

Parte II – Propostas de ensino
**Geoengenharia do clima: uma controvérsia sociocientífica sobre a
responsabilidade na manipulação do clima**

Ana Rita Marques
Pedro Reis

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

MARQUES, A.R., and REIS, P. Geoengenharia do clima: uma controvérsia sociocientífica sobre a responsabilidade na manipulação do clima. In: CONRADO, D.M., and NUNES-NETO, N. *Questões sociocientíficas: fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas* [online]. Salvador: EDUFBA, 2018, pp. 345-362. ISBN 978-85-232-2017-4.
<https://doi.org/10.7476/9788523220174.0017>.



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

GEOENGENHARIA DO CLIMA

UMA CONTROVÉRSIA SOCIOCIENTÍFICA SOBRE A RESPONSABILIDADE NA MANIPULAÇÃO DO CLIMA

Ana Rita Marques

Pedro Reis

Introdução

As alterações climáticas antropogénicas são uma realidade atual, global e, nos últimos anos, cada vez mais consensual, impactando os equilíbrios naturais e a segurança de uma grande parte da população. As principais causas das alterações climáticas antropogénicas centram-se no aumento das concentrações de um conjunto de gases emitidos pelas atividades humanas e que interferem com os padrões normais de troca de energia por radiação da Terra com o espaço exterior, fenómeno este designado efeito de estufa. (BORREGO et al., 2010)

O fenómeno do aquecimento global, outrora controverso e sujeito a questionamentos relativamente às suas origens e causas, evoluiu para um consenso mundial, sendo que o trabalho de órgãos como o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) muito tem contribuído para que este tópico seja tratado com gravidade e preocupação nas mais diferentes esferas de decisão. (MARTINS, 2009) Com efeito, foram já diversos os países cujos governos reconheceram a gravidade da situação e a necessidade de se tomarem medidas efetivas para contorná-la, existindo três possibilidades de responder ao aquecimento global: adaptação e mitigação (ambas reconhecidas e

consideradas amplamente necessárias) e a Geoengenharia do Clima (GC). A GC pode ser descrita como a manipulação intencional e em larga escala do clima, com a finalidade de combater e reduzir as alterações climáticas antropogénicas indesejadas, mais especificamente o aquecimento global causado pelas emissões de gases com efeito de estufa. (MARTINS, 2009) Diversos métodos têm vindo a ser contemplados para esse fim, com resultados, objetivos, tecnologias e custos bastante distintos entre si. No entanto, todas as medidas de GC apresentam uma série de riscos e incertezas que eliminam a possibilidade de serem utilizadas de imediato; carecem, por isso, de mais estudos que permitam esclarecer ao máximo as dúvidas relativamente aos seus custos, efeitos diretos sobre o clima e efeitos colaterais sobre o meio ambiente. (BALA, 2009; CORNER; PIDGEON, 2010; GARVEY, 2008; MARTINS, 2009; MCNEILL, 2000; WEART, 2006)

A investigação científica e a inovação tecnológica estão constantemente a transformar o mundo. Dos telemóveis à internet, passando pelos mais recentes tratamentos contra o cancro, a ciência e a tecnologia têm o potencial de mudar as nossas vidas. Estes desenvolvimentos também criam novos riscos e novos dilemas éticos. Entretanto, os desafios que a sociedade enfrenta também são imensos – do envelhecimento saudável à sustentabilidade, da saúde global à segurança ambiental. Alguns afirmam que a investigação e a inovação poderão dar conta destes desafios, mas nada garante o seu sucesso à partida. A investigação e a inovação são sempre um pouco imprevisíveis, mas tal não pode servir de desculpa para a irresponsabilidade. Por outro lado, compreender e responsabilizar-se por desenvolvimentos que afetam profundamente a vida de todos não diz respeito só à ciência e aos cientistas. (SUTCLIFFE, 2011) O rumo e os objetivos da investigação e da inovação, a distribuição dos seus resultados (tanto positivos como negativos), os usos de novas tecnologias e o foco na resolução de problemas prementes são questões que os cidadãos têm que discutir e decidir em conjunto. (RRI TOOLS, [200-]; SUTCLIFFE, 2011)

A GC é um tema que pode ser abordado do ponto de vista da Investigação e Inovação Responsáveis (IIR). Tal significa que um ou mais compromissos (com foco na responsabilidade) orientariam as considerações sobre o processo de investigação em GC e suas aplicações, a fim de resolver problemas ambientais.

É nesse sentido que abordar a GC enquanto estratégia de combate, por exemplo, ao aquecimento global, através da lente da IIR, afigura-se como algo extremamente pertinente e necessário. Contudo, o desafio reside precisamente no modo como concretizar essa abordagem, garantindo que faça sentido para os cidadãos e não seja sentida como descontextualizada. Faz igualmente parte do desafio a capacitação dos alunos – cidadãos do presente – para a ação socioambiental e para a ação sociopolítica acerca da GC, de modo que esta tecnologia possa ser desenvolvida de um modo responsável.

Com base no contexto acima, este capítulo pretende apresentar uma sequência possível de atividades, organizadas segundo o modelo dos 5E de Rodger Bybee, no âmbito da estratégia de ensino Inquiry-Based Science Education (IBSE) que, incidindo na IIR no âmbito da GC, permitam perspetivar a manipulação intencional do clima como um do-

mínio de investigação científica controverso que exige, por isso, responsabilidade. Em virtude da necessidade de sensibilizar os cidadãos para: as questões que o tema envolve; a compreensão dos papéis dos diferentes agentes e grupos envolvidos na problemática; o entendimento das interações entre a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e o Ambiente (CTSA), a sequência de atividades propõe o desenvolvimento, a construção e a apresentação de uma exposição pelos alunos – processo entendido e explicitamente abordado enquanto estratégia de ativismo coletivo fundamentado em investigação.

A secção seguinte apresenta a controvérsia sociocientífica, indicando-se os níveis de ensino a que se aplica e das áreas do conhecimento que mobiliza, as questões de investigação que suscita aos alunos, os objetivos de aprendizagem que visa atingir e os meios para que a sua aplicação se concretize. Por último, apresentam-se as considerações finais.

Fundamentação teórica das opções metodológicas e didáticas

O processo de investigação científica e inovação tecnológica em GC deve pautar-se por princípios de responsabilidade que, de acordo com a Comissão Europeia, deverá respeitar seis dimensões fundamentais:

- envolvimento;
- igualdade de gênero;
- educação em ciências;
- livre acesso;
- ética; e
- governação. (SUTCLIFFE, 2011)

A ideia de IIR procura trazer a debate diferentes questões relacionadas a cada uma dessas dimensões, antecipar consequências e rumos da investigação e da inovação e implicar a sociedade na discussão sobre como a ciência e a tecnologia podem contribuir para um mundo e um futuro melhores. (RRI TOOLS, [200-])

A Investigação e a Inovação Responsáveis

O plano de ação da União Europeia, *Science in Society*, desenvolvido com a finalidade de serem definidas as estratégias comuns para uma melhor ligação entre ciência e os cidadãos europeus, tem vindo a focar a sua atenção no tema IIR. A participação conjunta e inclusiva de todos os atores sociais é condição fundamental para que os processos e os produtos da investigação e da inovação se compatibilizem com os valores, necessidades e expectativas da sociedade. (SUTCLIFFE, 2011)

O envolvimento pressupõe a participação conjunta de todos os atores sociais – investigadores, indústria, decisores políticos e sociedade civil – no processo de investi-

gação e inovação. Uma estrutura sólida de excelência em IIR implica que os desafios sociais sejam enquadrados em função das grandes preocupações sociais, éticas e económicas. É igualmente importante que, para o desenvolvimento de uma IIR, ocorra uma aprendizagem conjunta e que as práticas adotadas sejam comuns – os atores sociais devem estar em sintonia –, de modo que se desenvolvam as melhores soluções para os problemas e oportunidades sociais e de modo a prevenir possíveis falhas das inovações futuras. (SUTCLIFFE, 2011)

A igualdade de género diz respeito ao envolvimento igual e equilibrado tanto dos homens como das mulheres. É fundamental combater a baixa representatividade das mulheres nas instituições de investigação e nos processos decisórios sobre questões científicas e tecnológicas. (SUTCLIFFE, 2011)

A Europa precisa de mais investigadores; precisa também aperfeiçoar o atual ensino das ciências de modo a melhor munir os futuros investigadores e demais atores sociais de conhecimento e competências necessários a uma plena participação responsável no processo de investigação e inovação. A dimensão educação em ciências surge assim, como fundamental. (SUTCLIFFE, 2011) Essa educação é imprescindível para a promoção da alfabetização científica dos cidadãos, condição necessária para uma efetiva cidadania ativa.

A responsabilidade requer uma investigação e uma inovação transparentes e acessíveis; tal pressupõe permitir, aos atores sociais, o livre acesso aos resultados – publicações e dados – da investigação científica financiada pelo dinheiro público. Tal medida estimulará não só a inovação como também a utilização dos resultados científicos por todos os atores sociais, o que contribui para a tomada de decisão fundamentada na investigação científica. (SUTCLIFFE, 2011)

A sociedade europeia assenta em valores comuns e partilhados, qual sejam o respeito pelos direitos humanos, a aplicação do Estado de direito, a proteção ambiental e a manutenção dos padrões sociais na economia social de mercado. (FONTAINE, 2010) De modo a responder adequadamente aos desafios sociais, a investigação e a inovação devem respeitar os direitos fundamentais e os mais altos padrões éticos. Para além dos aspetos legais obrigatórios, esta medida visa assegurar uma maior relevância e aceitação social dos resultados da investigação e da inovação. A dimensão ética não deve ser entendida como um constrangimento à investigação e à inovação responsáveis, mas antes como garantia da qualidade dos resultados. (SUTCLIFFE, 2011)

A última dimensão – governação – engloba todas as outras. Os cidadãos devem ser capacitados e envolvidos na governação, avaliando e controlando as propostas científicas e tecnológicas de modo a prevenir os desenvolvimentos em investigação e inovação que não tenham em conta a dimensão ética, podendo ser prejudiciais à sociedade e ao ambiente. Pretende-se o desenvolvimento de modelos harmoniosos para uma investigação e uma inovação responsáveis que integrem o envolvimento público, a igualdade de género, a educação em ciências, o livre acesso e a ética. (SUTCLIFFE, 2011)

Ampliação do modelo dos 5E de Rodger Bybee: o modelo dos 7E

O modo como a ciência é ensinada revelou ser determinante para o sucesso das aprendizagens dos alunos e para a sua motivação para as áreas científicas. (ROCARD et al., 2007) Aquele sucesso e motivação podem ser alcançados através de uma estratégia de Ensino das Ciências Baseado em Investigação IBSE. No contexto das atividades investigativas, o aluno assume e reconhece o problema a investigar como sendo real e pertinente e, conseqüentemente, envolve-se em planejamento, execução, interpretação e avaliação dos resultados e das soluções, comunicando aos outros a sua investigação. (BYBEE, 2000) Um ensino baseado em atividades investigativas proporciona aos alunos ambientes propícios à reflexão e ao pensamento crítico e lógico sobre fatos ou evidências, conduzindo à apropriação dos conceitos científicos e a um melhor entendimento do mundo ao seu redor. (BYBEE, 2000) No contexto das atividades investigativas IBSE, o modelo de aprendizagem dos 5E, desenvolvido por Bybee e colaboradores (2006), contempla cinco etapas: *engage* (envolvimento), *explore* (exploração), *explain* (explicação), *extend* (ampliação) e *evaluate* (avaliação). O modelo ampliado contempla também as etapas *exchange* (partilha) e *empowerment* (empoderamento/ativismo). A inclusão dessas duas etapas surgiu na seqüência do Projeto We Act – Promoting Collective Activism on Socio-Scientific Issues, enquadrado pela Universidade de Lisboa, o qual tem por objetivo principal o desenvolvimento, a implementação e o estudo de materiais, metodologias e abordagens que apoiem professores e alunos na realização de ações informadas e negociadas sobre QSC. (REIS, 2014) O Quadro 1 evidencia os principais aspetos de cada etapa no contexto das atividades propostas neste artigo.

Quadro 1 – O modelo dos 7E

<i>Engage/Envolvimento</i>
Tem como objetivo despertar o interesse dos alunos – motivando-os para as tarefas subseqüentes – e identificar os seus conhecimentos prévios sobre o(s) tópico(s) em estudo.
<i>Explore/Exploração</i>
Tem como objetivo permitir que os alunos se envolvam no(s) tópico(s) e construam conhecimento acerca do(s) mesmo(s) – realizando atividades de pesquisa, atividades experimentais, ou outras, em que formulam hipóteses, planeiam e executam investigações preliminares. Nesta fase, os alunos têm a oportunidade de se envolver diretamente com os fenômenos e materiais relacionados com o(s) tópico(s) de investigação – questionando, analisando dados e refletindo sobre os resultados.
<i>Explain/Explicação</i>
Tem como objetivo criar a oportunidade para os alunos partilharem com os pares e/ou com o professor o que aprenderam até então – fazendo uso de uma linguagem científica adequada. Pretende-se que, durante este processo, os alunos reflitam sobre as suas concepções cientificamente incorretas e sejam capazes de construir novas concepções, cientificamente corretas.

Extend/Ampliação
Tem como objetivo permitir que os alunos mobilizem o novo conhecimento (adquirido nas fases anteriores), aplicando-o a novas situações problema – as quais incluem os aspetos da investigação e da inovação responsáveis. Através deste processo, pretende-se que os alunos desenvolvam uma compreensão mais abrangente e aprofundada dos conceitos, relacionando as novas experiências com as experiências anteriores.
Exchange/Partilha
Pressupõe o planeamento e a conceção de uma exposição interativa dos produtos da investigação desenvolvida. Pretende-se que os alunos partilhem com a comunidade os resultados das suas investigações – os produtos podem assumir diferentes formatos (pôster, jogo, vídeo, entre outros). Trata-se de uma oportunidade para os alunos comunicarem, para um público mais alargado, o novo conhecimento construído. Esta fase está em estreita relação com a fase de <i>empowerment</i> (ativismo), já que se pretende, através da exposição, consciencializar e sensibilizar os demais para as questões alvo da investigação.
Empowerment/Ativismo
Desenvolve-se em simultâneo com as restantes etapas; pretende-se envolver os alunos numa ação coletiva, fundamentada em pesquisa e investigação, tendo em vista a resolução de problemas socio-científicos relacionados aos temas científicos atuais. Desde cedo, devem ser criadas oportunidades para que os alunos sintam valorizada a sua participação em todas as fases do processo.
Evaluate/Avaliação
Os alunos têm a oportunidade de avaliar os seus conhecimentos e capacidades; o professor tem a possibilidade de avaliar o progresso dos seus alunos relativamente aos objetivos de aprendizagem estabelecidos. O processo avaliativo foca-se, sobretudo, nos alunos e na criação de oportunidades para que estes reflitam sobre o seu desempenho – fazendo uso da autoavaliação –, mas também sobre as próprias tarefas realizadas. Esta fase está presente ao longo da concretização das restantes fases – é importante que os alunos tenham várias oportunidades para refletir sobre o seu desempenho, dificuldades e resultados.

Fonte: adaptado de Bybee e colaboradores (2006).

As exposições como estratégia de ativismo coletivo fundamentado em investigação

A educação para o empoderamento – sendo participativa, afetiva, com recurso a problemas, situada, multicultural, dialógica, democrática, investigativa, interdisciplinar e ativista – permite que os alunos se tornem trabalhadores capazes, cidadãos pensantes e, assim, críticos sociais e agentes da mudança. (SHOR, 1992) A probabilidade dos alunos se tornarem cidadãos ativos no futuro é substancialmente aumentada se os encorajarmos a agir agora, no presente, fornecendo-lhes oportunidades para que o façam e exemplos detalhados de ações bem-sucedidas e de intervenções levadas a cabo por outros. (HODSON, 2014) Urge empoderar os cidadãos para que sejam capazes de enfrentar os diferentes problemas que permeiam as sociedades atuais, muitos deles altamente controversos e que representam ameaças ao bem estar dos indivíduos, sociedades e ambientes. Enfrentar esses problemas implica compreendê-los, tomar decisões e agir. (REIS, 2013, 2014)

Os alunos podem e devem ser encarados como podendo fazer parte da solução para problemas atuais (JENSEN, 2002), e a educação em ciência que eles tiverem será decisiva para que os próprios assim se consigam assumir. Seja qual for o critério de seleção subjacente à escolha do tema problematizador que norteará a ação dos alunos, estes necessitam de conhecimento científico, se deles se espera um envolvimento para além do nível meramente superficial. O conhecimento substantivo, orientado para a ação, é determinante para compreender os aspetos subjacentes aos problemas, avaliar diferentes posições, decidir de modo informado e argumentar. (HODSON, 2014; JENSEN, 2002) É este conhecimento científico, fruto da investigação levada a cabo pelos alunos, que distingue o ativismo coletivo, defendido por autores como Derek Hodson, daquele que é movido apenas pelo senso comum.

O desenvolvimento de uma exposição científica constitui um pretexto e um contexto para os alunos investigarem sobre os seus próprios interesses: questionando, colaborando e observando (SLEEPER; STERLING, 2004), recorrendo à lógica e à evidência no processo de formulação e revisão das explicações científicas, reconhecendo e analisando explicações alternativas e comunicando argumentos científicos. Através da construção e da apresentação de exposições sobre a IIR de temas científicos controversos e atuais, alunos e professores têm a oportunidade de contatar com temas que realçam uma ciência de fronteira, controversa, incerta e sob debate. A discussão inerente à conceção das exposições pode ser particularmente útil, promovendo:

- a aprendizagem sobre os conteúdos, processos e a Natureza da Ciência e da tecnologia; e
- o desenvolvimento cognitivo, social, político, moral e ético. (KOLSTØ, 2001; MILLAR, 1997; SADLER, 2004)

Entendida como uma iniciativa de educação junto de outros cidadãos, a concretização da exposição possibilita aos alunos participar numa ação comunitária sobre temas socio-científicos controversos e motivar outros a envolver-se nela. A ação comunitária fundamentada em investigação pode ser considerada uma importante dimensão da literacia científica (HODSON, 1998), possibilitando aos alunos aumentar o seu conhecimento acerca dos problemas em causa e desenvolver competências de investigação e cidadania participativa e fundamentada, desenvolvendo também o sentimento de poder de intervenção na evolução da sociedade. (MARQUES, 2013; MARQUES; REIS, 2017; REIS, 2013)

Uma controvérsia sociocientífica sobre geoengenharia responsável do clima

As atividades sugeridas destinam-se a alunos do 8º ano ao 12º ano (idades compreendidas entre os 12 e os 18 anos). Como ponto de partida, os alunos devem já ter

abordado a problemática das alterações climáticas e do aquecimento global – causas e consequências –, de modo a melhor compreenderem o potencial da GC, assim como os riscos associados a esta área de investigação científica, e da aplicação tecnológica, nas sociedades e no ambiente, e, deste modo, a importância de uma IIR neste domínio.

As áreas do conhecimento mobilizáveis relacionam-se com as diferentes estratégias de GC que os alunos terão que pesquisar, compreender e, relativamente às quais, identificar vantagens e desvantagens. As estratégias existentes podem organizar-se em dois grandes grupos: as que visam a remoção do CO₂ da atmosfera – *Carbon Dioxide Removal*, CDR – e as que visam gerir a radiação solar que atinge o nosso planeta *Solar Radiation Management* (SRM). Como estratégias CDR que os alunos terão que pesquisar, temos:

- fertilização dos oceanos com Fe e N;
- florestação;
- sequestro de carbono por biochar e/ou biomassa;
- captura direta e industrial de CO₂ do ar ambiente;
- aumento dos processos naturais de extração do CO₂ da atmosfera (dissolução de silicatos e formação de carbonatos).

Como estratégias *Solar Radiation Management* (SRM), os alunos terão que realizar pesquisa sobre:

- aumento do albedo de superfície (estimulando a reflexão da radiação solar através de superfícies mais brilhantes, por exemplo, telhados brancos, culturas de determinadas espécies vegetais; e através de refletores colocados nos desertos);
- aumento do albedo estratosférico (através da formação de nuvens mais brilhantes por via da dispersão de aerossóis);
- refletores colocados no espaço.

Assim, no domínio da biologia, mobilizam-se, entre outros, conhecimentos relativos ao processo fotossintético e ao impacto da proliferação de fitoplâncton nas teias alimentares dos ecossistemas marinhos. No domínio da química, mobilizam-se conhecimentos relativos à acidificação dos oceanos e ao impacto da mesma nos ecossistemas. No domínio da física, mobilizam-se conhecimentos relacionados à radiação, à reflexão e ao albedo. Nos domínios da geografia e da história, mobilizam-se conhecimentos acerca das questões geopolíticas, como, por exemplo, as associações entre o militarismo, as tecnologias espaciais e o controle do clima, especialmente desde a Guerra Fria. Nos domínios da sociologia e da filosofia, mobilizam-se conhecimentos relativos aos valores sociais e culturais, às desigualdades sociais no acesso aos benefícios da GC, além de debates éticos, como a relação complexa entre técnica, ideologia e moralidade, possivelmente a partir das elaborações teóricas da Escola de Frankfurt. De modo transversal,

e a partir das atividades que promovem a reflexão acerca da IIR na GC, mobilizam-se conhecimentos acerca das relações CTSA.

A controvérsia sociocientífica é apresentada aos alunos através do diálogo entre dois irmãos e outros intervenientes (Quadro 2); através desse diálogo, são lançadas questões às quais os alunos têm que dar resposta a partir de uma pesquisa orientada.

Quadro 2 – Controvérsia sociocientífica sobre GC

Um diálogo sobre o controle do clima

Finalmente, o primeiro dia de férias de verão. Os irmãos Gonçalo e Inês estavam ansiosos por poderem ir à praia: as previsões meteorológicas davam bom tempo!

Acordaram cedo, céu cinzento. Pode ser que mude... Pensaram. Arranjaram tudo e foram para a paragem do autocarro.

Mas eis senão quando caem uns pequenos pingos de chuva, que vão ficando cada vez mais pesados, até que finalmente cai uma chuvada monumental.

Os irmãos, visivelmente aborrecidos, abrigados na paragem, juntamente com outras pessoas que lá estavam à espera do autocarro, começam o seguinte diálogo:

— Mas que azar! Já viste isto, Gonçalo? Semanas e semanas à espera do bom tempo, as previsões eram fantásticas, primeiro dia de férias e cai esta chuvada? Esquece lá a praia.

— Pois, é mesmo para esquecer. E ainda bem que podemos nos abrigar na paragem, já viste a molha que íamos apanhar?

— Que irritação! Juro... Quem me dera poder controlar o tempo! Já imaginaste se isso fosse possível? Olha, em primeiro lugar tinha garantido que hoje não chovia e estaria calor.

— Era bom era. E imagina naqueles dias de exame: um mega nevão, escola fechada! Isso é que era.

— Sim, controlar o tempo era fantástico. Dava imenso jeito! Qual seria a receita para fazer nuvens e chuva? – a Inês lançou a questão a sorrir.

— Olhe, menina, sem me querer intrometer, isso já foi feito – respondeu um senhor que estava na paragem.

— Foi feito? O quê? Alguém já fez nuvens e chuva?

— Já ouviu falar da Guerra do Vietname, suponho. Pois, olhe que os Estados Unidos da América, entre 1967 e 1972, gastaram mais de 3 milhões de dólares por ano numa operação secreta no sudeste asiático. O objetivo era fazerem nuvens artificiais de modo a atrapalhar o sistema de rotas utilizado pelas tropas vietnamitas.

— A sério? Os norte-americanos também já fazem nuvens? – perguntou Gonçalo, incrédulo.

— Acredite, meu rapaz. Sabe por que nome ficou conhecida essa operação secreta? Operação Popeye! Se tiver dúvidas, procure na internet e vai ver que tenho razão.

Nisto, uma senhora que muito atentamente ouvia a conversa, interpelou os irmãos:

— E existem provas de que isso acontece!

— Provas? – perguntou a Inês.

— Sim, provas. Todos os dias, basta olharem para o céu.

A senhora retira do bolso o seu telemóvel:

— Olhem, esta foto tirei há uns dias quando estava a sair de casa. Estão a ver isto no céu, estes rastros?

— Sim, de aviões?

— Não, isto não são rastros normais de um avião. Isto são rastros químicos, são chemtrails! Eles pulverizam substâncias químicas no céu, de forma deliberada e a grandes altitudes, com o objetivo de controlarem o clima! E acreditem, isto não nos faz nada bem.

— O quê? Controlarem o clima? Mas como?

— Olhem, o meu autocarro vem aí. Não tenho mais tempo, mas pesquisem pelo programa Haarp. Não se esqueçam, Haarp, com dois A's! – e entrou no autocarro.

Os dois irmãos olharam um para o outro, intrigados.

— Pulverizar produtos químicos para fazer nuvens? Controlar o clima? Será que isto é mesmo verdade? Eu vi a foto dela, já vi aqueles rastros no céu tantas vezes!

Uma outra senhora que acabara de chegar à paragem interveio:

— Peço desculpa, mas não posso evitar. Ouvi-vos falar em fazer nuvens e em rastros. Sou climatóloga e acreditem que sei do que falo, isso dos chemtrails não é verdade. É verdade que é possível manipular o clima, mas isso é feito com as melhores das intenções: combater o aquecimento global! E tem um nome: geoengenharia do clima.

— Hmm... geoengenharia do clima. Nunca ouvi falar...!

— Basicamente, pretende-se reduzir os níveis de CO₂ na atmosfera através das estratégias de remoção de dióxido de carbono (carbon dioxide removal), ou então evitar que a radiação Infravermelha do sol atinja a superfície do planeta ou, ainda, estimular a sua reflexão, através das estratégias de gestão da radiação solar (solar radiation management). Há várias estratégias de geoengenharia e baseadas em princípios biológicos, físicos e químicos.

Não acreditem nestas coisas das “teorias da conspiração”, o importante é que a geoengenharia seja responsável!

–Bem, obrigada pelo esclarecimento... Acho. Já estou baralhada que chegue! E entretanto já não chove. Gonçalves, vamos embora?
–Sim, vamos para casa. Já vi que hoje não há praia para ninguém...
Os irmãos voltaram para casa e resolveram escrever algumas notas soltas daquilo que tinham ouvido. Estes dois adoravam aprender, e este assunto era demasiado intrigante e misterioso para que o pudessem esquecer.

Fonte: elaborado pelos autores.

Aqui ficam as notas deles. Questões relacionadas à QSC:

- Q1. O clima já foi manipulado no passado? Em que consistiu a Operação Popeye? O que são os *chemtrails*? O que defendem as “teorias da conspiração” a este respeito? O que é a Haarp?
- Q2. Qual a relação entre a GC e o aquecimento global?
- Q3. Em que consistem as estratégias de remoção do dióxido de carbono (CDR) e gestão da radiação solar (*Solar Radiation Management*, SRM)? Quais os princípios biológicos, químicos e físicos que estão subjacentes às várias opções metodológicas de cada uma dessas estratégias? Que vantagens e desvantagens apresentam cada uma delas?
- Q4. Sobre o que disse a cientista, será mesmo que, sempre, as intervenções tecnológicas baseadas na ciência são feitas “com as melhores das intenções”? O que ela quis dizer, exatamente, com responsabilidade, especificamente na criação e no uso da tecnologia? Haveria outro modo de resolver os problemas do clima, que não fossem (somente) baseados em GC?
- Q5. De que modo se pode assegurar uma GC mais responsável?
- Q6. Haveria problemas ecológicos e técnicos da implementação de mecanismos de GC? O que a literatura científica tem dito sobre isto?

As diferentes atividades e as situações de aprendizagem que as questões do caso acima proporcionam têm como objetivo estimular o desenvolvimento, nos alunos, de diversas competências. Estas podem ser organizadas a partir dos objetivos de aprendizagem Conceituais (C), Procedimentais (P), e Atitudinais (A), seguindo a caracterização de Zabala (1998) e Coll e colaboradores (1992). Por exemplo, pretende-se que os alunos sejam capazes de:

- Definir e explicar o conceito de GC, associando-o às alterações climáticas (C);
- Com base na história desde a Guerra Fria, examinar criticamente os valores e interesses dos diferentes atores sociais (*stakeholders*) subjacentes às suas posições e decisões com relação a mecanismos de GC (C);

- Estudar o alcance e os limites das intervenções técnicas humanas sobre os ecossistemas (C);
- Identificar diferentes opções de ações (incluindo intervenções técnicas, transformações em sistemas de valores, políticas públicas etc.) para resolver problemas ambientais como os problemas da mudança climática (C, P);
- Identificar diferentes opções metodológicas de GC no âmbito da estratégia CDR e da estratégia SRM (P);
- Selecionar informação que permita caracterizar cada opção metodológica de GC, atendendo aos princípios biológicos, físicos e químicos subjacentes, e avaliar as suas vantagens e desvantagens (P);
- Desenvolver competências de comunicação (verbais e não verbais) (P);
- Utilizar diferentes ferramentas das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) (P);
- Planear e construir um manifesto que contemple um conjunto de orientações e boas práticas no campo da GC, atendendo às seis dimensões da IIR (P, A);
- Planear e desenvolver uma ação coletiva fundamentada em investigação, na forma de uma exposição, que sensibilize e alerte para as questões da IIR na GC (P, A);
- Gerir o trabalho de grupo e trabalhar de forma colaborativa no desenvolvimento das atividades (A);
- Avaliar e refletir acerca do seu desempenho, fazendo uso da autoavaliação (A).

Meios para aplicação e discussão da QSC

A abordagem ao conjunto de atividades que propomos segue o modelo dos 7E: envolvimento, exploração, explicação, ampliação, partilha, ativismo e avaliação.

Envolvimento

O envolvimento dos alunos é estimulado através da associação entre a GC e as teorias da conspiração. Para o efeito, são colocadas à disposição dos alunos fontes de informação como vídeos, documentários e notícias (Quadro 3). Os alunos têm que consultar essas fontes de modo a responderem às questões: o clima já foi manipulado no passado? Em que consistiu a Operação Popeye? O que são os *chemtrails*? O que defendem as teorias da conspiração a este respeito? O que é a Haarp? As respostas às questões são concretizadas através de um mapa de conceitos que os alunos terão que construir fazendo uso da ferramenta *Popplet*¹ ou outros recursos para produção de mapas conceituais

¹ Ver em: <<https://popplet.com/>>.

virtuais. Esse mapa será, depois, partilhado com os colegas através de uma plataforma construída para o efeito (por exemplo, um blogue).

Quadro 3 – Fontes de informação para a etapa envolvimento

Em inglês
<i>James Fleming with A Brief History of Weather and Climate Control</i> (12:33): https://www.youtube.com/watch?v=v7TBqqll6y4
<i>Weather Warfare</i> (44:19; <i>History Channel</i>): https://www.youtube.com/watch?v=ACaXYxCQhvY
<i>Can We Control the Weather?</i> : http://www.weather.com/news/science/can-we-control-weather-20130616
Em português
Domingo Espetacular 11/09/2011 – Haarp (00:20:29): https://www.youtube.com/watch?v=_Pf1J8-BIZc
Os riscos de a china “semear” nuvens de neve (DN ciência): http://www.dn.pt/inicio/ciencia/interior.aspx?content_id=1421141&seccao=Biosfera
Arquivos Confidenciais, Controle Climático (Haarp) – 1º temporada, ep. 6 (00:18:28) (pt_br): https://www.youtube.com/watch?v=69ZCJOVHKCE

Fonte: elaborado pelos autores.

Exploração

De modo a responder às questões seguintes: qual a relação entre a GC e o aquecimento global? Em que consistem as estratégias CDR e SRM? Quais os princípios biológicos, químicos e físicos que estão subjacentes às várias opções metodológicas de cada uma dessas estratégias? Que vantagens e desvantagens apresentam cada uma delas? Sobre o que disse a cientista, será mesmo que, sempre, as intervenções tecnológicas baseadas na ciência são feitas “com as melhores das intenções”? O que ela quis dizer, exatamente, com responsabilidade, especificamente na criação e no uso da tecnologia? Haveria outro modo de resolver os problemas do clima, que não fossem (somente) baseados em GC? Haveria problemas ecológicos e técnicos da implementação de mecanismos de GC? O que a literatura científica tem dito sobre isto? – sugere-se que a turma seja dividida em dois grupos – CDR e SRM – e estes, em subgrupos. Cada subgrupo pesquisa sobre uma ou mais opções/tecnologias no âmbito da CDR ou da SRM. Sugere-se que os alunos coloquem as suas anotações num mural digital (por exemplo, *Padlet*)² a que todos podem ter acesso. São fornecidas fontes de informação que os alunos podem consultar (Quadro 4).

² Ver em: <<https://pt-br.padlet.com>>.

Quadro 4 – Algumas fontes de informação para a etapa exploração

Em inglês
<i>Oxford Geoengineering Programme</i> : http://www.geoengineering.ox.ac.uk/what-is-geoengineering/what-is-geoengineering/
<i>IPCC Report (2007) – Mitigation of Climate Change</i> : http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch11s11-2-2.html
<i>Royal Society Report (2009)</i> : https://royalsociety.org/~media/Royal_Society_Content/policy/publications/2009/8693.pdf
Em português
A Sustentabilidade – ainda é possível?: http://www.akatu.org.br/Content/Akatu/Arquivos/file/EstadodoMundo2013web.pdf
Estudo sobre geoengenharia: http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/publicacoes/estnottec/tema14/2010_3958.pdf
Tese: Respostas à mudança climática: http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21464/000736342.pdf?sequence=1

Fonte: elaborado pelos autores.

Uma outra sugestão de atividade, que deveria acontecer previamente à atividade de pesquisa acima descrita, pode consistir num debate entre dois grupos, sendo que um deles seria a favor da GC e outro, contra. Assim, a turma poderia ser dividida nestes dois grandes grupos. Este debate, sendo anterior ao debate entre CDR e SRM, pode abarcar posições que não estariam contempladas naquele, sendo um debate mais amplo e aberto, no qual se reconhece que o problema socioambiental da mudança climática não tem uma dimensão apenas tecnológica. Caberia, na discussão, inclusive, reconhecer que dificilmente apenas uma posição (contra ou a favor da GC) estaria correta. Com efeito, para se chegar a uma solução geral para todos, os alunos teriam que levar em conta argumentos dos dois lados, pois ambos apresentariam vantagens frente à sua alternativa. Esta atividade, inicialmente de debate, mas que se pretende que convirja para uma discussão, através da qual é preciso chegar a um consenso, permitiria aos alunos compreender que a dicotomia rígida entre ser a favor ou do contra pode e deve, afinal, ser relativizada, abrindo portas para um entendimento mais sofisticado do assunto. Através desta atividade, a argumentação poderia ser muito bem explorada.

Explicação

Em seguida, cada grupo, através do contributo dos subgrupos correspondentes, constrói um documento conjunto sobre os resultados da etapa anterior na forma de uma apresentação virtual, como em Prezi,³ que é mais tarde partilhado com a turma.

³ Ver em: <<https://prezi.com>>.

Aquando da apresentação, cada aluno deve ter a oportunidade de fazer questões e tirar notas de modo a cumprir a tarefa de construção de um novo mapa de conceito, desta feita, que integre todo o conhecimento construído através das apresentações.

Ampliação, partilha e ativismo

Este é o momento em que é feita a ligação entre a GC e a IIR. Para o efeito, os alunos devem ler o texto sobre a IIR e realizar a atividade sobre as suas seis dimensões, estabelecendo a correspondência entre cada dimensão e algumas afirmações. Os alunos têm que justificar as suas opções e o professor deve estimular a participação dos alunos e a discussão. Segue-se a introdução da tarefa propriamente dita: pede-se aos alunos que, sendo já conhecedores da temática GC, construam uma exposição com a finalidade de dar a conhecer o tema e alertar os cidadãos para as questões da GC e da IIR. Tendo em conta a etapa prévia de debate, em que se discute se a GC deve ou não ser realizada, é possível que os alunos utilizem a IIR como meio para contestar a GC. Tal é tão válido como recorrer à IIR em GC como meio de a tornar uma área de investigação científica mais responsável. A turma é dividida em grupos, cada grupo contemplando preferencialmente seis elementos, dado que são seis as dimensões da IIR. Cada elemento fica responsável por uma destas seis dimensões. Pretende-se que cada grupo construa um manifesto, o qual representa um conjunto de orientações/diretrizes sobre a investigação e a inovação responsáveis na área da GC. Os manifestos podem assumir o formato que os alunos desejarem (por exemplo, um vídeo – MovieMaker, uma banda desenhada – Pixton, um cartaz digital – Glogster, um jogo, um livro, entre outros). Após a decisão acerca do formato que o manifesto deverá ter, cada elemento do grupo estabelece a relação entre a GC e a sua dimensão da IIR, contribuindo assim para o objeto final a ser exposto – cada objeto a ser construído (um por grupo) tem que contemplar as seis dimensões da IIR.

Avaliação

A auto e a heteroavaliação estão presentes em vários momentos. Para cada momento de avaliação, concebem-se grelhas de avaliação, com descritores e níveis de desempenho, que são utilizadas pelos professores e pelos alunos. Os alunos devem ter acesso aos critérios no início de cada atividade. Assim, como principais momentos avaliativos, temos:

- Avaliação em conjunto dos resultados do muro digital (etapa exploração);
- Comunicação dos resultados da pesquisa a partir de uma apresentação virtual (etapa explicação);
- Construção de um mapa de conceitos que integre todo o conhecimento construído a partir das comunicações dos colegas (etapa explicação);
- Construção de um objeto que contemple as dimensões da IIR e que seja capaz de alertar para:

- a gravidade dos problemas socioambientais atuais, com ênfase na mudança climática;
- a necessidade de refletir cuidadosa e criticamente sobre os possíveis alcances e limites da GC como forma de contribuir para a adaptação e a mitigação das mudanças climáticas, numa discussão que contemple ainda outras possibilidades (por exemplo, a de não usar GC, de usar parcialmente GC em integração com outros modos de enfrentar o problema, como transformação de hábitos de consumo, influência sobre grupos políticos a fim de reformular leis sobre clima etc.);
- a necessidade de uma GC responsável, caso a opção de utilização de GC seja considerada pelos alunos que concebam o objeto (etapas ampliação, partilha e ativismo).

Apresenta-se, no Quadro 5 e a título ilustrativo, uma possível grelha de avaliação do objeto a construir pelos alunos.

Quadro 5 – Grelha de avaliação do objeto final a ser exposto

	4	3	2	1	
1. Correção científica	Objeto revelador de um excelente domínio de conceitos e informações	Objeto sem qualquer incorrecção ao nível dos conceitos ou das informações	Objeto com algumas incorrecções ao nível dos conceitos ou das informações	Objeto com várias incorrecções ao nível dos conceitos ou das informações	___/4
2. Mensagem	Mensagem clara, objectiva e com evidenciação dos aspectos fundamentais	Mensagem clara, mas com alguns aspectos supérfluos	Mensagem clara, mas pouco objectiva; foram apresentados muitos aspectos supérfluos	Mensagem pouco clara, pouco objectiva, sem evidenciação dos aspectos fundamentais	___/4
3. Ligação com a IIR	Existe uma ligação muito explícita entre o tema e a IIR	Existe uma ligação explícita entre o tema e a IIR	Existe uma ligação pouco explícita entre o tema e a IIR	A IIR está ausente	___/4
4. Dimensões da IIR	Estão presentes as 6 dimensões da IIR	Estão presentes 4 ou 5 dimensões da IIR	Estão presentes 2 ou 3 dimensões da IIR	Apenas está presente uma dimensão da IIR	___/4
5. Interatividade*	O objeto é muito interativo	O objetivo é moderadamente interativo	O objeto é pouco interativo	O objeto não é interativo	___/4
6. Ativismo**	Muito explícito	Moderadamente explícito	Pouco explícito	Ausente	___/4
7. Aspeto gráfico	Objeto muito apelativo do ponto de vista gráfico	Objeto moderadamente apelativo do ponto de vista gráfico	Objeto pouco apelativo do ponto de vista gráfico	Objeto nada apelativo do ponto de vista gráfico	___/4
		Total			___/28

* Corresponde à capacidade de levantar questões, promover a reflexão individual e coletiva, promover a interação entre visitantes, permitir que o visitante deixe a sua marca.

** Compreende a capacidade do objeto alertar o visitante e motivá-lo para a ação.

Fonte: elaborado pelos autores.

Considerações finais

Abordar o tema da GC na forma de uma QSC permite, tanto a alunos como a professores, perspetivar este tópico científico atendendo às suas diferentes facetas. Se, por um lado, possibilita o desenvolvimento de uma consciência acerca dos problemas socioambientais atuais relacionados com as alterações climáticas, por outro, permite a reflexão acerca das potencialidades e limites da GC enquanto estratégia de mitigação do aquecimento global.

A estrutura de atividades apresentada, que tem sido utilizada com sucesso no âmbito do Projeto Including Responsible Research and Innovation in cutting Edge Science and Inquiry-based Science Education to improve Teacher's Ability of Bridging Learning Environments (IRRESISTIBLE)⁴ e do Projeto We Act (REIS, 2014), poderá ser utilizada para a abordagem de outras controvérsias sociocientíficas. Este tipo de atividade – cruzando a metodologia IBSE com a abordagem de tópicos científicos controversos através da lente da IIR e promovendo a capacitação dos cidadãos para a ação coletiva fundamentada em investigação – é extremamente importante, contribuindo para a promoção do envolvimento de todos os cidadãos na implementação e na exigência de uma investigação e uma inovação pautadas pela responsabilidade.

Referências

- BALA, G. Problems with geoengineering schemes to combat climate change. *Current Science*, Bangalore, v. 96, n. 1, p. 41-48, 2009.
- BORREGO, C. et al. As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio. *Captar: Ciência e Ambiente para Todos*, Aveiro, v. 2, n. 2, p. 1-16, 2010.
- BYBEE, R. Teaching science as inquiry. In: MINSTRELL, J.; VAN ZEE, H. (Ed.). *Inquiry into inquiry: learning and teaching in science*. Washington: American Association for the Advancement of Science, 2000. p. 20-46.
- BYBEE, R. W. et al. *The BSCS 5E Instructional model: origins and effectiveness*. Colorado Springs: BSCS, 2006.
- COLL C. et al. *Los contenidos en la reforma: enseñanza y aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes*. Buenos Aires: Santillana, 1992.
- CORNER, A.; PIDGEON, N. Geoengineering the climate: the social and ethical implications. *Environment Magazine*, London, v. 52, n. 1, p. 26-37, 2010.
- FONTAINE, P. *A Europa em 12 lições*. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 2010.
- GARVEY, J. *The ethics of climate change: right and wrong in a warming world*. London: Continuum, 2008.

4 Ver em: <<http://www.irresistible-project.eu/index.php/pt/>>.

HODSON, D. Becoming part of the solution: learning about activism, learning through activism, learning from activism. In: ALSOP, S.; BENCZE, L. (Ed.). *Activism in science and technology education*. London: Springer, 2014. p. 67-98.

HODSON, D. *Teaching and learning science: towards a personalized approach*. Buckingham: Open University Press, 1998.

JENSEN, B. B. Knowledge, action and pro-environmental behaviour. *Environmental Education Research*, Abingdon, v. 8, n. 3, p. 325-334, 2002.

KOLSTØ, S. Scientific literacy for citizenship: tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, New York, v. 85, n. 3, p. 291-310, 2001.

MARQUES, A. R. *As potencialidades de uma abordagem interdisciplinar entre as ciências naturais e as tecnologias de informação e comunicação no desenvolvimento de um projeto de ativismo ambiental*. 2013. Dissertação (Mestrado em Ensino de Biologia e de Geologia) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ul.pt/handle/10451/10206>>. Acesso em: 23 jun. 2015.

MARQUES, A. R.; REIS, P. Producción y difusión de vídeos digitales sobre contaminación ambiental. Estudio de caso: Activismo colectivo basado en la investigación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, v. 14, n. 1, p. 215-226, 2017.

MARTINS, A. *Respostas à mudança climática: cooperação internacional e os esforços de mitigação, adaptação e geoengenharia*. 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado em Relações Internacionais) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MCNEILL, J. R. *Something new under the Sun: an environmental history of the twentieth-century world*. London: W. W. Norton & Company, 2000.

MILLAR, R. Science education for democracy: what can the school curriculum achieve? In: LEVINSON, R.; THOMAS, J. (Ed.). *Science today: problem or crisis?* London: Routledge, 1997. p. 87-101.

REIS, P. Da discussão à ação sociopolítica sobre controvérsias sociocientíficas: uma questão de cidadania. *Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista*, Ponta Grossa, PR, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2013.

REIS, P. Promoting students' collective socio-scientific activism: teacher's perspectives. In: ALSOP, S.; BENCZE, L. (Ed.). *Activism in science and technology education*. London: Springer, 2014. p. 547-574.

ROCARD, M. et al. *A renewed pedagogy for the future of Europe*. Bruxelas: Comissão Europeia, 2007.

RRI TOOLS. *RRI Information Sheet*. [S.l.], [200-]. Disponível em: <<http://www.rri-tools.eu/documents/10182/16050/RRI+One+Pager/e8e658bc-4a34-4627-8de4-9379f58acb40>>. Acesso em: 23 jun. 2015.

SADLER, T. D. Informal reasoning regarding socioscientific issues: a critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, New York, v. 41, n. 5, p. 513-536, 2004.

SHOR, I. *Empowering education: critical teaching for social change*. Chicago: The University of Chicago Press, 1992.

SLEEPER, M.; STERLING, R. The in-class science exhibition. *Science Scope*, Washington, v. 27, n. 6, p. 49-52, 2004.

SUTCLIFFE, H. *A report on Responsible Research & Innovation*. [S.l.]: MATTER, 2011.

WEART, S. R. (Dir.). *El calentamiento global: historia de un descubrimiento científico*. Pamplona: Laetoli, 2006.

ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 1998.