

## SEQUESTRAÇÃO GEOLÓGICA DE DIÓXIDO DE CARBONO: NOTAS SOBRE O ESTADO-DA-ARTE

**Manuel Lemos de Sousa**

Professor Catedrático - Faculdade de Ciência e Tecnologia (UFP)

[lsousa@ufp.edu.pt](mailto:lsousa@ufp.edu.pt)

**Cristina Rodrigues**

Professora Associada - Faculdade de Ciência e Tecnologia (UFP)

[crisrod@ufp.edu.pt](mailto:crisrod@ufp.edu.pt)

**Gisela Oliveira**

Técnica Superior - CIAGEB (UFP)

[gisela@ufp.edu.pt](mailto:gisela@ufp.edu.pt)

### RESUMO

Após uma breve introdução sobre os conceitos de (i) Alterações climáticas vs Alterações globais e de (ii) Gases de efeito de estufa, os autores apresentam o estado-da-arte sobre os principais problemas relacionados com a redução do dióxido de carbono e sua sequestração geológica. Por fim, fazem referência aos projectos existentes neste domínio no “Grupo de Investigação em Energia” do Centro de Investigação em Alterações Globais, Energia, Ambiente e Bioengenharia - CIAGEB da Universidade Fernando Pessoa.

### PALAVRAS-CHAVE

Dióxido de carbono; sequestração geológica; alterações climáticas; inquérito; energia; ambiente.

### ABSTRACT

After a short introduction regarding concepts such as (i) Climate change vs Global changes, and (ii) Greenhouse gases effect, the authors present the state-of-the-art regarding problems related with Carbon dioxide abatement and geological sequestration. Finally, the authors refer to the current projects on this particular issue being developed by the “Energy Research Group” of the Global Change, Energy, Environment and Bioengineering RDID&D Unit – CIAGEB of Universidade Fernando Pessoa.

### KEYWORDS

Carbon dioxide; geological sequestration; climate change; inquiry; energy; environment.

## 1. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS VS ALTERAÇÕES GLOBAIS

O planeta Terra, tal como agora o conhecemos, é o resultado de um processo evolutivo complexo, iniciado há cerca de  $4,5 \times 10^9$  anos, resultante de factores diversos tanto externos, de carácter astrofísico, como internos, i.e. resultantes da evolução do próprio planeta. Desde o início da história do planeta que o clima tem sofrido alterações: o clima da Terra é dinâmico e os fenómenos meteorológicos e as características que o definem estão em permanente estado transitente. À escala global, não é sequer possível definir o estado de equilíbrio do clima da Terra em valores paramétricos, dada a natural variabilidade desses parâmetros, quer no espaço, quer no tempo. Só durante o século XX, os avanços tecnológicos disponibilizaram aos cientistas meios para a recolha sistemática de dados meteorológicos e químicos tanto na atmosfera como à superfície da Terra. Actualmente, as temperaturas na Terra são medidas com maior precisão do que há um século atrás, em estações meteorológicas, através de sondas de maior alcance e até com recurso aos satélites. Contudo, nem sempre existiram estes recursos: por exemplo, a medida da concentração atmosférica de dióxido de carbono conta apenas com cerca de 50 anos de registos. Segundo a definição das Nações Unidas, “Alteração climática” significa uma modificação no clima (atribuível, directa ou indirectamente, à actividade humana) que altera a composição da atmosfera global e que, conjugada com as variações climáticas naturais, é observada durante períodos de tempo comparáveis (Organização das Nações Unidas, 1992). Embora nem todos os mecanismos envolvidos nas alterações climáticas estejam ainda completamente esclarecidos. Entre as causas mais prováveis podem citar-se:

- a actividade do Sol, (a radiação solar, o vento solar e o campo magnético do Sol);
- as radiações cósmicas;
- as variações nos parâmetros orbitais da Terra e da sua velocidade angular de rotação;
- a variação da composição da atmosfera, nomeadamente em aerossóis e em gases de efeito de estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SF}_6$ , HFCs, PFCs);
- a tectónica, designadamente em termos de movimento de placas;
- a alteração das correntes oceânicas.

As alterações climáticas, encaradas numa escala de tempo alargada, comparável com a história da Terra, devem ser consideradas como um fenómeno natural, cíclico e, contudo impossível de dissociar dos factores listados. No entanto, existe, hoje, um consenso científico de que a intervenção humana, por meio da industrialização à escala global e do uso intensivo dos recursos naturais, em termos de exploração de recursos energéticos, quer da acentuada alteração do uso do solo (pela agricultura, pela construção ou, até, pela desflorestação) está, também, influenciar as variações naturais do ambiente no planeta de um modo que se prevê seja prejudicial à Terra. Aliás, a forte intervenção humana nos recursos naturais é, outrossim um factor de alteração da biodiversidade. Assim, de uma forma mais sintética e abrangente, em termos modernos o que interessa sobretudo ter em conta são as chamadas Alterações globais, das quais as alterações climáticas fazem parte.

Os problemas ligados às chamadas Alterações Globais, em que, como vimos, se incluem as Alterações Climáticas, constituem uma temática que, hoje, se considera ultrapassar, de longe, os aspectos meramente científicos e tecnológicos. Realmente, tais fenómenos, no seu conjunto, dizem actualmente respeito ao quotidiano da Sociedade em geral – assim se justifica, pois, que se considerem as respectivas incidências sociológicas como realmente importantes – já que estão relacionados com aspectos tão diversos e, ao mesmo tempo,

tão importantes como, por exemplo, o Ambiente, a Biotecnologia, a Economia e a Saúde Pública, fazendo, neste sentido, parte da actualidade cultural.

Já em 1987, as Nações Unidas, através da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED<sup>1</sup>) criada em 1972, publicaram um documento intitulado “O Nosso Futuro Comum”, comumente conhecido por “Relatório Brundtland”, o qual constitui um marco na consciência global sobre os efeitos da utilização intensiva dos recursos naturais, os modelos de produção e consumo dos chamados países desenvolvidos, e a capacidade de resposta dos sistemas naturais. O despertar para o reconhecimento da possibilidade de desequilíbrio entre a solicitação excessiva dos recursos naturais e uma resposta do planeta foi, também, acompanhado por diversos cientistas que contribuíram para uma visão da vida na Terra considerando-a um superorganismo complexo que designaram por Gaia ou Gaya<sup>2</sup> (Lovelock e Giffin, 1969).

A abrangência internacional dos fenómenos incluídos nas Alterações globais, justifica que estes sejam objecto de estudo integrado por parte de um bem conhecido Painel das Nações Unidas: o “Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC” que, aliás, tem produzido importantes relatórios-síntese periódicos. O organismo foi criado em 1988 pelas Nações Unidas com o propósito de não apenas convergir interesses e informação globais, mas, acima de tudo, dada a extrema complexidade das Alterações climáticas que, conseqüentemente, têm que ser analisadas à escala mundial, de fundamentar decisões com base num painel de especialistas independentes. Os diversos relatórios emitidos assim como as actividades dos diferentes grupos de trabalho do IPCC podem ser consultados no sítio da Internet <http://www.ipcc.ch/>. O trabalho desenvolvido por este organismo, com estatuto político neutro, que articula análises e resultados científicos, políticas governamentais e o interesse global da Humanidade, foi galardoado com o Prémio Nobel da Paz 2007.

Também a Organização das Nações Unidas, em Maio de 1992, estabeleceu uma convenção sobre as Alterações climáticas, designada por “Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas<sup>3</sup>” (Organização das Nações Unidas, 1992), reconhecendo que a alteração do clima da Terra é uma preocupação comum da humanidade, e que o carácter global de tais alterações climáticas requer a mais ampla cooperação possível, além de uma resposta internacional eficaz e apropriada. O objectivo primordial desta Convenção é o de conseguir a estabilização das concentrações dos gases de efeito de estufa na atmosfera a um nível que evite uma interferência antropogénica perigosa com o sistema climático. Os compromissos constantes desta Convenção têm tido uma importância fundamental no desenvolvimento de políticas ambientais globais, de programas e medidas para mitigar as alterações climáticas. Assim teve, de facto, origem o Protocolo de Quioto (Organização das Nações Unidas, 1998), assinado em 1997 pelos países e organizações também signatários da referida Convenção Quadro. Portugal é signatário (Parte) da Convenção Quadro e do Protocolo de Quioto que foram adoptados para a legislação nacional pelos DL 20/93 e DL 7/2002, respectivamente. Com o Protocolo de Quioto pretendeu-se tornar operacional e

<sup>1</sup> WCED = *World Commission for Environment and Development*.

<sup>2</sup> Gaia ou Gaya = divindade da mitologia grega que personificava a Terra Mãe.

<sup>3</sup> CQNUAC ou, em inglês: UNFCCC, abreviatura de *United Nations Framework Convention on Climate Change*.

dar eficácia jurídica ao objectivo da Convenção Quadro, através do estabelecimento de compromissos quantificados (para cada um dos países ou organizações) de limitação ou redução das emissões dos seis principais gases de efeito de estufa, tendo em vista uma redução global de 5% (face aos níveis observados em 1990), durante o período de 2008 a 2012. Neste sentido, o referido protocolo prevê diversos mecanismos de flexibilidade na articulação das políticas entre os diferentes países e estipula a adopção de medidas que garantam o cumprimento da limitação / redução efectiva de emissões de gases de efeito de estufa, a saber:

- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (CDM)
- Implementação Conjunta (JI)
- Comércio de Licenças de Emissão de Gases de Efeito de Estufa (CELE).

Por outro lado, em 2006, foi publicado, o “The Stern Review on the Economics of Climate Change”, conhecido por “Relatório Stern”. Embora este não tenha sido o primeiro relatório do género, constitui uma referência dada a sua enorme amplitude e análise exaustiva do impacto das Alterações Climáticas na economia mundial. As extensas recomendações que emanam deste trabalho, podem-se, aliás, resumir apenas numa única frase, a título de principal conclusão: as evidências científicas da existência de alterações climáticas devido à acção humana não podem ser negadas e este constitui um fenómeno global; os benefícios económicos que advêm desta consciencialização e de uma acção global concertada e eficaz serão maiores para a economia mundial do que tentar ignorar o problema. Ainda segundo o relatório Stern, os custos envolvidos com acções de mitigação dos efeitos das Alterações Climáticas devem ser encarados como um investimento destinado a prevenir efeitos catastróficos no futuro (Stern, 2007).

Refira-se, ainda, que a Organização Mundial de Saúde (WHO<sup>4</sup>), organismo integrante das Nações Unidas, é uma autoridade mundial em temas relacionados com a Saúde e que, neste âmbito, estuda, desenvolve projectos, divulga informação e exerce a sua capacidade normativa sobre os principais problemas do binómio Clima - Saúde Pública, articulando informação diversa ao nível internacional. O essencial sobre o trabalho da WHO (que conta já com 60 anos de actividade) nestas áreas, pode ser consultado nos sítios da Internet: <http://www.who.int/topics/climate/en/> e ainda em <http://www.who.int/globalchange/en/>.

## 2. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E GASES DE EFEITO DE ESTUFA

Dentre as causas apontadas como responsáveis pelos fenómenos gerais acima referidos e, particularmente, os relacionados com as Alterações climáticas e, mesmo, com o aumento da temperatura média da Terra, estão, sem dúvida, os Gases de Efeito de Estufa (GEE), tanto de origem natural como resultantes da acção humana, dentre os quais se relevam, o metano (CH<sub>4</sub>) e o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) não só pela quantidade produzida, mas também pelo “tempo de residência”, ou seja, de permanência na atmosfera do Terra. Ora, se não é possível evitar os fenómenos de produção natural de GEE, constitui, hoje, uma verdadeira

<sup>4</sup> WHO = World Health Organization.

responsabilidade social de todo o indivíduo contribuir para evitar/reduzir a porção de GEE oriunda da actividade humana. O tema está hoje, por assim dizer, de moda; contudo o primeiro autor que se referiu ao efeito da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera na temperatura da Terra foi Svante Arrhenius em 1896 (Arrhenius, 1896). Na época, de forma mais intuitiva do que experimental, Arrhenius concluiu que a presença de CO<sub>2</sub> na atmosfera proveniente das emissões, principalmente, da queima de combustíveis fósseis, contribuía para o aumento da temperatura da atmosfera. Contudo, em rigor, o ciclo natural do carbono não justifica o observado aumento sistemático da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, o mesmo acontecendo com outros gases cujas concentrações atmosféricas são incrementadas pelas emissões antropogénicas resultantes da combustão e da alteração do uso do solo. Por fim, menciona-se que no âmbito da elaboração do 4º Relatório sobre Alterações Climáticas, um recente trabalho do IPCC permite ter uma perspectiva quantitativa e actualizada da influência (designada por radioactive forcing, expressa em W/m<sup>2</sup>) dos principais factores, naturais e antropogénicos, que estão na origem nas variações da energia radiante na atmosfera, considerados responsáveis pelas alterações climáticas (IPCC, 2007).

## 3. LUTA CONTRA AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

A União Europeia e os seus diferentes países membros são co-signatários da United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) e do Protocolo de Quioto, o que impõe uma redução efectiva de emissão de gases de estufa entre 2008-2012 (veja-se <http://unfccc.int/2860.php>). Além disso e antecipando-se às consequências da aplicação do Protocolo de Quioto, a União Europeia lançou as seguintes iniciativas:

**a)** Directiva Europeia EU 2003/87/CE relativa às licenças de emissão, abrindo caminho ao “Sistema europeu de comércio de licenças (quotas) de emissão de gases com efeito de estufa”, por sua vez, na origem das chamadas “bolsas de carbono” (Parlamento Europeu e Conselho da Europa, 2003, veja-se <http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l28012.htm>).

O sistema é, ainda, vulgarmente conhecido por “Comércio Europeu de Licenças de Emissão - CELE”. Entretanto a Directiva Europeia 2003/87/CE foi harmonizada com os termos do Protocolo de Quioto através da Directiva Europeia 2004/101/CE, também conhecida por “Directiva Linking”.

A aplicação da directiva EU 2003/87/CE a Portugal implicou, por sua vez, a elaboração da legislação nacional correspondente e a preparação do Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão de CO<sub>2</sub> - PNALE - para 2005-2007 (Resolução do Conselho de Ministros nº53/2005 e Despacho Conjunto nº686-E/2005). Neste momento, está em curso o lançamento do PNALE II relativo ao período 2008-2012 (Resolução do Conselho de Ministros nº1/2008 e Despacho Conjunto nº2836/2008).

**b)** Decisão de alcançar determinadas metas-chave em 2020, dentre as quais a de reduzir as emissões de GEE em, pelo menos, 20% na União Europeia, sendo que, no caso de se tornar possível negociar um acordo internacional entre os países desenvolvidos não pertencentes à UE (nomeadamente a colaboração dos países pertencentes ao chamado grupo G8), a meta a alcançar deverá ser da ordem dos 30% (Comissão das Comunidades Europeias, COM(2007) 2 final e COM(2008) 30 final).

De referir ainda que, embora a sequestração de CO<sub>2</sub> seja uma tecnologia já mencionada no texto do Protocolo de Quioto (veja-se artº 2, ponto iv), a inclusão da Captação e Sequestração Geológica de CO<sub>2</sub> como uma tecnologia do “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo” encontra-se, actualmente, ainda em discussão na CQNUAC e será objecto de reflexão (UNFCCC-SBSTA, 2008) na 29ª reunião do grupo de trabalho SBSTA (Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice), paralelamente à conferência das Nações Unidas sobre alterações Climáticas a realizar em Poznan (Polónia) em Dezembro de 2008.

#### 4. DIÓXIDO DE CARBONO

Tal como acima referido, dentre os gases de efeito de estufa de produção humana destaca-se o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), essencialmente resultante da combustão, designadamente, dos combustíveis fósseis, das refinarias de hidrocarbonetos e da indústria cimenteira. Segundo as estatísticas das Nações Unidas presentes no último relatório (UNFCCC-SBI, 2007) contendo dados dos inventários nacionais dos 40 países (e ainda a União Europeia) que compõem o Anexo I da CQNUAC, embora as emissões anuais totais do conjunto dos 6 GEE contemplados na Convenção e no Protocolo de Quioto tenham diminuído 2,8% entre 1990 e 2005, as emissões de CO<sub>2</sub>, gás que representa mais do que 80% das emissões globais, continuam a aumentar. No grupo dos 40 países do Anexo I da CQNUAC, o caso de Portugal é um dos mais complicados. De facto, no período 1990 – 2005 as emissões totais de GEE tiveram um aumento superior a 40%, enquanto que no conjunto da União Europeia, se conseguiu uma redução de 1,5%.

Ora, acontece que por muito que se incremente o uso de energias renováveis e, mesmo, da energia nuclear, será inevitável, dentre as fontes de energia disponíveis (Fig. 1), continuar a usar combustíveis fósseis por muitas décadas ainda, pelo menos para a produção de energia eléctrica. Mais ainda, por motivo da crescente escassez de petróleo e do aumento dos preços dos produtos petrolíferos em geral, o simples jogo das “leis” da economia levaram a dar, de novo, a nível mundial, preferência ao carvão como combustível a usar nas centrais térmicas.

Contudo, é também um facto que, agora, os tempos são outros, do ponto de vista da evolução tanto da ciência e da tecnologia como da Sociedade e, por isso, desenvolveram-se, entretanto, as chamadas tecnologias de carvão limpo<sup>5</sup> (nas quais se minimizam os impactos ambientais aquando da utilização final) e de carvão limpíssimo<sup>6</sup> (nas quais se minimizam os impactos ambientais ao longo da chamada “cadeia do carvão”, i.e., desde a mineração, passando pela beneficiação e pelo transporte, até ao uso final). Por fim, refira-se que, no limite, se consideram hoje associadas às tecnologias de carvão limpo/limpíssimo, também as da liquefacção do carvão<sup>7</sup> e da gasificação subterrânea.

<sup>5</sup> Em inglês “Clean Coal Technologies – CCT”.

<sup>6</sup> Em inglês “Cleaner Coal Technologies – CCT”.

<sup>7</sup> Em inglês, estas tecnologias recebem a designação genérica e abreviada de “Coal to Liquids – CTL”.

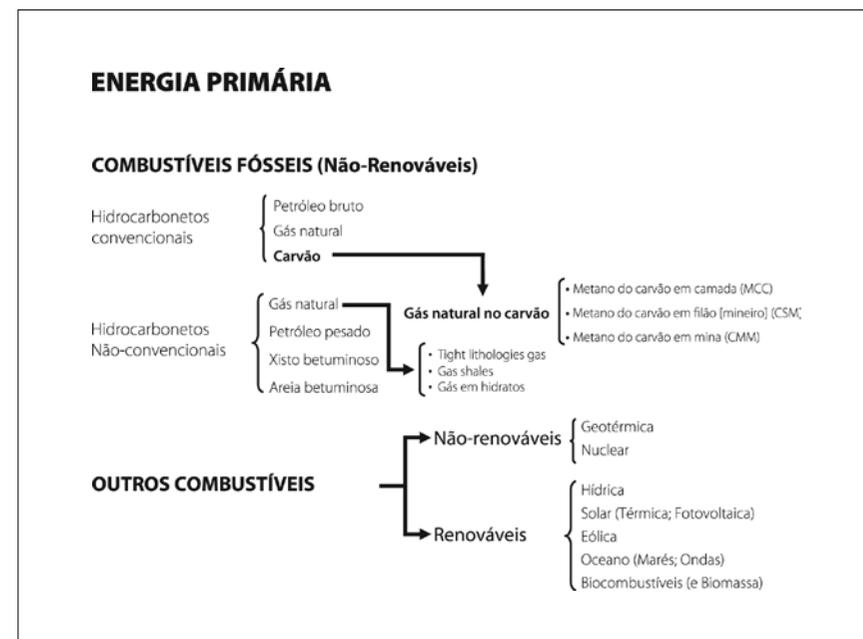


Figura 1 - Formas de Energia Disponíveis.

Neste enquadramento, das tecnologias de uso do carvão ditas limpas e/ou limpíssimas fazem parte as chamadas tecnologias de Emissões Zero<sup>8</sup> que, por sua vez, implicam o uso de tecnologias de Captação e Armazenamento/Sequestração de Carbono (CAC)<sup>9,10</sup>. De facto, hoje em dia, por exemplo, já não se projectam novas centrais térmicas sem um plano integrado de CAC, sendo certo que está previsto que, a curto prazo, tal venha mesmo a tornar-se obrigatório a nível europeu nos termos explicados no item seguinte.

#### 5. REDUÇÃO DO DIÓXIDO DE CARBONO

Por sua vez, a redução de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pode, no estado actual dos conhecimentos, efectuar-se de várias formas (Fig. 2), cada uma das quais, naturalmente, com prós e contras quer tecnológicos, quer ambientais, quer económicos.

<sup>8</sup> Em inglês “Zero Emissions Technologies – ZET”.

<sup>9</sup> Em inglês, estas tecnologias recebem a designação de “Carbon Capture and Sequestration – CCS”.

<sup>10</sup> O uso, neste caso, da designação “Carbono” corresponde a uma maneira abreviada e prática de referir o Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

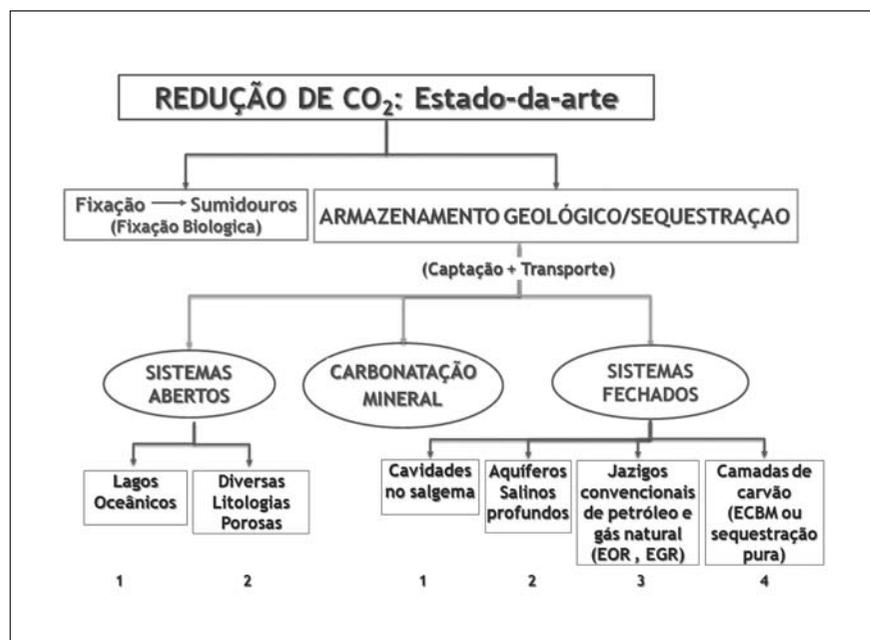


Figura 2 - Redução do dióxido de carbono: Estado-da-arte.

É, pois, óbvio que, neste aspecto, há, ainda, um longo caminho a percorrer pelos vários métodos/tecnologias que constam da figura, até porque se encontram em diferentes fases de desenvolvimento, sendo que já existem projectos piloto e/ou de demonstração em curso em várias vertentes, designadamente na chamada Sequestração geológica, i.e., a que já é tecnologicamente praticável em: (i) jazigos convencionais de petróleo e de gás natural, (ii) carvão (minas abandonadas e/ou camadas de carvão profundas não exploráveis) e (iii) aquíferos salinos profundos, com a vantagem, nos dois primeiros casos, de a injeção de CO<sub>2</sub> ter como consequência a chamada “produção acrescida” ou “produção avançada” de petróleo e de gás natural<sup>11, 12</sup>, neste último caso tanto convencional como não-convencional (gás natural gerado e armazenado naturalmente nos carvões e conhecido por “Metano do Carvão em Camada – MCC”<sup>13</sup>). (Figs 2 e 3).

<sup>11</sup> Em inglês, as tecnologias ditas de “produção acrescida” ou, o que é o mesmo, de “produção avançada” de petróleo e de gás natural convencional designam-se por “Enhanced Oil Recovery – EOR” e por “Enhanced Gas Recovery – EGR”, respectivamente. Veja-se, também, a Fig. 3 na qual se mantiveram as abreviaturas correspondentes às designações em língua inglesa, estas, de resto, hoje, usadas internacionalmente.

<sup>12</sup> A designação de “produção acrescida” ou “produção avançada” diz respeito ao acréscimo de produção de hidrocarbonetos convencionais (petróleo e gás natural associado) ou não-convencionais (“metano do carvão em camada”) que se verifica quando se injecta CO<sub>2</sub> numa bacia petrolífera ou de carvão, respectivamente. Com efeito, trata-se de um fenómeno que tem origem no comportamento termodinâmico dos diferentes gases (com moléculas de tamanho diferente) quando adsorvidos em sólidos porosos, igualmente com poros de diferentes dimensões.

<sup>13</sup> A designação em inglês de “Metano do Carvão em Camada” é “Coalbed Methane – CBM”. Por sua vez, a produção acrescida ou avançada de CBM designa-se, em inglês, por “Enhanced Coalbed Methane Recovery – ECBM” tendo, neste caso, sido usada na Fig. 3 a abreviatura correspondente à designação em língua inglesa.

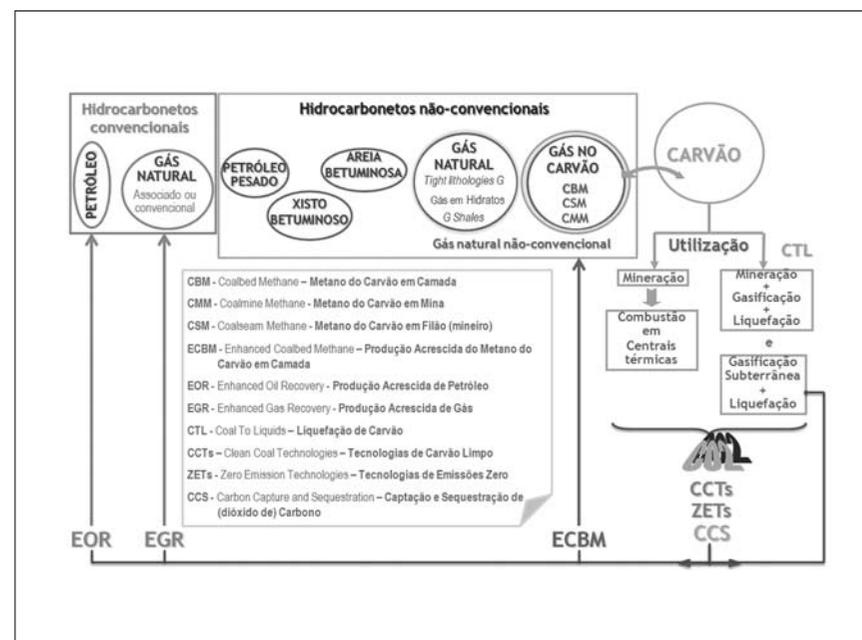


Figura 3 - Combustíveis fósseis: Tecnologias limpas e Produção Acrescida de hidrocarbonetos vs Redução de CO<sub>2</sub>.

Além disso, em relação a toda esta temática de armazenamento/seqüestração geológica de CO<sub>2</sub> e, ainda, em relação à efectiva viabilidade de cada um dos diferentes processos referidos há que ter em conta, pelo menos, quatro outros aspectos e respectivos custos:

- a) A necessidade de efectuar previamente a concentração/captação de CO<sub>2</sub> na fonte produtora e, quando o local de produção estiver afastado do local adequado para armazenamento/seqüestração – este, por sua vez, também previamente seleccionado –, efectuar, ainda, o transporte do gás.
- b) O diferencial que possa existir entre o ritmo de produção de CO<sub>2</sub> pela indústria e o ritmo a que a injeção poderá ser feita em determinado local.
- c) O facto de o CO<sub>2</sub> poder não ficar retido para sempre em alguns dos locais de armazenamento/seqüestração, sendo, pois, necessário ter em conta nos estudos o cálculo do tempo de residência do gás nesses locais.
- d) A necessidade de, em qualquer caso, preparar legislação específica para a captação, transporte e armazenamento/seqüestração de CO<sub>2</sub> (e outros gases de estufa).

A bibliografia existente sobre a temática é já imensa, não cabendo, naturalmente, a sua inventariação, e muito menos apresentação e discussão, no âmbito do presente artigo.

Diga-se, ainda, que os chamados Sumidouros de Carbono, os quais correspondem à fixação de dióxido de carbono por organismos vivos, designadamente por vegetais – por tal motivo, correspondentes ao que se designa por Fixação Biológica – implicam a retenção, temporária,

de quantidades reduzidas de CO<sub>2</sub> quando comparadas com as quantidades emitidas para a atmosfera. Por isso, com base nos níveis, tanto os actuais como os previstos no futuro, de produção de CO<sub>2</sub> resultantes da queima de combustíveis fósseis, é, hoje, unanimemente aceite a ideia de que não será possível atingir as metas fixadas, quer pelo Protocolo de Quioto, quer pela Comissão Europeia, sem Sequestração Geológica. Isto, não obstante se continuar a incrementar – e muito bem –, na medida do razoável e do possível, por um lado, o uso de Energias renováveis e, mesmo, se for o caso, da Energia nuclear e, por outro lado, a Eficiência energética.

Aliás, a Comissão Europeia tem já, neste momento, em preparação uma Directiva sobre Sequestração Geológica de CO<sub>2</sub>, (Comissão das Comunidades Europeias, COM(2008) 18 final).

A importância crescente do tema da sequestração geológica de CO<sub>2</sub> acabou, outrossim, por levar ao aparecimento de um organismo, hoje já de âmbito internacional, o Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) que não só coordena actividades de IDID&U<sup>14</sup> no domínio, mas também promove a inventariação dos principais projectos (vejam-se os sítios da Internet: <http://www.cslforum.org/> e <http://www.cslforum.org/projects.htm>).

Contudo, a inevitabilidade da sequestração geológica, designadamente em conexão com o uso de tecnologias limpas de queima de combustíveis fósseis, para além de implicar a escolha prévia dos locais apropriados para o efeito, terá como consequência custos adicionais nos preços da energia produzida que, não obstante a eventual criação de incentivos financeiros para o efeito, recairão, pelo menos em parte, no consumidor (veja-se, designadamente, a Fact sheet on Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS) no seguinte sítio da Internet <http://www.gi.ee/co2net-east/failid/Factsheeteng.pdf>, e bem assim, a documentação de origem, i.e., o relatório especial do IPCC sobre a temática (IPCC, 2005).

## 6. INQUÉRITOS DE PERCEÇÃO DA OPINIÃO PÚBLICA

Por tudo quanto se deixa dito e dada a óbvia incidência do tema na Sociedade em geral, a União Europeia decidiu lançar um questionário de inquérito à opinião pública sobre o assunto, sob a designação de “O papel da Captação e do Armazenamento/Sequestração de Dióxido de Carbono no futuro da Energia na Europa”.

Tal inquérito de percepção da opinião pública – correspondente ao Projecto ACCSEPT – sobre o problema-chave da captação e do armazenamento/sequestração de Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) foi oportunamente lançado pela Internet, sendo que os resultados obtidos foram publicados em dois relatórios (Anderson et al 2007 e Shackley, et al 2007). A este propósito veja-se também Shackley, et al 2004.

Contudo, estranhamente, Portugal não consta dos resultados dados à estampa por Bruxelas relativamente ao referido inquérito, pelo menos expressa e autonomamente, facto este

14 IDID&U = Investigação, Desenvolvimento, Inovação, Demonstração e Utilização. Em inglês, RDID&D = Research, Development, Innovation, Demonstration and Deployment.

tanto mais de admirar tendo em conta que, entre nós, já se promoveram projectos de muita qualidade sobre o tema das alterações climáticas, sua origem e influência nos mais variados sectores, incluindo cenários para a preparação do dossiê pós-Quito, e cujos resultados se encontram publicados (Exemplos: Aguiar e Santos 2007; Santos et al 2002). A este propósito é, ainda, oportuno mencionar que o estado de cumprimento do Protocolo de Quioto por parte de Portugal foi, recentemente, objecto de um importante estudo publicado pelo Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (veja-se MAOTDR, 2008 <http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PQ.pdf>) acompanhado do documento “Portugal clima 2020” – Avaliação do Impacto da Proposta “Energia-Clima” da Comissão Europeia para Portugal” (Ribeiro et al., 2008).

De facto, para além de não ser admissível que se desconheça a opinião dos portugueses sobre o assunto, não é, outrossim, sequer razoável que se preparem projectos de novas centrais térmicas, designadamente com captação e armazenamento/sequestração geológica de CO<sub>2</sub>, sem se saber o que pensa a população, em geral, sobre o tema, comparando os resultados com os dos outros parceiros europeus e, mesmo, de outros países não pertencentes à União. O mesmo se poderá dizer no que toca à preparação e execução de estudos a promover para a escolha dos locais mais adequados ao armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> e, bem assim, a execução de projectos-piloto para o mesmo efeito.

Independentemente do lançamento do inquérito da União Europeia, vários países promoveram inquéritos autónomos sobre o mesmo tema havendo, aliás, já uma impressionante bibliografia sobre o assunto, sob a forma de textos em livros e em revistas científicas indexadas (Exemplo: Curry et al, 2004 ; Sharma et al, 2007 , Tokushige et al, 2007 ; Vercelli et al, 2006). O Brasil, por via da Petrobrás, também promoveu, com total êxito, um inquérito baseado no da União Europeia, adaptado ao Brasil. (veja-se [http://www.ambientebrasil.com.br/images/carbono/pesquisa\\_natal\\_rio\\_internet.pdf](http://www.ambientebrasil.com.br/images/carbono/pesquisa_natal_rio_internet.pdf)

Nos Estados Unidos da América e no âmbito de um projecto que envolve também a Suécia, o Reino Unido e o Japão foi lançado um outro questionário relacionado com o assunto, o qual foi recentemente publicado numa tese de doutoramento sobre o tema levada a efeito no Massachusetts Institute of Technology (MIT), (Figueiredo, 2007).

## 7. ALGUNS DESENVOLVIMENTOS EM CURSO

Dada a situação acima descrita, foram criados vários organismos, nacionais e internacionais, consagrados ao estudo da temática a que o presente artigo respeita, os mais relevantes dos quais são o “IEA Greenhouse R&D Programme – IEA Green” (<http://www.ieagreen.org.uk/>), o “Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies – CO<sub>2</sub>CRC” (<http://www.co2crc.com.au/>) e, sobretudo, o “Carbon Sequestration Leadership Fórum – CSLF” (<http://www.cslforum.org/>) do qual a Fundação Fernando Pessoa / Universidade Fernando Pessoa é membro Stakeholder. Em Portugal, esta mesma temática específica, ainda está muito pouco desenvolvida e, em todo o caso, não se conhecem publicações relevantes.

De facto, para além de um único projecto genérico no âmbito da FCT (FCT ref. PTDC/ENR/70767/2006: Strategies for Zero Emission Fossil Fuel Energy in Portugal) apenas se conhece a existência de estudos preliminares sobre o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> em aquíferos salinos profundos (Machado et al, 2007).

Por último, cabe mencionar que o tema das relações Energia – Ambiente é, desde há cerca de dois anos, objecto de especial atenção e, estudo de pormenor por parte do Grupo de Investigação em Energia do Centro de Investigação em Alterações globais, Energia, Ambiente e Biotecnologia (CIAGEB) da Universidade Fernando Pessoa (UFP) estando já a decorrer os seguintes projectos sob a temática de base Sequestração Geológica de CO<sub>2</sub> em Camadas da Carvão:

#### Projectos próprios

Projecto Piloto de Sequestração Geológica de CO<sub>2</sub> nos Carvões da Bacia Carbonífera do Douro, NW de Portugal – **Projecto COSEQ**,  
Estudo do Processo de Difusão de Gases em Carvões com base em Isotérmicas de Langmuir – **Projecto DIFUSÃO**,  
Inquérito de percepção/aceitação da opinião pública sobre “O Papel da Captação e do Armazenamento/Sequestração de Dióxido de Carbono no Futuro da Energia na Europa” – **Projecto INQUÉRITO**.

#### Projectos em parceria

Carvões Brasileiros: Revisão geral e aplicação de Critérios de Escolha tendo em vista a Pesquisa de MCC vs Sequestração Geológica de CO<sub>2</sub> – **Projecto BRASIL**.

O penúltimo dos projectos listados corresponde, precisamente, ao lançamento em Portugal do inquérito europeu de percepção da opinião pública sobre a sequestração geológica de CO<sub>2</sub> e suas incidências, em relação ao qual não se conhece ainda uma resposta relativa ao nosso país. Trata-se de um projecto interdisciplinar, a nível da própria UFP, em cuja preparação intervieram docentes, investigadores, técnicos e alunos da Faculdade de Ciência e Tecnologia, incluindo dois Centros próprios: o CIAGEB e o Centro de Estudos e de Formação Contínua - CEFOC. O questionário já foi oportunamente tornado público na página Web da UFP. O conhecimento dos resultados deste projecto é, outrossim, considerado indispensável para o correcto desenvolvimento do projecto-piloto COSEQ de sequestração geológica de CO<sub>2</sub> na Bacia Carbonífera do Douro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R. e Santos, F.D.** (2007). MISP – Energia e Emissões de Gases com Efeito Estufa: Um Exercício de Prospectiva para Portugal até 2070. Project MISP – Climate Change: Mitigation Strategies. In: Portugal, Lisboa Fundação Calouste Gulbenkian e Instituto D. Luiz.
- Anderson, A., de Coninck, H., Curnow, P., Flach, T., Groenberger, H., Norton, C., Reiner, D., Shackley, S., Upham, P., Eldevik, F., Sigurthorsson, G.** (2007). Multidisciplinary Analysis and Gap-Filling Strategies - Intermediary Report from the ACCSEPT Project. Det Norske Veritas AS, Norway. In: [http://www.accsept.org/outputs/wp\\_4\\_november.pdf](http://www.accsept.org/outputs/wp_4_november.pdf)
- Arrhenius, S.** (1896). On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. In: The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 5th series, pp. 239-276.
- Curry, T., Reiner, D. M., Ansolabehere, S., Herzog, H. J.** (2004). How Aware is the Public of Carbon Capture and Storage? Seventh International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, Vancouver, Canada, Setembro 2004. In: [http://sequestration.mit.edu/pdf/GHGT7\\_paper137\\_Curry.pdf](http://sequestration.mit.edu/pdf/GHGT7_paper137_Curry.pdf)
- Comissão das Comunidades Europeias** (2007). COM(2007) 2 final - Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Limitação das Alterações Climáticas Globais a 2 Graus Celsius -

Trajectória até 2020 e para Além desta Data, Bruxelas, 10 de Janeiro de 2007. In: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0002:FIN:PT:PDF>

**Comissão das Comunidades Europeias** (2008). COM(2008) 30 final - Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Duas Vezes 20 até 2020 - As Alterações Climáticas, Uma Oportunidade para a Europa. Bruxelas, 23 de Janeiro de 2008. In: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0030:FIN:PT:PDF>

**Comissão das Comunidades Europeias** (2008). Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho - COM(2008) 18 final – Relativa à Armazenagem Geológica de Dióxido de Carbono. Bruxelas, 23 de Janeiro de 2008. In: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0018:FIN:PT:PDF>

**Conselho de Ministros** (2005). Resolução do Conselho de Ministros nº 53/2005, que resume o Plano Nacional de Licenças de Emissão PNALE 2005-2007. Diário da República I série-B, nº 44, 3 de Março 2005, p. 1910 – 1927.

**Conselho de Ministros** (2008). Resolução do Conselho de Ministros nº 1/2008 que aprova o Plano Nacional de Licenças de Emissão para o período 2008-20012, PNALE II. Diário da República 1ª série, nº 3, 4 de Janeiro 2008, pp. 106 – 141.

**Cunha, P. C., Santarosa, C. S., Estevão dos Santos, M., Ziliotto, M. A., Nagal, F., Duailibi, M., Saraiva Schott, F.** (2007). Pesquisa de Percepção sobre o Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> no Brasil. Petrobrás, Instituto EcoPlan, Instituto Ecoar. In: [http://www.ambientebrasil.com.br/images/carbono/pesquisa\\_natal\\_rio\\_internet.pdf](http://www.ambientebrasil.com.br/images/carbono/pesquisa_natal_rio_internet.pdf)

**Figueiredo, M. A.** (2007) The Liability of Carbon Dioxide Storage. PhD thesis. Massachusetts Institute of Technology.

**Intergovernmental Panel on Climate Change** (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.). p. 39 IPCC, Geneva, Switzerland.

**Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group III** (2005). Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Cap. 8 “Cost and Economical Potential”, Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.), p. 339-362. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. In: [http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages\\_media/SRCCS-final/IPCCSpecialReportonCarbonDioxideCaptureandStorage.htm](http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/IPCCSpecialReportonCarbonDioxideCaptureandStorage.htm)

**Lovelock, J. E. e Giffin, C. E.** (1969). Planetary Atmospheres: Compositional and other Changes Associated with the Presence of Life. In: Advances in the Astronautical Sciences, 25, pp. 179-193.

**Machado, S., Sampaio, J., Carvalho, J., Dias, R. P., Costa, A., Oliveira, J. T.** (2007). Armazenamento de CO<sub>2</sub> em aquíferos salinos: hipóteses para Portugal. Seminário “Carvão: um combustível fóssil na via da sustentabilidade?”, Ciclo de Conferências “ENERGIA E SOCIEDADE” - 2ª fase, Lisboa, Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa.

**Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Economia e da Inovação** (2005). Despacho conjunto nº 686-E/2005 que aprova a lista de instalações existentes participantes no comércio de emissões e a respectiva atribuição inicial de licenças de emissão. Diário da República II série, nº 176, 16 de Setembro 2005, p. 13364(24) – 13364(27).

**Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Economia e da Inovação** (2008). Despacho conjunto nº 2836/2008 que aprova a lista de instalações existentes participantes no comércio de emissões, para o período de 2008-2012, e a respectiva atribuição inicial de licenças de emissão. Diário da República 2ª série, nº 25, 5 de Fevereiro 2008, p. 4760–4766.

- Organização das Nações Unidas** (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. Texto da convenção. In <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
- Organização das Nações Unidas** (1998). Kyoto Protocol to the United Nation Framework Convention on Climate Change. Texto do protocolo. In <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- Parlamento Europeu e Conselho da Europa** (2003). Directiva 2003/87/CE relativa à criação de um regime de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa na Comunidade e que altera a Directiva 96/61/CE do Conselho. Jornal Oficial da União Europeia PT L 275, 25.10.2003, p. 32-46. In: <http://europa.eu/scadplus/leg/pt/lvb/l28012.htm>
- Ribeiro, F., Lobo, Â., Dias, A. M., Nunes, C., Lopes, E., Silva, G. P., Seixas, J., Simões, S., Fortes, P., Cleto, J., Barroso, J. E., Alves, B., Dinis, R., Pisco, F., Faria, P., Finote, S.** (2008). Portugal clima 2020 – Avaliação do Impacto da proposta Energia-Clima da CE para Portugal. Comité Executivo da Comissão para as Alterações Climáticas – Agência Portuguesa do Ambiente. [http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PORTUGAL%20CLIMA%202020\\_VersaoEditada\\_FINAL\\_27Junho.doc](http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PORTUGAL%20CLIMA%202020_VersaoEditada_FINAL_27Junho.doc)
- Santos, F.D., Forbes, K. e Moita, R.** (2002). Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures. SIAM, Lisboa. Gradiva, Fundação Calouste Gulbenkian, FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia.
- Shackley, S., McLachlan, C., Gough, C.** (2004). The Public Perceptions of Carbon Capture and Storage, Working Paper 44, Manchester, Tyndall Centre for Climate Change Research.
- Shackley, S., Waterman, H., Godfroij, P., Reiner, D., Anderson, J., Draxlbauer, K., de Conick, H., Groenenberg, H., Todd Flach, T., Sigurthorsson, G.** (2007). Stakeholder Perceptions of CO<sub>2</sub> Capture and Storage in Europe: Results from the EU-funded ACCSEPT Survey - Main Report. In [http://www.accsept.org/outputs/wp\\_4\\_november.pdf](http://www.accsept.org/outputs/wp_4_november.pdf)
- Sharma, S., Cook, P., Robinson, S., Anderson, C.** (2007). Regulatory challenges and managing public perception in planning a geological storage pilot project in Australia In: Internat. J. Greenhouse Gas Control, Vol. 1, Nº. 2, pp. 247-252.
- Stern, N. H.** (2007). The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge, UK ; New York: Cambridge University Press.
- Tokushige, K., Akimoto, K., Tomoda, T.** (2007). Public Perceptions on the Acceptance of Geological Storage of Carbon Dioxide and Information Influencing the Acceptance. In: Internat. J. Greenhouse Gas Control, Vol. 1, Nº1, pp. 101-112.
- Vercelli, S. e Tambelli, R.** (2006). Stakeholder Acceptance and Understanding of CO<sub>2</sub> Geological Storage. In: S.Lombardi, L.K. Altunina e S.E. Beaubien, (Ed.) Advances in the Geological Storage of Carbon Dioxide, Nato Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, vol. 65. Netherlands, Springer. pp. 345-357.
- Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional** (2008). Estado do cumprimento do Protocolo de Quioto. Memorando de 27.06.2008. In: <http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PQ.pdf>
- UNFCCC, Subsidiary Body for Implementation** (2007). Report FCCC/SBI/2007/30 on National Greenhouse Gas Inventory data for the period 1990-2005, 24 October 2007. In: <http://unfccc.int/resource/docs/2007/sbi/eng/30.pdf>
- UNFCCC, Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice** (2008). Information FCCC/SBSTA/2008/INF.3: Synthesis of views on technological, methodological, legal, policy and financial issues relevant to the consideration of carbon dioxide capture and storage in geological formations as project activities under the clean development mechanism, 25 September 2008. In: <http://unfccc.int/resource/docs/2008/sbsta/eng/inf03.pdf>