

# A SUSTENTABILIDADE E AS PROPOSTAS DE MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. ESTUDO DE CASO: CAPTURA E ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub>

Felipe Berlinski de Brito e Cunha

Geógrafo

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RIO)

Tamboro Soluções Sistêmicas Sustentáveis

[felipebcunha@hotmail.com](mailto:felipebcunha@hotmail.com)

## RESUMO

O mundo já vivenciou diversas crises e todas elas contribuíram para o que hoje constitui-se o presente. Muitas delas foram assistidas pelo homem e outras muitas foram produzidas por ele. A humanidade vive, atualmente, talvez o momento de crise mais alarmante de sua história. Conduzidas pela construção ao longo do tempo de padrões e modelos de desenvolvimento insustentáveis, a sociedade vigente se depara com um momento crítico de necessidade emergente de transformação. Uma das questões de principal preocupação deste momento é a evidência cada vez maior da mudança no clima, produzida por este sistema e, então acontecendo, também produtora de uma intensificação nos problemas urbanos, sociais, políticos e econômicos e, sobretudo, na qualidade de vida no Planeta. A partir deste cenário, traçou-se uma discussão frente às propostas de mitigação das mudanças climáticas, com estudo de caso teórico na tecnologia de Captura e Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> (CCGS). A questão abordada aqui é se essas propostas estão considerando a totalidade do problema ou apenas são soluções paliativas, restritas e superficiais. Considera-se, então, a sustentabilidade a partir da Teoria Sistêmica e a Teoria da Complexidade como caminho para uma transformação estrutural do sistema. Logo, utiliza-se o CCGS como exemplo, para uma discussão de sustentabilidade aplicada a este tipo de proposta a fim de aumentar o seu potencial mitigador, observando não só a tecnologia, mas também os aspectos sociais, ambientais, econômicos, culturais e políticos.

Palavras-Chave: Sustentabilidade, mudanças climáticas, mitigação das mudanças climáticas, Captura e Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> (CCGS), Teoria sistêmica e complexidade.

THE SUSTAINABILITY AND THE CLIMATE CHANGE MITIGATION PROPOSALS. CASE OF STUDY: CO<sub>2</sub> CAPTURE AND GEOLOGICAL STORAGE

## ABSTRACT

The world has already experienced several crises and all of them contributed to what become the present today. Many of them were observed by humanity and many others were produced by men. Humanity lives, nowadays, probably the most critical moment of the history. Conducted over time by the construction of unsustainable development models and and superficial. So, It is considered the sustainability thru the Theory of Systems and the Theory of Complexity as a way for a structural transformation on this system. Then, standards, the current society faces a critical moment on an emerging necessity of transformation. One of the principal question at this moment is the growing evidence of climate change, produced by this system and, then going, also become a producer of an intensification on urban, social, political and economics problems and, especially the quality of life on Earth. After this scenario, drew it up a discussion forward the climate change mitigation

proposals, with a theoretical case of study on CO<sub>2</sub> Capture and Geological Storage (CCGS). The question addressed here is if those proposals are considering the totality of the problem or are only palliative solutions, restricted is used the CCGS as an exemple, for a discussion on sustainability applied to this type of proposal to increase its mitigation potential, noting not only the technology, but also the social, environmental, economic, cultural and political aspects.

Keywords: Sustainability, climate change, climate change mitigation, CO<sub>2</sub> Capture and Geological Storage (CCGS), Theory of Systems and complexity.

## Apresentação

Este artigo está dividido em quatro partes principais. Procura-se primeiramente reconhecer os desafios a serem enfrentados pela sociedade no século XXI. Após focar nas mudanças climáticas, na segunda parte apresentam-se as propostas de redução de seus impactos, com destaque à tecnologia de Captura e Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> (CCGS) – estudo de caso deste artigo. A terceira parte é uma definição de sustentabilidade, a qual irá embasar a última numa discussão da sustentabilidade acerca desta tecnologia em destaque.

Num primeiro momento, na introdução, serão mostradas as diversas crises\* estabelecidas no mundo. Através da leitura dos diversos autores a serem apresentados, pode-se pré-diagnosticar que este conjunto de crises faz parte, na verdade, de uma grande crise estrutural, resultado da interação de todas essas entre si e inerentemente com o núcleo de toda a racionalidade pós-moderna construída ao longo do tempo. Ou seja, estas crises (como por exemplo: econômica, social, ambiental e política) estão intrinsecamente relacionadas umas com as outras de forma que atinge atualmente um momento crítico, quando surgem questionamentos ao risco e à qualidade de vida no Planeta e, também, à manutenção do sistema prevalecente. Somados a todas estas crises surgem, cada vez mais, evidências de mudanças no clima da Terra que podem aumentar exponencialmente o potencial destas crises. Fato assumido aqui é que as mudanças climáticas também são outra crise originada por causas antrópicas, advindas da estrutura de (re)produção do sistema atual.

---

\* Definição de crise, segundo o dicionário Aurélio: "Ponto de transição entre uma época de prosperidade e outra de depressão. Fase difícil, grave, na evolução das coisas, dos sentimentos, dos fatos; colapso."

Visto isso, nos capítulos 3 e 4, apresentam-se as propostas de mitigação das mudanças climáticas através de uma revisão na literatura principal sobre o tema. Dentre as propostas de mitigação, destaca-se uma, a Captura e Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> (CCGS), como estudo de caso. Portanto, o capítulo 4 demonstra o estágio atual da tecnologia e suas diversas variáveis, desde os aspectos da tecnologia em si até os aspectos regulatórios e seus principais atores envolvidos.

Entretanto o objetivo deste artigo é justamente discutir a capacidade real que estas propostas têm como solução do problema. Critica-se neste trabalho, então, a visão reducionista do pensamento cartesiano-newtoniano, centro de uma racionalidade parcialmente hegemônica no mundo, em relação às propostas de mitigação das mudanças climáticas. Discuti-se aqui a visão restrita da solução que foca pontualmente numa crise (no caso, as mudanças climáticas) sem refletir que o real efeito só será eficaz se for observada a totalidade, a inter-relação com as outras dimensões do problema. A maioria destas propostas se direciona unicamente a parte tecnológica sem enxergar as dimensões sociais, culturais, políticas, econômicas, ambientais, entre outras que são interdependentes.

Para tanto, o capítulo 5 desenvolve uma definição de sustentabilidade baseada na Teoria Sistêmica e na Teoria da Complexidade. Acredita-se aqui que a sustentabilidade a partir desta conceituação amplia a visão da solução e trás a possibilidade de serem mais completas e eficientes, ressaltando a oportunidade de uma mudança de paradigma.

Por fim, à luz desta explanação do cenário atual de crise estrutural multidimensional e desta definição de sustentabilidade através de uma visão holística, apresenta-se uma discussão de tecnologia de mitigação mais sustentável a partir do exemplo do CCGS.

Introdução: as crises - uma crise estrutural

A diversidade de crises fenomênicas relatadas por diferentes autores a serem demonstrados adiante, na verdade, incita a compreensão de uma crise estrutural de todo o sistema da vida pós-moderna. Conforme a vida humana foi

aperfeiçoando suas técnicas e complexificando suas relações, a “sociedade global” foi se entrelaçando cada vez mais e realçando a vinculação das diferentes crises. “Dentro das crises é que se gestam as metamorfoses da mudança” ([http://www.ufrj.br/detalha\\_noticia.php?codnoticia=7899](http://www.ufrj.br/detalha_noticia.php?codnoticia=7899)).

Segundo Capra (1982) é uma crise complexa, multidimensional, cujas facetas afetam todos os aspectos de nossa vida – a saúde e o modo de vida, a qualidade do meio ambiente e das relações sociais, da economia, tecnologia e política. É uma crise de dimensões intelectuais, culturais, morais e espirituais; uma crise de escala e permanência sem precedentes em toda a história da humanidade. Justamente por estar presente nas entranhas da sociedade, esta grande crise tecida pelas relações sociais se configura como uma crise estrutural, ou seja, está nas bases do sistema como um todo, se ramificando para todas suas partes.

A sociedade vigente apresenta contradições recorrentes, como por exemplo, disparidades sociais e fragmentações marcantes, as quais são, concomitantemente, geradoras potenciais de conflitos. Num mundo marcado pelo processo de globalização todos são pertencentes a uma verdadeira “inclusão forçada” (FONTES,1997, p.35), não existindo exclusão e sim a “inclusão precária e instável” ou “inclusão excludente” (MARTINS, 1997). Ou seja, existem pessoas que se encontram excluídas dos padrões de qualidade de vida do modelo capitalista, mas não estão fora do sistema, estão à margem. Sistema este norteado pelo consumismo, vivendo a algumas décadas num ciclo repetitivo de trabalho, incentivo comunicacional à compra, acúmulo de riqueza, compras, desperdício, mais consumo e trabalho.

Na maior parte a origem das diversas crises econômicas assistidas no século XX está atrelada aos mercados financeiros globalizados e aos mecanismos correlatos em processos de superexpansão e contração. A globalização dentre outras conseqüências levou a incrível vinculação dos mercados nos diferentes países, fazendo com que rapidamente uma crise isolada de superprodução ou subprodução se alastre para todo o mundo, nas suas diferentes escalas. A economia de mercado é intrinsecamente instável. “A história dos vinte anos após

1973 é a de um mundo que perdeu suas referências e resvalou para instabilidade e a crise” (HOBSBAWN, 1995).

Hoje configura-se perante a sociedade, principalmente, uma crise de representatividade e da legitimidade. A sobreposição dos interesses individuais (ou de determinados grupos) em prol da conquista e manutenção do poder dominou a cena política, distanciando a ação política das necessidades da população. O que, por sua vez, acelera o desprendimento do indivíduo com as questões públicas.

O entendimento de que a degradação ambiental está intimamente relacionada à vida da sociedade é chave para compreendermos a crise ambiental instaurada. Sobretudo, nós somos parte integrante do meio ambiente. A base da “crise ambiental” está, justamente, na desintegração do homem com o espaço e no comportamento de distanciamento. Nosso uso insustentável de recursos, e nossa contínua acumulação de lixo, mostram uma falha básica geral de nosso sistema: ele opera em linha reta. A cadeia de produção e seus impactos existem em todos os produtos que consumimos.

É importante que se vejam os impactos diretos e indiretos dos sistemas de produção atuais a partir de um olhar amplo e sistêmico para que se compreendam as conseqüências na sua totalidade.

#### As Mudanças Climáticas

Segundo Veiga e Vale (2008), sob o prisma do processo de desenvolvimento, não é possível pensar em muitas reversões de danos ambientais se não for enfrentada concomitantemente a questão climática. Os recentes relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, o IPCC (2007), mostram de modo científico que as mudanças climáticas são um fato real, estando associadas ao modo de vida da humanidade. Acontece que desde esse “consenso” só se averiguou o aumento das emissões de GEE globais, enfatizando a dificuldade que a humanidade enfrentará ao se transformar, necessariamente para sua

sobrevivência, de uma “economia fóssil” para uma economia de baixa emissão de carbono.

As mudanças climáticas são processos causados principalmente pelo aumento da retenção de parte do calor gerado pela radiação solar, isto devido ao aumento dos gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera. Os GEEs são capazes de absorver parte da radiação infravermelha emitida pela superfície do planeta, sob a forma de calor sensível, evitando que este saia da atmosfera por completo. Desde a Revolução Industrial nós intensificamos as emissões de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono, principal GEE, utilizado como padrão nos estudos das mudanças climáticas) de nossas atividades, principalmente pela utilização de combustíveis fósseis.

Existem quatro grandes “reservatórios” de carbono no planeta, os quais se encontram em equilíbrio dinâmico: a atmosfera, a hidrosfera, a biosfera e a litosfera. A relação do tempo de permanência entre estas esferas constituem, basicamente, o ciclo do carbono. De uma maneira simplificada, como estamos modificando muito os estoques da litosfera (por exemplo: utilizando combustíveis fósseis) e da biosfera (como mudança de uso do solo e queima de biomassa) as concentrações na atmosfera estão muito maiores, aumentando o efeito estufa.

Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC) foi criado em 1988 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e a Organização Meteorológica Mundial (WMO) para avaliar de forma ampla e objetiva as informações científicas, técnicas e socioeconômicas sobre mudanças climáticas, os impactos e as opções de mitigação e a adaptação para as mudanças climáticas. Este Painel conta com mais de 2 mil cientistas do mundo todo com pesquisas de mais de 20 anos em relação às Mudanças Climáticas. Depois da divulgação dos relatórios dos Grupos de Trabalho do IPCC é que a questão climática tomou proporções globais e enfáticas na mídia e ativistas, governos e na sociedade em geral.

Porém, Veiga e Vale (2008) apresentam controvérsias substanciais de outros

cientistas que apontam a falta de veracidade total nos relatórios abordados acima. É claro que na ciência não existe verdade absoluta e que sempre haverá discordâncias. O questionamento é condição *sino quo non* da ciência. Estes opositores apresentam motivos por vezes contundentes que variam desde razões realmente de bases científicas como outras econômicas e até políticas.

Mas de qualquer forma serão tomados como base deste artigo os relatórios do IPCC em relação às mudanças climáticas e a responsabilidade antrópica perante isso. E, além disso, “mais do que desvendar os processos dinâmicos e as estruturas temporais e espaciais do clima, para o geógrafo o que realmente deveria importar é o significado deste processo inserido na dimensão socioeconômica e socioambiental” (SANT’ANNA NETO, 2001, pg. 59).

Até agora se sabe que estamos em aproximadamente 390 ppm de CO<sub>2</sub> (e esse número tem crescido a 2ppm por ano) na atmosfera medido recentemente pela estação norueguesa Zeppelin, no arquipélago ártico de Svalbard (ECOCLIMA, 2010). A partir de 450ppm o aumento da temperatura deve chegar à ordem de 2 graus Celsius segundo o IPCC e, então, o planeta já começa por si só ir para uma mudança no sistema climático global irreversível e acelerada (O GLOBO, 11/11/2010, pg. 33), e a probabilidade disso acontecer é de 50% (VEIGA e VALE, 2008). Além do aumento do nível do mar (causado pela expansão das moléculas da água devido ao aumento da temperatura e pelo derretimento das geleiras), os furacões, as enchentes e as secas irão provocar um enorme êxodo climático, levando milhões de pessoas ao interior dos continentes intensificando os problemas urbanos já vivenciados.

Os desastres naturais como tempestades, furacões, secas, aumento da temperatura, invernos rigorosos, entre outros irão condicionar situações dramáticas, sobretudo, às pessoas. As enchentes nas grandes cidades, tomadas por ruas e canais poluídos, propagarão doenças e insalubridade, assim como gastos públicos e privados inesperados. Das cidades brasileiras 93 milhões de pessoas vivem sem rede de esgoto sanitário e 14 milhões sem coleta de lixo. Cerca de 70% do esgoto coletado é despejado in natura nos rios, canais, mares e

corpos d'água (COMARÚ, MORETTI e KLINK, 2010). As cidades não estão preparadas para enfrentar estas conseqüências. O calor e o frio exacerbado trarão gastos energéticos muito maiores, tanto para refrescar como para aquecer. O que concomitantemente gera uma retroalimentação positiva, já que supostamente geração de energia implica maiores emissões de GEE's até então (agravando as mudanças climáticas em "efeito bola de neve"). É claro que a adaptação às novas condições é privilégio dos que podem arcar financeiramente com isto. Os que não podem sofrerão com condições climáticas extremas, agravando ainda mais o "fosso social". Isto varia desde a escala do indivíduo até a dos países.

A vulnerabilidade não é só do equilíbrio ecológico do planeta (o que também implica intrinsecamente em conseqüências à humanidade), mas em relação sobre as pessoas que está o grande risco das mudanças climáticas. E ainda mais, a diferença entre a população agrava o problema culminando em refugiados climáticos, ocupações irregulares e conflitos territoriais, além de escassez de recursos (como água) e poluição.

Segundo Brown (2010): "hoje é comum encontrar cadáveres nos litorais de Itália, Espanha e Turquia. São cadáveres de migrantes desesperados". Neste artigo Lester Brown mostra a crescente onda de migração forçada pelos impactos do clima, já sofridas nesta década. A desertificação, a "pobreza hidrológica" e o aumento do nível do mar veem causando a saída desesperada, nem sempre com sucesso, de refugiados da África Subsaariana para África Setentrional e Europa, América Central para México e EUA, Nordeste do Brasil para Sul e Sudeste, entre outros. A desertificação é um dos principais causadores, já que a falta de água e terras agricultáveis ou pastoráveis aumentam a cada ano, levando milhões para cidades e assentamentos ilegais.

Desta forma, percebem-se como as mudanças climáticas estão integradas as outras "grandes crises" do mundo citadas anteriormente, como é grande a quantidade de variáveis que compõem este problema e o que implica essa interação com a humanidade. As mudanças climáticas são produto deste sistema



dominante intrínseco às crises, uma vez que a origem é a mesma: a insustentabilidade das formas, estrutura e arranjos econômicos, e os valores da sociedade (BORN, 2009), e igualmente, também, são ao mesmo tempo produtor ou intensificador destas crises. As mudanças climáticas permitem-nos perceber grandes desafios que teremos pela frente a partir de fenômenos dramáticos recorrentes. Os aspectos ambientais das mudanças climáticas se encontram com outros graves aspectos sociais, políticos e econômicos.

Um grande exemplo destes eventos extremos que a humanidade já vivencia foi o furacão Katrina que atingiu o sul dos Estados Unidos em 2005 levando a morte de mais de mil pessoas e aproximadamente 175 bilhões de dólares de prejuízo. Outro exemplo, desta vez no Brasil e pela primeira vez no Atlântico Sul foi o furacão Catarina em 2004 atingindo os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Com prejuízos de cerca de R\$1 bilhão, os ventos de mais de 140 Km/h levaram a destruição de casas e milhares de desabrigados no sul do país. Recentemente no Rio de Janeiro, no mês de Abril de 2010, pudemos observar uma das maiores catástrofes do Brasil. As chuvas exacerbadas durante praticamente 7 dias seguidos levaram a cidade do Rio de Janeiro a vivenciar uma das maiores enchentes da história com centenas de desabrigados e mais de 200 mortos.

Em relação aos custos e investimentos muitas questões têm sido levantadas em nível de especulação. Sabe-se que a adaptação será grande e custosa e que também deve entrar nos cálculos dos gastos dos governos os custos referentes às conseqüências e remediações dos eventos extremos como reconstruções, ajuda social e etc. “Segundo o relatório Stern (2006), a sociedade deve enfrentar imediatamente o problema do aquecimento global, investindo 1% do PIB do planeta. Caso contrário, o valor presente dos custos dos danos futuros será igual à perda de 5% a 20% do PIB mundial ‘agora e sempre’” (VEIGA e VALE, 2008, pg. 11).

As Propostas de Mitigação das Mudanças Climáticas

Diante das questões elucidadas no capítulo anterior, as mudanças climáticas incitam uma mudança drástica dos caminhos que a humanidade vem tomando. A transformação imprescindível depende de atitudes e práticas que levem em consideração a capacidade real da sociedade de conseguir desenvolver sem continuar o mesmo padrão, calcado nos excessos.

Entende-se por mitigação “medidas necessárias para reduzir as Mudanças Climáticas causadas pela ação humana. A principal forma de mitigar as Mudanças Climáticas é reduzir as emissões de dióxido de carbono e de outros gases de efeito estufa.” (jornal O Globo, 16 de Dezembro de 2009, pg.31).

Segundo Robert Sokolow (2004), da Universidade de Princeton e um dos mais renomados cientistas do assunto, para se atingir um patamar de emissões anuais que assegure que a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico não ultrapasse os 550ppm (atualmente estamos com 390ppm), um novo padrão de conduta do ser humano frente à natureza e aos recursos naturais deve ser adotado (PACALA e SOKOLOW, 2004). Este padrão permeia todos os níveis de interação do homem sobre o ciclo do carbono e depende de atitudes que, em geral, vão de encontro com as regras contemporâneas do capitalismo.

Estas são as 7 cunhas, adaptadas de Pacala & Sokolow (2004), que se referem a tecnologias avançadas o bastante que podem ser amplamente implementadas para mitigação das mudanças climáticas:

- Eficiência Energética: são técnicas que aumentem a eficiência do consumo de energia e da produção de energia, ou seja, por exemplo, reduzir 25% do consumo de eletricidade de casas, escritórios e comércio, reduzir as distâncias que os automóveis percorrem, aumentar entre 40 e 60% a eficiência das usinas a carvão (PACALA e SOKOLOW, 2004), etc.
- Energias Renováveis: energia solar, eólica, oceânicas (maré, ondas e térmicas), hidroelétrica, geotérmica e etc. Ainda é questionada a efetividade individual de cada uma delas e os condicionantes naturais como barreira para escala de comercialização avançada. Porém, é praticamente consenso a diversificação no uso delas (até de forma híbrida, unindo mais

de uma fonte energética alternativa) como praticamente mandatório para transitar da matriz fóssil para uma mais limpa e sem emissões de GEE.

- Descarbonização dos Combustíveis Fósseis (Carvão / Óleo Combustível / Gás Natural): é a substituição da matriz energética. Utilizar biocombustíveis, os resíduos de biomassa (bagasso da cana, casca de arroz, restos de madeira, etc.) como geração de eletricidade, substituir carvão por gás natural, entre outras formas de substituir ou reduzir o uso dos combustíveis fósseis ou fontes menos intensas em CO<sub>2</sub>.
- Hidrogênio: tecnologia ainda não está 100% dominada, principalmente distribuição e consumo. Mas não há emissão de GEE e é extremamente abundante no planeta. Esta é a grande aposta como fonte energética do futuro.
- Energia Nuclear: de fato não há emissão de GEE e a eficiência energética é alta, mas abre outras questões ainda sem solução como o passivo ambiental sem destino (o lixo tóxico e os reatores obsoletos), o perigo constante de uma catástrofe socioambiental por vazamento de resíduo altamente radiativo (apesar de já serem considerados mínimos os riscos de acontecer) e a iminência da utilização do urânio para fins militares.
- Seqüestro Geológico de Carbono – CCGS: será discutido a fundo nos próximos capítulos.
- Reflorestamento, Florestamento, Conservação de Florestas: Apesar de ser entre estas propostas a menos eficiente em termos de redução de emissão esta traz benefícios ambientais ainda incomensuráveis. As árvores consomem CO<sub>2</sub> lentamente e variavelmente, colocando em risco erros de cálculo (e até mesmo expectativas não verificadas), além de questionamento quanto a garantias de sobrevivência da planta até seu estágio climático, limites territoriais de aplicação e a ineficácia de armazenamento de CO<sub>2</sub>, visto que após a sua morte a planta libera o CO<sub>2</sub> armazenado. Mas, por exemplo, no Brasil o desmatamento e as queimadas

são a maior fonte de emissão de GEE, respondendo por aproximadamente 75% das emissões nacionais.

Por outro lado é importante ressaltar que nenhuma tecnologia poderá preencher todas as cunhas, e a aplicação destas será distinta entre diferentes regiões do mundo, de acordo com os potenciais de cada local.

Porém muitas questões serão enfrentadas neste passo da transição para uma economia de baixo carbono. Pessoas capacitadas para essa nova produção, essa nova forma de pensar, ainda não estão suficientemente disponíveis no mercado. Não só pessoas, mas serviços também. A realidade é que poucos estão de fato habilitados para responder a demanda já existente das indústrias e outros grandes emissores de GEE por respostas de mitigação.

Outra questão impeditiva para o desenvolvimento destas propostas é a falta de marcos regulatório e políticas públicas para corrigir distorções do mercado e precificar as externalidades<sup>†</sup>. Portanto, política e regulação são aspectos muito importantes para essa virada de paradigma do mundo. Grande parte destas propostas de mitigação ainda não tem regulação formalizada para sua execução, o que pode dificultar e até impedir muitas destas ações. Além de, claro, ainda não obterem incentivos políticos para desenvolverem a frente das tecnologias já estabilizadas atualmente, grandes emissoras de GEE e grandes poluidoras, o que impede a competitividade destas novas rotas tecnológicas. “Nenhuma das grandes revoluções energéticas do passado aconteceu por esgotamento do recurso, e sim quando surgia outro mais eficiente e mais barato” (SACHS, 2005).

Outra dificuldade que muitas destas propostas têm é a aceitação pública. A cultura deste entendimento global é de grande importância para se enfrentar as mudanças climáticas (de aspecto global). Entretanto também é igualmente importante para a permanência e implantação destas propostas que se respeitem

---

<sup>†</sup> Estas referem-se ao impacto de uma decisão sobre aqueles que não participaram dessa decisão. Ou seja, quando uma dada ação interfere em outras pessoas ou atividades. As mudanças climáticas podem ser consideradas como externalidades que tanto o mercado como todo o mundo irão sofrer.

as especificidades do lugar. As diferentes identidades territoriais (HAESBERT, 1999) que as tecnologias de mitigação enfrentarão no espaço assumem papel de grande importância na implementação destes empreendimentos de, ainda, difícil compreensão.

Definitivamente essas tecnologias são imprescindíveis para se mitigar as mudanças climáticas, porém o potencial real está numa mudança de hábitos, uma mudança de comportamento do mundo. Se continuarmos com uma demanda cada vez maior por energia, alimento e outros produtos, mesmo que de fontes alternativas e menos impactantes, não seremos capazes de sustentar tudo isso. De nada adianta gerarmos energia “limpa” se for para produzir produtos descartáveis que se acumulam nos lixões, que demandam mais energia ainda no seu consumo e que continuam socialmente excludentes. É necessária uma mudança de paradigma, de racionalidade, onde conseguiremos pensar holisticamente no sistema como um todo, pensando na origem e na consequência de nossos atos, pensando no próximo. Ou seja, a maior proposta mitigadora de todas é a (re)educação, da qual será capaz de mudar toda a cadeia de insustentabilidades.

É certo que a “solução” não será única. Faz parte desta mudança de racionalidade pensarmos de forma plural e diversa, uma variedade de soluções. Uma grande diversidade. Somente um conjunto de múltiplas soluções será capaz de modificar o cenário atual. Como mostrado anteriormente é uma rede complexa de crises interligadas que compõem este cenário e visar apenas um foco é darmos continuidade a um mesmo padrão.

A Captura e Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> (CCGS)

Conhecido, também, como Seqüestro de Carbono, o CCGS é uma das opções tecnológicas para a mitigação das mudanças climáticas.

Para atender a crescente demanda energética mundial, à luz da economia e infra-estrutura energética existentes no Planeta, dificilmente neste século, os combustíveis fósseis deixarão de ter o papel principal neste cenário. Para isto, atendendo conjuntamente o cenário de imensas reduções de GEE dentro de um

curto espaço de tempo, até uma era energética mais renovável e de baixa intensidade de carbono, é que surge o seqüestro de carbono.

O CCGS consiste em, basicamente, quatro etapas: a captura e separação do CO<sub>2</sub> de fontes emissoras estacionárias ‡; a compressão deste gás para estado supercrítico§ e o transporte via dutos (o mais comum), caminhões ou navios; a injeção e o armazenamento seguro em reservatórios geológicos\*\*; e também a medição e monitoramento e a verificação (MMV) transversal a todo o processo.

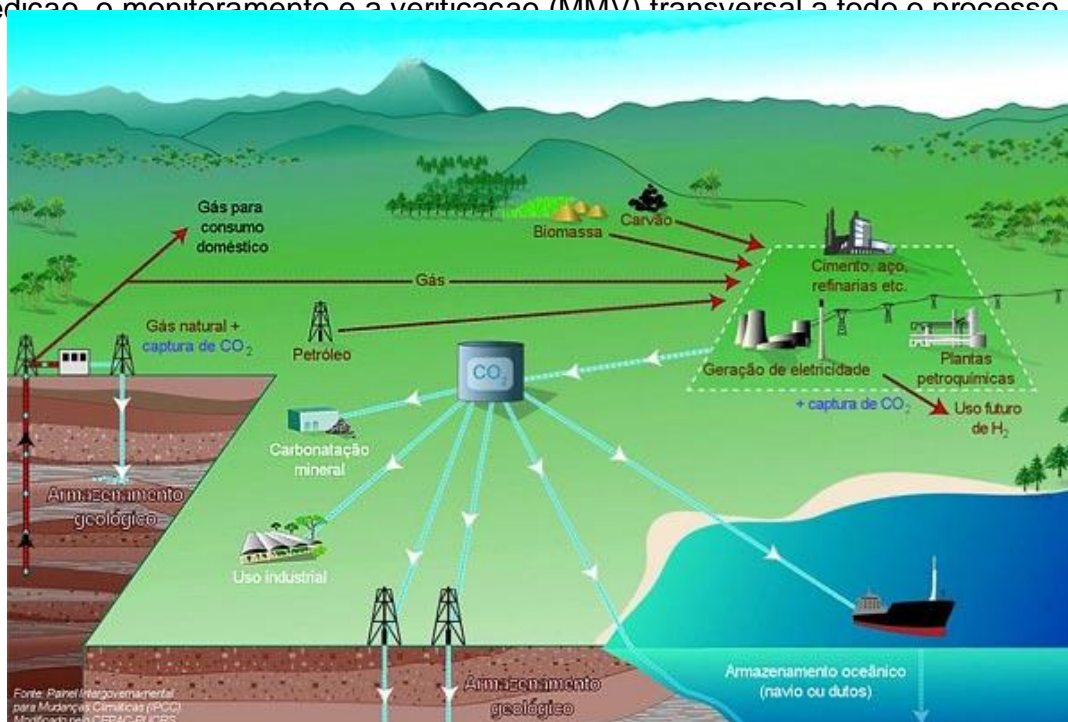


Figura 01: Esquema de possíveis sistemas de captura e armazenamento de CO<sub>2</sub>. Fonte: [www.pucrs.br/cepac/?p=sequestro\\_carbono](http://www.pucrs.br/cepac/?p=sequestro_carbono)

“A ocorrência de acumulações naturais de dióxido de carbono atesta o grande potencial que formações geológicas possuem para armazenar gases por milhares ou mesmo milhões de anos” ([www.pucrs.br/cepac](http://www.pucrs.br/cepac)). Entretanto, o processo de captura do CO<sub>2</sub> é o momento mais complexo da tecnologia. Existem diferentes formas de capturar este CO<sub>2</sub> com quatro diferentes sistemas e seus co-produtos

‡ Fontes de emissoras de GEE não veiculares (ou imóveis). Ou seja, gases de chaminés industriais. Como refinarias, termelétricas, cimenteiras, indústria de fertilizantes e outros

§ Entre o gasoso e líquido, em alta pressão.

\*\* Como: poços de petróleo depletados, camadas de carvão inutilizáveis ou aquíferos salinos

(pós-combustão, pré-combustão, *Oxyfuel* e processos industriais). A captura consiste em processos químicos complexos que fogem à intenção deste artigo.

Já o transporte é o mais simples tecnologicamente, por se tratar de um sistema amplamente utilizado na indústria de petróleo e gás (o gasoduto), mas pode ser transportado também por caminhões ou navios (porém acarretam mais riscos). Apesar disso ainda representa outras complicações correlatas, como por exemplo, o impacto em áreas habitadas ou florestadas e o risco de vazamento no convívio com os dutos nestas mesmas áreas.

“Estima-se que aproximadamente 1000 Gt (bilhões de toneladas) de CO<sub>2</sub> possam ser armazenadas nos campos de petróleo do mundo inteiro” (CEPAC, 2010). O armazenamento em campos de petróleo depletados pode resultar em uma maior retirada de petróleo através de uma técnica conhecida (e já bastante difundida) como EOR<sup>††</sup>. Outros sítios geológicos também são capazes de armazenar CO<sub>2</sub> como as camadas de carvão e os aquíferos salinos. As camadas de carvão, que não são utilizadas por inviabilidade econômica, por exemplo, podem também produzir metano (um gás combustível) através da técnica conhecida como ECBMR<sup>‡‡</sup>. O armazenamento em aquíferos salinos (onde a água é até mais salgada que a do mar impedindo seu consumo humano) representa a maior capacidade de armazenamento de CO<sub>2</sub> segundo o IEA (Agência Internacional de Energia), cerca de 10.000 Gt (CEPAC, 2010).

Uma das questões mais importantes da tecnologia refere-se à segurança e ao risco de vazamento do CO<sub>2</sub>. O CCGS é um conjunto de técnicas muito similar a toda indústria do petróleo e gás, representando amplo conhecimento adquirido ao longo do tempo. Quanto a isso uma das etapas tecnológicas do CCGS, a qual é transversal a todas as outras, é o Monitoramento, a Medição e a Verificação (MMV), que avalia a seleção do reservatório, os componentes dos dutos e materiais utilizados e realiza modelagem e acompanhamento constante do comportamento do CO<sub>2</sub> em todas as etapas. Esta é uma função constante na

---

<sup>††</sup> Do inglês *Enhanced Oil Recovery* ou Recuperação Avançada de Petróleo.

<sup>‡‡</sup> Do inglês *Enhanced Coal Bed Methane Recovery* ou Recuperação Avançada de Metano

tecnologia e implica o desenvolvimento de toda uma tecnologia paralela de laboratórios, softwares, engenharia de materiais, *know-how* nacional, e etc.

Do ponto de vista tecnológico os aspectos que precisam ser abordados e solucionados, para a aplicação do CCGS em escala de grande porte são: redução de custo, peso e tamanho da estrutura e melhoria de desempenho da etapa de captura do CO<sub>2</sub>; mão de obra especializada; segurança do transporte e do armazenamento; permanência do CO<sub>2</sub> no reservatório geológico; marcos regulatório; e análise de riscos e redução de custos da etapa de medição, monitoramento e verificação – MMV (do inglês Measuring, Monitoring and Verification).

Panorama mundial (mapeamento e cenários políticos, organizacionais e institucionais)

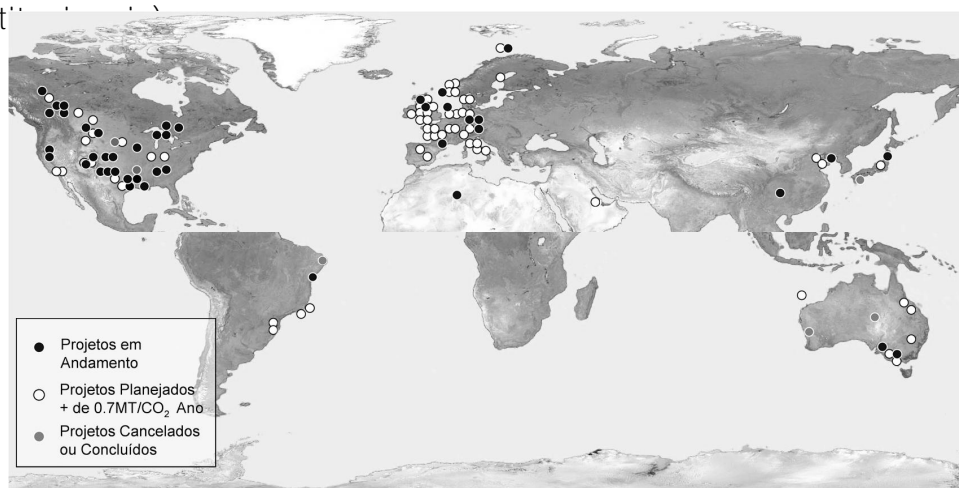


Figura 2 - Mapa <sup>§§</sup> de distribuição dos projetos de CCGS pelo mundo

Este mapa (Figura 2) busca entender a distribuição espacial da dinâmica de atuação dos agentes mais importantes da tecnologia de CCGS, numa perspectiva de demonstrar a evolução na quantidade de iniciativas ao redor do mundo. Portanto, este mapa nos mostra como o ímpeto dos europeus e dos países

<sup>§§</sup> Adaptado de Universidade de Edinburgh (<http://www.geos.ed.ac.uk/scs/storage/storageSites.html>), Massachusetts Institute of Technology – MIT (<http://sequestration.mit.edu/tools/projects/index.html>) e HUGES (2009)



desenvolvidos se destaca frente aos exemplos das economias emergentes do hemisfério sul. Podemos ver que liderados pelos Estados Unidos, Canadá, Europa e Austrália claramente estes se posicionam mais intensamente, talvez pela necessidade de conquistar as profundas metas de redução de GEE ou pelo vigor de suas economias e quantidades de empresas de óleo e gás atuantes. Estes atores em muitas ocasiões não agem em seus próprios países e muitos deles se unem em projetos, complexificando ainda mais essa dinâmica espacial da tecnologia.

A necessidade de se viabilizar a tecnologia não depende só da garantia racional da ciência, mas da ampliação de sua visão para o todo em busca da complexidade correlata a esta atividade. Por exemplo, no caso de se criar mecanismos de incentivo fiscal ou benefícios provenientes do Estado resultariam consecutivamente numa redução do custo de operação. Por outro lado, a taxação sobre emissões estimularia estratégias de se evitar essa sobretaxa (como no caso da Noruega que acabou estimulando a empresa Statoil a concluir o primeiro projeto de CCGS no mundo, o Sleipner Project) <sup>\*\*\*</sup>.

#### CCGS no tempo

Uma questão crucial relacionada ao CCGS está na condição do tempo desta tecnologia. O CCGS passa por diferentes questionamentos quanto ao tempo em diferentes momentos, desde a etapa de desenvolvimento até a etapa de armazenamento. São “tempos” que se diferenciam muito desde descobertas tecnológicas até acordos políticos, entre a dialética do tempo humano e do tempo geológico.

Primeiramente, o CCGS já enfrenta um desafio de se estabelecer rapidamente devido ao aceleração das mudanças climáticas. Isso acarreta uma expressão de urgência. Ao mesmo tempo sofre uma dualidade entre o tempo do desenvolvimento tecnológico e o tempo da preparação dos marcos regulatórios,

---

<sup>\*\*\*</sup> maiores informações [www.statoil.com](http://www.statoil.com)

da aceitação pública e dos incentivos econômicos. É importante lembrar que trata-se de um processo que pode durar centenas de milhares de anos. O armazenamento do CO<sub>2</sub> nos reservatórios se torna cada vez mais seguro com o passar do tempo. A interação do fluido com a rocha vai ficando cada vez melhor e a movimentação da pluma de CO<sub>2</sub> em estado supercrítico (entre o gasoso e o líquido) cada vez menor, até um momento, provavelmente em milhares de anos, em que a pluma está totalmente estável e aí o monitoramento se torna menos necessário. Mas, é uma tecnologia de longa duração. Isso revela outro aspecto muito importante desta tecnologia, a responsabilidade ao longo do tempo. O armazenamento é responsabilidade do operador em curto prazo, porém é difícil prever a duração da existência da empresa operadora, se já é complicado garantir o território nacional e a continuação de um regime governamental. Em mil anos quantas guerras e transformações na configuração do território dos países aconteceram? Quantas empresas duraram mais de 200 anos? Trata-se de uma escala de tempo muito grande com uma perspectiva de responsabilidade de longo prazo. É difícil estabelecer um arcabouço legal sob este cenário.

Além disso, o CCGS é uma tecnologia transitória de uma economia baseada nos combustíveis fósseis para uma economia de baixo carbono. Se o CCGS não ocorrer neste período transitório ele pode não acontecer. O desenvolvimento de energias alternativas está progredindo, porém até conseguirem suprir a necessidade crescente da humanidade o combustível fóssil vai ser predominante. É exatamente neste momento, agora, que o CCGS tem que se estabelecer para responder a estas emissões. Depois provavelmente as mudanças climáticas estarão muito aceleradas e a base econômica deverá ser outra.

A(s) sustentabilidade(s) – A Teoria Sistêmica, a Teoria da Complexidade e a Sustentabilidade

“A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento”, Platão.

A racionalidade cartesiana e newtoniana baseada na simplificação, divisão, sintetização, ordenação e generalização do método foi e continua sendo o núcleo do modelo de desenvolvimento atual.

Vivemos numa realidade multidimensional, simultaneamente Física, Químico, Biológica, Psicológica, Filosófica, mas estudamos estas dimensões separadamente, e não umas em conjunto com as outras. Morin (2003) já dizia que a superespecialização é o enclausuramento e a fragmentação do saber. Ao longo do tempo obtivemos um “grande desligamento das ciências da natureza. Nós seres humanos, dotados de espírito e consciência, enquanto seres vivos biologicamente constituídos” (MORIN, 2003, p.17) contradizemos a todo tempo essa essência da vida por um pensamento mecanicista.

O que tem predominado, nos últimos séculos, é, de um lado uma visão de ciência como técnica, e, de outro, a natureza percebida como realidade na qual o homem pode intervir em seu proveito. (...) A Razão (ciência) foi erguida à supremacia no processo de explicação e apreensão do mundo. (RUA, 2007, p.151).

Neste caso, as ciências sociais, nos últimos anos, vêm sendo afetadas pela inserção da problemática ambiental. Para Viola (2004), essa problemática seria um dos motores fundamentais do questionamento ao desenvolvimento científico moderno surgido no século XVII, a partir da elaboração e do posterior aprofundamento do paradigma cartesiano-newtoniano. A questão ambiental, para ele, não pode ser tratada dentro de uma visão fragmentada do conhecimento, característica do paradigma dominante, mas, sim, através de uma abordagem interdisciplinar da realidade.

O século XX introduziu transformações nas bases do conhecimento científico. Assumiu-se a incerteza em muitas das ciências, contribuindo para o estabelecimento da desordem e do “embaralhar” das disciplinas.

O fim de nosso século (XX) assiste ao definhamento do paradigma cartesiano-newtoniano, substituído por uma visão de mundo integradora, sistêmica, conjuntiva e holística. As chamadas ciências ambientais se espremem em vazios epistemológicos entre as ciências naturais e sociais, adjetivam disciplinas existentes e provocam a necessidade da interdisciplinaridade. (ROHDE, 1994 p.21).

Esta interdisciplinaridade somada à globalização, a tendência ao “amalgamamento social” e à necessidade de se unir esforços formam uma oportunidade para reflexões coletivas através de uma responsabilidade comum (CUNHA et al., 2009b). Não existe hierarquia, pois nenhum é menos importante ou menos essencial, há uma total interdependência.

Pascal disse já há três séculos: ‘Todas as coisas são ajudas e ajudantes, todas as coisas são mediatas e imediatas, e todas estão ligadas entre si por um laço que conecta umas às outras, inclusive as mais distanciadas. Nestas condições considero impossível conhecer o todo se não conheço as partes’ esta é a primeira complexidade; nada está realmente isolado no Universo e tudo está em relação. (MORIN, 1996, p. 274).

São sistemas interconectados. Porém, mesmo assim cada parte ainda conserva suas particularidades e singularidades que lhe cabem. As diferenças que permitem as particularidades evidenciam a interação, a qual só é possível justamente através da diferença. A complexidade está evidentemente na profundidade das particularidades e nas interações destas. É preciso entender de que forma as diferentes partes do sistema interagem. É verdade que cada parte exerce sua função em qualquer sistema, mas não se consegue compreender o todo a partir de uma parte ou até de um conjunto de partes sem que se entendam as interações que ocorrem em um dado sistema e continuamente a interação deste sistema com outro sistema, e como estes fazem parte de outro sistema maior e assim sucessivamente.

Tanto a sociedade, seu conjunto de ações e práticas, como o ambiente em que habita geram forças atuantes múltiplas e recíprocas contribuindo para a constituição de ambos. A movimentação constante no espaço é progressiva e exponencial, transformando a todo o tempo as formas que por sua vez influenciam em novos processos. Quando existe uma mudança, as formas e objetos geográficos assumem novas funções, criando uma nova organização e uma nova estrutura. “O espaço é, em todos os tempos, o resultado do casamento indissolúvel entre sistemas de objetos e sistemas de ações”. (SANTOS, 1994, p. 81 in: RUA, 2007, pg. 150). No entanto, essas mudanças, esse “novo”, acontecem mas não deixam de existir, configurando memórias (que continuam influenciando)

no espaço e na sociedade, distinguindo-se por outras variáveis como o tempo, o espaço e a velocidade das transformações. O acontecimento concomitante de tudo isso explica a totalidade.

De uma maneira simples encontra-se uma definição interessante sobre sistemas: “um sistema é um conjunto de elementos interconectados, de modo a formar um todo organizado” (<http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema>), em uma “enciclopédia livre” de acesso fácil na internet. Os sistemas justamente operam através da comunicação entre os elementos (ou organismos) através de fluxos de energia, matéria, informação e etc.

A idéia sistêmica, oposta à reducionista, entende que “o todo é mais do que a soma das partes” (MORIN, 2010). A influência da multidimensionalidade (re)cria a todo tempo os objetos, os indivíduos e o contexto num sistema de auto-organização constante (MATURANA, 1997). Isto é válido tanto para sistemas físico-naturais como para sistemas sócio-culturais, e também para a interface obrigatória entre estes. “Sob as formas mais diversas, a dialética entre a ordem, a desordem e a organização, através de loops e retroações, mantém constantemente em ação nos mundos físico, biológico e humano” (MORIN, 2010). São sistemas interconectados e “interinfluenciados”.

Um dos grandes pensadores e precursores da Teoria Sistêmica para uma mudança de paradigma na sociedade pós-moderna é Fritjof Capra. Traçando um paralelo entre a física moderna (relatividade, física quântica, física das partículas, entre outras) e as filosofias, o físico Capra (1982) incita a transformação da sociedade através de uma nova racionalidade, uma nova visão da realidade em que se compreenda o “estado de inter-relação”. Capra trouxe conceitos da física moderna como “a concepção do universo como uma rede interligada de relações” (CAPRA, 1982, p.82), assim como, também, da Teoria da Relatividade e a inseparabilidade entre espaço e tempo. E como formam-se a partir da interação da inter-relação destas dimensões, a mudança de qualquer variável modifica toda a percepção. Ou seja, tudo é um conjunto de sistemas que interagem entre si com a

constante possibilidade da imprevisibilidade, de uma variedade de acontecimentos (relativamente) simultâneos e conectados.

Tanto a complexidade como a Teoria Sistêmica e, logo, a Sustentabilidade têm uma dificuldade de representação por se tratarem de algo ainda inconcebível, fora da trivialidade, além do observado. No entanto perfeitamente cabível às capacidades do ser humano, o qual obtém uma característica singular de sua essência, a capacidade de transcender (CAPRA, 1982). É isto que difere o ser humano dos outros seres do planeta. Conseguir imaginar, refletir, ir além da experiência, explorar a inteligência, projetar, “visualizar” o invisível, conceber o intangível e atravessar a interescalaridade do tempo, do espaço, da espiritualidade e da concepção de existência.

Porém, não quer dizer que a complexidade e a Teoria dos Sistemas sejam um pensamento completo “pelo contrário, sabe de antemão que sempre há incerteza”. (MORIN, 1996, p.285).

O pensamento complexo não pertence tão somente à Física, nem à filosofia, mas permite a aproximação entre elas, servindo-lhes de ponte. Um dos princípios da complexidade segundo Morin é “estabelecer a relação entre ciências naturais e ciências humanas, sem reduzir umas às outras” (MORIN, 2003, p.31). Ou seja, nada mais concebível à Geografia.

A partir de todo este conceito e esta teoria de um novo paradigma, uma nova racionalidade, chegamos à oportunidade da mudança, a possibilidade da transformação, da chegada de um novo modelo. Perpassa sobre tudo num movimento da (re)criação de uma nova cultura, por uma sociedade de novos hábitos, atitudes e práticas que sejam capazes de gerar políticas diferentes, estudos e pesquisas interdisciplinares, preocupações e responsabilidades baseadas numa visão menos reducionista e individualista.

Diante das crises apresentadas nos capítulos anteriores e do entendimento da tendência a uma mudança de paradigma, onde se congregue uma visão ampla, holística e sistêmica, a transformação pode vir através da sustentabilidade. É o “saber cuidar” (BOFF, 1999) do que nos é precioso: solo, água, ar, minerais,

biodiversidade, etc. "Esse novo paradigma, portanto, configura-se na articulação de valores pós-materiais, como a prudência e a sobriedade ecológica, a ênfase na qualidade de vida e a preocupação com riscos ambientais" (BUTTEL, 2001).

Muitas vezes a sustentabilidade na sua concepção mais profunda nos parece utópica, mas:

A UTOPIA: Ela está no horizonte, acerco-me um passo e ela se afasta dois. Caminho dez passos e o horizonte corre dez passos mais. Por muito que eu caminhe nunca a alcançarei. Para que serve a utopia? Serve para isso. Para nos fazer caminhar... Eduardo Galeano (in CUNHA et al., 2009b).

Sustentabilidade: um equilíbrio dinâmico multidimensional

A Teoria Sistêmica e a Teoria da Complexidade formulam a base do conceito de sustentabilidade. As ações estão permeadas pelas interações. Reconhecer o entorno e compreender a reverberação dos atos e práticas no espaço, no outro e no tempo é o início de um raciocínio de sustentabilidade. Buscar a evolução mútua e o impacto positivo nos sistemas integrados é desenvolver sustentavelmente. Desenvolvimento Sustentável é desenvolver com o outro, com o todo. É estabelecer a comunicação entre as dimensões físicas, biológicas, espirituais, culturais, sociológicas e etc. Estabelecer em primeiro plano que a sustentabilidade deve ser precedida do entendimento da integração do homem com a sua cadeia de sistemas, intrínseco a sua existência. O homem é maior do que seu corpo, mesmo que o primeiro passo seja entendê-lo.

A concepção básica para entendimento da sustentabilidade e da sua intrínseca interdisciplinaridade é a constituição do equilíbrio fundamental entre os comportamentos humanos, econômicos e sociais, a configuração social do território e a evolução da natureza. A relação entre as regras do jogo político econômico, que podem ser renegociadas, e as regras do mundo biofísico que são inegociáveis tem de fazer parte da percepção de todos, e isto é a possibilidade de unificar as diferentes habilidades, capacidades e potencialidades (ROBÉRT et al., 1997). Cabe a todas as partes estabelecerem um novo ritmo de desenvolvimento em que prevaleça a qualidade de vida humana no presente e no futuro.

Uma concepção adequada de desenvolvimento deve ir muito além da acumulação de riqueza e do crescimento do Produto Nacional Bruto e de outras variáveis relacionadas à renda. Sem desconsiderar a importância do crescimento econômico, precisamos enxergar muito além dele (SEN, 2000)

O desenvolvimento sustentável é um conceito sistêmico e complexo da equação, em harmonia, entre a preservação do meio ambiente, o desenvolvimento econômico e a expansão das liberdades humanas (SEN, 2000) na tentativa de buscar o equilíbrio (instável, dinâmico e multidimensional) na relação entre meio e homem.

Robért, Daly, Hawken e Holmberg são alguns dos pensadores internacionais mais expressivos em relação à criação de um modelo de desenvolvimento sustentável. Baseados igualmente na Teoria dos Sistemas, da complexidade e da economia ecológica criaram alguns princípios para a sustentabilidade (ROBÉRT et al., 1997), como:

- A internalização dos custos ambientais.

Os efeitos das causas ambientais são sentidos muito depois e é uma reação em cadeia. Tem que haver mecanismos de mensuração de como o desenvolvimento está em relação a sua sustentabilidade ambiental (valendo mais do que os ganhos econômicos). Isto consiste na capacidade de suporte do planeta em agüentar nossas atividades, ou seja, a resiliência do sistema.

- A medição física e multidimensional.

Existe a necessidade de muitos indicadores diferentes para mensurar os impactos sócioambientais da sociedade. Falta um conhecimento da totalidade e da complexidade da sociedade nos indicadores, ainda baseados em causa e efeito.

- A pré-condição para a vida: A humanidade não pode mais tolerar esta degradação contínua do meio ambiente.

- A Ciência Básica: Matéria e energia não podem ser criadas ou destruídas. Tende a dispersão, entropia (2ª lei da termodinâmica).

- O princípio dos ciclos.



O gargalo para o desenvolvimento sustentável é o modelo complexo de todos os fluxos de matéria na sociedade, incluindo as fontes de recursos e os resíduos (ROBÉRT et al., 1997). No momento que cambarmos para um sistema em que se respeitem aquelas condições básicas em todas nossas atividades, chegaremos a um desenvolvimento mais sustentável.

Para Becker (1995) o conceito de desenvolvimento sustentável é, na verdade, um instrumento político. Segundo a autora, “Ele (desenvolvimento sustentável) representa um mecanismo de regulação que, à semelhança dos outros, tenta ordenar a desordem global” (BECKER, 1995, p.295). A sustentabilidade, neste sentido, seria como a expressão de uma nova racionalidade, calcada pela modificação da ordenação territorial, o planejamento e a gestão pública e política do espaço e os mecanismos de produção. Becker baseia-se em três princípios básicos para explicação da sustentabilidade como soma positiva à sinergia dos processos: eficácia (no uso de recursos), diferença (valorização máxima das potencialidades dos indivíduos) e descentralização (uma nova forma de planejamento e governo).

Entretanto a sustentabilidade é um conceito inacabado e ainda indefinido. Requer um embasamento e um consenso maior de sua definição. Até pela complexidade que o conceito carrega, dificulta-se muito o entendimento claro dos limites, da identidade, dos princípios, critérios e indicadores comuns a essa “nova ciência”. A multidimensionalidade, as multiescalaridades e a interdisciplinaridade inerentes ao termo permitem várias interpretações e diversos olhares, o que leva a compreender uma variedade de sustentabilidades, como proposto por RUA (2007). Nenhuma dimensão deve ser privilegiada em relação às demais, e isto também é complexidade.

#### CCGS e a Sustentabilidade

Ao tratarmos da tecnologia de Captura, e Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> pelo olhar da sustentabilidade não estamos falando apenas sobre a produção de petróleo, gás e outros produtos. Está se abrindo a possibilidade de tratar-se de

energia limpa que ajude a mover em direção ao novo paradigma. Nem tampouco estamos falando apenas sobre tecnologias avançadas ou aumento da produção, é também estar enxergando o meio ambiente de uma maneira mais ampla para toda sociedade no presente e no futuro. Isto seria também a possibilidade de prover benefícios sociais e econômicos para as partes que são diretamente ou indiretamente envolvidos.

Apesar de caminhar a um novo paradigma, as tecnologias de mitigação das mudanças climáticas correm o grande risco de continuarem com o padrão reducionista e o modelo da superespecialização. Até o presente a construção dos conceitos das tecnologias para tal adaptação e mitigação ainda não encararam os desafios da sustentabilidade integralmente. E ao mesmo tempo poucos planos para promover sustentabilidade incluíram com clareza adaptações a impactos causados pelas Mudanças Climáticas. O potencial mitigador da tecnologia quando agregando estas questões de sustentabilidade se torna muito maior.

Cunha et al.(2009b) desenvolveram Sete Cunhas para a Sustentabilidade nos projetos de CCGS: do desenvolvimento da própria tecnologia; da implantação do empreendimento do CCGS; da comunidade do entorno; de medidas mitigadoras adicionais; de medidas de adaptação; de educação e de comunicação e informação. Ou seja, estão abordadas diferentes dimensões na área de influência do CCGS. As sete cunhas representam os temas principais que tangenciam o conceito de sustentabilidade, como equilíbrio dinâmico e multidimensional, e criam caminhos para encontrar os pontos de interseção desse equilíbrio entre a sociedade, o meio ambiente e o desenvolvimento econômico. As sete cunhas são um conjunto de rotas, ações, preocupações e cuidados que juntos possibilitam a tecnologia do CCGS ter uma visão mais holística, mais ampla e mais sustentável. É uma análise sistêmica acerca de todas as dimensões que envolvem o CCGS. Se referem a pluralidade de soluções, indicando que nenhuma solução é única, e que todas são interdependentes se quisermos obter sucesso em atingir a sustentabilidade.

Sustentabilidade aplicada em todas as etapas do desenvolvimento tecnológico no CCGS.

Esta cunha acontece transversalmente a todo o processo, mas principalmente no início. É neste momento, em que a tecnologia ainda está na bancada de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D), quando é possível planejar os equipamentos mais seguros, selecionar o melhor local para o armazenamento, avaliar os possíveis impactos socioambientais das unidades, analisar o ciclo de vida<sup>†††</sup> dos equipamentos, pesquisar formas mais sustentáveis do processo de captura, gerar novos usos para o CO<sub>2</sub> capturado, entre outros. Tudo isto já envolve uma grande influência entre os sistemas integrados a este tipo de indústria, além de gerar conhecimento e *Know How* tecnológico para o país, empregos qualificados e incentivar a criação de toda uma indústria. De fato existe, além desta economia entorno do aspecto tecnológico de P&D e CCGS diretamente, uma outra indústria correlata, de Monitoramento, Medição e Verificação (MMV) que será transversal e constante a toda a tecnologia durante milhares de anos.

Uma grande possibilidade de se tornar mais sustentável é a incorporação da biomassa ao complexo do CCGS. Com a crescente demanda por combustíveis alternativos, os combustíveis de origem biológica como cana de açúcar e outras oleaginosas<sup>‡‡‡</sup> representam uma grande oportunidade de se atingir novos padrões de energia. Estes combustíveis renováveis associados aos CCGS, conhecido como BECS (da sigla em inglês *Biomass Energy with Carbon Sequestration* - Energia de Biomassa com Seqüestro de Carbono), são capazes de gerar “emissões negativas de CO<sub>2</sub>”. Isto advém da captura do CO<sub>2</sub> pela planta, através do processo de fotossíntese, somado a Captura e Armazenamento Geológico do CO<sub>2</sub> depois de seu consumo na preparação do biocombustível (MOLLERSTEN et alli, 2002) e no uso da biomassa em fontes estacionárias.

---

<sup>†††</sup> influenciando além do sistema do CCGS, i.e. refletindo desde o fornecimento de materiais menos impactantes até a destinação pós obsolescência, por exemplo

<sup>‡‡‡</sup> como por exemplo: milho, mamona, soja, girassol, dendê, cânula, babaçu, mandioca, mamona, beterraba, etc

Uma das oportunidades mais interessantes e atualizadas da tecnologia diz respeito aos novos usos que o CO<sub>2</sub> pode obter. Ao promover uma transformação no conceito de resíduo a recurso o CCGS pode se tornar mais dinâmico (FAIM, 2008) e eficiente através de uma nova utilização deste CO<sub>2</sub> capturado, antes ou depois do armazenamento. Desta forma gera-se um “novo” ciclo do carbono, sem um fim, sistêmico e contínuo. Assim, o CO<sub>2</sub> pode ser considerado como um produto, ou uma matéria prima, retornando-o a um ciclo de produção e garantindo rentabilidade econômica e menor impacto ambiental.

Esta cunha é a maior responsável pela inovação do CCGS. No entanto, o caminho da sustentabilidade na tecnologia não será eficiente sem que seja estrutural e transversal a todo ciclo de vida da tecnologia. Muitas vezes apenas o próprio especialista técnico pode encontrar respostas sustentáveis, justamente por ser o melhor conhecedor do seu trabalho e entender as possibilidades. A questão é se os especialistas (re)conhecem a sustentabilidade e o pensamento holístico. Isto se trataria de uma política de desenvolvimento da cultura de sustentabilidade.

Sustentabilidade no empreendimento e na implantação da tecnologia envolvida.

Esta cunha trata-se majoritariamente sobre o momento da instalação do projeto e das variáveis analisáveis desta etapa crucial para sustentabilidade do projeto (e da indústria também). A identidade da tecnologia e do empreendimento provoca inerentemente visões diversificadas contribuindo para futuros conflitos. Dentro da(s) sustentabilidade(s) que os projetos podem atingir, boa parte pode se concretizar na etapa de elaboração dos empreendimentos onde logo se encaram diferentes concepções em escalas multifacetadas e interdependentes (BECKER, 1988), as quais podem contribuir para as dificuldades conflituosas da configuração do território do CCGS.

Percebe-se, desta maneira, que existe um período anterior a implantação de fato da unidade de captura, o transporte e o sítio de armazenamento. Há um processo de arranjo político que vai além da tecnologia e entra em aspectos

socioambientais, como a aceitação pública e a comunidade internacional, respeito ao ecossistema, gestão do território, (re)conhecimento dos atores locais, entre outros.

No processo de implementação é de grande importância à sustentabilidade que as instalações sejam realizadas através de uma construção eficiente (com redução do uso de materiais, energia e etc), com maior parte possível de mão de obra local<sup>§§§</sup> (inclusive contribuindo para capacitação) e com consciência dos impactos socioambientais, econômicos, políticos, culturais, entre outros. A instalação das unidades industriais da tecnologia deve, além de acompanhar um estudo criterioso dos impactos socioambientais, conter um planejamento de melhoria constante em prol de uma eficiência de materiais, energia e trabalho.

Na planta de captura deve-se, entre outras questões, avaliar seu impacto na paisagem, bem como a eliminação dos efluentes e resíduos e a melhor relação com a comunidade do entorno (a ser tratado no item 6.3). Já a etapa de transporte inclui outros riscos em relação aos impactos socioambientais e a segurança. O transporte via dutos (o mais comum) perpassa diferentes localidades, convivendo com uma extensa diversidade de realidades tanto ambientais como sociais. Os dutos podem atravessar áreas de preservação, florestas, comunidades preservadas, grandes cidades, pequenas cidades, aquíferos, sítios arqueológicos, e muitas outras. Isto exige um conjunto de análises e escolhas de um melhor ordenamento deste atravessamento. E conseqüentemente de uma interação afinada com todas estas realidades diferentes.

Sustentabilidade na relação do empreendimento com a área de entorno.

A terceira cunha consiste em explorar o potencial de influência do empreendimento para orientar o desenvolvimento das áreas de entorno de

---

<sup>§§§</sup> É importante ressaltar que existe um grande risco em relação ao trabalho temporário como o da construção civil. De fato este tipo de contratação não gera segurança empregatícia, quando após a construção verifica-se um grande contingente de trabalho ocioso.

maneira mais sustentável. Nesta cunha, além de se estabelecer uma relação e interação de conhecimento mútuo com a comunidade através de ambientes de informação e comunicação transversais, democráticos e transparentes seria a oportunidade de ajudar a comunidade do entorno a se desenvolver sustentavelmente para que se estabeleça um desenvolvimento de qualidade conjunto com todas as esferas locais. O desenvolvimento sustentável nunca será uno ou prevalecendo uma parte, o desenvolvimento é uma inter-relação positiva a todas as partes, no qual os diferentes fatores deverão ser avaliados e pesados em busca da sinergia e equilíbrio para todos.

Isto pode ser realizado junto às lideranças locais, por exemplo, incentivando um empreendedorismo social (BORNSTEIN, 2006) e uma gestão pública para sustentabilidade. O empreendimento pode, por exemplo, fornecer auxílio para multiplicar esse espírito de empreendedorismo social, educação ambiental e consultoria para uma administração pública em prol do desenvolvimento sustentável. Por exemplo, um incentivo mais rígido pode ser a exigência de “padrões de sustentabilidade” a todos seus fornecedores locais, mediante a informação e educomunicação clara do que isso significaria.

Nesta cunha se aplicariam, potencialmente, muitas atividades conhecidas e aplicáveis em projetos de desenvolvimento sustentável. Podem-se citar alguns exemplos, como:

- Técnicas de manejo adequado de resíduos domésticos, agrícolas ou industriais.
- Tratamento de efluentes, como os biossistemas integrados<sup>\*\*\*\*</sup>.
- Eficiência energética e outros recursos naturais
- Reflorestamento e conservação dos ecossistemas
- Técnicas de policultura, agricultura orgânica, plantio direto, agroflorestas ou manejo dos recursos florestais.

---

<sup>\*\*\*\*</sup> Tratamentos biológico de esgoto humano e pecuário local

- Projetos de capacitação profissional com uma grande diversidade de funções independente do empreendimento, por mais que se priorize absorção destas pessoas qualificadas para as necessidades do empreendimento.
- Projetos de capacitação de agentes multiplicadores especializados em técnicas de construção sustentável. Importante para uma nova forma de se construir as estruturas necessárias para acompanhar este desenvolvimento econômico. A construção civil é um grande influenciador para uma mudança de cultura.

Sustentabilidade no aumento da capacidade mitigadora do projeto através de medidas mitigadoras adicionais

A quarta cunha para a sustentabilidade no CCGS é referente a ações que compensem estas, ou parte destas emissões novas associadas à recuperação avançada de hidrocarbonetos (EOR e ECBM), por exemplo, o que estaria trazendo a tona mais combustíveis fósseis que por sua vez emitirão mais GEE's para a atmosfera. Em contrapartida, as empresas operadoras poderiam investir externamente destinando ao fundo de desmatamento evitado da Amazônia ou na adaptação de países pobres mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas, por exemplo. Ações deste tipo não necessariamente estarão associadas aos locais aonde se instalam os empreendimentos.

Sustentabilidade com medidas de adaptação

“As mudanças severas no clima que vêm acontecendo ao redor do mundo causarão maiores desastres entre as populações pobres – é que diz o chefe do painel científico na Comissão para o Desenvolvimento Sustentável da ONU - Organização das Nações Unidas em Nova York (EUA), R.K. Pachauri”.  
(<http://noticias.ambientebrasil.com.br/noticia/?id=24581>)

Além disso, a capacidade de adaptação do homem vem se resumindo ao seu potencial tecnológico, financeiro e estrutural, e ao mesmo tempo as mudanças climáticas estão acelerando, dificultando o tempo de adaptabilidade. Diante da

desigualdade social no mundo, sem recursos, sem tecnologia e, então, sem capacidade de se estruturar para o futuro, países menos favorecidos tornam-se, cada vez mais, mais vulneráveis a qualquer distúrbio. É como disse o ex-arcebispo da Cidade do Cabo, Desmond Tutu, quando chamou de “Apartheid da Adaptação” (WATKINS et alli, 2008).

Além das áreas afetadas serem na maioria em países mais pobres, estes normalmente dependem mais das condições climáticas, visto que suas economias baseiam-se, em geral, na agropecuária e/ou turismo. Ademais os ricos supostamente teriam mais flexibilidade financeira de, por exemplo, construir diques, barragens, elevatórias, abrigos, sistemas de armazenamento de água e etc; reconstruir estruturas em eventuais catástrofes; mudar-se para locais menos afetados; entre outras. (WATKINS et alli, 2008).

Diante disso, essa cunha se concentra em providenciar apoio a medidas necessárias de adaptação aos impactos das Mudanças Climáticas para esses países vulneráveis a ela e desprovidos de estrutura financeira, tecnológica e social.

#### Sustentabilidade com atividades educacionais e culturais

Aqui se estabelece um outro sentido ao CCGS e não menos essencial. Um dos vetores de mitigação das mudanças climáticas, e talvez seja o mais efetivo, é a mudança de hábitos da sociedade, desde a transformação do indivíduo. É justo e importante para todos que a educação seja transversal na sociedade, visto que a eficiência é muito menor se a mudança for de uma minoria. “Hoje é imperativo: não modificar, mas conservar o mundo. Mas para conservar o mundo precisamos mudar de paradigmas e converter as mentes coletivas para outros objetos menos destruidores” (BOFF, 2004). Para Paulo Freire, se a educação não pode tudo, alguma coisa fundamental ela pode. E é por isso que esta cunha pretende ir além das portas do CCGS, para aperfeiçoar o enfrentamento aos desafios da mudança do clima atingindo uma gama maior de pessoas.



A educação, no sentido desta cunha, procura ampliar o aprendizado das mudanças climáticas e do CCGS como meio de direcionar o equilíbrio da sustentabilidade nas ações da tecnologia e do futuro. E é através do indivíduo que a transformação será propulsora.

Sustentabilidade em sua replicabilidade através da informação e comunicação

Desejando que a tecnologia se desenvolva desde o começo mergulhada nessa racionalidade é preciso que ela obtenha a capacidade de ser multiplicada e replicada pelo mundo. O compartilhamento dessa idéia com outros projetos do mundo pode trazer grandes benefícios a toda a tecnologia, o seu desenvolvimento e sua fixação. E para que essas idéias sejam replicadas em outros projetos é de suma importância a qualidade e a multiplicidade da informação e da comunicação sobre tais caminhos. Por outro lado também é importante uma quantidade maior e mais diversificada de projetos que assumam esses ideais contribuindo para a fixação destes no núcleo da tecnologia.

#### Considerações Finais

A sustentabilidade é algo que nos encanta ao mesmo tempo em que nos intriga. Primeiramente este termo corre, constantemente, o risco de ser incompleto tentando ser total e, também, de ser usado levianamente quando buscava-se gerar uma mudança de paradigma. Ocorrem, então, duas suposições decorrentes da abrangência que o conceito carrega. Uma é que, realmente, não é possível reduzir a quantidade das partes analisadas para se ter uma visão necessariamente sistêmica da sustentabilidade. A outra é que nunca conseguiremos ser sustentáveis. Após estas primeiras conclusões supõem-se um paradoxo frente ao conceito de sustentabilidade. Mas o paradoxo fez parte de toda a mudança de pensamento da humanidade e do ser humano. Queremos ser, mas não podemos ser, mesmo assim não paramos. Não se faz aqui motivo à

desesperança. Muito pelo contrário, uma das motivações deste artigo é que podemos reformular a (re)produção deste sistema falido. O sonho é que nos fazem caminhar, nos criam objetivos e metas, e isso é o mais importante. A sustentabilidade talvez seja um caminho. Um caminho em busca do re-equilíbrio *sine qua non* à vida no planeta.

O que se apresentou aqui sobre a sustentabilidade da Captura e Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub>, é somente um exemplo do que se pode questionar sobre outras tecnologias e atividades humanas. Apenas procurou-se olhar para o máximo de dimensões e interações que o objeto poderia atingir sobre o que é possível pensar hoje (mesmo que com preocupações com o futuro). O CCGS mesmo que carregando um caráter emergencial, se quiser ser sustentável e representar uma real solução à mitigação das mudanças climáticas, deve se ancorar em outras bases. Nesta perspectiva de sustentabilidade, por mais que o tema esteja se introduzindo na mídia e na governança corporativa das empresas será muito difícil que se execute esta proposição na sua totalidade. Por mais que já se discuta o assunto, como apresentado, claramente ainda não é prioridade na estratégia dos principais agentes envolvidos. Aliás, já seria um primeiro passo assegurar a execução em larga escala desta tecnologia, evidentemente necessária para se controlar as mudanças climáticas no curto prazo.

As mudanças climáticas, por sua vez, já estão acontecendo e talvez ainda não esteja num nível incontrolável. Entretanto o perigo iminente desta ameaça gerou um momento político e cultural de grande oportunidade para nos unirmos e criarmos uma transformação. As propostas de mitigação podem iniciar este processo, pensando no bem estar da humanidade através da redução da taxa de aceleração deste desequilíbrio no planeta. A solução só será possível com esta pluralidade de propostas, nunca será uma única solução sem um olhar sistêmico, sem o aprofundamento do entendimento das interações destas soluções.

As crises vividas pela sociedade hoje são frutos de uma construção do passado, no qual as pessoas não tinham a menor expectativa do que poderia causar. Hoje, com a informação que fomos adquirindo ao longo do tempo pelo vivido e investigado, percebe-se que todas estas crises vividas pela humanidade estão interligadas e fazem parte de um mesmo núcleo estrutural: o modo de agir, se relacionar, produzir, reproduzir e pensar. E é desta maneira que devem ser encaradas as “novas” soluções. A mudança deste paradigma é imprescindível para mudarmos o rumo que a humanidade está, buscando, sobretudo, a qualidade de vida. Logo, ou a humanidade não consegue enxergar o que já está acontecendo, ou está negligente, ou não sabe fazer. De todas estas suposições a única mais difícil de resolução seria a segunda. A primeira pode ser resolvida com uma coalizão global para educação, informação e comunicação em massa. A terceira com a mesma coalizão por investimentos em projetos, idéias e pesquisa em mudança de gestão pública e privada. A segunda é um choque ao comportamento humano, só o próprio indivíduo pode exercê-la.

#### Referências:

- BECKER, Bertha. Tecnologia e Gestão do Território. Rio de Janeiro: Ed. UFRJ, 1988.
- BECKER, Bertha. A geopolítica na virada do milênio: logística e desenvolvimento sustentável. In: CASTRO, Iná de et alli (orgs). Geografia: conceitos e temas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1995
- BORNSTEIN, David. Como mudar o mundo: empreendedores sociais e o poder das novas idéias. Tradução: Alexandre Raposo e Maria Beatriz de Medina. Rio de Janeiro: Ed. Record. 2006.
- BROWN, Lester. “Aumenta onda de refugiados ambientais”. In: Revista ECO21. Ano XX. No 159. Fevereiro de 2010. Rio de Janeiro, RJ.
- BUTTEL, F. Instituições sociais e mudanças ambientais. Revista Idéias, Campinas, UNICAMP/IFCH, v. 8, n. 2, p. 9-37, 2001.

BOFF, Leonardo. Ecologia: Grito da Terra, Grito dos pobres. Rio de Janeiro: Sextante. 2004.

BOFF, Leonardo. Saber Cuidar: ética do humano - compaixão pela Terra. Petrópolis: Vozes, 1999.

BORN, Rubens Harry. Mudanças climáticas e verdades inconvenientes. *In*: Le monde Diplomatique Brasil. Ano 2. Numero 24. Julho 2009. São Paulo.

CAPRA, Fritjof. O Ponto de Mutação: A Ciência, a Sociedade e a Cultura Emergente. 25. ed. São Paulo: Cultrix, 1982.

CAPRA, Fritjof. Entrevista disponível em: [http://www.vivaviver.com.br/boa\\_leitura/o\\_ponto\\_de\\_mutacao\\_fritjof\\_capra\\_e\\_a\\_teoriasistemica\\_da\\_vida/473/](http://www.vivaviver.com.br/boa_leitura/o_ponto_de_mutacao_fritjof_capra_e_a_teoriasistemica_da_vida/473/), acessado em 12/04/2010

CEPAC. Centreo de Excelência em Pesquisa em Armazenamento de Carbono. Em: [www.pucrs.br/cepac](http://www.pucrs.br/cepac) , acessado em 20/02/2010.

COMARÚ, Francisco, MORETTI, Ricardo e KLINK, Jeroen. O aquecimento e as cidades brasileiras. *In*: Le monde Diplomatique Brasil. Ano 1. Numero 9. Abril de 2008. São Paulo.

CUNHA, Paulo e LAMARCA, Cláudia. *In*: apresentação no "Curso sobre Mudanças Climáticas, CCS, Fixação de Carbono na Biomassa e Sustentabilidade". PUC-Rio. Rio de Janeiro. 31/10/2009a.

CUNHA, Paulo; CUNHA, Felipe; LAMPREIA, João; GONÇALVES, Jaílson; SOLIDADE, Marcos. The Brazilian Manifest "Seven Wedges" Sustainability Approach Proposal to tackle Climate Change through mitigation technologies and its potential application on CO2 Capture and Geological Storage (CCGS) . The Climate Change Mitigation Technologies as vectors for sustainability implementation. *In*: Conferência "How will disenfranchised people adapt to climate change?". York University. Toronto, Canadá. 2009b.

ECOCLIMA. Emissão de CO2 atinge pico, apesar da desaceleração econômica. Disponível em: <http://www.ecoclima.org.br/noticia.php?idnoticia=1256>. Acessado em: 20/03/2010.

FAIM, João Miguel. O Armazenamento do CO<sub>2</sub> e seu uso como uma Commodity. Apresentação no: Segundo Seminário Internacional de Seqüestro e Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub>. Salvador: 2008.

FONTES, Virginia. Capitalismo, exclusões e inclusão forçada. Revista Tempo. Departamento de história. UFF. Vol. 2, No 3, Junho. Relume-Dumará. Rio de Janeiro. 1997

HOBBSAWN, Eric. Era dos Extremos: o breve século XX: (1914-1991). Tradução Marcos Santarrita; revisão técnica Maria Célia Paoli. São Paulo. Ed. Companhia das Letras. 1995. 598p.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Summary for Policymakers - Working Group III Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM040507.pdf>. Acessado em: 28/07/2009

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Summary for Policymakers - Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/SPM13apr07.pdf>. 2007. Acessado em: 28/07/2009

MARTINS, José de Souza. O falso problema da exclusão e o problema social da inclusão marginal. In: Exclusão social e a nova desigualdade. São Paulo. Ed. Paulus. 1997

MATURANA, Humberto e VARELA, Francisco. De máquinas e seres vivos: autopoiese - a organização do vivo. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

MÖLLERSTEN, Kenneth; YAN, Jinyue; MOREIRA, José Roberto. "Potential market niches for biomass energy with CO<sub>2</sub> capture and storage – opportunities for energy supply with negative CO<sub>2</sub> emissions". Revista Biomass and energy, 25, 2003, 273-285. 2002

MORIN, Edgar. Epistemologia da complexidade. In: SCHNITMAN, Dora Fried (org.); trad. Jussara Haubert Rodrigues. novos paradigmas, cultura e subjetividade. Porto Alegre: Artes Médicas. 1996

MORIN, Edgar. Ciência com consciência. Trad. Maria D. Alexandre e Maria Alice Sampaio Dória. 7. ed. rev. mod. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

MORIN, Edgar. Método I - A Natureza da Natureza. Europa América: Portugal 1987. Porto Alegre: Sulina, 2003.

MORIN, Edgar. Da necessidade de um pensamento complexo. WDGXF mo de Juremir Machado da Silva. Disponível em: <http://edgarmorin.org.br/textos.php?p=6&tx=19>. Acessado em: 05/02/2010

PACALA, S. e SOKOLOW, R. Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. *In: Revista Science*. Vol. 305. 2004. Disponível em: [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org).

RUA, João. Desenvolvimento, espaço e sustentabilidade *in: RUA, J. (org.)*. Paisagem, espaço e sustentabilidades: Uma perspectiva multidimensional da geografia. Rio de Janeiro: Ed. Puc-Rio, 2007. 330p.

ROHDE, Geraldo Mário. MUDANÇAS DE PARADIGMA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO. *In: CAVALCANTI, Clóvis (Org.)*. DESENVOLVIMENTO E NATUREZA: Estudos para uma sociedade sustentável. INPSO/FUNDAJ, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. Outubro 1994. p. 262. Disponível em: <http://168.96.200.17/ar/libros/brasil/pesqui/cavalcanti.rtf>. acessado em: 20/03/2010.

ROBÉRT, Karl-Henrik; DALY, Herman; HAWKEN, Paul; and HOLMBERG, John. A compass for sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* (4):79-92. 1997.

SACHS, Ignacy. Da civilização do petróleo a uma nova civilização verdes. *In: Estudos Avançados*, vol.19, n.55. São Paulo. Dezembro de 2005.

SACHS, Ignacy. O caminho para outro paradigma. *In: Le monde Diplomatique Brasil*. Ano 2. Numero 24. Julho 2009. São Paulo.

SANTOS, Milton. Metamorfose do espaço habitado. São Paulo. Hucitec. 1994. *In: RUA, J. Desenvolvimento, espaço e sustentabilidade in: RUA, J (org.)*. Paisagem, espaço e sustentabilidades: Uma perspectiva multidimensional da geografia. Rio de Janeiro: Ed. Puc-Rio, 2007. 330p.

SANTOS, Milton. A natureza do espaço: técnica e tempo. Razão e emoção. São Paulo: Editora Hucitec, 1996.

SANT'ANNA NETO, João Lima. Por uma Geografia do Clima: antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. São Paulo. Ed Terra Livre. 2001

SEN, Amartya Kumar. Desenvolvimento como liberdade. Trad. Laura Teixeira Mota. São Paulo: Cia. das Letras, 2000

STERN, Nicholas. The economics of climate change: the Stern review. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 2006. *In*: Veiga, José Eli e Vale, Peterson. Aquecimento Global: um balanço das controvérsias. (Texto preparado para a sessão de 07/11/2007 do ciclo de 16 seminários do Departamento de Economia da FEA/USP "Brasil no Século XXI: Desafios do Futuro"). Publicado em 2008.

VEIGA, José Eli e VALE, Peterson. Aquecimento Global: um balanço das controvérsias. (Texto preparado para a sessão de 07/11/2007 do ciclo de 16 seminários do Departamento de Economia da FEA/USP "Brasil no Século XXI: Desafios do Futuro"). Publicado em 2008.

VIOLA, Eduardo. A evolução do Brasil no regime internacional de mudança climática e na governabilidade global. *In*: Cena Internacional Revista de Análise em Política Internacional, Ano 6, Número 1, Jun 2004. Disponível em: [http://www.mundorama.info/Mundorama/Cena\\_Internacional\\_files/Cena\\_2004\\_1.pdf#page=82](http://www.mundorama.info/Mundorama/Cena_Internacional_files/Cena_2004_1.pdf#page=82), acessado em 15/05/2010.

WATKINS, Kevin. et al. *In*: Relatório do Desenvolvimento Humano 2007/2008. Combater a mudança do clima: Solidariedade Humana em um mundo dividido. UNDP Publications. Disponível em: [http://www.pnud.org.br/arquivos/rdh/rdh20072008/hdr\\_20072008\\_pt\\_complete.pdf](http://www.pnud.org.br/arquivos/rdh/rdh20072008/hdr_20072008_pt_complete.pdf). Acessado em 01/11/2009. 2008.

Sites da internet:

[http://www.ufrj.br/detalha\\_noticia.php?codnoticia=7899](http://www.ufrj.br/detalha_noticia.php?codnoticia=7899). Acessado em: 10/02/2010

[www.pucrs.br/cepac/?p=sequestro\\_carbono](http://www.pucrs.br/cepac/?p=sequestro_carbono). Acessado em: 23/03/2010

<http://www.geos.ed.ac.uk/sccs/storage/storageSites.html>. Acessado em: 10/03/2009

<http://sequestration.mit.edu/tools/projects/index.html>. Acessado em: 10/03/2009

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistema>. Acessado em: 22/05/2010.

<http://noticias.ambientebrasil.com.br/noticia/?id=24581>. Acessado em: 12/11/2009