



PRODUÇÃO E SEQUESTRO DE CARBONO NA ATMOSFERA

Roberto Rivelino do Nascimento Barbosa¹, Aurilena de Aviz Silva², Myriam Galvão¹
Neves, Alexandre Roger de Araújo Galvão¹, Cândido Ferreira de Oliveira Neto³

¹ Estudante de graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia,
UFRA Campus de Capitão Poço, PA, Brasil
(robertoufra28@yahoo.com.br)

² Pós- Graduada em Produção Vegetal, Fruticultura, Universidade Estadual do
Norte Fluminense, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

³ Professor Adjunto da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de
Capitão Poço, PA, Brasil

Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013

RESUMO

Atualmente uma das grandes preocupações em se tratando de meio ambientes, são os problemas com os gases acumulados na atmosfera, ocasionando o efeito estufa, o problema do aquecimento global vem se tornando o grande assunto em todos os jornais, televisões e internet, varias organizações estão se manifestando em prol do planeta Terra, reivindicando as autoridades governamentais para a preservação do meio ambiente, pois ultimamente nos últimos anos vem ocorrendo diversas catástrofes naturais, tsunamis, degelo nos pólos, Andes e Himalaia, enchentes em diversas partes do globo terrestre, parte do continente europeu sofrendo com as ondas de calores e até o desaparecimento de algumas ilhas na Índia. O aquecimento global vem repercutindo em todo o cenário global. Algumas ações contribuem para a redução CO₂ na atmosfera, a conservação de estoques de carbono nos solos, florestas e outros tipos de vegetação, a preservação de florestas nativas, a implantação de florestas e sistemas agroflorestais e também a recuperação de áreas degradadas. Os quatro principais compartimentos de carbono na Terra são: oceanos, atmosfera, formações geológicas contendo carbono fóssil e mineral e ecossistemas terrestres (biota + solo). A importância do carbono e de seus compostos é indiscutível, este é onipresente na natureza e seus compostos constituem a matéria viva. O sequestro de carbono é um mecanismo muito importante para a diminuição das concentrações de gases do efeito estufa e sendo estocadas nos oceanos, florestas solos, melhorando tanto a ciclagem do carbono, que irá fornecer para os solos matéria orgânica, para a produção agrícola, como também fertilizando os solos, e evitando impactos ambientais como erosão e degradação do solo, o sequestro de carbono é tão importante que com a remoção do CO₂ atmosférico somado com o processo de fotossíntese contribui para a manutenção dos seres vivos, pois a fotossíntese libera oxigênio para a atmosfera.

PALAVRAS – CHAVE: dióxido de carbono, fotossíntese, impactos ambientais.

PRODUCTION AND KIDNAPPING OF CARBON IN THE ATMOSPHERE

ABSTRACT

Currently a major concern when dealing with environments is the greenhouse effect, the problem of global warming is becoming a big issue in all newspapers, television and the internet, several organizations are rising up towards the Earth, claiming authorities government for the preservation of the environment, because lately the past few years there has been several natural disasters, tsunamis, melting at the poles, the Andes and Himalayas, floods in various parts of the globe, part of the European continent suffering from waves and heats up the disappearance of some islands in India. Global warming is reverberating throughout the global scenario. Some actions contribute to reducing CO₂ in the atmosphere, the conservation of carbon stocks in soils, forests and other vegetation, the preservation of native forests, the establishment of forests and agroforestry systems and also the recovery of degraded areas. The four major carbon pools on Earth are: oceans, atmosphere, geological formations and mineral containing fossil carbon and terrestrial ecosystems (biota, soil). The importance of carbon and its compounds is indisputable, it is ubiquitous in nature and compounds constitute living matter. Carbon sequestration is a very important mechanism for reducing concentrations of greenhouse gases and being stored in the oceans, forests, soils, improving both carbon cycling, which will provide for soil organic matter for agricultural production, as also fertilizing the soil, and avoiding environmental impacts such as erosion and soil degradation, carbon sequestration is so important that with the removal of atmospheric CO₂ added to the process of photosynthesis contributes to the maintenance of living beings because photosynthesis releases oxygen to atmosphere.

KEYWORDS: carbon dioxide, environmental impacts, photosynthesis.

INTRODUÇÃO

Atualmente uma das grandes preocupações em se tratando de meio ambientes é o efeito estufa, o problema do aquecimento global vem se tornando o grande assunto em todos os jornais, televisões e internet, varias organizações estão se levantando em prol do planeta Terra, reivindicando as autoridades governamentais para a preservação do meio ambiente, pois ultimamente nos últimos anos vem ocorrendo diversas catástrofes naturais, tsunamis, degelo nos pólos, Andes e Himalaia, enchentes em diversas partes do globo terrestre, parte do continente europeu sofrendo com as ondas de calores e até o desaparecimento de algumas ilhas na Índia. O aquecimento global vem repercutindo em todo o cenário global. O aquecimento global é ocasionado pela elevação da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera, essa grande elevação dos gases do efeito estufa em gerada em sua maioria pelo homem, através de indústrias, poluição ambiental e atividades econômicas, sendo que o dióxido de carbono (CO₂), o metano e o óxido nitroso são as gases mais importantes. Dentre os gases citados atualmente o dióxido de carbono é o principal gás que apresenta maior contribuição para o aquecimento global. Segundo o SEED (2006), o CO₂ aumentou consideravelmente sua concentração na atmosfera, o que antes girava em torno de 280 partes por milhão (ppm), passou para 380 partes por milhão (ppm), isso após a revolução industrial (segunda metade do século XVIII). O aquecimento global

acontece quando há altos níveis de concentrações de CO₂ na atmosfera, esse CO₂ deve ser sempre removido da atmosfera fazendo parte do ciclo do carbono, caso não houvesse essa retirada desse gás da atmosfera o planeta Terra se tornaria muito quente não havendo possibilidades de haver vida na Terra. Para isso existem mecanismos com que haja a retirada do CO₂ da atmosfera, esse mecanismo é chamado de sequestro de carbono. O sequestro de carbono é a remoção do CO₂ atmosférico para serem armazenados no solo (subsolo), os grandes responsáveis pelo sequestro de carbono são os oceanos, florestas e solos que atreves de organismos fotossintetizantes removem o CO₂ atmosférico para sua sobrevivência.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Visão geral do sequestro de carbono

O conceito de sequestro de carbono foi formulado pela conferência de Kyoto em 1997, reunião ao qual participaram autoridades de mais de 160 países, criaram um tratado internacional que determina metas de redução de emissões de gases do efeito estufa e estimula o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, converter e reverter o acúmulo de CO₂ atmosférico, visando à diminuição do efeito estufa. Segundo RENNEN (2004), uma alternativa viável para atenuar o aumento do de gases do efeito estufa, consiste na fixação do carbono atmosférico a partir do reflorestamento de grande escala, pois a floresta é um dos maiores sequestradores de carbono no mundo, por isso, o desmatamento estimula o aumento do efeito estufa, diminuindo a população arbórea há maior concentração de CO₂ na atmosfera aquecendo o planeta. Os quatros principais compartimentos de carbono do mundo são os oceanos, atmosfera, formações geológica contendo carbono fóssil e mineral e ecossistemas terrestres (florestas, solos) (BARRETO, 2009). São grandes responsáveis pelo ciclo do carbono no planeta, sequestra carbono na sua maioria através de seres fotossintetizantes, autótrofos como plantas, plânctons, algas marinhas e bactérias, utilizam a energia solar e o CO₂ para sintetizarem alimentos para a sua sobrevivência, a seguir na FIGURA 01 os detalhes do sequestro do carbono.

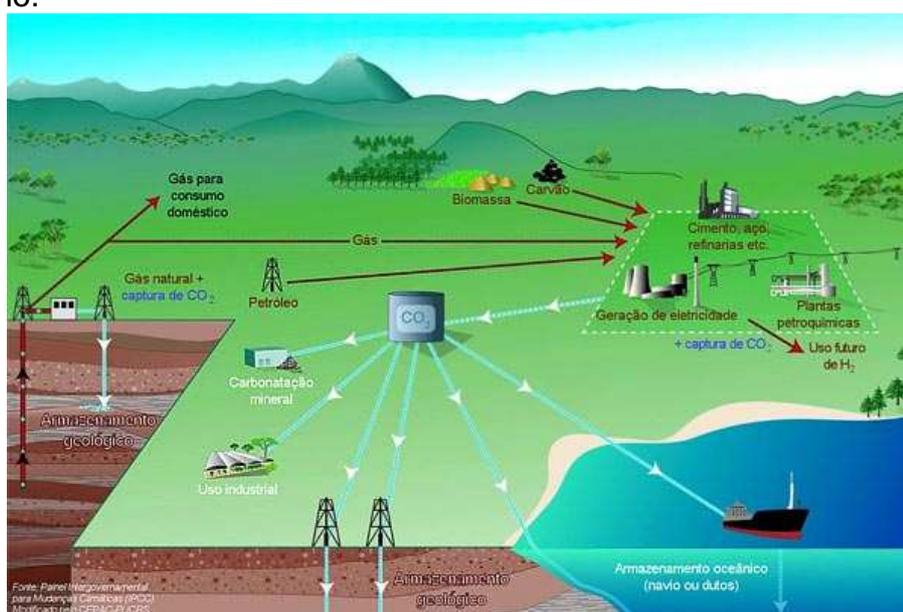


FIGURA 01: Esquema de armazenamento e sequestro do carbono.
Fonte: (CEPAC, 2010).

Algumas ações contribuem para a redução CO_2 na atmosfera, a conservação de estoques de carbono nos solos, florestas e outros tipos de vegetação, a preservação de florestas nativas, a implantação de florestas e sistemas agroflorestais e também a recuperação de áreas degradadas. RENNER (2004) definiu o termo sequestro de carbono como sendo a capacidade fotossintética que os vegetais possuem de fixar o CO_2 atmosférico, sintetizando o carbono através da luz na forma de carboidratos sendo por fim depositado na parede celular.

Existem dois tipos de sequestro de carbono o direto e indireto, o sequestro de carbono direto é também conhecido como sequestro de carbono artificial ou geológico do carbono, resulta de separação e captura do CO_2 gerados em processos industriais e em processos relacionados à geração ou consumo de energia, seguido de transporte para um local de estocagem segura, de modo que ocorra o isolamento do gás em relação à atmosfera por um longo período de tempo. No sequestro de carbono indireto, o CO_2 atmosférico é removido por processo natural, em que o CO_2 é absorvido pela fotossíntese e incorporado à biomassa do vegetal durante seu crescimento (IPCC, 2005).

O Ciclo do carbono

Os quatro principais compartimentos de carbono na Terra são: oceanos, atmosfera, formações geológicas contendo carbono fóssil e mineral e ecossistemas terrestres (biota + solo). A importância do carbono e de seus compostos é indiscutível, este é onipresente na natureza e seus compostos constituem a matéria viva. Existe uma grande variedade de compostos de carbono envolvidos no seu ciclo global, sendo os principais: CO_2 , CH_4 , Hidrocarbonetos, CO . O ciclo do carbono na natureza pode ser observado conforme a FIGURA 02.

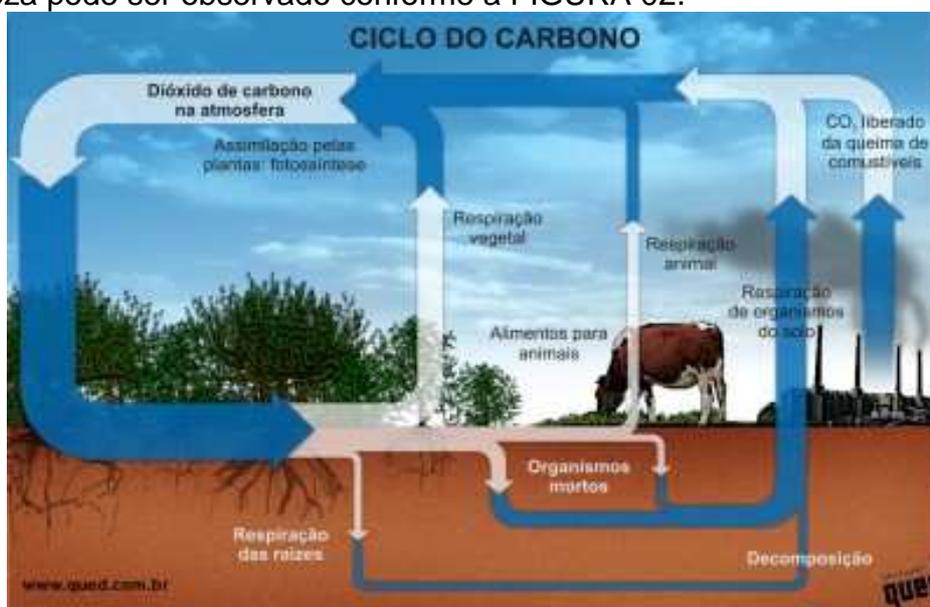


FIGURA 02: O ciclo do carbono de maneira ilustrativa.
Fonte: (MARCOS FESTA, 2007)

Estima-se que o estoque total de carbono na terra exceda os 26,1015 Mg, sendo que a maior parte está em compostos inorgânicos e somente cerca de 0,05% na forma orgânica. Os compostos orgânicos são encontrados na biomassa marinha

e terrestre, detritos orgânicos e no solo terrestre, assim como nos sedimentos e detritos orgânicos dos oceanos (LARCHER, 2000). A biomassa contém cerca de 650 Gt de carbono (Gt → Gigatonelada = 10⁹ Mg), valor próximo aos da atmosfera 755 Gt, que por sua vez é duas vezes menor que a quantidade de carbono presente no solo, aproximadamente 1.720 Gt. Os oceanos apresentam as maiores reservas de carbono, com 38.500 Gt (LARCHER, 2000).

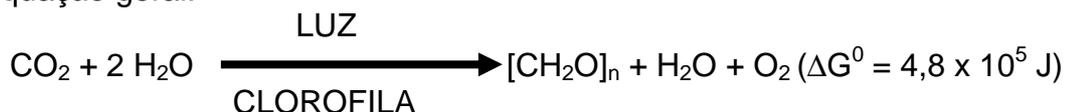
Uma análise das quantidades produzidas e absorvidas no início dos anos 90 indica que as emissões antropogênicas de CO₂ aumentaram para 6,0 Gt, porém isso foi superado pela retirada acelerada pela biosfera. Existem algumas evidências de que o súbito aquecimento global em razão do fenômeno El Niño, resultou em um aumento da absorção de dióxido de carbono pela vegetação e pelo solo, até cerca de dois anos depois de suas ocorrências. Contudo, em meados dos anos 90 o incremento atmosférico anual de dióxido de carbono já voltou ao valor médio observado até a metade dos anos 80, provavelmente pela diminuição da absorção de CO₂ pela biosfera (BAIRD, 2002).

Fotossíntese

O sequestro de carbono em um determinado ambiente é quantificado pela estimativa da biomassa vegetal acima e abaixo do solo, pelo cálculo do carbono estocado nos produtos madeireiros e pela quantidade de CO₂ absorvido no processo de fotossíntese (ANDRADE e IBRAHIM, 2003). Estima-se que aproximadamente 40% da massa seca de uma planta é formada por carbono fixado na fotossíntese (DIAS - FILHO, 2006).

O grande responsável pela manutenção e sequestro do carbono é a fotossíntese, o CO₂ é retirado da atmosfera por este fenômeno, a fotossíntese é a reação química mais importante do planeta, sendo o único processo capaz de absorver a energia luminosa proveniente do sol, todos os processos vitais dependem da fotossíntese para a formação de alimentos na forma de carboidratos e também para a formação do oxigênio. Desde tempos remotos o aparecimento de organismos capazes de realizar a fotossíntese foi de grande importância na manutenção da vida na Terra, se não fosse por esses seres fotossintetizantes a atmosfera do planeta além de obter altas concentrações de CO₂ aquecendo o planeta também na atmosfera seria em oxigênio que de fundamental importância para a respiração de plantas e animais.

A fotossíntese é a síntese de compostos orgânicos (CH₂O)_n, ou seja, açúcares, a partir de compostos inorgânicos simples (CO₂, H₂O), na presença de luz, sendo que a fotossíntese é a fonte de energia de todos os seres vivos, onde a fonte primária é a energia solar (FIGURA 02), responsável por toda a manutenção da vida no planeta através da síntese de oxigênio. A fotossíntese é constituída por uma equação geral:



A fotossíntese ocorre nos seres autótrofos, ocorrem nas plantas, algas marinhas, plânctons e em bactérias fotossintetizantes. Nas plantas a fotossíntese ocorre em compartimentos da célula em organelas chamadas de cloroplastos, nos cloroplastos encontram-se pigmentos fotossintetizantes, onde que através da absorção da luz solar esses pigmentos são estimulados a excitação, que ocasionara no transporte de elétrons havendo varias reações de oxirredução, através de CO₂ e

H₂O ate serem sintetizados em açucares, esses pigmentos fotossintetizantes são chamados de clorofila, carotenoides e xantofilas.

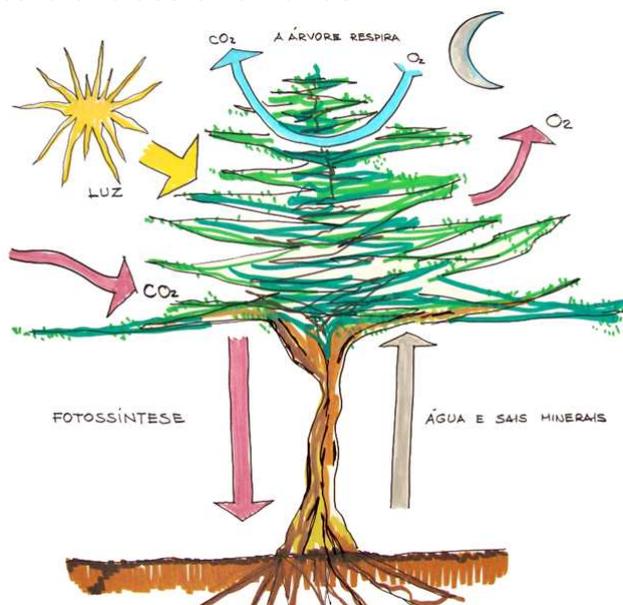


FIGURA 03: processo fotossintético absorção do CO₂.
Fonte: (INSTITUTO MADEIRA, 2011).

Em termos quantitativos as plantas terrestres e os fitoplânctons são os principais organismos responsáveis pela fotossíntese, os átomos de carbono na forma de CO₂, são removidos da atmosfera e incorporados nos tecidos dos organismos que realizam o processo, assim, a fotossíntese é a porta de entrada do carbono atmosférico nos ecossistemas terrestres, ou nos ecossistemas aquáticos, como oceanos e lagos (DIAS - FILHO, 2006). O processo de fotossíntese consiste na conservação do CO₂ e da água em açucares, para o crescimento e desenvolvimento das plantas, utilizando a luz solar como fonte de energia, durante esse processo a molécula de água é dividida em átomos de hidrogênio e oxigênio, o oxigênio é liberado ao ambiente, já o hidrogênio converte o carbono inorgânico contido no CO₂ em material orgânico.

Gases do efeito estufa (GEE)

Os gases com efeito de estufa caracterizam-se por deixarem passar com facilidade a radiação solar, de curtos comprimentos de onda, e absorverem intensamente a radiação emitida pela Terra, de maiores comprimentos de onda, o que resulta no aquecimento da atmosfera. As maiores partes dos GEE que contribuem para este fenômeno encontram-se presentes na atmosfera em resultado de processos naturais: vapor de água, dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. As atividades antropogênicas emitem, para além destes, outros GEE, dos quais se destacam o dióxido de carbono, o metano, o óxido nitroso, os clorofluorcarbonetos (CFCs) e o ozono. As emissões destes gases, com exceção dos CFCs, e de outros gases reativos como o dióxido de enxofre, os óxidos de azoto, o monóxido de carbono e hidrocarbonetos - que levam à formação de poluentes secundários, incluindo partículas de aerossóis e ozono troposférico - têm aumentado substancialmente devido a atividades humanas. Como resultado, os ciclos biogeoquímicos têm sido significativamente perturbados (IPCC, 2007).

O dióxido de carbono corresponde ao gás com efeito de estufa que apresenta menor GWP, pondo em evidência o fato de serem as elevadas concentrações atmosféricas deste gás que lhe conferem o estatuto de principal GEE. Apesar do CO₂ poder ter origem em atividades naturais, o aumento dos níveis de dióxido de carbono atualmente verificado na atmosfera tem origem, fundamentalmente em ações humanas. Ao longo dos últimos 250 anos, o raio da mistura atmosférica de CO₂ aumentou globalmente cerca de 100 ppm (36%) e em 10 anos, de 1995-2005, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou perto de 19 ppm, sendo esta a maior taxa de crescimento médio registrada, com um valor de cerca de 1,4 ppm.ano⁻¹, para o período de 1960 a 2005. O aumento do CO₂ atmosférico global desde a revolução industrial deve-se principalmente às emissões de CO₂ provenientes da combustão de combustíveis fósseis e produção de cimento. Outras fontes incluem emissões devidas a alterações do uso dos solos, como o desmatamento e a queima de biomassa. Parte do CO₂ presente na atmosfera é absorvida por componentes da biosfera e da superfície oceânica, integrando o ciclo de carbono, sendo os solos e os oceanos os principais reservatórios deste GEE (IPCC, 2007).

Sequestro de carbono nos oceanos

Os fitoplânctons compõem-se de organismos microscópicos unicelulares que povoam as camadas superficiais (aproximadamente 80 metros) de todos os corpos de água, seja doce ou salgada. Utilizando a luz solar como fonte de energia, esses microrganismos transformam substâncias inorgânicas (CO₂, H₂O e nutrientes). Trata-se de um dos mais importantes processos em curso no planeta, uma vez que, constituem o primeiro elo do complexo sistema alimentar aquática. Todos os animais dos meios aquáticos devem sua subsistência, direta ou indiretamente, a multiplicação celular desses microrganismos. Estima-se também, que o rendimento das microalgas aporte à metade da produção primária do planeta. Sendo que quando os fitoplânctons são consumidos por bactérias, os nutrientes e o CO₂ são liberados para a água, podendo ser outra vez absorvido pelo fitoplâncton ou ser liberado para a atmosfera, portanto quando o fitoplâncton morre parte do carbono orgânico e principalmente o carbono inorgânico são depositados no fundo do oceano formando depósitos sedimentares e posteriormente petróleo e carvão.

O sequestro de carbono através da fotossíntese dos fitoplânctons é chamado de processo biológico de sequestro de carbono também conhecido como bomba biológica, existindo também outro processo chamado de processo físico de sequestro de carbono.

O processo físico está ligada a circulação termoalina que é a formação de águas profundas no oceano, e em água fria o CO₂ atmosférico dissolve-se mais facilmente do que em águas quentes, exemplo, as águas superficiais dos trópicos transportadas para as regiões polares, ao perderem calor aumentam sua densidade e iniciam um movimento descendente, sendo que essas águas são ricas em CO₂, e este foi armazenado nas profundezas oceânica por cerca de 1.000 anos e só retornando para a atmosfera quando a circulação do oceano provoca o afloramento de águas profundas à superfície do oceano. Podemos notar o derretimento das geleiras nas regiões polares, levando a redução da salinidade, portanto, aumento as camadas entre as águas superficiais e profundas, resultará na redução do movimento do CO₂ para as profundezas do oceano.

Sequestro de carbono nas florestas

Se a concentração de CO₂ continuar influenciando no aumento da temperatura do planeta acarretará em um aumento no nível das águas dos mares e alteração na variabilidade de ciclos hidrológicos, ameaçando a vida no planeta. O sequestro de carbono florestal é uma alternativa para mitigar o problema do processo de elevação da temperatura do planeta, em virtude do aumento dos gases do efeito estufa (RENNER, 2004). O movimento do carbono em uma floresta é determinada pela assimilação de CO₂ através da fotossíntese, pela liberação de carbono através da respiração das plantas, também pela transferência de carbono no solo na forma de palha de folhas, madeira e raízes e pela eventual liberação de carbono do solo de volta a atmosfera através da decomposição e respiração da atividade microbiana no solo (OHSE, 2007). Dentre os ecossistemas terrestres as florestas são os maiores reservatórios de carbono, contendo cerca de 80% de todo o carbono estocado na vegetação terrestre e cerca de 40% do carbono presente nos solos.

Grandes quantidades de carbono podem ser emitidas para a atmosfera durante a transição de um tipo de floresta para o outro se a mortalidade liberar carbono mais rapidamente do que a regeneração (FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2002). As florestas desempenham por meio da assimilação, estocagem e emissão, um importante papel no ciclo do carbono. O estabelecimento e manejo de florestas boreais temperadas, tropicais e de sistemas agroflorestais poderiam aumentar o sequestro e a estocagem de carbono da biosfera (DIXON, WINJUN e SROEDER, 1993). O CO₂ pode ser removido da atmosfera por meio do crescimento de plantas com particularidades para esse fim, quanto mais rápido o crescimento, mais rápido e a absorção de CO₂ (BAIRD, 2002).

A determinação da quantidade de carbono a ser sequestrada depende da variável da biomassa, vários estudos do conteúdo de carbono em florestas vêm sendo desenvolvidas recentemente e a maioria sobre amostragem destrutiva, a quantificação das frações das raízes, tronco e folha se reveste de grande importância e metodologias de amostragem e modelagem para sua inferência tornando-se prioritárias para embasar a tomada de decisões (MAESTRI, 2003).

Sequestro de carbono nos solos

O aumento da concentração de CO₂ na atmosfera terrestre foi o resultado da combustão de combustíveis fósseis e produção de cimento (67%) e as mudanças do uso do solo (33%). A mudança no uso do solo e a degradação dos solos são processos primordiais para a liberação de CO₂ para a atmosfera, novas estratégias políticas internacionais estão sendo desenvolvidas para a implementação de práticas de gestão da agricultura e florestas que aumentam o sequestro do carbono tanto na biomassa como no solo (EFIGÊNIO, 2007). O ciclo do carbono é afetado pelos efeitos da degradação do solo e da desertificação, as alterações no uso do território encontram em primeiro lugar na perda da cobertura vegetativa e a posterior perda de carbono nos solos e a qualidade dos solos.

Os processos da produtividade das plantas, degradação do solo e o sequestro de carbono são profundamente ligados, uma redução na qualidade do solo resulta na diminuição do carbono orgânico dos solos e um aumento na emissão de CO₂ para a atmosfera. A queda da qualidade do solo e da textura leva a uma perda na capacidade de retenção de água, e por consequência na produtividade das

plantas (FAO, 2004). A importância das atividades e práticas de manejo do solo melhora o sequestro de carbono tanto na biomassa como nos solos, tendo um impacto positivo no aspecto ambiental, agrícola e da biodiversidade dos ecossistemas, como consequências do armazenamento de carbono no solo poderá melhorar a fertilidade, produtividade da terra para a produção de alimentos, prevenção da degradação e desertificação do solo.

Preservação das florestas para contribuição do sequestro de carbono

O sequestro de carbono florestal é uma alternativa viável para amenizar o agravamento do processo de elevação da temperatura global, pelo aumento de GEE. “Os vegetais, utilizando sua capacidade fotossintética, fixam o CO₂ atmosférico, biossintetizando na forma de carboidratos, sendo por fim depositados na parede celular” (RENNER, 2008).

Segundo BAIRD (2002), o dióxido de carbono pode ser removido da atmosfera por meio do crescimento de plantas selecionadas especialmente para essa finalidade. Quanto mais rápido o crescimento, mais rápida é a absorção de CO₂; devido ao vigoroso crescimento das árvores nos trópicos, um hectare desta floresta sequestra muito mais carbono do que um hectare de floresta temperada (RENNER, 2008).

As plantas verdes absorvem CO₂ durante a fotossíntese, processo pelo qual as florestas estocam dois terços do carbono terrestre – aproximadamente um trilhão de toneladas. Em todo o reino vegetal, as florestas proporcionam o mais longo do ciclo de estocagem de carbono, em forma de madeira e acumulação no solo, por centenas de anos antes de retornar à atmosfera através da respiração, decomposição, erosão ou queima. O estoque que está absorvendo carbono é chamado de “poço” (sink), e o estoque que está liberando carbono é chamado de “fonte” (source). Portanto, áreas florestais são consideradas poços de carbono (carbon sinks) (TOTTEN, 2000).

O sequestro de carbono somente ocorre enquanto as árvores e a floresta estão crescendo, tornando assim importante e atrativo a recuperação dos ecossistemas naturais em áreas degradadas, por meio da regeneração, adensamentos, aumentando consideravelmente a biomassa, conseqüentemente o estoque de carbono fixado. A implantação ou recuperação das mesmas possibilita oportunidade de negócios voltados ao desenvolvimento de projetos de conservação, preservação ou mesmo com a recuperação de áreas degradadas, tornando muitas vezes possível a aplicação do conceito de desenvolvimento sustentado (WATZLAWICK, et al., 2002b, p.169).

Considera-se que uma árvore de espécie nativa fixa (sequestra) em média 0,3 Mg de CO₂ até atingir o clímax, que é um período de tempo que varia de 20 a 40 anos (PARANÁ, 2007). Assim, a quantidade de carbono fixado nessa área corresponderia a aproximadamente a 402.421 árvores que passariam a compor a biomassa florestal aérea e estariam protegidas do desmatamento, uma vez que se encontrariam situadas em área protegida pela legislação ambiental. Esses resultados reforçam a estratégia de recuperação de fragmentos de ecossistemas florestais degradados da Floresta Ombrófila Densa que estejam situados dentro de delimitações do que a legislação ambiental brasileira define como Área de Preservação Permanente. Estratégia essa que pode ter como um dos objetivos principais a definição de justificativas consistentes para a elaboração de projetos de sequestro de carbono, como observam WATZLAWICK et al., (2002a, p.215).

De acordo com GARDNER & MANKIN (1981), os ecossistemas florestais contêm cerca de 90% da biomassa terrestre e cobrem aproximadamente 40% de sua superfície. As florestas apresentam uma elevada taxa de fixação de carbono, quando comparado com outras tipologias vegetais. Segundo BAIRD (2002), a queima de combustíveis fósseis e a produção de cimento liberaram 5,5 Giga toneladas de carbono por ano, das quais 3,3 Gt não encontraram um sumidouro. As camadas superficiais dos oceanos absorveram cerca de 92 Gt, mas liberaram 90 Gt, tendo uma absorção de 2,0 Gt, e destas apenas 1,6 Gt é removida das camadas superficiais para as camadas intermediárias e profundas, e apenas 0,2 Gt depositam-se nos sedimentos mais profundos. Embora o desflorestamento tropical tenha contribuído anualmente com 1,6 Gt de carbono no ar, este valor foi ligeiramente superado pela retirada de cerca de 1,8 Gt ocorrida nas zonas de floresta temperada.

As florestas são importantes para o equilíbrio do estoque de carbono global, pois armazenam em suas árvores e no solo mais carbono do que o existente atualmente na atmosfera. Se as florestas forem cortadas, a maior parte do carbono guardado nas árvores será liberada para a atmosfera rapidamente por meio de queimadas ou, mais lentamente, via decomposição (HOUGHTON, 1994).

Influência das queimadas

Dois terços da emissão total dos gases causadores do efeito estufa são provenientes da queima de combustíveis fósseis e das atividades industriais, sendo o restante atribuído às atividades agrícolas e à mudança no uso da terra. Enquanto nos países desenvolvidos as emissões de gases de efeito estufa se concentram basicamente no setor industrial e no consumo de combustíveis fósseis, no Brasil a emissão a partir das queimadas, desmatamento e expansão agrícola é muito maior do que a industrial e da queima de combustíveis fósseis e o país tem sido considerado como um dos maiores emissores do mundo.

Atualmente, as queimadas não são apontadas como a maior responsável pela emissão de GEE no Brasil. Segundo o levantamento realizado por LIMA et al., (1999) do total de emissões de gases gerados pela queima de resíduos agrícolas, no ano de 1994, a queima de cana-de-açúcar foi responsável por cerca de 97,5% dessa emissão.

O desenvolvimento de novas tecnologias está diretamente ligado às necessidades do Protocolo de Kyoto. Intensos estudos, em diversos países, buscam desenvolver fontes de energia renovável a custos viáveis, como a biomassa, o biodiesel, o reuso de água, novas técnicas de uso do solo e o desenvolvimento genético de plantas para reflorestamento. Com relação ao reflorestamento, os principais negócios de carbono envolvem a substituição do carvão mineral e vegetal de madeira nativa por carvão de florestas plantadas especificamente para este fim. Há um duplo benefício ambiental nesse processo: além de evitar a emissão de CO₂ com partículas de mercúrio (o caso do carvão mineral), há, num primeiro momento, a apreensão de CO₂ atmosférico nas plantas que, mais tarde, servirão de combustível.

A indústria siderúrgica mundial tem adotado este modelo, pois, para cada tonelada de ferro produzida com carvão de reflorestamento, há um ganho ambiental de no mínimo 3 toneladas de CO₂ em comparação ao uso de combustíveis fósseis ou não renováveis (GRÜTTER et al., 2002).

No Projeto Plantar 2004, para cada tonelada de madeira de reflorestamento queimada é lançada uma tonelada de CO₂, mas são absorvidas, ao longo do

crescimento das plantas, 3 toneladas desse GEE. É gerado, portanto, um crédito de 2 toneladas de carbono para cada tonelada de madeira derrubada (PROJETO PLANTAR 2004, 2006). Ao preço médio praticado durante o ano de 2005 na Bolsa de Mercadorias & Futuros, de US\$ 5,00/ton CO₂, o Projeto Plantar deverá gerar créditos, até 2015, de US\$ 200 milhões (ICF CONSULTING, 2006).

Utilização de conservação de áreas naturais e rotação de cultura otimizando o sequestro de carbono

O manejo do solo numa agricultura sustentável envolve diferentes sistemas de preparo e rotações de culturas, com diferentes entradas em quantidade e qualidade de resíduos. Estes sistemas envolvem, comumente, compartimentos significativos de carbono orgânico no solo. Estes incluem tanto as fontes de carbono de liberação rápida como as lentas, cujos tamanhos e taxas de transformação são utilizados para descrever a dinâmica da matéria orgânica. Os tamanhos e as transformações têm oferecido no passado, dificuldades para serem medidos. Além disso, o plantio direto tem sido proposto como uma alternativa aos sistemas de preparo convencionais em função da redução na degradação dos solos. Visando maximizar o sequestro de C pelo solo, algumas estratégias poderiam ser utilizadas: aumento da área cultivada sob plantio direto, permanência de restos culturais nas áreas de plantio, controle da erosão, aumento dos índices de produtividade (relevante à restrição de criação de novas fronteiras agrícolas), melhoria da fertilidade do solo (essencial ao aumento da produção de restos culturais), diminuição do desmatamento, revegetação de solos degradados e, por fim, preservação de solos orgânicos em ambientes de várzea (LAL, 1997; JARECKI e LAL, 2003). Estima-se que através das atividades agrícolas e da mudança do uso do solo seria possível retirar de 400 a 800 milhões de Toneladas de C da atmosfera por ano (CERRI, 2000). O sistema de plantio direto (PD) tem merecido importante destaque entre os sistemas de manejo de solo, já que o solo não é revolvido, evitando a perda da MOS. Procura-se sempre manter o solo coberto por resíduos vegetais, com a finalidade de protegê-lo do impacto de gotas de chuva, do escoamento superficial e das erosões. Segundo Silva e Machado (2000), práticas de uso e manejo do solo, como plantio direto, controle da erosão, diminuição do desmatamento, melhoria da fertilidade do solo como fator essencial ao aumento da produção de resíduo cultural e a revegetação de solos degradados poderia contribuir para o sequestro e estoque de carbono no solo. Sequestro de carbono no solo significa transformar o carbono presente na atmosfera (na forma de CO₂) em carbono estocado no solo, compondo a matéria orgânica. Os três principais processos responsáveis pelo sequestro de carbono nos solos são: a humificação, a agregação e a sedimentação. Ao mesmo tempo, os processos responsáveis pela perda de carbono no solo são: a erosão, a decomposição, a volatilização e a lixiviação.

Crédito de Carbono

Os Créditos de Carbono foram criados com o objetivo de alertar os países de que os processos industriais que agem de forma poluidora devem ser revistos no sentido de conciliar o desenvolvimento socioeconômico e a necessidade de diminuição de emissão dos gases, buscando compensar as emissões através de um

programa que desperte a vontade política de cada país em rever os seus processos industriais, e assim diminuir a poluição e o seu impacto no clima, através da compensação de emissões atmosféricas na medida em que proporcionam o equilíbrio entre as novas emissões de poluentes no ar e a sua redução. (SARTORI, 2009). Um Crédito de Carbono equivale a 1 (uma) tonelada de CO₂ que deixou de ser produzido. A cada gás emitido é utilizada uma tabela de carbono, para verificar a quantidade correspondente, e quanto equivale em créditos. Outros gases que contribuem para o Efeito Estufa também podem ser convertidos em Créditos de Carbono, utilizando o conceito de “carbono equivalente”. O metano, por exemplo, é vinte vezes mais poluente que o dióxido de carbono, portanto reduzir 1 (uma) tonelada de metano produzida significa obter 21 Créditos de Carbono. As quantidades de toneladas de CO₂ e outros gases economizados ou sequestrados da atmosfera são calculados por empresas especializadas, de acordo com determinações dos órgãos técnicos da ONU. No caso do Protocolo de Kyoto uma tonelada de óleo diesel trocado por biodiesel gera o direito a 3,5 toneladas de créditos. Um hectare de floresta de eucalipto absorve por ano, 12 toneladas de gás carbônico, um grande aterro sanitário que capte o metano e o transforme em eletricidade, pode ter direito a milhões de toneladas de créditos por ano. (SARTORI, 2009).

Mercado do Carbono

Segundo os critérios do protocolo de Kyoto os países ou empresas que conseguem diminuir a taxa de emissões de dióxido de carbono abaixo das metas na atmosfera conseguem gerar créditos, sendo assim esses países vendem seus créditos para países e empresas que poluem acima de suas metas, o critério é quando o país ou empresas reduzem a quantidade de emissões de gases em uma tonelada de CO₂ ganha um crédito. Sendo assim esses créditos são considerados *commodities* e podem ser vendidos no mercado nacionais e internacionais. Os créditos de carbono são certificados que autorizam o direito de poluir, portanto as agências de proteção ambiental que emitem os certificados autorizando emissões de toneladas de gases de efeito estufa. O país ou empresa que não cumprem as metas de redução progressiva tem que comprar certificados das empresas com créditos. Estes certificados podem ser comercializados através das Bolsas de Valores e de Mercadorias. Os créditos de já estão sendo comercializados com antecipação no mercado, mesmo que não haja uma definição de preço. Cada tonelada de carbono vale US\$ 3,00 a US\$ 5,00 segundo o programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (IMÓVEIS VIRTUAIS, 2003). Segundo ELLERMAN, JACOBY & DECAUX, 2003 (1998) No Japão os custos de abatimento das emissões de gases de efeito estufa podem chegar a US\$ 584,00 por tonelada de carbono, enquanto que nos EUA atingiram US\$ 186,00 e na Comunidade Europeia US\$ 273,00. Segundo ROCHA (2003), várias empresas já estão em busca dos créditos também chamados “early credits”, créditos em andamentos, esse créditos não podem ser denominados de Certificados de Emissão Reduzida, uma vez que o protocolo de Kyoto não entrou em vigor.

Mercado voluntário

O mercado de carbono voluntário abrange todas as negociações de créditos de carbono e neutralização de emissões de gases do efeito estufa que são

realizadas por empresas que não possuem metas sob o Protocolo de Kyoto e, por isso, são consideradas ações voluntárias. Os esquemas são financiados por organizações e indivíduos que querem neutralizar o impacto das emissões produzidas pelas suas atividades. Para isso, investem em projetos que têm como objetivo reduzir as emissões de gases, através da compra de créditos de compensação. Estes são normalmente instrumentos financeiros negociáveis chamados Reduções Verificadas de Emissão (Verified Emission Reductions - VERs), os quais representam uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) reduzida ou deixada de ser emitida. O mercado voluntário de carbono vem crescendo dramaticamente nos últimos anos, passando de US\$ 99 milhões em 2006 para US\$ 705 milhões em 2008, com o crédito sendo negociado a um preço médio de US\$ 7,34/t CO₂. Segundo especialistas, o principal motor é o bom verde que ocorre entre as empresas norte americanas. Apesar da reação negativa entre alguns veículos da mídia e grupos ambientais de que as neutralizações de carbono seriam uma forma de comprar indulgências, a maioria das empresas envolvidas na pesquisa já começaram ou planejam compensar as emissões que não conseguem impedir que sejam produzidas, comentam os organizadores da pesquisa Padrões de Neutralização de Carbono 2008 (Carbon Offsetting Trends survey, 2008), publicada em setembro de 2008 pela Ecorescurities e ClimateBiz.

Mercado de Crédito de Carbono no Brasil

A comercialização de Redução Certificada de Emissões (RCE) no Brasil teve início visando promover a geração e comercialização de reduções de emissão de gases poluentes. O país é um grande destaque no quesito preocupação ambiental mundial. No Brasil existe o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões, com o objetivo de organizar o mercado primário, através de um banco de projetos, com sistema de registros, armazenamento e classificação dos mesmos. Em 2007, o Brasil possuía 61 empresas com créditos emitidos, que totalizavam 11,3 milhões de toneladas de CO₂ que deixaram de ir para a atmosfera e que produziram uma receita equivalente a 90,4 milhões de euros. Atualmente o Brasil é o país que está em terceiro lugar no ranking mundial de neutralização das emissões GEE. Mesmo não liderando o mercado em número de projetos, é tido como unanimidade na potencialidade de futuros projetos. (RIBEIRO, 2009).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sequestro de carbono é um mecanismo muito importante para a diminuição das concentrações de gases do efeito estufa e sendo estocadas nos oceanos, florestas solas, melhorando tanto a ciclagem do carbono, que irá fornecer para os solos matéria orgânica, para a produção agrícola, como também fertilizando os solos, e evitando impactos ambientais como erosão e degradação do solo, o sequestro de carbono é tão importante que com a remoção do CO₂ atmosférico somado com o processo de fotossíntese contribui para a manutenção dos seres vivos, pois a fotossíntese libera oxigênio para a atmosfera. Devido a todos os fatores mencionados é importante preservar o ambiente reduzindo os impactos ambientais como o desmatamento e também simplificando a emissão de gases do efeito estufa, para que o planeta Terra não sofra com problemas como o aquecimento global. O sequestro de carbono florestal é uma alternativa viável para amenizar o

agravamento do processo de elevação da temperatura global, pelo aumento de gases de efeito estufa, assim como práticas agrícolas, tais como o plantio direto, entre outras, visando maximizar o sequestro de carbono no solo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, H.J.; IBRAHIM, M. Como monitorar el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? **Agroforestería en las Américas**, v.10, p. 109 – 116, 2003.

BAIRD, C. (2002). *Química ambiental. Entendendo a mudança do clima*: um guia para iniciantes da Convenção-Quadro das Nações Unidas e seu Protocolo de Quioto. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman. Brasil.

BAIRD, C. (2002) *Química ambiental*. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman.

BAIRD, C. *Química ambiental*. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BARRETO, L. V.; FREITAS, A. C. S.; PAIVA, L. C. (2009). **Sequestro de carbono**. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Brasil. 10p.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:527-538, 1998.

CERRI, C.C. Seqüestro de carbono pelo solo. Comunicação em palestra realizada na Embrapa Meio Ambiente, em 13 abril 2000. Jaguariúna (SP).

DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. **Pastagens no trópico úmido**. Belem, PA: Embrapa Amazonia Oriental, 2006. 30p.

DIAS-FILHO, M. B. **A fotossíntese e o aquecimento global**. Belem: Embrapa Amazonia Oriental, 2006. 24p. (Embrapa Amazonia Oriental. Documentos, 234).

EFIGÊNIO, F. J. DO Ó. (2007). **Efeito de coberturas de solo em olival**. Universidade do Algarve -Instituto Politécnico de Beja. Beja. Portugal. 44p.

ELLERMAN, A D.; JACOBY, H.D.; DECAUX, A . **The effects on developing countries of the Kyoto Protocol and CO₂ emissions trading**. Cambridge: Mit, 1998. 42 p.

FAO (2004). **Carbon Sequestration in Dryland Soils**. World Soil Resources Reports, 102º Volume, Rome. 108p.

FÓRUM BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças Climáticas – Guia de Informação**. 1ª edição. Brasília, 2002.

GRÜTTER, J., KAPPEL, R. e STAUB, P. The GHG market on the eve of Kyoto ratification. Nova Iorque: National Strategy Studies, 2002.

HOUGHTON, R. A. (1994) As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões actuais. In: EMISSÃO X SEQÜESTRO DE CO₂ – UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL.

ICF CONSULTING. Carbon credits. Disponível em: http://search.icfi.com/search?q=carbon%20credits&site=ICFi&sort=date%3AD%3A%3Ad1&output=xml_no_dtd&oe=UTF-8&ie=UTF-8&client=ICF&proxystylesheet=ICF. Acesso em 28 de novembro de 2008.

Houghton, J. (2004). Global Warming. The complete briefing (3rd Edition). University Press, Cambridge. 382 pp.

IMÓVEIS VIRTUAIS. **Seqüestro de Carbono**. Disponível em <<http://www.imoveisvirtuais.com.br/sequestrodecarbono.htm>> Acesso em 06 nov. 2003.

IPCC . (2007). Climate Change 2007 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC . Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC, **Special report. emissions scenarios**. Summary for Policymakers. [Based on Nebojša Nakićenović et al. as Core Writing Team]. Montreal: IPCC, 2005b.

JARECKI, M.K.; LAL, R.. Crop management for soil carbon sequestration. Critical Reviews in Plant Sciences, [S.l.], v.22, n.6, p.471-502, 2003.

KERN, J.S & M.G. JOHNSON.1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 200-210.

LIMA, M.A.; LIGO, M.A; CABRAL, M.R.; BOEIRA, R.C.; PESSOA, M.C.P.Y.;NEVES, M.C. **Emissão de gases do efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 60p. (Documentos, 7).

MAESTRI, R. **Análise Econômica da Atividade Florestal visando sequestro de carbono: efeito do clima na produtividade e rentabilidade do empreendimento**. [2003]. [S.l.].

NICOLARDOT, B; J.A.E MOLINA & M.R. ALLARD.1994, C and N fluxes between pools of soil organic matter: model calibration with long-term incubation data. Soil Biol. Biochem. 26:235-243.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Coordenadoria de Mudanças Climáticas. Entendendo mudanças climáticas: Curitiba: **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 1797 2013

SEMA, 2007. Disponível em: <www.pr.gov.br/meioambiente/forumpr.shtml>. Acesso 26 de abril de 2013.

PROJETO PLANTAR 2004. Disponível em www.bancomundial.org.br/index.php/content/view_projeto/2427.html. Acesso em 28 de novembro de 2008.

RENNER, R.M. Seqüestro de Carbono e viabilização de novos reflorestamentos no Brasil. Disponível em://[www.ufrgs.br/necon/2evavea\(3\).pdf](http://www.ufrgs.br/necon/2evavea(3).pdf). Acesso em 04 de dezembro de 2008.

REZENDE, D. Seqüestro de carbono: uma experiência concreta - estudos iniciais do projeto de seqüestro de carbono da Ilha do Bananal e seu entorno. Goiânia: Ed. Gráfica Terra, 2000.

ROCHA, M.T.: **Aquecimento Global e o Mercado de Carbono: uma aplicação do Modelo CERT**. Tese. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Área de Concentração. Economia Aplicada. Piracicaba, 2003. 196 p.

RIBEIRO, Aline. O que está em jogo na cúpula de Copenhague. *Época Negócios*, nº 33, páginas 170 a 177, novembro de 2009.

SARTORI, Juliana. **Investimento e lucro para uma atmosfera mais equilibrada. Geração Sustentável**, nº 14, páginas 14 a 22, julho/agosto de 2009.

SILVA, C.A.; MACHADO, P.L.O.A. **Sequestro e emissão de carbono em ecossistemas agrícolas: estratégias para o aumento dos estoques de matéria orgânica em solos tropicais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 23p. (Documentos, 19), 2000.

TOTTEN, M. Getting it right - emerging markets for storing carbon in forests. Washington, DC: Forest Trends and World Resources Institute, 2000.