

INSTITUTO MUNDIAL DO CARVÃO / PROGRAMA DA AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA PARA A INVESTIGAÇÃO DE GASES COM EFEITO DE ESTUFA

# ESTOCANDO CO<sub>2</sub> NO SUBSOLO

---

### **Programa da Agência Internacional de Energia para a Investigação de Gases com Efeito de Estufa**

O IEA Greenhouse Gas R&D Programme (IEA GHG) é um programa internacional de investigação colaborativa e um Acordo de Aplicação criado sob os auspícios da Agência Internacional de Energia. O IEA GHG foi criado em 1991 e visa disponibilizar aos seus membros informações fiáveis sobre o papel que a tecnologia pode desempenhar na redução das emissões de gases com efeito de estufa. O Programa tem três actividades principais que são: avaliação de tecnologias que visam reduzir as emissões de gases com efeito de estufa; promoção e disseminação de resultados e dados provenientes dos estudos de avaliação que desenvolve; e promoção de investigação prática, desenvolvimento e actividades de demonstração (I,D&D).

### **Instituto Mundial do Carvão**

O Instituto Mundial do Carvão (WCI) é uma associação não-lucrativa e não-governamental de empresas de carvão e agentes – é o único organismo internacional que funciona numa base mundial em nome da indústria do carvão. O WCI tem contactos relevantes e laços com agências internacionais importantes, incluindo a Agência Internacional de Energia e o Banco Mundial, e tem estatuto consultivo acreditado junto das Nações Unidas.

*Estocando CO<sub>2</sub> no Subsolo* foi preparado pelo IEA Greenhouse Gas R&D Programme e produzido e distribuído neste formato pelo Instituto Mundial do Carvão.



# O CO<sub>2</sub> PODE SER ARMAZENADO NO SOLO?

O Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) é a principal causa do aquecimento global e o nível de CO<sub>2</sub> na atmosfera terrestre está a aumentar por causa da actividade humana.

Os peritos concordam unanimemente que há que tomar rapidamente uma gama de medidas para reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub> que entra na atmosfera. Parte da solução seria captar milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> produzidas através de processos industriais e armazenar o CO<sub>2</sub> no solo – a este processo chama-se Captação e Armazenamento de CO<sub>2</sub> (CCS). Esta brochura explica o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> e responde às perguntas mais comuns sobre o assunto:

- >> O CO<sub>2</sub> pode ser armazenado no solo?
- >> Que diferença pode o CCS fazer para o aquecimento global?
- >> Como é que o CO<sub>2</sub> pode ser captado da indústria?
- >> Onde é que o CO<sub>2</sub> pode ser geologicamente armazenado?
- >> Porque é que o CO<sub>2</sub> fica no solo?
- >> Onde estão os locais geológicos adequados?
- >> Onde é que o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> tem lugar actualmente?
- >> Qual é o futuro do armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>?

Informações mais detalhadas podem ser obtidas no Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage (Relatório Especial sobre a Captação e Armazenamento de Dióxido de Carbono) do United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas da ONU) (IPCC), ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)).

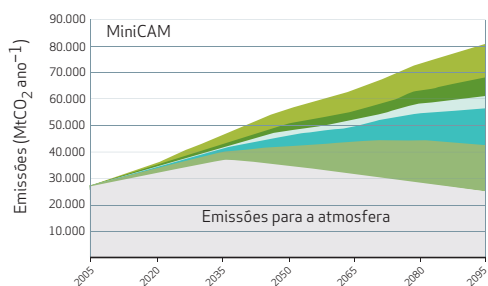
Há vários projectos que já armazenam milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> no solo e estão a ser planeados muitos mais. As companhias de gás e petróleo têm muitas décadas de experiência no armazenamento de gás natural no solo e de utilização de CO<sub>2</sub> em campos de petróleo, para ‘empurrar’ o petróleo na direcção de poços produtivos – uma técnica chamada Enhanced Oil Recovery (Extracção Assistida de Petróleo) (EOR).

O sucesso destes projectos dá muita confiança no potencial do armazenamento de grandes quantidades de CO<sub>2</sub> no solo – com segurança e seguramente. O uso do CCS à escala industrial para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> envolve adaptar tecnologias que já existem e são usadas por várias indústrias (tal como a produção de fertilizantes e a produção de petróleo).

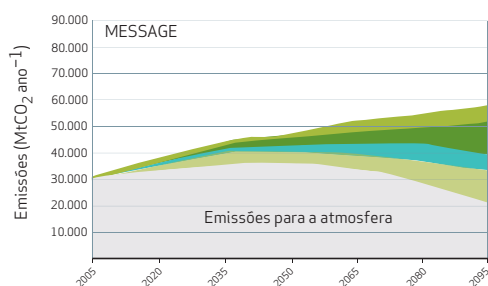
### Que diferença é que o CCS pode fazer?

Os gráficos do IPCC abaixo mostram o papel vital que o CCS pode desempenhar na redução das emissões de CO<sub>2</sub> neste século (juntamente com outras técnicas como a energia renovável e a eficiência energética melhorada). Em cada caso, a captação e armazenamento de carbono contribui para cerca de um quarto da redução de emissões requerida para controlar o aquecimento global.

#### A Contribuição Potencial Global do CCS



- Conservação e Eficácia Energética
- Energia Renovável
- Nuclear
- Substituição do Carvão pelo Gás
- CCS



- Conservação e Eficácia Energética
- Energia Renovável
- Substituição do Carvão pelo Gás
- CCS

Exemplos ilustrativos da contribuição potencial global do CCS baseados em modelos de avaliação alternativos integrados (MiniCAM e MESSAGE) do Relatório Especial do IPCC sobre a Captação e Armazenamento de Dióxido de Carbono.

## COMO É QUE O CO<sub>2</sub> PODE SER CAPTADO DA INDÚSTRIA?

O CCS implica captar o CO<sub>2</sub> produzido pela queima de hidrocarbonetos (como o gás natural e o carvão), antes de entrar na atmosfera, e o seu armazenamento em formações rochosas no solo onde permanecerá indefinidamente. O CCS apresenta uma maior eficácia de custo quando é aplicado a fontes grandes e estacionárias de CO<sub>2</sub> (como centrais térmicas e aciarias), que são responsáveis por mais de metade de todas as emissões humanas de CO<sub>2</sub>. O CO<sub>2</sub> pode ser captado dos hidrocarbonetos antes, durante ou depois da queima e a tecnologia para este fim é já largamente usada em muitas indústrias (tal como no processamento de gás e na produção de fertilizantes). As Figuras 1–3 mostram os 3 métodos de captação de CO<sub>2</sub> – aplicados a uma central térmica a gás.

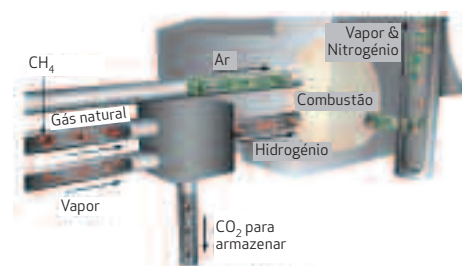
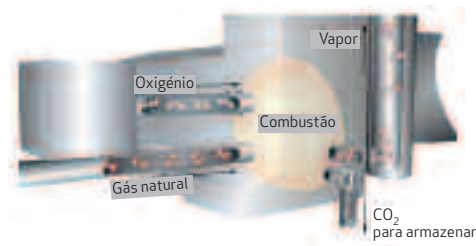


Figura 1 Antes da queima – Captação pré-combustão



**Figura 2** Durante a queima – Captação de oxigênio-combustível

Uma das vantagens da captação de CO<sub>2</sub> antes da queima (captação pré-combustão) é que esta técnica separa o hidrogénio dos combustíveis de hidrocarbonetos. O hidrogénio é um combustível 'limpo' que produz água quando é queimado. Outra possibilidade é a utilização do CCS com combustíveis de biomassa (como resíduos de colheitas). As plantas captam CO<sub>2</sub> da atmosfera (pela fotossíntese) mas quando morrem, a maior parte desse CO<sub>2</sub> é restituído à atmosfera. A captação e o armazenamento geológico do CO<sub>2</sub> produzido da queima de biomassa representa o oposto da economia actual de combustíveis fósseis – a remoção permanente de CO<sub>2</sub> da atmosfera e o seu armazenamento no solo.



**Figura 3** Depois da queima – Captação pós-combustão

Figures 1–3 Cortesia do CO<sub>2</sub> Capture Project  
[www.co2captureproject.com](http://www.co2captureproject.com)

## ONDE É QUE O CO<sub>2</sub> PODE SER GEOLOGICAMENTE ARMAZENADO?

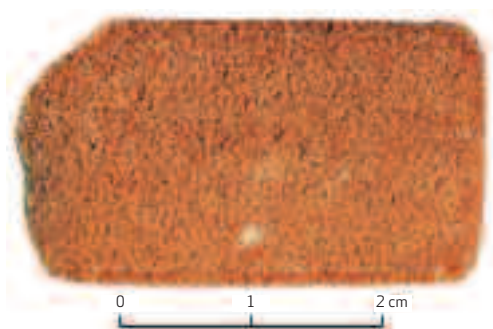
As melhores formações geológicas para o armazenamento de CO<sub>2</sub> são campos esgotados de petróleo e gás e aquíferos salinos profundos. São camadas de rocha porosa (como o arenito) a mais de 1 km no subsolo (em terra ou longe do solo marítimo), localizadas debaixo de uma camada de rocha impermeável (chamada "cap rock", rocha de cobertura) que age como um selo. No caso dos campos de petróleo e gás, foi a rocha de cobertura que fixou o óleo e o gás no subsolo durante milhões de anos.

**Os campos de petróleo e gás esgotados são** os melhores lugares para começar a armazenar CO<sub>2</sub> porque a sua geologia é bem conhecida e funcionam como fixadores provados.

**Os aquíferos salinos profundos** são formações geológicas com espaços porosos cheios de água muito salgada (muito mais salgada do que a água do mar). Eles existem em quase todo o mundo e parecem ter uma grande capacidade de armazenamento para o CO<sub>2</sub>. Actualmente, a geologia das formações salinas é menos conhecida do que a dos campos de petróleo e gás, por isso há que investigar quais as formações que são mais adequadas ao armazenamento de CO<sub>2</sub>.

Foram descobertos no solo muitos locais naturais de armazenamento de  $\text{CO}_2$  (frequentemente por pessoas à procura de petróleo e gás). Em muitos casos, o  $\text{CO}_2$  está lá há milhões de anos. Noutras situações (vulcões, géisers), o  $\text{CO}_2$  não vaza naturalmente do subsolo. Na verdade, as águas minerais carbonadas do mundo, muito apreciadas e engarrafadas para consumo, vêm de fontes naturais de  $\text{CO}_2$ . As razões pela quais algumas formações geológicas fixam o  $\text{CO}_2$  permanentemente e outras não são bem conhecidas. Esses conhecimentos podem ser usados para seleccionar e gerir locais de armazenamento e minimizar as possibilidades de vazamento.

Os locais potenciais de armazenamento têm de ser cuidadosamente escolhidos e geridos no sentido de minimizar qualquer possibilidade de vazamento de  $\text{CO}_2$ . Depois de o  $\text{CO}_2$  ter sido colocado no local de armazenamento, os poços têm de ser selados para garantir que o  $\text{CO}_2$  fica retido. À superfície, podem ser feitas análises ao ar e ao solo, para detectar um potencial vazamento de  $\text{CO}_2$ . As mudanças no subsolo podem ser monitoradas pela detecção de mudanças sonoras (sísmicas), electromagnéticas, de gravidade ou de densidade nas formações rochosas.



---

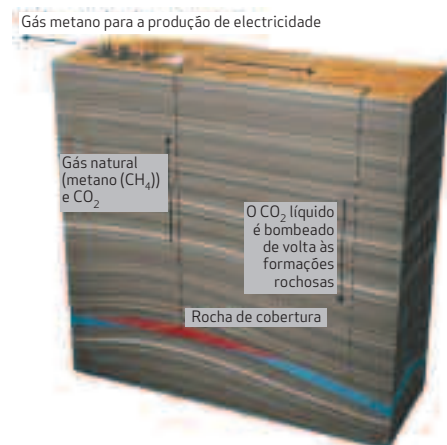
Arenito – típico do tipo de rocha que seria adequado ao armazenamento de  $\text{CO}_2$

---

FIM

# PORQUE É QUE O CO<sub>2</sub> FICA NO SOLO?

À medida que o CO<sub>2</sub> é bombeado para o solo, ele é comprimido pelas altas pressões e torna-se essencialmente um líquido, que, por várias razões, depois fica preso nos espaços porosos entre os grãos da rocha. Dependendo das características físicas e químicas das rochas e dos fluidos, todos ou alguns destes mecanismos de retenção estarão presentes. O armazenamento estrutural tem efeito imediato, os outros demoram algum tempo, mas oferecem cada vez maior segurança de armazenamento. Quanto mais tempo o CO<sub>2</sub> fica no solo, mais seguro é o seu armazenamento.



O In Salah CO<sub>2</sub> Storage Project (Projecto de Armazenamento de CO<sub>2</sub> em In Salah), na Argélia

## Armazenamento Estrutural

Quando o CO<sub>2</sub> é bombeado para o subsolo é inicialmente mais leve do que a água e eleva-se até chegar ao topo da formação onde fica preso na camada impermeável de cobertura rochosa, como o xisto margoso. Os poços furados para armazenar o CO<sub>2</sub> podem ser selados com tampões de aço e cimento.

O diagrama acima mostra o projecto de In Salah Methane para a produção de gás por electricidade, na Argélia, onde 1 milhão de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano (o equivalente às emissões de um quarto de milhão de carros) está a ser armazenado num campo de gás produtivo. O gás natural produzido a partir das formações rochosas profundas é uma mistura de metano

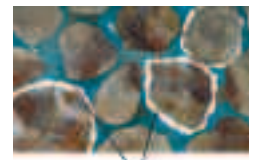
(CH<sub>4</sub>) e CO<sub>2</sub>. Quando chega à superfície, o gás natural é separado em metano (que é canalizado para uma central térmica para a geração de electricidade) e CO<sub>2</sub> (que é bombeado de volta às formações rochosas profundas para armazenamento). A cobertura rochosa que prende o gás natural nas formações rochosas durante milhões de anos mantém o CO<sub>2</sub> líquido armazenado no reservatório subterrâneo.

## Armazenamento Residual

Os reservatórios de rocha são como uma esponja apertada e rígida. O ar na esponja é preso residualmente e a esponja normalmente tem de ser espremida várias vezes para substituir o ar por água. Quando o CO<sub>2</sub> líquido é bombeado para a formação rochosa, uma grande parte fica presa nos espaços porosos da rocha e não se move. A isto chama-se retenção residual.



Retenção residual de CO<sub>2</sub>



Retenção mineral de CO<sub>2</sub>

## Armazenamento por Dissolução

O CO<sub>2</sub> dissolve-se em água salgada, como o açúcar se dissolve no chá. A água com o CO<sub>2</sub> dissolvido é depois mais pesada do que a água em seu redor (sem o CO<sub>2</sub>) e por isso afunda-se na formação rochosa, retendo o CO<sub>2</sub> indefinidamente.

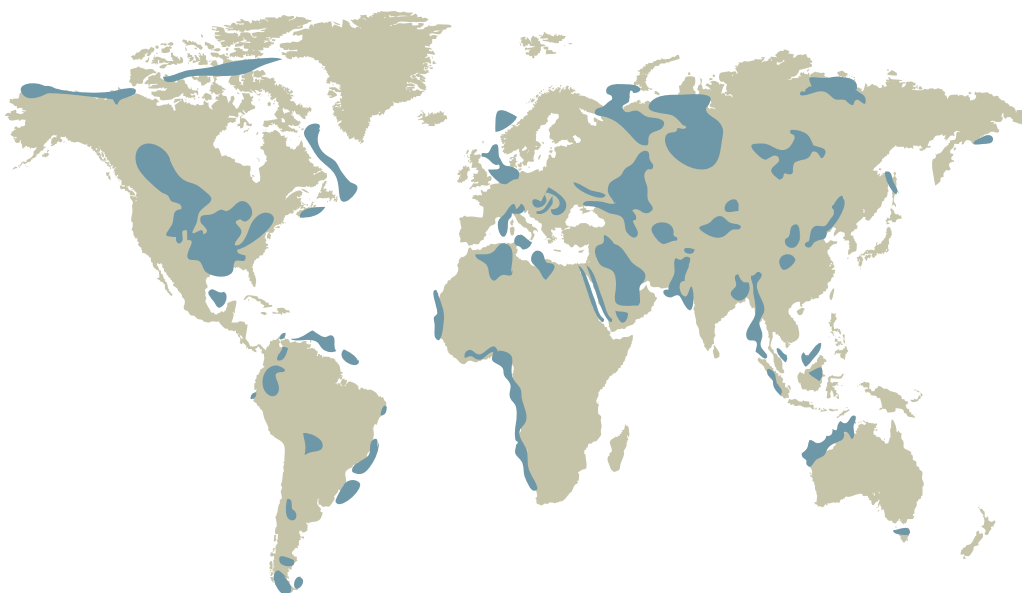
## Armazenamento Mineral

O CO<sub>2</sub> dissolvido em água salgada é levemente ácido e pode reagir com minerais nas rochas em redor, formando novos minerais, como uma cobertura na rocha (um pouco como o marisco usa o cálcio e o carbono da água salgada para formar a sua concha). Este processo pode ser rápido ou muito lento (dependendo da química das rochas e da água) e acaba por ligar o CO<sub>2</sub> às rochas.

## ONDE ESTÃO TODOS OS LOCAIS GEOLÓGICOS ADEQUADOS?

O mapa 1 mostra a localização das melhores formações geológicas para o armazenamento de CO<sub>2</sub> com base nos conhecimentos actuais. O total de emissões de CO<sub>2</sub> actualmente produzido pelo homem é de 24 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> por ano. Calcula-se que a capacidade de armazenamento de CO<sub>2</sub> dos reservatórios de hidrocarbonetos (petróleo, gás e carvão) seja de 800 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>. Os aquíferos salinos profundos mundiais poderão ter uma capacidade muito maior do que os reservatórios esgotados dos campos de petróleo e gás, mas mais tem de ser feito para avaliar o seu potencial para o armazenamento de CO<sub>2</sub>.

**Mapa 1** O mapa mostra rochas categorizadas como altas perspectivas para o armazenamento de CO<sub>2</sub>, extraído do Relatório Especial do IPCC sobre a Captação e Armazenamento de Dióxido de Carbono

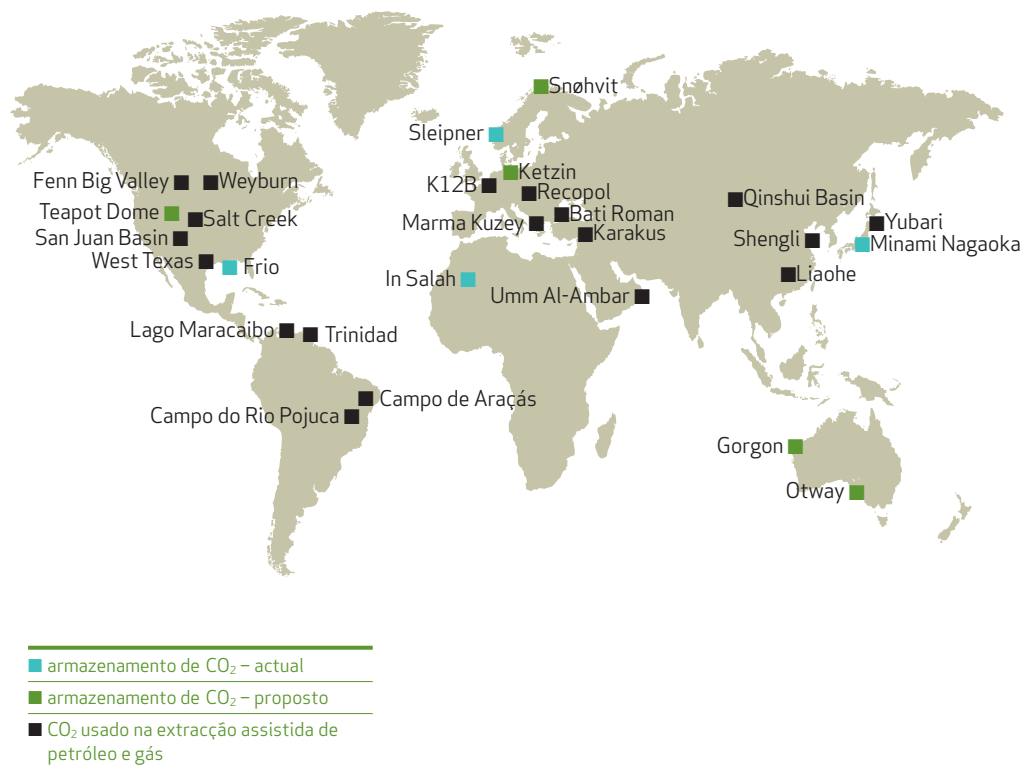


■ As melhores rochas para o armazenamento de CO<sub>2</sub>

# ONDE ESTÁ A SER FEITO O ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub>?

Já estão em funcionamento vários projectos geológicos em grande-escala e foram propostos muitos outros. O mapa 2 mostra os locais de projectos propostos e existentes para o armazenamento de CO<sub>2</sub>, juntamente com os locais de projectos onde o CO<sub>2</sub> está actualmente a ser usado para assistir a extracção de gás e petróleo.

**Mapa 2** Localização dos locais onde têm lugar o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> e a extracção assistida por CO<sub>2</sub> de petróleo e gás, extraído do Relatório Especial do IPCC sobre a Captação e o Armazenamento de Dióxido de Carbono



# QUAL É O FUTURO DO ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub>?

As ilustrações abaixo mostram um projecto CCS planeado na Califórnia que deverá produzir electricidade com níveis baixos de carbono, usando hidrogénio produzido a partir de coque de petróleo e armazenando o CO<sub>2</sub> resultante num campo de petróleo nas proximidades. Este projecto deverá produzir até 500MW de electricidade de baixo carbono (o suficiente para alimentar um terço de milhão de casas) e espera-se que entre em funcionamento em 2012. O uso do processo de captação e armazenamento de CO<sub>2</sub> em 700 centrais térmicas seria o equivalente (em termos de CO<sub>2</sub>) a eliminar todos os carros que há hoje em dia no planeta.

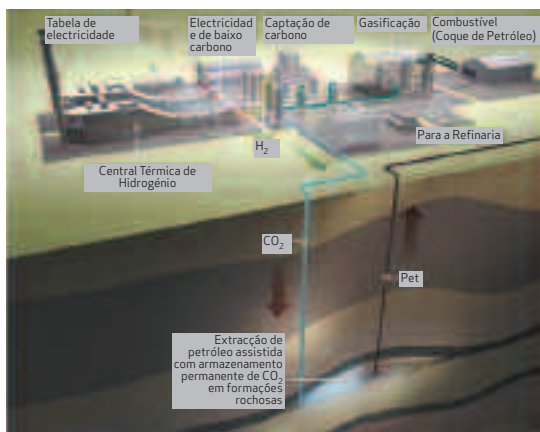


Ilustração de uma central térmica com CCS planeada na Califórnia

Ilustração cortesia da BP e do Edison Mission Group

## Conclusões

A captação e o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> podem ser uma parte significativa da solução para o problema do aquecimento global. A tecnologia requerida já foi usada durante muitos anos pelas indústrias petrolífera e de gás – está provada e disponível. O CCS poderá portanto ter um papel significativo na redução das emissões de CO<sub>2</sub> no futuro. Contudo, o CCS é um conceito relativamente novo e por isso não está especificamente tratado pela maioria das leis e regulamentos (globalmente e localmente).

As organizações comerciais investirão em projectos CCS quando eles forem legal e financeiramente viáveis. Para o CCS ser implementado em grande-escala, é necessário desenvolver a legislação e quadros comerciais adequados ao CCS.

FIM

---

Este relatório foi preparado como uma comunicação de trabalho financiada pelo IEA Greenhouse Gas R&D Programme. As opiniões dos autores aqui manifestadas não reflectem necessariamente as do IEA Greenhouse Gas R&D Programme ou do Instituto Mundial de Carvão, dos seus membros, da Agência Internacional de Energia, ou de qualquer funcionário ou pessoa que actue em seu nome. Para além disso, nenhuma destas pessoas dá qualquer garantia, expressa ou implícita, assume qualquer responsabilidade pela precisão ou utilidade de qualquer informação, aparato, produto ou processo revelado, ou representa que o seu uso não infringiria direitos de propriedade privados, incluindo quaisquer direitos de propriedade intelectual. As referências aqui feitas a quaisquer produtos comerciais, processo, serviço ou nome comercial, marca registada ou produtor não constitui necessariamente nem implica a aprovação, recomendação ou qualquer preferência por tais produtos.

Copyright © IEA Greenhouse Gas R&D Programme 2007. Todos os direitos reservados.

Data de publicação: Novembro de 2007

Para mais informações sobre as actividades do IEA Greenhouse Gas R&D Programme, visite:  
[www.ieagreen.org.uk](http://www.ieagreen.org.uk)

IEA Greenhouse Gas R&D Programme  
Orchard Business Centre  
Stoke Orchard  
Cheltenham  
Glos. GL52 7RZ  
Reino Unido  
t: +44 (0) 1242 680 753  
f: +44 (0) 1242 680 758  
[mail@ieaghg.org](mailto:mail@ieaghg.org)  
[www.ieagreen.org.uk](http://www.ieagreen.org.uk)

Para mais informações sobre as actividades do Instituto Mundial do Carvão visite:  
[www.worldcoal.org](http://www.worldcoal.org)

World Coal Institute  
22 The Quadrant  
Richmond  
TW9 1BP  
Reino Unido  
t: +44 (0) 20 8940 0477  
f: +44 (0) 20 8940 9624  
[info@worldcoal.org](mailto:info@worldcoal.org)  
[www.worldcoal.org](http://www.worldcoal.org)



[mail@ieaghg.org](mailto:mail@ieaghg.org)  
[www.ieagreen.org.uk](http://www.ieagreen.org.uk)



[info@worldcoal.org](mailto:info@worldcoal.org)  
[www.worldcoal.org](http://www.worldcoal.org)