícias da Globo. 2/2/2010. Disponível em: <http://g1.globo.com/Noticias/Ciencia/0,,MUL1473611-5603,00-TELHADOS+BRANCOS+REDUZEM+TEMPERATURA+DE+CIDADES+DEMONSTRA+SIMULACAO.html>. Acesso em: 15 jun 2010.

branco. No entanto, dependendo do clima local, poderia haver aumento do consumo de energia para aquecimento de ambientes internos. Além disso, se esses sistemas de aquecimento utilizarem gás ou carvão, todo o esforço seria inútil.

Várias outras alternativas de geoengenharia têm sido sugeridas, desde técnicas para estimular o crescimento de algas nos oceanos para absorver dióxido de carbono a colocação de grandes espelhos espaciais e outras técnicas destinadas a refletir os raios solares, como injeção de partículas de enxofre na estratosfera, formação de nuvens mais baixas na atmosfera etc. Algumas dessas ideias podem simplesmente não funcionar, outras podem ser muito caras e outras, ainda, podem ter efeitos colaterais desastrosos. É portanto, necessário avaliá-las cuidadosamente.

Com essa finalidade, a Academia Britânica de Ciências (*The Royal Society*) constituiu um grupo de cientistas, liderados pelo Professor John Shepherd, que analisaram várias propostas. Em setembro de 2009, foi publicado o relatório resultante desse estudo, intitulado “*Geoengineering the climate: science, governance and uncertainty*”³.

O estudo provê informações detalhadas dos vários métodos e considera a eficiência potencial assim como as consequências não intencionais de cada um deles. Os métodos de geoengenharia foram divididos em duas categorias:

- Técnicas de Remoção de Dióxido de Carbono (CDR) da atmosfera
- Técnicas de Gerenciamento da Radiação Solar (SRM), que refletem parte da luz solar e do calor de volta para o espaço.

2. TÉCNICAS DE REMOÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CDR) DA ATMOSFERA

As Técnicas de Remoção de Dióxido de Carbono (CDR) da atmosfera avaliadas no estudo da Academia Britânica de Ciências incluem as apresentadas a seguir.

a) manejo do uso da terra para proteger ou aumentar os sumidouros de carbono: o relatório concluiu que o uso da terra e o aflorestamento poderiam desempenhar papel pequeno mas significativo na redução do crescimento das concentrações de CO₂ na atmosfera. Entretanto, o espectro de aplicação dessa técnica está restrito pelos conflitos pelo uso da terra, devendo ser consideradas as várias demandas existentes.

b) sequestro de carbono por meio da biomassa: consiste no sequestro de CO₂ por meio da fotossíntese, sendo a biomassa então estocada ou enterrada.

³ The Royal Society. *Geoengineering the climate Science, governance and uncertainty* September 2009. The Royal Society, London, 2009 Disponível em: <http://royalsociety.org/Stop-emitting-CO2-or-geoengineering-could-be-our-only-hope/> Acessado em: 14 jun 2010.

c) captura direta do CO₂ do ar ambiente: a captura de CO₂ do ar ambiente é um processo industrial cuja viabilidade tecnológica já foi demonstrada em escala de laboratório, mas ainda não em protótipo de grande escala. Seria o método preferencial de geoengenharia, uma vez que reverte efetivamente a causa da mudança do clima. No entanto, ainda necessita muita pesquisa e desenvolvimento para demonstrar sua efetividade, incluindo relação custo-benefício.

d) aumento dos processos naturais de remoção do CO₂ da atmosfera: o dióxido de carbono é removido naturalmente da atmosfera há milhares de anos, por meio de processos que envolvem a dissolução de silicatos e formação de carbonatos. Essa técnica foi identificada como boa opção a longo prazo. No entanto, ainda é necessário mais pesquisa para encontrar métodos custo-efetivos e compreender suas implicações ambientais.

e) aumento da absorção de CO₂ pelos oceanos: consiste na fertilização dos oceanos, para aumentar a absorção de CO₂ por meio da fotossíntese. É um método considerado viável, mas não efetivo, além de ter alto potencial para efeitos ecológicos não intencionais e indesejáveis.

3. TÉCNICAS DE GERENCIAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR (SRM)

A segunda maior classe de métodos de geoengenharia destina-se a controlar o aquecimento global por meio da redução da incidência e absorção da radiação solar incidente, frequentemente denominada insolação. As Técnicas de Gerenciamento da Radiação Solar (SRM) consistem em tornar a Terra mais refletiva, por meio do aumento do albedo ou desviando a radiação solar incidente. Isso oferece um efeito de resfriamento, contrabalançando o aquecimento global causado pelo aumento de gases de efeito estufa.

O objetivo dos métodos SRM é produzir forçamento radiativo líquido reduzido (próximo a zero), por meio do balanço entre o forçamento positivo dos gases de efeito estufa e o forçamento negativo introduzido pela reabsorção da radiação solar. Para compensar o forçamento radiativo de cerca de + 4 W/m² que surgiria se a concentração de CO₂ dobrasse ((IPCC 2007a), a alternativa deve prover redução similar na absorção da radiação solar. Um método que resulte em reflexão de 1% da radiação solar produzirá forçamento radiativo de -2.35 W/m². Portanto, a compensação do forçamento positivo de 4 W/m² requer uma redução de cerca de 1,8% da radiação.

Várias técnicas para a produção desse efeito têm sido propostas, que incluem desde o aumento do brilho da superfície terrestre, passando pela introdução de material refletivo na atmosfera até a inserção de material dispersor de luz no espaço entre o Sol e a Terra.

3.1. Técnicas relacionadas ao albedo de superfície

O propósito dessas alternativas consiste em fazer com que o Planeta como um todo reflita mais radiação solar por meio de uma superfície mais brilhante.

O ponto de partida para a análise é o balanço de energia do sistema climático. O albedo de superfície mede a refletividade (brilho) da superfície, e é definido como a proporção da radiação solar incidente na superfície que é refletida. Assim, o albedo de superfície médio é cerca de 30/198 ou 0,15. O esfriamento do Planeta por esse método seria obtido aumentando a radiação solar refletida de 30 a 34 W/m², que envolve o aumento, à primeira vista relativamente modesto, do albedo de superfície (de 0,15 para cerca de 0,17). No entanto, a maior parte da superfície planetária é coberta por oceanos, que têm albedo baixo (cerca de 0,1). Além disso, nem toda a superfície terrestre estaria disponível para aumento de refletividade. Os cientistas concluem, assim, que as mudanças necessárias somente seriam alcançadas se houvesse aumento do albedo de pelo menos 10% da superfície terrestre a um nível que se aproxime do valor máximo de 1,0.

As alternativas de albedo de superfície enfocam a refletividade de superfícies particulares (i.e. área urbana, áreas cultivadas, desertos) e, portanto, tendem a ser localizadas no espaço. Como resultado, a efetividade dessas alternativas também depende da quantidade de luz que alcança a superfície, que varia fortemente com a cobertura de nuvens e a latitude, assim como a porção da área da superfície terrestre onde o albedo aumentará. Para produzir esfriamento significativo, é necessário que modificações do albedo que cobrem pequenas frações da superfície terrestre, tais como ‘telhados brancos’ em áreas urbanas, produzam grandes mudanças no albedo local. No entanto, essas alternativas que envolvem pequenas mudanças em grandes áreas podem potencialmente estar em conflito com outros usos da terra como agricultura e florestas.

A natureza desigual do forçamento radioativo da maior parte das modificações do albedo de superfície têm o potencial de alterar a circulação atmosférica e, em alguns locais, o aumento do brilho da superfície poderia levar à redução na cobertura de nuvens e precipitação. Esses efeitos colaterais de alterações deliberadas do albedo de superfície ainda não são completamente avaliados nos modelos climáticos, mas os riscos associados serão maiores quanto maiores as escalas e as desigualdades regionais de padrões de forçamento.

3.2. Telhados brancos

A alternativa consiste em aumentar a refletividade do ambiente construído por meio de pinturas, telhados, estradas e pavimentos que refletem o branco. O método seria mais efetivo em regiões ensolaradas e durante o verão, tendo ainda o benefício de reduzir o uso de ar condicionado. Alguns autores estimaram que o albedo de telhados e

pavimentos urbanos poderia ser aumentado de 0,25 e 0,15 respectivamente, resultando no aumento líquido do albedo de áreas urbanas de cerca de 0,1. O resultado do forçamento radioativo global depende da dimensão da área urbana que pode ser usada com essa finalidade, sendo que as estimativas para isso variam de 1% a 0,05% da superfície terrestre. Usando a menor área, alguns pesquisadores estimaram o potencial de forçamento radioativo de apenas $-0,01 \text{ W/m}^2$, que é muito pequeno para que tenha qualquer efeito global significativo. Entretanto, usando uma definição mais ampla de assentamentos humanos outros pesquisadores consideraram modificações de albedo numa área maior da superfície terrestre (2,3%), que poderia produzir um esfriamento radioativo de cerca de -0.2 W/m^2 .

Os custos de pintura das superfícies urbanas também foram estimados. Assumindo um período de repintura a cada 10 anos, os custos seriam da ordem de US\$ $0,3/\text{m}^2/\text{ano}$, embora isso possa variar grandemente de país para país. Assim, “para cobrir uma área de 1% da superfície terrestre (cerca de 1 milhão de Km^2), os custos seriam de aproximadamente US\$ 300 bilhões por ano, tornando este o menos efetivo e mais caro dos métodos considerados” no Relatório (*The Royal Society*, 2009, p. 25).

Além dos telhados brancos, outras alternativas de superfície de albedo, como culturas e desertos refletores foram avaliados como inefetivos, caros e, em alguns casos, com possibilidade de causar sérios impactos aos padrões climáticos locais e regionais.

3.3. Outras alternativas de SRM

Se as temperaturas aumentarem a determinado nível que exija ações rápidas, o Relatório considera que, entre as alternativas de SRM, apresentam maior potencial as seguintes:

- Aerosóis estratosféricos: foram considerados viáveis, sendo que erupções vulcânicas constituem a base para estudos de caso preliminares e de curto prazo da efetividade potencial desse método. O custo foi considerado relativamente baixo e a escala de tempo de ação, curta. Entretanto, há algumas questões sérias quanto a efeitos adversos, particularmente a depleção da camada de ozônio.

- Métodos baseados no espaço: foram considerados como tendo potencial a longo prazo, se os grandes problemas de implementação e manutenção forem solucionados. Atualmente, tais métodos permanecem proibitivamente caros, complexos e de lenta implementação.

- Alternativas de albedo de nuvens: os efeitos seriam localizados e os impactos nos padrões do clima regional e das correntes oceânicas são de preocupação considerável mas ainda não bem conhecidos. A viabilidade e a efetividade da técnica é incerta, sendo necessário maior volume de pesquisa antes que seja seriamente considerada.

4. CONCLUSÕES

O Relatório conclui que nenhum dos métodos de geoengenharia avaliados oferece solução imediata para os problemas da mudança do clima ou reduz a necessidade de continuar as reduções de emissões.

As Técnicas de Remoção de Dióxido de Carbono (CDR) da atmosfera são preferíveis às de Gerenciamento da Radiação Solar (SRM) na maior parte dos aspectos analisados, porque promovem o retorno efetivo do sistema climático ao estado mais próximo do natural e envolvem menos incertezas e riscos. No entanto, dos métodos CDR avaliados, nenhum demonstrou ainda ser efetivo a um custo acessível, com efeitos colaterais aceitáveis. Além disso, a remoção de CO₂ da atmosfera tem efeito muito lento na redução das temperaturas globais (muitas décadas).

As Técnicas de Remoção de Dióxido de Carbono que não perturbam os sistemas naturais e não requerem mudanças de longo prazo no uso da terra, tais como a captura direta de CO₂ do ar e possivelmente também as que estimulam os processos naturais de remoção, têm menores efeitos colaterais. Técnicas que sequestram Carbono mas que têm implicações no uso da terra podem ser úteis em pequena escala, devendo ainda serem determinadas as circunstâncias para sua viabilidade econômica e sustentabilidade social e ecológica. Também não se conhece ainda em que extensão os métodos que envolvem a manipulação em grande escala dos terrestres (como a fertilização dos oceanos) podem sequestrar carbono de forma acessível e confiável sem efeitos ambientais inaceitáveis.

Em comparação às Técnicas de Remoção de Dióxido de Carbono, espera-se que as Técnicas de Gerenciamento da Radiação Solar sejam relativamente mais baratas e levem apenas alguns anos para ter efeito no clima. Se as grandes incertezas e riscos associados às Técnicas SRM puderem ser reduzidas no futuro, essas técnicas poderiam ser usadas para aumentar a mitigação convencional. No entanto, a adoção em grande escala das Técnicas SRM pode criar um balanço artificial e delicado entre o aumento da concentração de gases de efeito estufa e a redução da radiação solar, que poderia ter de ser mantida por muitos séculos e é duvidoso que tal balanço possa ser sustentado por tão longo período, particularmente se as emissões continuarem ou mesmo aumentarem. Assim, a implementação das Técnicas de SRM em qualquer escala só deve ser adotada em período limitado e em paralelo com a mitigação convencional e as Técnicas CDR.

Dos métodos SRM considerados, os aerossóis estratosféricos são atualmente os mais promissores, porque seus efeitos seriam distribuídos mais uniformemente que os SRM localizados, poderiam ser implementados mais prontamente que os métodos baseados no espaço e teriam efeito mais rápido (em um ou dois anos). Todavia, há incertezas e riscos potenciais associados com esta alternativa que requerem muita pesquisa.

Por fim, o Relatório apresenta como recomendações-chave:

- Os métodos de geoengenharia de ambos os tipos somente devem ser considerados como parte de um pacote mais amplo de opções voltadas à mudança do clima. Os métodos de Remoção de Dióxido de Carbono são preferíveis aos de Gerenciamento da Radiação Solar como forma de ampliar as ações de mitigação a longo prazo. Contudo, os métodos de SRM constituem alternativa potencialmente útil a curto prazo para a mitigação das reduções no caso de de que sejam necessárias rápidas reduções na temperatura global;
- As Técnicas de Remoção de Dióxido de Carbono que demonstraram ser seguras, efetivas, sustentáveis e acessíveis devem ser implementadas em conjunto com os métodos de mitigação convencionais tão logo estejam disponíveis;
- As Técnicas de Gerenciamento da Radiação Solar não devem ser usadas a menos que exista necessidade de rapidamente limitar ou reduzir as temperaturas médias globais. Devido às incertezas quanto aos efeitos colaterais sustentabilidade, esses métodos só devem ser usados em período limitado e se acompanhados de vigorosos programas de mitigação convencional e Técnicas de Remoção de Dióxido de Carbono, de forma que possam ser descontinuadas no tempo devido.

Dos estudos analisados conclui-se, assim, que a alternativa de “obrigar as grandes indústrias e fábricas em geral a pintarem os telhados das áreas construídas, na cor branca”, como forma de reduzir o aquecimento global, não é recomendada.