

**PRIMEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE
EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES E REMOÇÕES DE DIÓXIDO DE
CARBONO PELOS SOLOS POR
MUDANÇAS DE USO DA TERRA E
CALAGEM**

Ministério da Ciência e Tecnologia
2002

PRESIDENTE DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
FERNANDO HENRIQUE CARDOSO

MINISTRO DE ESTADO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
RONALDO MOTA SARDENBERG

SECRETÁRIO DE POLÍTICAS E PROGRAMAS EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
LUIZ GYLVAN MEIRA FILHO

SECRETÁRIA ADJUNTA DE POLÍTICAS E PROGRAMAS EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA
THELMA KRUG

EXECUÇÃO

COORDENADOR GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS
JOSÉ DOMINGOS GONZALEZ MIGUEZ

COORDENADOR TÉCNICO DO INVENTÁRIO
NEWTON PACIORNIK

IMPRESSÃO

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

Expressamos nossa mais profunda gratidão ao Prof. José Israel Vargas, Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia, de 1992 a 1999, por compartilhar conosco seus conhecimentos e suas idéias sobre as questões da mudança do clima e por sua incessante orientação e seu constante incentivo. Estendemos nosso agradecimento ao Prof. Luiz Carlos Bresser Pereira, Ministro da Ciência e Tecnologia de janeiro a julho de 1999.

Agradecemos, ainda, à equipe do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, na pessoa do seu presidente, Sérgio Besserman Vianna, pelo apoio na impressão desta publicação.

**PRIMEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE
EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

RELATÓRIOS DE REFERÊNCIA

**EMISSÕES E REMOÇÕES DE DIÓXIDO DE
CARBONO PELOS SOLOS POR
MUDANÇAS DE USO DA TERRA E
CALAGEM**

Autores:

Carlos Clemente Cerri
Martial Bernoux
Maria da Conceição Santana Carvalho
Boris Volkoff

Ministério da Ciência e Tecnologia
2002

Publicação do Ministério da Ciência e Tecnologia

Para obter cópias adicionais deste documento ou maiores informações, entre em contato com:

Ministério da Ciência e Tecnologia
Secretaria de Políticas e Programas de Ciência e Tecnologia
Departamento de Programas Temáticos
Coordenação Geral de Mudanças Globais

Esplanada dos Ministérios Bloco E 2º Andar Sala 244
70067-900 - Brasília - DF
Telefone: 61-317-7923 e 317-7523
Fax: 61-317-7657
e-mail: cpmg@mct.gov.br
<http://www.mct.gov.br/clima>

Revisão:

Ricardo Leonardo Vianna Rodrigues
Mauro Meirelles de Oliveira Santos
Newton Paciornik

Revisão de Editoração:

Mara Lorena Maia Fares
Anexandra de Ávila Ribeiro

A realização deste trabalho só foi possível com o apoio financeiro e administrativo do:

Fundo Global para o Meio Ambiente - GEF
Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD

Projeto BRA/95/G31
SCN Quadra 02 Bloco A - Ed. Corporate Center 7º Andar
70712-901 - Brasília - DF
Telefone: 61-329-2000
Fax: 61-329-2099
e-mail: registry@undp.org.br
<http://www.undp.org.br>

U.S. Country Studies Program

PO-2, Room GP-196
1000 Independence Avenue, SW
Washington, D.C. 20585 USA
Telefone: 1-202-426-1628
Fax: 1-202-426-1540/1551
e-mail: csmt@igc.apc.org
html <http://www.gcario.org/CSP/webpage.html>

Agradecemos à equipe administrativa do GEF, do PNUD e do U.S. Country Studies Program e, em particular, a algumas pessoas muito especiais sem as quais a realização deste trabalho não teria sido possível: Emma Torres, Richard Hosier e Vesa Rutanen, todos do PNUD/Nova York; Cristina Montenegro, do PNUD/Brasil, de 1985 a 1999, por seu apoio e incentivo em todos os momentos; e Jack Fitzgerald e Robert K. Dixon, do U.S. Country Studies Program, que propiciaram o encaminhamento do programa. A todas essas pessoas, por sua liderança neste processo, nosso mais sincero agradecimento.

Índice

	Página
Prefácio	7
Introdução	8
Sumário Executivo	11
1 Introdução	15
2 Cálculo do Estoque de Carbono de Solos Brasileiros	18
2.1 Elaboração do mapa das Associações Solo-Vegetação	18
2.1.1 Mapa de solos	19
2.1.2 Mapa de vegetação	20
2.1.3 O mapa de Associações Solo-Vegetação	22
2.2 Elaboração da base de dados de perfis de solos	23
2.3 Cálculo dos estoques individuais de carbono (perfil a perfil)	23
2.4 Estimação dos valores representativos de carbono do solo para cada Associação Solo-Vegetal	25
2.4.1 Estrutura do mapa de Associações Solo-Vegetação (ASV)	25
2.4.2 Representatividade da base de dados de perfis de solos	25
2.4.3 Valores de estoques de carbono representativo (ECR)	26
2.4.4 Total de carbono armazenado no país	26
3 Emissões de CO ₂ pelos Solos Minerais por Mudanças de Uso da Terra no Brasil	31
3.1 Metodologia	31
3.2 Cálculo das emissões de CO ₂	33
3.2.1 Estatísticas e categorias de uso da terra/manejo	33
3.2.2 Fatores de impacto	37
3.2.3 Fluxos anuais de CO ₂ por estado	37
3.2.4 Avaliação da incerteza	41
4 Emissões de CO ₂ Decorrentes da Reação de Neutralização por Calcários Utilizados na Agricultura	42
5 Emissões Líquidas Totais de CO ₂ Provenientes de Solos por Mudança de Uso da Terra e Calagem	44
Referências Bibliográficas	45
Anexo	49

Lista de Tabelas

	Página
TABELA 1 – Estoques de carbono segundo WISE e Batjes e Dijkshoorn (1999)	26
TABELA 2 – Estoque de carbono do solo representativo (\overline{SC}_n), de cada estado, para a camada superior de 30 cm.	30
TABELA 3 – Mudança na participação de cada categoria de uso da terra no total da área dos estados e regiões, para os períodos de 1970-1990 e 1974-1994	36
TABELA 4 – Fatores usados para as diferentes categorias de uso da terra	37
TABELA 5 – Fluxos anuais de CO ₂ para as regiões e estados brasileiros	39
TABELA 6 – Análise de sensibilidade à variação dos Fatores de Impacto, para o período 1974-1994	41
TABELA 7 – Emissões anuais de CO ₂ decorrentes da utilização de calcário na agricultura	43
TABELA 8 – Emissões totais de CO ₂ por mudanças de estoque de carbono em solos minerais e por calagem entre 1990 e 1995	44

Lista de Figuras

	Página
FIGURA 1 – Mapa simplificado de solos do Brasil contendo a distribuição das seis categorias	21
FIGURA 2 – Mapa simplificado de vegetação do Brasil contendo a distribuição das 15 categorias	22
FIGURA 3 – Mapa do estoque de carbono de solos (0-30cm) nos solos brasileiros sob vegetação nativa	29
FIGURA 4 – Perfil de utilização das terras pelos estabelecimentos rurais, por região, para os quinquênios entre 1970 e 1995	35
FIGURA 5 – Taxas de emissões médias de CO ₂ para os períodos 1970-1990 e 1974-1994	40

Prefácio

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima entrou em vigor no Brasil em 1994, após ratificação pelo Congresso Nacional. Nos termos da Convenção, os países assumem, entre outros, o compromisso de desenvolver e atualizar, periodicamente, inventários nacionais das emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros dos gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal, além de fornecer uma descrição geral das providências para implementar a Convenção. A série de relatórios setoriais, aqui apresentada, abrange os trabalhos que serviram de base para a elaboração do primeiro inventário brasileiro de gases de efeito estufa, referente ao período 1990-1994.

Para que o Brasil atendesse seus compromissos internacionais nesse campo, foi estabelecido, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, um quadro institucional, na forma de um Programa, que também envolveu, para a elaboração dos relatórios setoriais, especialistas externos e instituições com reconhecida capacidade em cada área específica. Aos coordenadores setoriais coube a tarefa de envolver instituições e especialistas nas áreas definidas, para coleta e organização de dados, informações e bibliografia. As atividades foram desenvolvidas de maneira descentralizada, dada sua natureza multidisciplinar, envolvendo cerca de uma centena de instituições e quinhentos especialistas dos setores energético, industrial, florestal, agropecuário e de tratamento de resíduos. Os trabalhos, em muitos casos, envolveram a estimativa de indicadores e coleta de informações que não estão disponíveis na literatura científica nacional e, em alguns casos, informações privadas de empresas nacionais.

A metodologia adotada pela Convenção foi desenvolvida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC, em conjunto com a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômicos - OCDE e a Agência Internacional de Energia - IEA, com o objetivo de permitir o cálculo e a apresentação das emissões antrópicas líquidas nacionais de gases de efeito estufa e encorajar sua disseminação entre os países participantes do IPCC e Partes da Convenção.

Algumas características importantes merecem ser ressaltadas. Em primeiro lugar, as emissões representam estimativas feitas em bona fide, ou seja, visam minimizar as incertezas e não criar viés infundado. Buscou-se a melhor estimativa possível, levando em consideração o atual estágio do conhecimento científico e a disponibilidade de recursos humanos e financeiros. Nem sempre as estatísticas existentes no País permitem a adequada avaliação das emissões e, de modo geral, em determinados setores onde não existe informação, métodos específicos foram desenvolvidos para avaliação do nível de atividade.

Adicionalmente, a coordenação do MCT, mediante a revisão detalhada dos resultados, orientou-se na busca do controle da qualidade, da confiabilidade e da transparência das informações contidas nos relatórios setoriais, disponíveis a qualquer interessado no endereço eletrônico www.mct.gov.br/clima. São encorajados comentários e sugestões que possam aprimorar o conteúdo dos relatórios, que resultarão no documento final a ser apresentado à Convenção.

Cumprido ressaltar que esta série de relatórios representa um pequeno passo na compreensão dos diferentes processos de emissões de gases de efeito estufa por atividades antrópicas no País, mas representa um grande avanço para o Brasil. O enfoque baseado na idéia de um processo de melhorias contínuas e graduais permitiu o êxito, alcançado em apenas cinco anos, no esforço de coordenação das atividades nos diferentes setores nacionais, a participação abrangente de instituições e especialistas e a capacitação e conscientização da sociedade nas questões da mudança do clima.

Esse esforço permitiu e continuará a garantir o papel de relevo do Brasil nas negociações internacionais sobre mudança do clima, ao qual se soma, do ponto de vista interno, a recente ratificação do Protocolo de Quioto pelo Brasil. Mais do que isso, boa parte desse esforço terá sido empreendida não apenas em cumprimento a disposições de uma convenção internacional, mas em proveito do País e da sociedade brasileira.

Embaixador Ronaldo Mota Sardenberg
Ministro de Estado da Ciência e Tecnologia
Brasília, junho de 2002

Introdução

A questão do aquecimento global, difícil de ser compreendida por sua complexidade científica e a existência de poucos especialistas neste tema no Brasil, geralmente envolvidos com projetos considerados mais prioritários, tornam a elaboração do inventário brasileiro de emissões de gases de efeito estufa um esforço complexo e pioneiro.

Há, além dessas dificuldades, a falta de material disponível em português sobre o assunto, a falta de conhecimento sobre as obrigações brasileiras no âmbito da Convenção, a falta de recursos para estudos mais abrangentes e dúvidas sobre os benefícios que adviriam para as instituições envolvidas nesse processo.

Outra dificuldade encontrada é o fato de a mudança do clima não ser um tema prioritário nos países em desenvolvimento, cujas prioridades referem-se ao atendimento de necessidades urgentes, nas áreas social e econômica, tais como a erradicação da pobreza, a melhoria das condições de saúde, o combate à fome, a garantia de condições dignas de moradia, entre outras. Neste sentido, os países em desenvolvimento, como o Brasil, confrontam-se com padrões do século 21, antes mesmo de haverem superado os problemas do século 19. O Brasil, entretanto, é um país em desenvolvimento que possui uma economia muito complexa e dinâmica. É o quinto país mais populoso e de maior extensão do mundo, oitava economia mundial, grande produtor agrícola e um dos maiores produtores mundiais de vários produtos manufaturados, incluindo cimento, alumínio, produtos químicos, insumos petroquímicos e petróleo.

Em comparação com os países desenvolvidos, o Brasil não é um grande emissor no setor energético. Isso se deve ao fato de ser o Brasil um país tropical, com invernos moderados e por mais de 60% de sua matriz energética ser suprida por fontes renováveis. Mais de 95% da eletricidade brasileira é gerada por usinas hidrelétricas e há uma ampla utilização de biomassa (utilização de álcool nos veículos, uso do bagaço da cana-de-açúcar para a geração de vapor, uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica, etc.). Além disso, programas de conservação de energia têm buscado, desde meados da década de 80, melhorar ainda mais a produção de energia e os padrões de consumo no Brasil.

Para que o Brasil cumprisse as obrigações assumidas no âmbito da Convenção, foi estabelecido um quadro institucional na forma de um Programa, sob a coordenação do Ministério da Ciência e Tecnologia, com recursos financeiros aportados pelo PNUD/GEF e apoio adicional do governo norte-americano. Buscou-se, durante a elaboração do inventário, por sua abrangência e especificidade, envolver diversos setores geradores de informação e a participação de especialistas de diversos ministérios, instituições federais, estaduais, associações de classe da indústria, empresas públicas e privadas, organizações não-governamentais, universidades e centros de pesquisas.

Por sua própria origem, a metodologia do IPCC adotada pela Convenção tem, como referência, pesquisas realizadas e metodologias elaboradas por especialistas de países desenvolvidos, onde as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis representam a maior parte das emissões. Em consequência, setores importantes para os países em desenvolvimento, como a agricultura e a mudança no uso da terra e florestas, não são tratados com a profundidade necessária. Portanto, os fatores de emissão *default* ou até mesmo a própria metodologia devem ser analisados com a devida cautela, uma vez que não refletem, necessariamente, as realidades nacionais. Em muitos casos, não há pesquisa no Brasil que permita avaliar os valores apresentados ou a própria metodologia proposta. Onde existem pesquisas foram encontrados, em alguns casos, valores significativamente discrepantes. A avaliação de emissões decorrentes do uso intensivo de biomassa no Brasil também não encontra apoio na metodologia, muito embora tais emissões, dado o caráter renovável da biomassa, não sejam contabilizadas nos totais nacionais.

A aplicação da metodologia do IPCC pelos países em desenvolvimento impõe a esses países um ajuste a um sistema para cuja elaboração pouco contribuíram. De qualquer modo, durante sua aplicação, não abdicamos do dever de exercer alguma influência, ainda que modesta, por exemplo, em relação à mudança de uso da terra e florestas. Deve-se levar em conta que o Brasil é um dos países que têm melhores e mais abrangentes sistemas de monitoramento permanente deste setor. Estudos pioneiros foram realizados em relação às emissões de gases de efeito estufa pela conversão de florestas em terras para uso agrícola, pelos reservatórios de hidrelétricas e por queimadas prescritas do cerrado. Cuidado deve ser tomado, também, ao se comparar os

resultados totais de emissões por tipo de gás de efeito estufa. Diferenças metodológicas com outros inventários internacionais de emissões de gases de efeito estufa, em especial com alguns países desenvolvidos que não relatam adequadamente suas emissões, como, por exemplo, no caso de mudanças no uso da terra e florestas, impedem a simples comparação dos resultados.

No Brasil, a busca e coleta de informação não são adequadas por causa do custo de obtenção e armazenamento de dados e há pouca preocupação institucional com a organização ou fornecimento de informação, principalmente em nível local. Há, ainda, carência de legislação que obrigue as empresas a fornecer informações, em especial no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa. Por outro lado, muitas vezes, medições não se justificam para o inventário de emissões de gases de efeito estufa por si só, devido ao custo relativamente alto da medição, quando comparado a qualquer melhoria da precisão da estimativa.

Deve-se ter em conta que a elaboração de um inventário nacional é um empreendimento intensivo em recursos. Há que se estabelecer prioridades para realizar estudos e pesquisas de emissões nos setores e gases de efeito estufa principais, uma vez que a metodologia das estimativas e a qualidade dos dados podem melhorar com o tempo. Em virtude deste fato, os relatórios setoriais baseiam-se, normalmente, em trabalhos previamente feitos por diversas instituições nacionais.

Finalmente, é preciso lembrar que ao mesmo tempo que a avaliação das emissões anuais por cada um dos países é importante para o dimensionamento das emissões globais e para a compreensão da evolução futura do problema das mudanças climáticas, as emissões anuais de gases de efeito estufa não representam a responsabilidade de um país em causar o aquecimento global, visto que o aumento da temperatura é função da acumulação das emissões históricas dos países, que elevam as concentrações dos diversos gases de efeito estufa na atmosfera. Para cada diferente nível de concentração de cada gás de efeito estufa, há uma acumulação de energia na superfície da Terra ao longo dos anos. Como é mencionado na proposta brasileira apresentada durante as negociações do Protocolo de Quioto (documento FCCC/AGBM/1997/MISC.1/Add.3), a responsabilidade de um país só pode ser corretamente avaliada se forem consideradas todas as suas emissões históricas, o conseqüente acúmulo de gases na atmosfera e o aumento da temperatura média da superfície terrestre daí resultante. Portanto, os países desenvolvidos, que iniciaram suas emissões de gases de efeito estufa a partir da Revolução Industrial, têm maior responsabilidade por causar o efeito estufa atualmente e continuarão a ser os principais responsáveis pelo aquecimento global por mais um século.

Sumário Executivo

Este relatório apresenta as estimativas brasileiras dos fluxos anuais de CO₂ de solos para o período de 1990 a 1994, com base no *Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 1997).

Este estudo foi elaborado pela equipe do professor Carlos Clemente Cerri, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), conforme solicitação da Coordenação Geral de Mudanças Globais do Ministério de Ciência e Tecnologia.

Segundo o IPCC (1997), são três as fontes potenciais de emissões de CO₂ provenientes de solos: 1) mudanças líquidas no estoque de carbono orgânico de solos minerais associadas às mudanças no uso da terra e manejo; 2) emissões por calagem de solos agrícolas; e 3) emissões de solos orgânicos cultivados. Por insuficiência de dados de solos orgânicos cultivados, o presente relatório considera apenas as emissões por mudanças de uso da terra e calagem.

Para o cálculo das emissões líquidas de CO₂ provenientes de solos foram utilizadas as seguintes fontes de dados: a) dados estatísticos dos Censos Agropecuários do IBGE de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1995-1996; b) mapa de solos brasileiros (EMBRAPA, 1981); c) mapa de vegetação (IBGE, 1988); e d) dados de comercialização de calcário agrícola no Brasil (ABRACAL). Foi desenvolvida uma base de dados dos perfis de solos a partir de informações já publicadas em inventários nacionais e regionais. A maioria das informações sobre perfis de solos foi extraída das descrições levantadas pelo projeto RADAM-BRASIL (Ministério das Minas e Energia, 1973-1983; IBGE, 1986-1987) e das descrições de solos da EMBRAPA em escala estadual (EMBRAPA/SNLCS, 1978-1980).

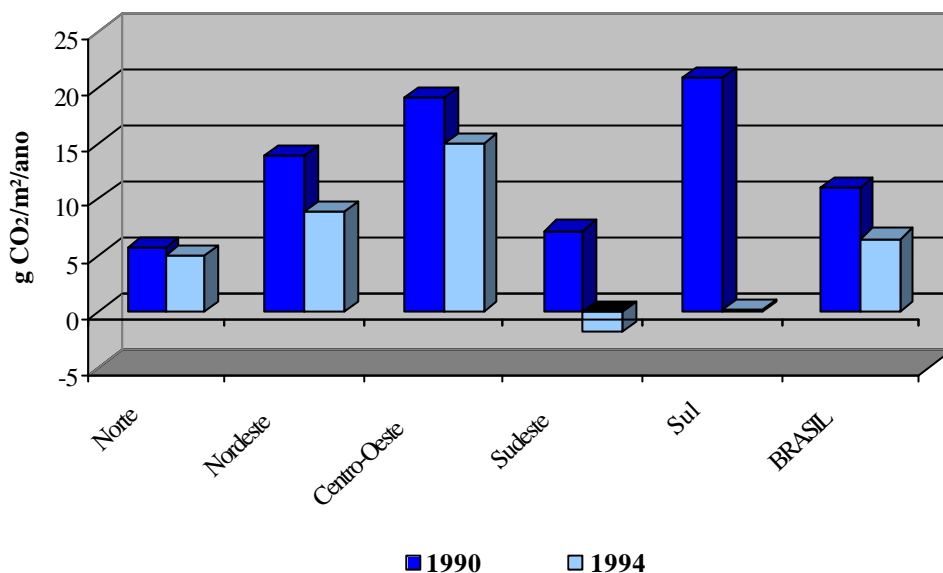
O estoque de carbono original do solo foi estimado através da integração dos mapas de solos com os de vegetação, o que resultou em um novo mapa de associações solo-vegetação (ASV), contendo as características de ambos. Os valores calculados de carbono do solo foram considerados representativos dos estoques originais, sob condições de vegetação primária e sem perturbação significativa. Os fluxos de CO₂ foram obtidos através da avaliação das mudanças dos estoques originais do carbono do solo em 20 anos.

O estoque representativo médio de carbono (ERC) das diversas categorias de ASV variou entre 1,51 e 41,78 kg C/m². Entretanto, o ERC da grande maioria (mais de 75%) das ASV variou entre 3 e 6 kg C/m². Esses dados são representativos das áreas de vegetação nativa sem perturbação significativa e foram fundamentais para a avaliação dos efeitos das mudanças de uso da terra nos estoques de carbono no Brasil. O estoque de carbono total original da camada superior do solo (0-30 cm) foi estimado em 36,4 ± 3,4 Pg.¹

Os resultados apresentados revelam uma redução significativa das taxas de emissões líquidas ocorridas no Brasil entre 1990 e 1994, que foram reduzidas de 11,0 g CO₂/m²/ano, em 1990, para 6,6 g CO₂/m²/ano, em 1994. A análise por região mostra que a região Norte apresentou uma pequena variação nas taxas de emissão ao longo do tempo, reduzindo de 5,8 g CO₂/m²/ano, em 1990, para 5,0 g CO₂/m²/ano, em 1994. As regiões do Centro-Oeste e Nordeste apresentaram variações um pouco maiores entre as duas datas (Centro-Oeste: 19,0 g CO₂/m²/ano, em 1990, para 15,0 g CO₂/m²/ano, em 1994; Nordeste: 13,8 g CO₂/m²/ano, em 1990, para 8,9 g CO₂/m²/ano, em 1994). As regiões Sudeste e Sul, por sua vez, apresentaram as maiores variações entre as duas datas (Sudeste: 7,3 g CO₂/m²/ano, em 1990, para -1,7 g CO₂/m²/ano, em 1994; Sul: 20,9 g CO₂/m²/ano, em 1990, para 0,2 g CO₂/m²/ano, em 1994). A Figura I mostra a evolução dessas taxas.

¹ 1 Pg = 10¹⁵ g = 10⁶ Gg = 10³ Tg

Figura I – Evolução das taxas de emissões líquidas de CO₂ pelos solos por mudanças de uso da terra ocorridas no Brasil entre 1990 e 1994



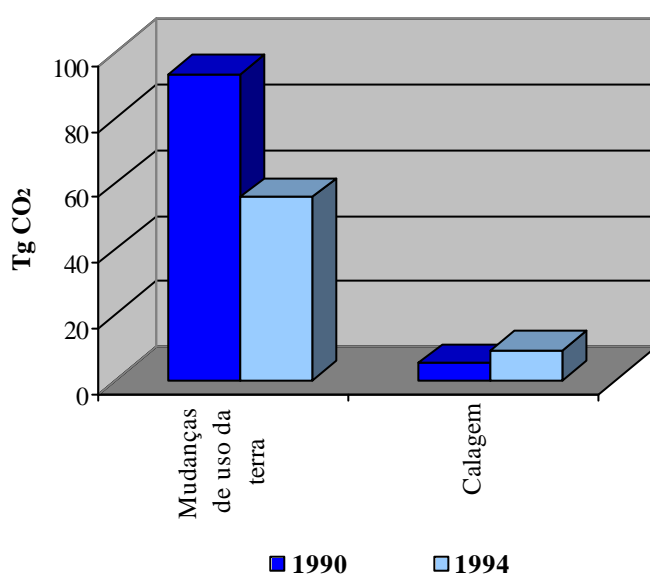
As emissões líquidas anuais de CO₂ causadas pelas mudanças de uso da terra foram estimadas em 93,3 Tg CO₂, em 1990, e em 55,8 Tg CO₂, em 1994.

Para o cálculo das emissões de CO₂ associadas ao uso do calcário para combater a acidez de solos agrícolas, foram consideradas as quantidades aplicadas anualmente no país, desagregadas por estado. As emissões provenientes da aplicação de calcário (CaCO₃) na agricultura foram estimadas em 5,1 Tg CO₂ e 9,0 Tg CO₂, para os anos de 1990 e 1994, respectivamente.

A Figura II ilustra as emissões líquidas anuais de CO₂ causadas pelas mudanças de uso da terra e as provenientes da aplicação de calcário na agricultura.

As emissões totais de CO₂ provenientes de solos (por mudanças de estoque de carbono em solos minerais e por calagem) foram estimadas em 98,4 Tg CO₂, em 1990, e 64,8 Tg CO₂, em 1994.

Figura II – Emissões líquidas de CO₂ pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem



1 Introdução

Os níveis crescentes de concentração do CO₂ atmosférico têm aumentado a importância do conhecimento dos estoques de carbono nos principais compartimentos terrestres, principalmente da biosfera (solo e biomassa viva e morta), em função do potencial destes compartimentos na emissão de gases de efeito estufa. Dentre esses compartimentos terrestres, destaca-se o papel dos solos no ciclo de carbono, principal local onde este elemento se encontra estocado nos ecossistemas terrestres.

Em escala global, os solos minerais apresentam um imenso reservatório de carbono, com estimativas globais variando entre 1.115 e 2.200 Pg C no primeiro metro da camada superior do solo (POST *et al.*, 1982; ESWARAN *et al.*, 1993; BATJES, 1999). A reserva de biomassa da vegetação, por sua vez, está estimada entre 560 e 835 Pg C (WHITTAKER e LIKENS, 1975; BOUWMAN, 1990). O carbono dos ecossistemas tropicais (solo e vegetação) representa cerca de 20 a 25% do carbono terrestre mundial (BROWN e LUGO, 1982; DIXON *et al.*, 1994). No Brasil, as estimativas de carbono armazenado nos solos ainda são escassas. Schroeder e Winjum (1995) e, mais recentemente, Turner *et al.* (1998) publicaram que havia 72 Pg de carbono estocados no primeiro metro da camada superficial de solo no Brasil, tendo como base o ano de 1990.

As emissões líquidas de CO₂ por solos estão associadas com as mudanças na quantidade de carbono estocado. A liberação de CO₂ também pode ser proveniente de fontes inorgânicas, tais como as emissões provenientes de aplicação de calcário (calagem) ao solo para melhorar a sua fertilidade. Fundamentalmente, as mudanças nos conteúdos de carbono orgânico do solo variam em função do balanço entre a entrada de carbono fixado por fotossíntese e as perdas por decomposição de matéria orgânica. A qualidade e a quantidade do material orgânico adicionado e a taxa de decomposição do carbono orgânico do solo são determinados pela interação entre clima, tipo de solo e tipo de uso/manejo. Já em ecossistemas nativos, o clima e as condições do solo são os determinantes primários do balanço de carbono, porque eles controlam as taxas de produção e decomposição. Em sistemas agrícolas, o tipo de uso e o manejo atuam modificando tanto a entrada de matéria orgânica quanto a taxa de decomposição através da produção de resíduos, seleção de

cultivares, fertilização, procedimentos de colheita, métodos de preparo do solo e manejo de resíduos.

A conversão de ecossistemas naturais para uso agrícola pode exercer uma grande influência no destino do carbono estocado nos solos. Invariavelmente, a derrubada da vegetação nativa seguida de cultivo leva à redução do conteúdo de carbono do solo (DETWILLER, 1986; BROWN & LUGO, 1990; SCHLESINGER, 1986). Diversas revisões de literatura mencionam perdas entre 20% a 40% ou mais (DETWILLER, 1986; SCHLESINGER, 1986).

A conversão de florestas tropicais em pastagens na Amazônia Legal, nas últimas décadas, tem sido uma das principais formas de mudança de uso da terra no Brasil e, conseqüentemente, da redução do estoque de carbono de solos. Embora as pesquisas mostrem que, em condições de pastagens bem manejadas, o estoque de carbono (após um declínio inicial) possa alcançar níveis iguais ou até superiores aos encontrados sob a floresta nativa num período de dez anos (CERRI et al., 1991, MORAES et al., 1995; e NEIL et al., 1997), devido à capacidade do sistema radicular das gramíneas de redistribuir o carbono do solo para camadas mais profundas de solo (NEPSTAD et al., 1991), estas condições quase não são encontradas no Brasil. As estimativas existentes revelam que mais de 50% das pastagens no Brasil encontram-se degradadas, em condições de superpastejo e com declínio acentuado de produtividade a cada ano (MACEDO, 1995; SPAIN et al., 1996; FEARNSSIDE & BARBOSA, 1998; VEIGA E SERRÃO, 1987).

O presente relatório apresenta uma estimativa dos fluxos anuais de CO₂ nos solos do Brasil, no período de 1990 a 1995. A metodologia utilizada foi a sugerida pelo IPCC (1997), a qual considera estimativas das emissões anuais líquidas de CO₂ provenientes de três processos:

- i) mudanças nos estoques de carbono dos solos minerais devido às mudanças dos tipos de uso e das práticas de manejo;
- ii) emissão de CO₂ devido à utilização dos solos orgânicos para a agricultura ou plantações florestais;
- iii) emissões de CO₂ decorrentes da reação de neutralização de calcários utilizados na agricultura.

As emissões de CO₂ por uso de solos orgânicos (ii) não foram estimadas em razão da indisponibilidade de dados sobre seu uso.

Para se estimar as emissões de CO₂ provenientes dos solos brasileiros, para o período de 1990 a 1995, foi construída uma base de dados contendo os valores do estoque original de carbono contido nos primeiros 30 cm da camada superior de cada tipo de solo (camada de referência segundo a metodologia do IPCC). O capítulo 2 deste relatório descreve a metodologia desenvolvida para estimar o estoque original de carbono nos solos brasileiros e apresenta os valores médios de carbono de solos obtidos por estado.

No capítulo 3, foram estimados os fluxos de CO₂ provenientes dos solos brasileiros, a partir das variações de estoque de carbono calculados em função das mudanças de uso da terra ocorridas num intervalo de tempo de 20 anos (ex: período 1970-1990).

No capítulo 4, foram estimadas as emissões de CO₂ decorrentes da reação de neutralização de calcário utilizado na agricultura.

Finalmente, no capítulo 5, são apresentadas as emissões líquidas totais de CO₂ provenientes de solos por mudanças de uso da terra e calagem.

2 Cálculo do Estoque de Carbono de Solos Brasileiros

A metodologia adotada para o cálculo do estoque de carbono original nos solos brasileiros consiste nas seguintes etapas de trabalho:

1. Elaboração do mapa de Associações Solo-Vegetação (ASV) para o Brasil;
2. Organização de uma base de dados contendo os perfis de solos, reunindo informações como concentração de carbono, tipo de solo e vegetação nativa;
3. Cálculo dos estoques individuais de carbono (perfil a perfil);
4. Estimação dos valores representativos de carbono de solo para cada categoria ASV.

2.1 Elaboração do mapa das Associações Solo-Vegetação

O mapa de Associações Solo-Vegetação (ASV) foi derivado da combinação entre o mapa de solos brasileiros (EMBRAPA, 1981) e o mapa de vegetação (IBGE, 1988), escala 1:5.000.000.

Segundo o IPCC (1997), o solo e o clima são os principais determinantes dos estoques potenciais de carbono no solo e das suas variações em função das mudanças de uso da terra e do manejo. Para as regiões de clima tropical, o IPCC propõe quatro classes de clima: 1) tropical seco, com precipitação anual inferior a 1000 mm; 2) tropical úmido, com precipitação superior a 1000 mm e inferior a 2000, com estação seca prolongada (>5 meses); 3) tropical úmido, com estação seca curta (<5 meses); 4) tropical superúmido (>2000 mm). Entretanto, em razão da possibilidade de se trabalhar com dados mais desagregados e da estreita relação entre clima e vegetação, bem como entre estoque de carbono de solos e vegetação, optou-se por substituir as classes de clima pelas classe de vegetação.

A partir dos dados de matéria orgânica provenientes dos levantamentos de solos, foi determinado um intervalo de valores de carbono de solo para cada combinação de solo e vegetação.

2.1.1 Mapa de solos

No mapa original de solos da EMBRAPA (1981), com 2.698 unidades de mapeamento, observaram-se 69 tipos de solos, classificados de acordo com as 18 maiores ordens do sistema brasileiro de classificação de solos.

Para avaliar as mudanças de estoque de carbono, o IPCC (1997) propõe a estratificação em seis grandes grupos de solos (solos minerais com argilas de atividade alta, solos minerais com argila de atividade baixa, solos arenosos, solos vulcânicos, solos hidromórficos e solos orgânicos). Esta estratificação do IPCC baseia-se nas diferenças marcantes entre os solos em termos de textura, mineralogia de argila, estoque original de carbono e de susceptibilidade à perda de carbono por práticas de manejo. De acordo com o IPCC (1997), existe uma relação estreita entre fatores como textura/mineralogia da argila com o conteúdo de matéria orgânica dos solos e também com a susceptibilidade dos solos à perda de carbono. Isto decorre, por exemplo, do fato de as argilas de atividade alta serem menos susceptíveis às mudanças de estoque de carbono por mudança de uso da terra, enquanto as argilas de atividade baixa são mais susceptíveis a essas mudanças. As argilas de atividade alta são aquelas com capacidade de troca de cátions - CTC superior a 24 cmol_c/kg de argila, enquanto as argilas de atividade baixa são as com CTC abaixo de tal valor.

Os solos brasileiros foram agrupados de acordo com algumas características recomendadas pelo IPCC, como o tipo de argila (de atividade alta ou baixa), textura e drenagem dos solos.

Em função da importância, no Brasil, da categoria Latossolos, que ocupa 38,8% dos solos brasileiros (correspondem aos Oxissolos bem drenados da Taxionomia de Solos dos Estados Unidos e aos Ferrassolos da classificação de solos da FAO-UNESCO) e pelo fato de grande parcela dos solos brasileiros ser de argila de atividade baixa, esta categoria foi dividida em outras duas subcategorias, denominadas Latossolos com argila de atividade baixa e não-Latossolos com argila de atividade baixa.

As demais categorias de solos brasileiros tiveram o seguinte enquadramento: solos minerais com argilas de atividade alta; solos arenosos; e solos hidromórficos. As categorias que por ventura não se enquadraram em alguma das cinco categorias propostas (S1 - Solos com argila de atividade alta; S2 - Latossolos com argila de atividade baixa; S3 - Não-Latossolos com argila de atividade baixa; S4 - Solos Arenosos e S5 - Solos Hidromórficos) foram incluídas na categoria Outros Solos (S6). As categorias de solos são apresentadas na Tabela A1 do Anexo e o mapa simplificado de solos, contendo a distribuição das seis categorias de solos, é mostrado na Figura 1.

2.1.2 Mapa de vegetação

Obteve-se uma versão digital do mapa de vegetação do Brasil (IBGE, 1988), que abrange 94 classes de vegetação, divididas em grupos principais e subgrupos. Este mapa representa a vegetação potencial, ou seja, aquela que se presume ser a original devido às características de clima e de solo.

A estratégia de classificação foi utilizar os principais grupos de vegetação como ponto de partida, dividindo-os de acordo com a tipologia (fisionomia) da vegetação e/ou a localização geográfica (Tabela A2 do Anexo). Por exemplo, a partir dos grupos de Floresta Ombrófila Aberta e Floresta Ombrófila Densa foram gerados três categorias, denominadas Floresta Amazônica Aberta (V1), Floresta Amazônica Densa (V2) e uma única categoria da região Mata Atlântica denominada Floresta Atlântica (V3). Foram mantidos os grupos florestais denominados Floresta Estacional Decidual (V4), Floresta Estacional Semi-decidual (V5) e Floresta Ombrófila Mista (V6). O grupo Savana foi dividido de acordo com a localização geográfica: Savana Sul (V7), Savana Amazônica (V8) e Cerrado (V9). O grupo Estepe também foi separado por região: Estepe do Sul (V10) e Estepe Nordeste (Caatinga) (V11). A Savana Estépica foi dividida em Estepe Oeste (Pantanal) (V12), Estepe da região Sul (que foi adicionada à Estepe do Sul -V10) e Estepe da região Amazônica (que foi adicionada à Savana Amazônica-V8). Os três grupos remanescentes mantiveram o seu significado original: Refúgios Ecológicos de Montanhas e Terras Altas (V13), Áreas de Formação Pioneira (V14) e Áreas Arenosas e Vegetação Lenhosa Oligotrófica de Áreas Pantanosas (V15). As categorias denominadas “áreas de tensão ecológica e de contato” foram agregadas às outras categorias, de acordo com a vegetação dominante e/ou localização, conforme Tabela A2 do Anexo e a Figura 2.

Figura 1 – Mapa simplificado de solos do Brasil contendo a distribuição das seis categorias

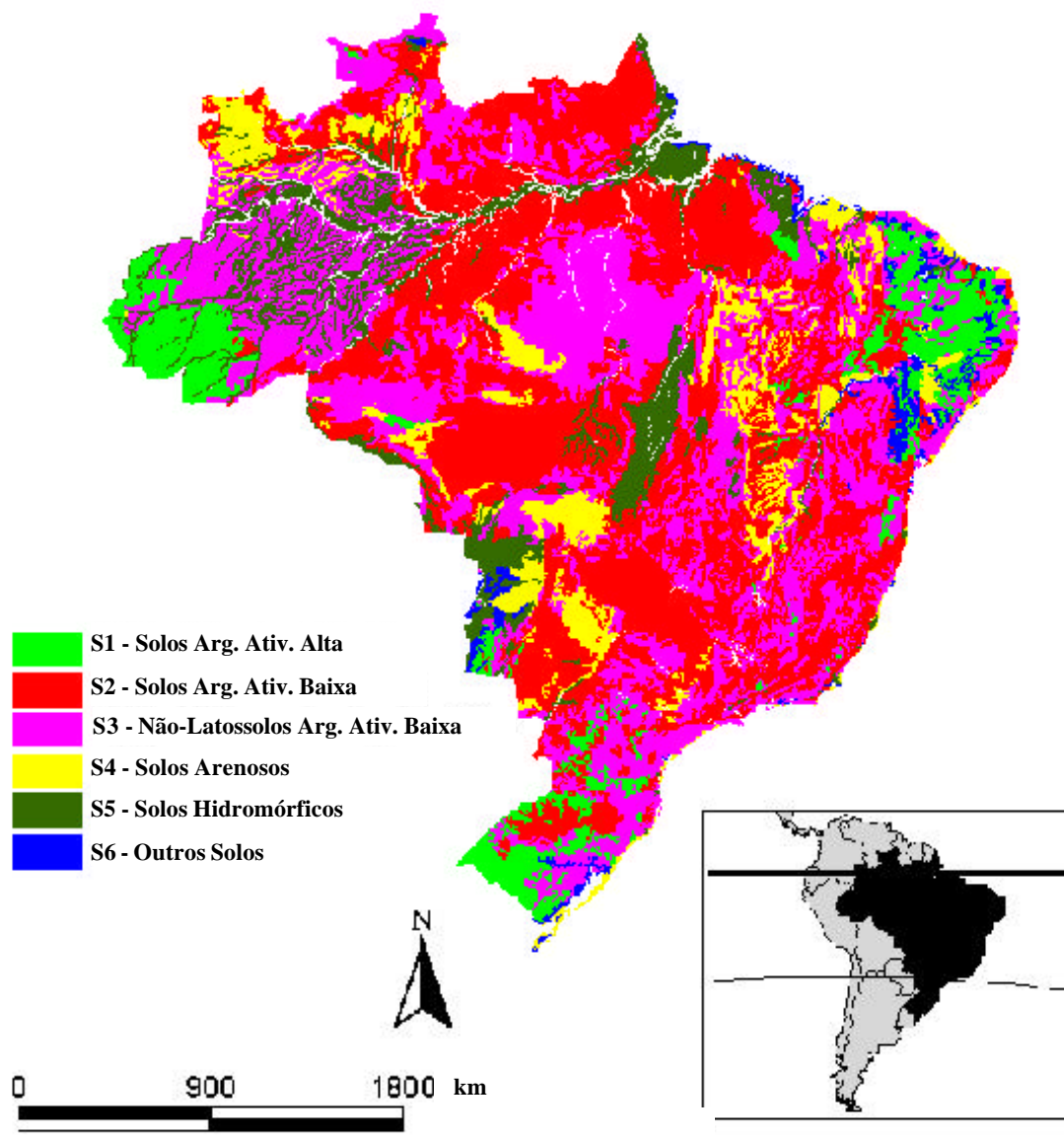
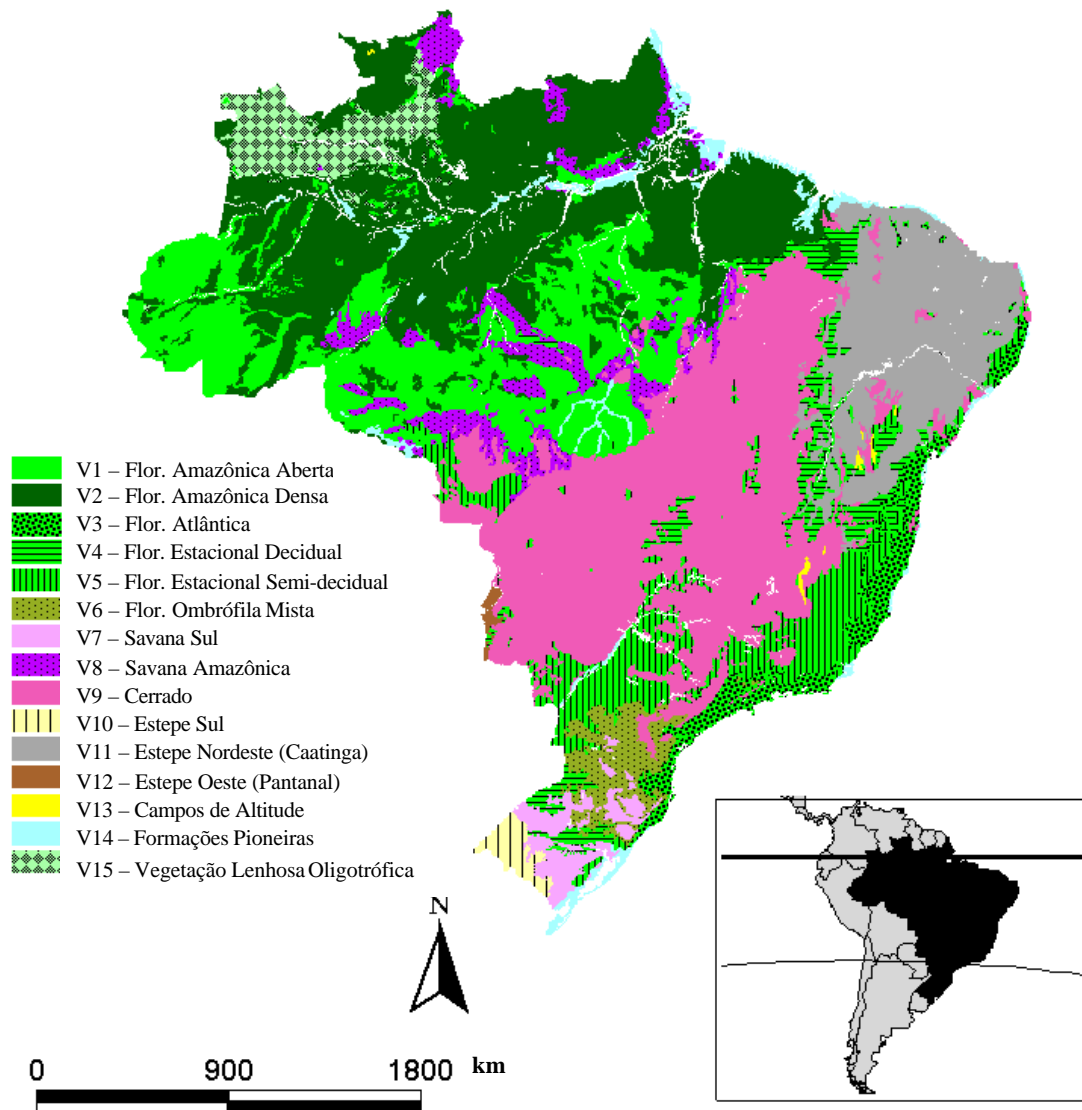


Figura 2 – Mapa simplificado de vegetação do Brasil contendo a distribuição das 15 categorias



2.1.3 O mapa de Associações Solo-Vegetação

Conforme descrito anteriormente, o mapa ASV foi derivado da combinação entre os mapas de solo e fitofisionômico. Cada unidade de mapeamento (UM) resultante (ASV) representa tanto as características de solo (S) quanto as de vegetação (V), específicas daquela área geográfica.

2.2 Elaboração da base de dados de perfis de solos

Uma base de dados dos perfis de solos foi elaborada usando informação já publicada em inventários nacionais e regionais. A maioria das informações sobre perfis de solos proveio das descrições levantadas pelo projeto RADAM-BRASIL (Ministério das Minas e Energia, 1973-1983; IBGE, 1986-1987) e das descrições de solos da EMBRAPA em escala estadual (EMBRAPA/SNLCS, 1978-1980). O levantamento de solos do RADAM-BRASIL teve por objetivos localizar, identificar e delimitar as ocorrências de várias classe de solos. As seguintes informações foram consideradas para cada perfil de solo: localização (coordenadas geográficas ou cidade correspondente), tipo de solo, tipo de vegetação ou uso, horizontes analisados, concentração de carbono (métodos do tipo Walkley-Black, WALKLEY e BLACK, 1934), densidade aparente do solo (DAP) e conteúdo de argila (método da pipeta - DAY, 1965). No total, 3.969 perfis de solos (10.457 horizontes de solos) foram incorporados à base de dados.

2.3 Cálculo dos estoques individuais de carbono (perfil a perfil)

Os cálculos dos estoques individuais de carbono foram feitos de acordo com a forma clássica de se calcular o estoque de carbono (massa de carbono por unidade área) para uma determinada profundidade (0-30 cm). Baseia-se em somar o estoque de carbono dos horizontes do perfil do solo. O estoque de carbono de cada horizonte é estimado através do produto da DAP pela concentração de carbono e pela espessura do horizonte. Em geral, os perfis de solos são divididos em horizontes pedogenéticos (horizontes A, B, C). Na maioria

dos casos, o primeiro horizonte se situa acima da linha dos 30 cm de profundidade e o segundo horizonte ultrapassa este limite. Quando um determinado horizonte ultrapassa o limite de 30 cm, o carbono de solo contido até o limite de 30 cm de profundidade é calculado proporcionalmente.

Como para a maioria dos perfis de solos não havia registro de DAP, a solução encontrada foi a aplicação dos modelos desenvolvidos por Bernoux *et al.* (1998) para a determinação do DAP em solos da bacia Amazônica. As equações obtidas foram:

1. Para horizontes com conteúdo de argila menor ou igual a 20% (horizonte arenoso) foi:

$$DAP = 0,0181 \times (100 - ARGILA - 5) - 0,08 \times CO \quad (\text{Eq. 1})$$

Na equação, ARGILA representa o conteúdo de argila, após a dispersão com hexametáfosfato de sódio, em porcentagem da fração solo menor que 2 mm. O CO representa o carbono orgânico através da oxidação por dicromato (WALKLEY e BLACK, 1934), em porcentagem da fração solo menor que 2 mm.

2. Para horizontes com conteúdo de argila superior a 20%, o cálculo foi feito de acordo com a categoria de solo:

Para o grupo S2: $DAP = 1,404 - 0,0040 \times ARGILA - 0,048 \times CO$ (Eq. 2)

Para os grupos S1 e S3: $DAP = 1,394 - 0,0051 \times ARGILA - 0,037 \times CO$ (Eq. 3)

Para os grupos S4 A S6: $DAP = 1,369 - 0,0042 \times ARGILA - 0,040 \times CO$ (Eq. 4)

Em alguns casos (*i.e.*, seis horizontes envolvidos em cálculos de CS), quando a concentração de carbono ultrapassava 15% e o DAP estimado apresentava valores menores do que 0,5 g/cm³, o DAP era fixado em 0,8 g/cm³. Este valor parece arbitrário, mas ele incorpora observações pessoais dos solos envolvidos e o fato de o conteúdo médio de argila para esses seis horizontes ser 39,5%.

2.4 Estimação dos valores representativos de carbono do solo para cada Associação Solo-Vegetação

2.4.1 Estrutura do mapa de Associações Solo-Vegetação (ASV)

O mapa ASV totaliza 17.945 unidades de mapeamento (8.257.846 km²) e a área restante (252.143 km²) foi considerada como água. As unidades de mapeamento (UM) foram reduzidas a 75 categorias das 90 possíveis (6 categorias de solos por 15 de vegetação). A superfície coberta por cada categoria de ASV é apresentada na Tabela A3 do Anexo. A categoria ASV com menor área foi a associação S1-V15 (Solos com argila de atividade alta, ocupados com Vegetação Lenhosa Oligotrófica), com 75 km². A categoria com maior área correspondeu à associação S2-V2 (Latosolos com argila de atividade baixa, ocupados com Floresta Amazônica Densa), com 956.196 km². A maioria das categorias ASV (45 no total) apresentou área menor do que 50.000 km², perfazendo um total de 654.660 km².

2.4.2 Representatividade da base de dados de perfis de solos

Dos 5.585 horizontes de solos disponíveis na base de dados, apenas 3.969 estavam suficientemente documentados para permitir o cálculo do Estoque de Carbono Representativo (ECR) até os 30 cm de profundidade. Para cada associação ASV foi determinado um valor de ECR (Tabela A4 do Anexo). Em razão de algumas categorias (17 ASV) apresentarem pequeno número de amostras (menos que cinco perfis), optou-se por trabalhar com a mediana e não com a média do ECR, em razão de os valores extremos influenciarem significativamente na média.

Apenas uma categoria do mapa (S1-V15), representando cerca de 0,001% da área total, não teve o ECR calculado. Para esta categoria foi utilizado o valor médio da categoria S1-V1, em razão da ocorrência de V15 (Vegetação Lenhosa Oligotrófica) estar sempre associada à ocorrência de V1 (Floresta Amazônica Aberta). Para a grande maioria dos perfis, entretanto, os valores de carbono de solo foram obtidos a partir de 30 ou mais perfis.

2.4.3 Valores de Estoques de Carbono Representativo (ECR)

Os valores de ECR variaram entre 1,51 kg C/m² (S4 Solos arenosos – V11 Estepe-NE) e 41,8 kg C/m² (S6 Outros Solos – V3 Floresta Atlântica). Mais de 75% da área de todas as categorias ASV obtiveram o ECR situado entre 3 e 6 kg C/m² e 41% entre 4 e 5 kg C/m².

Esses estoques de carbono estão em conformidade com os níveis mundiais da base de dados de solos WISE (*World Inventory of Soil Emission Potentials*). Batjes (1999) relatou que as médias mundiais dos valores de carbono para a camada de 0-30 cm são: 1,3 kg C/m² para solos minerais arenosos (*Arenosols*), 5,1, 4,1 e 5,7 kg C/m² para solos com argila de atividade baixa dos tipos *Acrisols*, *Nitosols* e *Ferralsols*, respectivamente, e 3,1 kg C/m² para solos com argila de atividade alta (*Luvissols*). Os subníveis húmicos exibiram valores em torno de 10 kg C/m². Num relatório recente, Batjes e Dijkshoorn (1999) calcularam valores de carbono para solos da bacia amazônica ligeiramente superiores (Tabela 1) para *Arenosols*, *Nitosols* e *Luvissols* (2,1, 5,7 e 4,7 kg C/m², respectivamente) e valores mais baixos para *Acrisols* e *Ferralsols* (4,4 e 5,1 kg C/m², respectivamente).

Tabela 1 – Estoques de carbono segundo WISE e Batjes e Dijkshoorn (1999)

Carbono de solos (0-30 cm)	WISE (kg C/m ²)	Bacia Amazônica (kg C/m ²)
<i>Arenosols</i>	1,3	2,1
<i>Acrisols</i>	5,1	4,4
<i>Nitosols</i>	4,1	5,7
<i>Ferralsols</i>	5,7	5,1
<i>Luvissols</i>	3,1	4,7

2.4.4 Total de carbono armazenado no país

O potencial de carbono na camada superior (0-30 cm) de solos nativos foi obtido através da combinação da tabela de ECR e do mapa das associações ASV. Os resultados mostram que 36,4 ± 3,4 Pg de carbono foram armazenados em 8.257.846 km².

Estimativas nacionais do carbono armazenado em solos no Brasil são escassas. Schroeder e Winjum (1995) estimaram em 72 Pg o carbono acumulado no metro superior da camada superficial de solos brasileiros para o ano base de 1990, de acordo com o IPCC. Os resultados destes autores foram baseados em uma abordagem que utilizou a classificação dos ecossistemas e do uso da terra a partir de dados do sensor AVHRR (STONE *et al.*, 1994), os quais foram combinados com apenas 12 medidas de carbono do solo publicadas anteriormente por Zinke *et al.* (1984).

Como são raras as medidas de carbono do solo publicadas, tem-se utilizado, para fins de comparação, relações entre medidas de carbono extraídas de perfis de diferentes profundidades. Por exemplo, Detwiler (1986) relatou razões entre medidas de carbono do solo para perfis com profundidades de 0-40 cm e de 0-100 cm em zonas tropicais e subtropicais. Nas zonas tropicais, o intervalo das razões ficou na faixa entre 0,35 e 0,80 e nas zonas subtropicais, entre 0,46 e 0,62. Batjes e Dijkshoorn (1999) encontraram razão de 0,52 entre CS de perfis de 0-30 cm e de 0-100 cm. Cerri *et al.* (2000) estimaram em 0,57 a razão entre perfis de 0-30cm e 0-100cm para solos da Amazônia Legal (0-30 cm = 23,4 Pg C; 0-100 cm = 41 Pg C). As medidas de carbono do solo estimadas para o Brasil neste relatório foram comparadas com as de Schroeder e Winjum (1995), calculando-se uma razão de 0,52 (36,4 Pg C/72 Pg C), que estaria dentro das expectativas.

Neste relatório, o estoque de carbono para a Amazônia Legal foi estimado em 22,7 Pg C, cujo valor é da mesma ordem de grandeza do encontrado por Cerri *et al.* (2000), estimado em 23,4 Pg C, e também por Batjes e Dijkshoorn (1999) que estimaram o carbono de 0-30 cm dos solos da Amazônia Legal em 25 Pg C. Entretanto, Cerri considera o valor atual (22,7 Pg C) uma estimativa mais precisa, em razão de ter sido considerada a variabilidade da vegetação.

2.4.4.1 Distribuição do estoque de carbono total

A Figura 3 mostra a distribuição espacial dos estoques de carbono no Brasil. As regiões que apresentam os maiores estoques de carbono são aquelas marcadas pela influência de solos hidromórficos, tais como as regiões do Pantanal, Ilha do Bananal e bacia Noroeste da Amazônia. Enquanto a parte Sul do Brasil (Campanha Gaúcha) apresentou alto estoque de carbono, a região Nordeste (Sertão) apresentou baixo estoque, o que demonstra a influência

marcante do clima nestas regiões. Na região Amazônica, observou-se que a floresta densa apresenta maior concentração de carbono de solo que a floresta aberta. Na região de Cerrado, o tipo de solo teve maior influência na quantidade de carbono.

Os estoques de carbono dos solos (\overline{SC}_n) na camada de 0 a 30 cm de solo, para cada estado e região, estão apresentados na Tabela 2. Os valores de \overline{SC}_n variaram entre 24,4 t C/ha (valor mais baixo - região Nordeste) e 63,9 t C/ha (valor mais alto - região Sul).

2.4.4.2 Precisão dos resultados e fontes de incertezas

Várias fontes de incerteza foram identificadas. A informação contida na base de dados de solos, por exemplo, é proveniente de fontes diversas e a incerteza relacionada a esse aspecto é difícil de ser mensurada. A falta de medidas de densidade aparente de solos e o uso de equações de regressão linear múltipla para estimá-las representam outras fontes de incerteza.

Outra fonte de incerteza refere-se ao uso de diferentes metodologias aplicadas pelos laboratórios para estimar o conteúdo de carbono dos solos. A precisão também varia de acordo com o método empregado. Infelizmente, o método Walkley e Black (1934) e a metodologia baseada em oxidação dicromática, considerados como aqueles que apresentam maiores incertezas, foram justamente os mais utilizados.

Figura 3 – Mapa do estoque de carbono de solos (0-30cm) nos solos brasileiros sob vegetação nativa

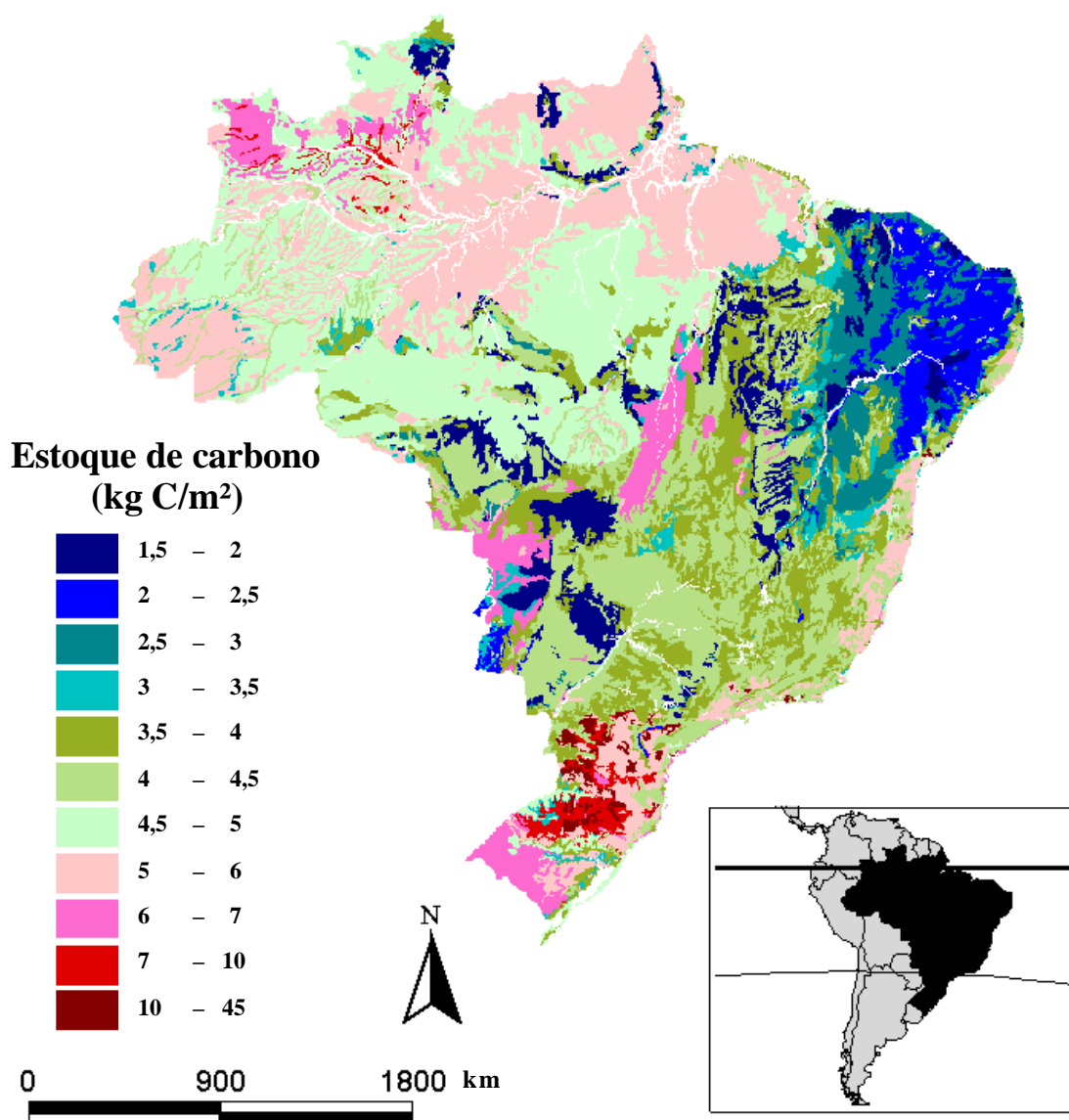


Tabela 2 – Estoque de carbono do solo representativo (\overline{SC}_n), de cada estado, para a camada superior de 30 cm

Estado/região	Sigla	Área total	Área de uso da terra	Carbono Total (0-30 cm) ¹	\overline{SC}_n
		km ²		Tg C	t C/ha
Rondônia	RO	239.349	235.465	1.067 ± 112	45,3 ± 4,7
Acre	AC	152.729	148.859	726 ± 135	48,8 ± 9,0
Amazonas	AM	1.572.800	1.564.144	7.477 ± 843	47,8 ± 5,4
Roraima	RR	225.960	221.155	1.017 ± 125	46,0 ± 5,7
Pará	PA	1.240.702	1.237.687	5.703 ± 444	46,1 ± 3,6
Amapá	AP	140.199	137.618	673 ± 61	48,9 ± 4,5
Tocantins	TO	277.606	277.606	1.124 ± 103	40,5 ± 3,7
Norte		3.849.345	3.822.534	17.789 ± 1.824	46,5 ± 4,8
Maranhão	MA	327.634	324.289	1.268 ± 114	39,1 ± 3,5
Piauí	PI	255.040	254.858	727 ± 45	28,5 ± 1,8
Ceará	CE	148.358	146.517	362 ± 24	24,7 ± 1,6
Rio Grande do Norte	RN	53.059	52.365	128 ± 10	24,4 ± 1,9
Paraíba	PB	56.844	56.434	143 ± 9	25,4 ± 1,6
Pernambuco	PE	97.961	98.511	262 ± 17	26,6 ± 1,7
Alagoas	AL	28.130	27.701	99 ± 9	35,8 ± 3,1
Sergipe	SE	21.501	20.470	60 ± 6	29,3 ± 2,7
Bahia	BA	562.182	559.598	1.836 ± 142	32,8 ± 2,5
Nordeste		1.550.709	1.540.743	4.886 ± 375	31,7 ± 2,4
Minas Gerais	MG	588.627	588.627	2.290 ± 107	38,9 ± 1,8
Espírito Santo	ES	45.929	45.309	215 ± 12	47,4 ± 2,8
Rio de Janeiro	RJ	44.126	41.978	225 ± 38	53,5 ± 9,1
São Paulo	SP	248.286	247.191	995 ± 46	40,3 ± 1,9
Sudeste		926.968	923.105	3.725 ± 204	40,3 ± 2,2
Paraná	PR	198.937	196.983	1.149 ± 124	58,3 ± 6,3
Santa Catarina	SC	95.073	93.603	598 ± 74	63,9 ± 7,9
Rio Grande do Sul	RS	271.592	269.076	1.641 ± 232	61,0 ± 8,6
Sul		565.602	559.661	3.388 ± 430	60,5 ± 7,7
Mato Grosso do Sul	MS	356.809	355.054	1.275 ± 125	35,9 ± 3,5
Mato Grosso	MT	907.035	905.533	3.876 ± 388	42,8 ± 4,3
Goiás	GO	343.962	344.417	1.415 ± 68	41,1 ± 2,0
Distrito Federal	DF	5.884	5.884	24 ± 1	41,3 ± 1,4
Centro-Oeste		1.613.690	1.610.888	6.591 ± 582	40,9 ± 3,6
Brasil		8.506.314	8.456.931	36.378 ± 3.414	43,0 ± 4,0

¹ Bernoux *et al.* (2001), para descrição detalhada do cálculo do carbono de solo sob vegetação nativa; Variações em torno de valores centrais são desvios-padrão.

3 Emissões de CO₂ pelos Solos Minerais por Mudanças de Uso da Terra no Brasil

3.1 Metodologia

A metodologia empregada seguiu a abordagem proposta pelo IPCC (1997). O cálculo foi baseado nas variações no estoque de carbono dos solos como uma função das mudanças de uso da terra para um período de 20 anos. As etapas dos cálculos são apresentadas a seguir:

- 1) Para um sistema particular de manejo/uso da terra (j) e um tipo de solo (i), a mudança líquida do carbono do solo no período de 20 anos até um determinado ano (t) (NC_{ij}) é igual a:

$$NC_{ij_t} = SC_{ij} (LA_{ij_t} - LA_{ij_{t-20}}) \quad (1)$$

sendo:

NC = mudança líquida de carbono do solo no período de 20 anos, em Tg;

SC = estoque de carbono do solo por área, para um determinado manejo/uso da terra e um determinado tipo de solo, em Mg C/ha;

LA = área cultivada, em Mha;

- 2) Para um determinado sistema de uso da terra recobrindo todos os tipos de solos, a mudança líquida no carbono do solo (NC_j) será:

$$NC_j = \sum_i NC_{ij} \quad (2)$$

- 3) A mudança líquida de carbono no solo para todos os sistemas de uso da terra (NC) será:

$$NC = \sum_j NC_j \quad (3)$$

Para se calcular a mudança líquida de carbono, seriam necessárias informações sobre a distribuição dos diferentes tipos de solos e práticas de uso da terra. Entretanto, para o Brasil, tais informações não estão disponíveis. A alternativa foi considerar, para uma dada região (estado), a mesma distribuição de tipos de solos para todas as categorias de uso para esta região (estado). Somente o estoque médio de carbono sob vegetação nativa (\overline{SC}_n) é necessário para esse cálculo. Portanto, para um dado sistema de uso da terra (j):

$$SC_{ij} = \overline{SC}_j = \overline{SC}_n \times IF_j \quad (4)$$

Onde IF_j é o Fator de Impacto que representa as mudanças no estoque nativo de carbono em função da mudança de uso da terra, integrando as práticas de manejo comumente utilizadas. A metodologia do IPCC (1997) propõe o seguinte cálculo para se determinar o IF:

$$IF = \text{fator de base} \times \text{fator intensidade de cultivo} \times \text{fator nível de entrada} \quad (5)$$

O fator de base representa a perda de carbono devido à conversão da vegetação nativa em determinado uso agrícola e varia em função do clima, do tipo de solo, do tempo de cultivo e do tipo de uso. O fator intensidade de cultivo varia em função das práticas de manejo do solo. Essas práticas, por sua vez, variam do uso de plantio direto à inversão completa dos solos através de aração e gradagem. O fator nível de entrada varia de acordo com a maior ou menor incorporação de matéria orgânica aos solos. Por exemplo, um nível baixo de entradas refere-se ao sistema de manejo que retira, queima os restos culturais ou deixa os solos expostos; um nível médio de entradas representa o tipo de manejo em que os resíduos culturais são deixados no solo; e os solos com alto nível de entradas representam solos que são enriquecidos com restos culturais, adubos orgânicos etc.

A Equação (2) poderia então ser escrita da seguinte forma:

$$NC_j = \sum_i NC_{ij} = \sum_i \overline{SC}_j (LA_{ij_t} - LA_{ij_{t-20}}) = \sum_i \overline{SC}_j (LA_{ij_t} - LA_{ij_{t-20}}) \quad (6)$$

Mas como $\sum_i LA_{ij,t} = LA_{j,t}$ e usando a Equação (4):

$$NC_j = \overline{SC}_n \times IF_j \times \sum_i (LA_{ij,t} - LA_{ij,t-20}) \quad (7)$$

Finalmente, a mudança líquida de carbono no solo pode ser calculada através de:

$$NC = \sum_j NC_j = \overline{SC}_n \sum_j IF_j (LA_{j,t} - LA_{j,t-20}) \quad (8)$$

3.2 Cálculo das emissões de CO₂

O dados necessários para o desenvolvimento do cálculo de mudanças líquidas de carbono de solo são, portanto, o estoque representativo de carbono (\overline{SC}_n) para cada estado na camada superior de 0-30cm de solo, calculado como descrito no capítulo 1, e as estatísticas de uso da terra por estado.

3.2.1 Estatísticas e categorias de uso da terra/manejo

As categorias de uso da terra foram definidas de acordo com as categorias definidas pelo IBGE (IBGE, 1970, 1975, 1980, 1985 e 1995-1996). São as seguintes as categorias de uso da terra definidas pelo IBGE:

- Cultura Permanente (CP): culturas que não requerem semeadura anual, como café, cacau, cítricos, banana, vinicultura, cana-de-açúcar, etc;
- Cultura Temporária (CT): culturas com um ciclo de duração menor do que um ano e que precisa ser semeada anualmente. Exemplos de tais culturas são arroz, milho, trigo, flores, etc;

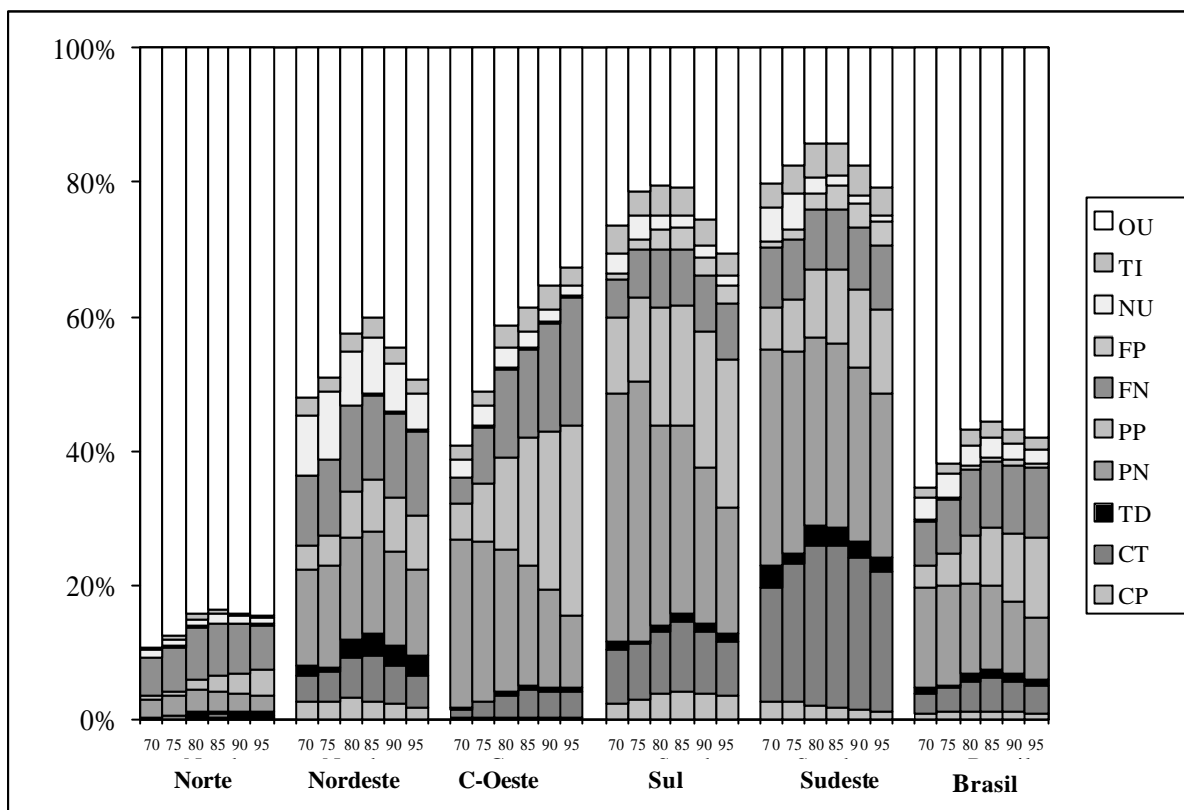
- Terra em Descanso (TD): terras normalmente usadas por culturas temporárias, mas temporariamente em descanso por um período menor do que quatro anos;
- Pastagens Naturais (PN): terras ocupadas com gramíneas nativas e usadas como pastagens;
- Pastagens Plantadas (PP): terras cultivadas com gramíneas e destinadas a pastagem;
- Floresta Nativa (FN): terras ocupadas por florestas nativas;
- Floresta Plantada (FP): terras cultivadas com florestas homogêneas, tais como pinheiro e eucalipto;
- Terras Produtivas Não Utilizadas (NU): terras que apresentam condições de cultivo (culturas, pastagens, florestas plantadas) e que não tenham sido utilizadas ou estejam em descanso por mais de quatro anos;
- Terras Impróprias (TI): terras inadequadas à agricultura (pântanos, rochedos etc) ou utilizadas como infra-estrutura, minas, reservatórios etc.

As estatísticas de uso da terra do Censo Agropecuário do IBGE são quinquenais e estão disponíveis, por estado, para os anos de 1970, 1975, 1980, 1985 e 1995 (IBGE, 1970, 1975, 1980, 1985 e 1995-1996). Como não existem estatísticas para os anos intermediários, elas foram obtidas através de interpolação linear.

O Censo Agropecuário do IBGE cobre apenas as áreas dos estabelecimentos rurais. O restante da área dos estados foi considerada como destinada a Outras Utilizações (OU).

A Figura 4 apresenta a evolução da estrutura de uso da terra para o Brasil e regiões. Mudanças ao longo do período de 20 anos, expressas em porcentagem e por categorias principais, são relacionadas na Tabela 3.

Figura 4 – Perfil de utilização das terras pelos estabelecimentos rurais, por região, para os quinquênios entre 1970 e 1995



Fonte: IBGE.

Complementação da legenda:

CP - Cultura Permanente; CT - Cultura Temporária; TD - Terra em Descanso; PN - Pastagens Naturais; PP - Pastagens Plantadas; FN - Floresta Nativa; FP - Floresta Plantada; NU - Terras Produtivas Não Utilizadas; TI - Terras Impróprias; OU - Área não utilizada por estabelecimentos rurais.

Tabela 3 – Mudança na participação de cada categoria de uso da terra no total da área dos estados e regiões, para os períodos de 1970-1990 e 1974-1994

Estado/Região	Período de 20 anos									
	1970 – 1990					1974 - 1994				
	Culturas CP/CT/TD	Pastagens PN/PP	Florestas FN/FP %	Não Util. NU/TI	OU	Culturas CP/CT/TD	Pastagens PN/PP	Florestas FN/FP %	Não Util. NU/TI	OU
Rondônia	2,1	8,0	11,2	-0,4	-21,0	1,4	10,8	11,0	0,7	-23,9
Acre	0,6	2,7	3,2	0,3	-6,8	0,5	3,2	-8,5	0,3	4,6
Amazonas	0,2	-0,4	-0,7	0,3	0,6	0,1	0,1	-1,5	-0,4	1,8
Roraima	0,5	1,1	3,8	0,4	-5,8	0,6	0,9	3,8	0,4	-5,8
Pará	0,7	3,6	3,1	0,2	-7,7	0,4	3,6	1,9	-0,3	-5,6
Amapá	3,0	0,4	2,2	0,5	-6,0	5,1	-0,5	1,4	-0,4	-5,5
Tocantins	2,4	15,9	-5,1	0,2	-13,5	1,3	9,3	-3,1	-0,7	-6,7
Norte	0,8	2,8	1,5	0,2	-5,3	0,6	2,7	0,4	-0,3	-3,4
Maranhão	5,0	6,2	1,2	-4,5	-8,0	2,9	5,0	-0,1	-5,8	-2,0
Piauí	3,0	-1,5	-0,5	0,7	-1,7	2,1	-4,4	2,8	-2,9	2,4
Ceará	0,5	-6,7	5,1	-3,8	4,8	-0,5	-6,6	1,9	-6,8	12,0
Rio Gr. do Norte	1,5	-9,8	-7,0	-4,2	19,5	0,0	-8,4	-4,7	-0,6	13,7
Paraíba	-1,0	-2,5	1,1	-2,1	4,5	-4,4	-2,2	-0,4	-2,8	9,8
Pernambuco	1,2	-3,0	10,4	-5,4	-3,3	-1,4	-5,4	5,9	-5,4	6,2
Alagoas	13,7	5,0	-4,4	-10,9	-3,4	6,9	3,7	-4,8	-9,6	3,9
Sergipe	3,8	9,6	0,1	-7,5	-6,0	3,1	1,4	-1,7	-5,8	3,0
Bahia	3,3	10,2	4,0	0,1	-17,6	3,5	6,7	2,5	-2,6	-10,1
Nordeste	3,2	3,7	2,5	-2,0	-7,4	2,1	1,5	1,6	-4,0	-1,2
Minas Gerais	2,1	-4,4	7,7	-1,2	-4,3	1,5	-9,8	5,3	-1,2	4,3
Espírito Santo	5,7	0,4	1,9	-4,8	-3,2	4,5	-5,4	0,5	-5,2	5,5
Rio de Janeiro	-3,5	-1,9	-3,5	-4,2	13,2	-5,8	-6,4	-4,0	-6,1	22,3
São Paulo	4,4	-7,9	0,0	-1,7	5,2	1,5	-9,0	-1,2	-2,6	11,4
Sudeste	2,7	-5,0	4,9	-1,7	-0,9	1,3	-9,2	2,9	-2,0	7,1
Paraná	4,1	9,3	3,4	-6,0	-10,8	-0,7	8,7	2,4	-7,1	-3,4
Santa Catarina	0,3	-0,7	3,2	-1,4	-1,4	0,0	-0,7	3,0	-4,4	2,0
Rio Gr. do Sul	4,3	-8,6	2,1	-0,9	3,1	0,9	-7,9	2,1	-1,2	6,2
Sul	3,6	-1,0	2,7	-2,8	-2,5	0,2	-0,9	2,4	-3,8	2,1
Mato Gr. do Sul	3,3	-0,7	4,3	-0,3	-6,7	1,1	2,2	4,8	-1,6	-6,4
Mato Grosso	2,8	10,4	18,8	2,1	-34,1	3,1	11,1	16,5	0,7	-31,5
Goiás	3,6	8,2	4,2	-1,9	-14,0	1,0	-0,2	3,8	-2,3	-2,3
Distrito Federal	11,2	1,6	5,5	0,4	-18,7	10,1	-1,4	5,5	-2,4	-11,9
Centro-Oeste	3,1	7,4	12,4	0,7	-23,7	2,3	6,7	11,2	-0,4	-19,6
BRASIL	2,1	2,8	4,2	-0,5	-8,5	1,2	1,7	3,1	-1,4	-4,6

¹ Valores negativos indicam uma regressão da área ocupada pela categoria ao longo do período.

3.2.2 Fatores de Impacto

São escassos os dados para que os Fatores de Impacto (fator de base, fator intensidade de cultivo e fator nível de entrada) sejam estimados para os trópicos. Na ausência de dados específicos para o Brasil, os diferentes fatores utilizados foram obtidos a partir dos coeficientes sugeridos pelo IPCC (1997) para regiões tropicais, os quais são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Fatores usados para as diferentes categorias de uso da terra

Categoria de uso da terra ¹	Fator de base (a)	Fator intensidade de cultivo (b)	Fator nível de entrada (c)	Fator de Impacto IF = a . b . c
Culturas ² : CP / CT / TD	0,6	0,9	0,8	0,432
Pastagens ³ : PN / PP	0,9	NA ⁴	NA	0,9
Florestas ⁵ : FN / FP	1,0	NA	NA	1,0
Outros ⁵ : NU / TI / OU	1,0	NA	NA	1,0

¹ Veja significado das abreviações em 2.2;

² O fator intensidade de cultivo corresponde ao nível pleno (com aração e gradagem) e o fator nível de entrada a um nível baixo de entradas (manejo de solos sem incorporação de matéria orgânica);

³ Considerando 50% das pastagens não melhoradas (MACEDO, 1995; SPAIN *et al.*, 1996), com um fator base associado de 0,7, e 50% da pastagem melhorada, com fator de base de 1,1;

⁴ Não aplicável;

⁵ Fixados, arbitrariamente, em 1,0.

3.2.3 Fluxos anuais de CO₂ por estado

A Tabela 5 mostra os fluxos de CO₂ calculados para cada estado e região. Os fluxos anuais indicam que os solos brasileiros são emissores de CO₂, embora as emissões tenham sido reduzidas quase à metade, de 93,3 Tg CO₂ no período de 1970-1990 para 55,8 Tg CO₂ no período de 1974-1994. Esse padrão foi observado para a maioria dos estados, embora alguns, como Mato Grosso, Amapá e Roraima, tenham apresentado aumento.

Os fluxos de 25.434 Gg C (*i.e.*, 93.259 Gg CO₂), em 1990, e 15.210 Gg C (*i.e.*, 46.396 Gg CO₂), em 1994, representaram cerca de 0,07% e 0,04 %, respectivamente, do total de carbono original dos solos brasileiros (camada de 0-30 cm).

Schroeder e Winjum (1995) estimaram as perdas de carbono dos solos em 80.000 Gg C/ano (*i.e.*, 293.300 Gg CO₂/ano) devido à conversão de florestas e à perda continuada do carbono de solos proveniente de práticas de manejo intensivo. Os valores estimados para este relatório representam 32% (1990) e 19% (1994) do valor calculado por Schroeder e Winjum (1995). Essa discrepância pode ser atribuída ao uso de um período de 20 anos e, mais provavelmente, devido ao fato de Schroeder e Winjum (1995) contarem com apenas alguns dados para obterem tal estimativa.

Tabela 5 – Fluxos anuais de CO₂ para as regiões e estados brasileiros

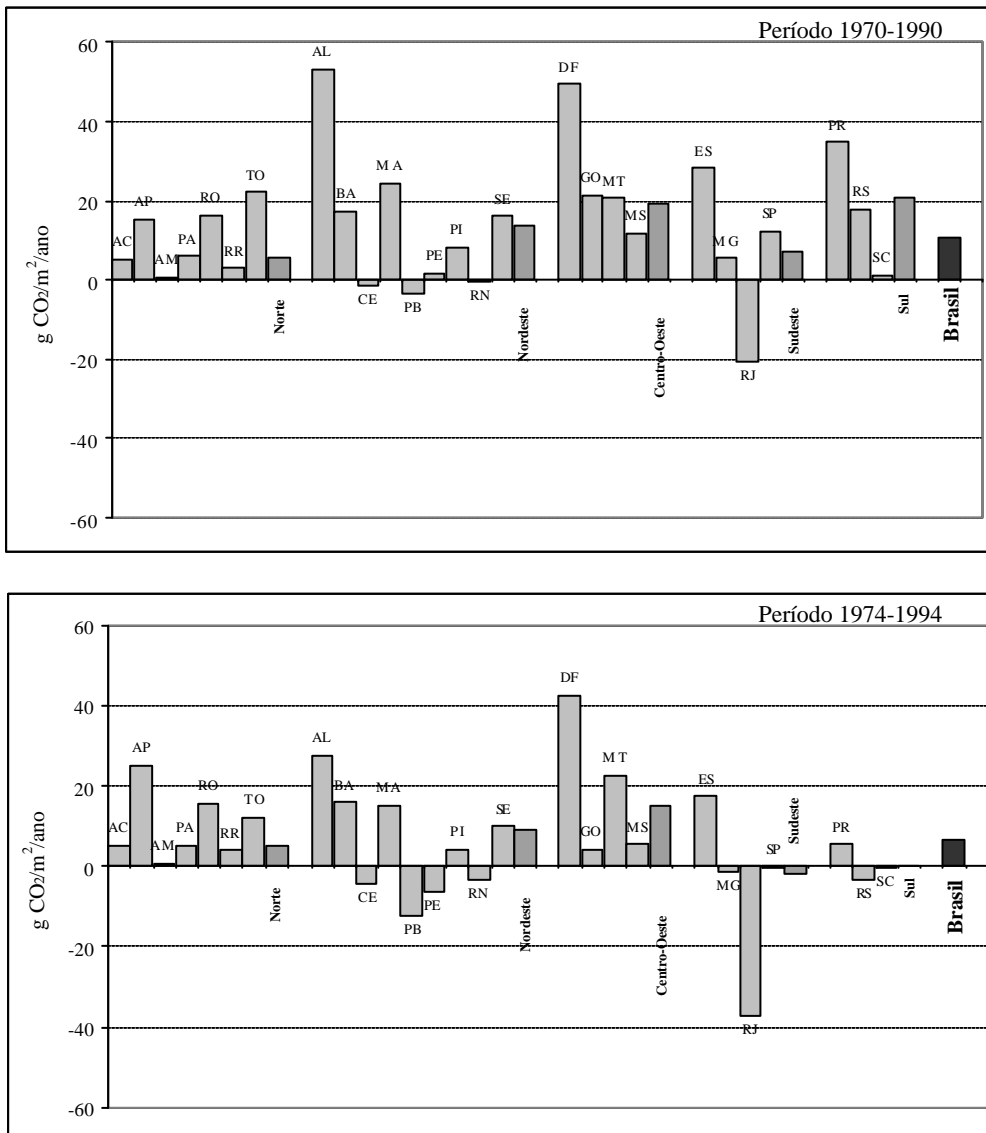
Estado/região	Período de 20 anos					
	1970-1990	1971-1991	1972-1992	1973-1993	1974-1994	1975-1995
Rondônia	3.939	3.881	3.823	3.765	3.707	3.649
Acre	805	801	798	795	792	789
Amazonas	1.173	1.063	953	843	733	622
Roraima	699	736	773	810	847	884
Pará	7.653	7.324	6.995	6.666	6.336	6.007
Amapá	2.148	2.494	2.839	3.185	3.530	3.876
Tocantins	6.100	5.422	4.744	4.066	3.388	2.709
Norte	22.517	21.721	20.925	20.129	19.332	18.536
Maranhão	8.040	7.277	6.514	5.750	4.987	4.224
Piauí	2.076	1.815	1.554	1.293	1.033	772
Ceará	-240	-337	-433	-529	-626	-722
Rio Grande do Norte	-29	-71	-113	-155	-197	-239
Paraíba	-210	-337	-464	-592	-719	-847
Pernambuco	182	-23	-229	-434	-640	-845
Alagoas	1.500	1.319	1.137	956	774	593
Sergipe	342	309	276	242	209	176
Bahia	9.772	9.556	9.340	9.125	8.909	8.694
Nordeste	21.433	19.507	17.582	15.657	13.731	11.806
Minas Gerais	3.282	2.300	1.318	336	-647	-1.629
Espírito Santo	1.300	1.175	1.050	925	800	675
Rio de Janeiro	-909	-1.089	-1.268	-1.447	-1.627	-1.806
São Paulo	3.076	2.286	1.495	704	-86	-877
Sudeste	6.749	4.672	2.595	517	-1.560	-3.637
Paraná	6.910	5.443	3.976	2.509	1.042	-425
Santa Catarina	106	63	20	-23	-66	-110
Rio Grande do Sul	4.819	3.395	1.970	546	-878	-2.303
Sul	11.835	8.901	5.966	3.031	97	-2.838
Mato Grosso do Sul	4.249	3.675	3.101	2.527	1.953	1.379
Mato Grosso	18.800	19.237	19.674	20.111	20.548	20.985
Goiás	7.385	5.893	4.401	2.909	1.418	-74
Distrito Federal	291	281	270	260	250	239
Centro-Oeste	30.725	29.086	27.447	25.808	24.169	22.530
BRASIL	93.259	83.887	74.514	65.142	55.769	46.396

 Unidade: Gg CO₂/ano;

Valores positivos representam emissões líquidas de carbono e valores negativos, absorção.

A emissão líquida média do Brasil diminuiu de 11,0 g CO₂/m²/ano, em 1990, para 6,6 g CO₂/m²/ano, em 1994. A Figura 5 mostra as emissões por estado em duas datas. Em 1990, observou-se que as maiores taxas (>30 g CO₂/m²/ano) ocorreram no Distrito Federal, Alagoas e Paraná. Entretanto, em 1994, somente o Distrito Federal manteve essa taxa. A taxa de emissão para Alagoas diminuiu abruptamente, enquanto no Paraná houve absorção líquida de carbono. Grandes diferenças foram observadas entre estados. Quanto às regiões, Sudeste e Sul foram as que apresentaram as maiores variações entre as duas datas (Sudeste: 7,3 g CO₂/m²/ano, em 1990, para -1,7 g CO₂/m²/ano, em 1994; Sul: 20,9 g CO₂/m²/ano, em 1990, para 0,2 g CO₂/m²/ano, em 1994).

Figura 5 – Taxas de emissões médias de CO₂ para os períodos 1970-1990 e 1974-1994



3.2.4 Avaliação da incerteza

Várias fontes de incerteza foram identificadas. O \overline{SC}_n , por exemplo, utilizado no cálculo dos fluxos de CO₂, mostrou um desvio padrão em torno de 10%, chegando a 18,5% no Acre. Outra importante fonte de incertezas está relacionada aos valores dos Fatores de Impacto. Se, por exemplo, o IF utilizado fosse aumentado do valor 0,1 em cada categoria de uso, os fluxos anuais seriam alterados de forma significativa, conforme ilustra a Tabela 6. Essa observação mostra a necessidade de valores mais precisos, principalmente com relação à pastagem, categoria de maior importância, separando-a em subcategorias de pastagens melhoradas e não melhoradas, embora não haja disponibilidade de dados atualmente.

Tabela 6 – Análise de sensibilidade à variação dos Fatores de Impacto, para o período 1974-1994

Regiões	Período 1974-1994 (Fatores de Impacto básicos)	Período 1974-1994 (Fatores de Impacto aumentados em +0,1)
	Gg CO ₂ /ano	Gg CO ₂ /ano
Norte	19.333	8.988
Nordeste	13.731	9.702
Centro-Oeste	24.169	13.061
Sudeste	-1.560	3.858
Sul	97	595
BRASIL	55.769	36.203

Os resultados da Tabela 6 mostram que, para o período 1974-1994, as emissões diminuiriam significativamente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, o Sudeste passaria a ser emissor e o Sul aumentaria suas emissões. Em resumo, considerando a variação de +0,1 nos Fatores de Impacto, as emissões de CO₂ do país por mudanças de estoque para o período analisado (1974-1994) seriam reduzidas em cerca de 35%.

Estas considerações indicam que mais pesquisas são necessárias para gerar estimativas mais precisas dos fluxos de CO₂ provenientes de solos.

4 Emissões de CO₂ Decorrentes da Reação de Neutralização por Calcários Utilizados na Agricultura

De acordo com a metodologia do IPCC (1997), as emissões de CO₂ associadas ao uso de calcário para combater a acidez de solos agrícolas podem ser calculadas a partir da composição e da quantidade aplicada anualmente no país. As quantidades são multiplicadas por um fator de emissão (0,120 tCO₂ / tCaCO₃ e 0,122 tCO₂ / tCaMg(CO₃)₂). As informações utilizadas foram as quantidades de calcário agrícola comercializadas anualmente no Brasil no período entre 1990 a 1994, por estado, fornecidas pela ABRACAL (Associação Brasileira de Produtores de Calcário Agrícola). Devido à falta de dados mais detalhados sobre a composição do calcário vendido no país (carbonato de cálcio e magnésio), assumiu-se que o calcário consumido no país seja composto basicamente de carbonato de cálcio.

As emissões anuais de CO₂ (Tg/ano) decorrentes da utilização de calcário foram estimadas em 5,10 Tg de CO₂ e 8,99 Tg CO₂ para os anos de 1990 e 1994, respectivamente. A Tabela 7 apresenta os cálculos por estado e por região.

Tabela 7 – Emissões anuais de CO₂ decorrentes da utilização de calcário na agricultura

Estado/região	Quantidade de calcário (t/ano)						Emissão anual de CO ₂ (Gg/ano)					
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Rondônia	0	0	0	7.000	7.000	0	0	0	0	3	3	0
Acre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amazonas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roraima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pará	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amapá	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NORTE	0	0	0	7.000	7.000	0	0	0	0	3	3	0
Maranhão	80.000	120.000	173.000	140.000	400.000	180.000	35	53	76	62	176	79
Piauí	0	0	0	0	0	30.000	0	0	0	0	0	13
Ceará	0	0	0	0	0	65.000	0	0	0	0	0	29
Rio Grande do Norte	0	0	0	0	0	17.000	0	0	0	0	0	7
Paraíba	0	0	0	0	30.000	15.000	0	0	0	0	13	7
Pernambuco	0	0	0	90.000	157.000	60.000	0	0	0	40	69	26
Alagoas	0	0	0	65.000	105.000	60.000	0	0	0	29	46	26
Sergipe	0	0	190.000	20.000	35.000	0	0	0	84	9	15	0
Bahia	105.000	100.000	115.000	270.000	420.000	148.100	46	44	51	119	185	65
NORDESTE	185.000	220.000	478.000	585.000	1.147.000	575.100	81	97	210	257	505	253
Minas Gerais	1.600.000	1.700.000	1.800.000	2.300.000	2.341.000	1.769.600	704	748	792	1012	1030	779
Espírito Santo	70.000	180.000	0	120.000	130.000	131.200	31	79	0	53	57	58
Rio de Janeiro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
São Paulo	2.116.900	2.200.000	3.430.000	3.611.000	4.567.000	3.362.000	931	968	1509	1589	2009	1479
SUDESTE	3.786.900	4.080.000	5.230.000	6.031.000	7.038.000	5.262.800	1666	1795	2301	2654	3097	2316
Paraná	3.200.000	2.000.000	2.073.000	2.812.000	3.481.000	1.852.000	1408	880	912	1237	1532	815
Santa Catarina	84.500	70.000	950.000	734.000	767.000	703.000	37	31	418	323	337	309
Rio Grande do Sul	1.841.000	1.175.000	2.818.000	3.696.000	3.122.000	1.392.000	810	517	1240	1626	1374	612
SUL	5.125.500	3.245.000	5.841.000	7.242.000	7.370.000	3.947.000	2255	1428	2570	3186	3243	1737
Mato Grosso do Sul	670.000	900.000	520.000	1.076.000	1.044.000	390.000	295	396	229	473	459	172
Mato Grosso	621.300	1.000.000	1.426.000	2.228.000	2.284.000	708.900	273	440	627	980	1005	312
Tocantins	210.000	300.000	151.000	550.000	60.000	30.000	92	132	66	242	26	13
Goiás	1.000.000	800.000	1.762.000	1.940.000	1.485.000	1.180.000	440	352	775	854	653	519
Distrito Federal	0	180.000	0	0	0	0	0	79	0	0	0	0
CENTRO-OESTE	2.501.300	3.180.000	3.859.000	5.794.000	4.873.000	2.308.900	1101	1399	1698	2549	2144	1016
BRASIL	11.598.700	10.725.000	15.408.000	19.659.000	20.435.000	12.093.800	5103	4719	6780	8650	8991	5321

5 Emissões Líquidas Totais de CO₂ Provenientes de Solos por Mudança de Uso da Terra e Calagem

As emissões totais de CO₂ provenientes de mudanças de estoque de carbono em solos minerais por mudanças de uso da terra e manejo, bem como por calagem, são apresentadas por estado e região na Tabela 8. As emissões totais de 1990 foram estimadas em 98,4 Tg CO₂, enquanto as emissões totais de 1994, em 64,8 Tg CO₂.

Tabela 8 – Emissões totais de CO₂ por mudanças de estoque de carbono em solos minerais e por calagem entre 1990 e 1995

Estado / Região	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Rondônia	3,94	3,88	3,82	3,77	3,71	3,65
Acre	0,80	0,80	0,80	0,80	0,79	0,79
Amazonas	1,17	1,06	0,95	0,84	0,73	0,62
Roraima	0,70	0,74	0,77	0,81	0,85	0,88
Pará	7,65	7,32	6,99	6,67	6,34	6,01
Amapá	2,15	2,49	2,84	3,18	3,53	3,88
Tocantins	6,19	5,55	4,81	4,31	3,41	2,72
Norte	22,61	21,85	20,99	20,37	19,36	18,55
Maranhão	8,07	7,33	6,59	5,81	5,16	4,30
Piauí	2,08	1,81	1,55	1,29	1,03	0,79
Ceará	-0,24	-0,34	-0,43	-0,53	-0,63	-0,69
Rio Grande do Norte	-0,03	-0,07	-0,11	-0,16	-0,20	-0,23
Paraíba	-0,21	-0,34	-0,46	-0,59	-0,71	-0,84
Pernambuco	0,18	-0,02	-0,23	-0,39	-0,57	-0,82
Alagoas	1,50	1,32	1,14	0,98	0,82	0,62
Sergipe	0,34	0,31	0,36	0,25	0,22	0,18
Bahia	9,82	9,60	9,39	9,24	9,09	8,76
Nordeste	21,51	19,60	17,79	15,91	14,24	12,06
Minas Gerais	3,99	3,05	2,11	1,35	0,38	-0,85
Espírito Santo	1,33	1,25	1,05	0,98	0,86	0,73
Rio de Janeiro	-0,91	-1,09	-1,27	-1,45	-1,63	-1,81
São Paulo	4,01	3,25	3,00	2,29	1,92	0,60
Sudeste	8,42	6,47	4,90	3,17	1,54	-1,32
Paraná	8,32	6,32	4,89	3,75	2,57	0,39
Santa Catarina	0,14	0,09	0,44	0,30	0,27	0,20
Rio Grande do Sul	5,63	3,91	3,21	2,17	0,50	-1,69
Sul	14,09	10,33	8,54	6,22	3,34	-1,10
Mato Grosso do Sul	4,54	4,07	3,33	3,00	2,41	1,55
Mato Grosso	19,07	19,68	20,30	21,09	21,55	21,30
Goiás	7,83	6,25	5,18	3,76	2,07	0,44
Distrito Federal	0,29	0,36	0,27	0,26	0,25	0,24
Centro-Oeste	31,73	30,35	29,08	28,12	26,29	23,53
BRASIL	98,36	88,61	81,29	73,79	64,76	51,72

Unidade: Tg CO₂/ano

Referências Bibliográficas

- BALESDENT, J. e ARROUAYS, D., 1999. *An estimate of the net annual carbon storage in French soils induced by land use change from 1990 to 1999*. Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 85, 6, 265-277.
- BATJES, N.H., 1999. *Total carbon and nitrogen in the soils of the world*. Eur. J. Soil Sci., 47:151-163.
- BATJES, N.H. e DIJKSHOORN, J. A., 1999. *Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon region*. Geoderma, 89:273-286.
- BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; VOLKOFF, B. *et al.*, 1998. *Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties*. Soil Sci. Soc. Am. J., 62:743-749.
- BERNOUX, M; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B. *et al.*, 2001. *Brazil's soil carbon stocks*. Submetido à Soil Science Society of America Journal.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B. *et al.*, 2001. *CO₂ emission from mineral soils following land-cover change in Brazil*. Global Change Biology. Em impressão.
- BERNOUX, M.; GRAÇA, P.M.A.; FEARNside, P.M. *et al.*, 2001. *Carbon storage in biomass and soils*. - In M. McClain et al. (ed.) *The Biogeochemistry of the Amazon Basin and its Role in a Changing World*. Oxford University Press, 416 pp.
- BOUWMAN, A.F., 1990. *Global distribution of the major soils and land cover types*. p. 31-59. - In BOUWMAN, A.F. (ed.) *Soils and the greenhouse effect: proceedings of the international conference on soils and the greenhouse effect*. John Wiley and Sons, New York.
- BOWMAN, R.A., 1998. *A reevaluation of the chromic acid colorimetric procedure for soil organic carbon*. Com. Soil Sci. Plant Anal, 29:501-508.
- BROWN, S. e LUGO, A.E., 1982. *The storage and production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle*. Biotropica, 4:161-187.
- BROWN, S. e LUGO, A.E., 1990. *Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen contents of soil in Porto Rico and U.S. Virgin Islands*. Plant and Soil, v.124, p.53-64.
- CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ARROUAYS, D. *et al.*, 2000. *Carbon pools in soils of the Brazilian Amazon*. p. 33-50. - In Lal et al. (ed.) *Global Climate Change and Tropical Ecosystems. Advances in Soil Science*. CRC Press, Boca Raton.

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B. e ANDRAUX, F., 1991. *Nature and behaviour of organic matter in soils under natural forest, and after deforestation, burning and cultivation, near Manaus*. Forest Ecology and Management, v.38, p.247-257.

DAY, P.R., 1965. *Particle fractionation and particle-size analysis*. p. 545-567. In C.A. Black et al. (ed.) *Methods of soil analysis*. Part. 1. Agron. Monogr. 9, ASA, Madison, WI.

DETWILER, R.P., 1986. *Land use change and the global carbon cycle: The role of tropical soils*. Biogeochemistry 2:67-93.

DIXON, R.K.; BROWN, S.; HOUGHTON, R.A. et al., 1994 *Carbon pools and flux of global forest ecosystems*. Science, 263:1985-1990.

EMBRAPA, 1981. *Mapa de Solos do Brasil*, escala 1:5,000,000. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro.

EMBRAPA/SNLCS, 1978-1980. *Boletim Técnico nº 45, 53, 57, 62, 65-67, 72*. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solos, Rio de Janeiro.

ESWARAN, H.; VAN DEN BERG, E. e REICH, P., 1993. *Organic carbon in soils of the world*. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:192-194.

FEARNSIDE, P.M. e BARBOSA, R.I., 1998. *Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia*. Forest Ecology and Management, v.108, p.147-166.

HOUGHTON, R.A.; BOONE, R.D.; FRUCI, J.R. et al., 1987. *The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: geographic distribution of the global flux*. Tellus, 39B, 122-139.

IBGE, 1970. *Censo agropecuário 1970: Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE.

_____, 1975. *Censo agropecuário 1975: Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE.

_____, 1980. *Censo agropecuário 1980: Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE.

_____, 1985. *Censo agropecuário 1985: Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE.

_____, 1995-96. *Censo agropecuário 1995-96: Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE.

_____, 1988. *Mapa de vegetação do Brasil*, escala 1:5,000,000. IBGE, Rio de Janeiro.

_____, 1986-1987. *Projeto RADAM-BRASIL. Levantamento de Recursos Naturais*, IBGE, Rio de Janeiro, Vol. 33-34.

IPCC, OECD, IEA, 1997. *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Bracknell: UK.

MACEDO, J., 1995. *Perspectives for the rational use for the Brazilian cerrados for food production*. EMBRAPA/CPAC, Planaltina-DF, Brazil, 19pp.

MORAES, J.L.; CERRI, C.C.; MELILLO, J.M. *et al.*, 1995. *Soil carbon stocks of the Brazilian Amazon basin*. Soil Sci. Soc. Am. J., 59:244-247.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA., 1973-1983 *Projeto RADAMBRASIL, programa de integração nacional. Levantamento de Recursos Naturais*, Vol. 1-32. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro.

NEILL, C.; MELILO, J.; STEUDLER, P.A.; CERRI, C.C.; MORAES, J. F. L; PICCOLO, M. C. e BRITO M., 1997. *Soil carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon*. Ecological Applications, v.7, n.4, p.1216-1225.

NELSON, D.W. e SOMMERS, L.E., 1982 *Total carbon, organic carbon, and organic matter*. p. 539-547. - In A.L. Page (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd Ed. Agronomy 9. ASA, Madison, WI.

NEPSTAD, D.C.; UHL, C. e SERRÃO, A.E.S., 1991. *Recuperation of a degraded Amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration*. Ambio, v.20, p.248-255.

PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V. *et al.*, 1987. *Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains*. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:1173-1179.

PASTOR, J. e POST, W.M., 1986. *Influence of climate, soil moisture and succession on forest carbon and nitrogen cycles*. Biogeochemistry, 2:3-27.

POST, W.M.; EMMANUEL, W.R.; ZINKE, P. J. *et al.*, 1982. *Soil carbon pools and world life zones*. Nature, 298:156-159.

SCHLESINGER, W.H., 1986. *Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery*. In: TRABALKA, J.R. & REICHLE (Eds). *The changing carbon cycle: a global analysis*. New York: Spring-Verlag. p.194-220.

SCHROEDER, P.E.; WINJUM, J.K., 1995. *Assessing Brazil's carbon budget: I. Biotic carbon pools*. Forest Ecol. Manag., 75:77-86.

SCHROEDER, P.E.; WINJUM, J.K., 1995. *Assessing Brazil's carbon budget: II. Biotic fluxes and net carbon balance*. Forest Ecology and Management, 75, 87-99.

SECRETARIAT FOR NATIONAL RESOURCES AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT, ARGENTINE REPUBLIC, 1999. *Revision of the First national*

Communication according to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Buenos Aires, 96 pp.

SPAIN, J.M.; AYARZA, M.A. e VILELA, L., 1996. *Crop pasture rotations in the Brazilian cerrados*. - In: *International Symposium on tropical savannas* (eds Pereira RC, Nasser CB), pp. 39-45. EMBRAPA/CPAC, Planaltina-DF, Brasil.

SOMBROEK, W.G.; NACHTERGAELE, F.O. e HEBEL, A., 1993. *Amounts, dynamics and sequestration of carbon in tropical and subtropical soils*. *Ambio*, 22:417-426.

TIESSEN, H. e MOIR, J.O., 1993 Total and organic carbon.p. 187-199. - In M.R. CARTE (ed.) *Soil sampling and methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

TURNER, D.P.; WINJUM, J.K.; KOLCHUGINA, T.P. *et al.*, 1998. *Estimating the terrestrial carbon pools of the former Soviet Union, conterminous US and Brazil*. *Climate Research*, 9:183-196.

UNFCCC, 1998. *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, - In: *Report of the Conference of the Parties on its Third Session, Held at Kyoto from 1 to 11 December 1997 – Addendum: Part two: Action Taken by the Conference of the Parties at its Third Session*, pp. 7-27. UNFCCC document FCCC/CP/1997/7/Add. 1, 60 pp.

USDA., 1996. *Chemical analyses, organic carbon (6A) WALKLEY-BLACK modified acid-dichromate organic carbon (6A1)*. p. 219-222. In *Soil survey laboratory methods manual*. Soil Survey Investigations Report n° 42, Version 3.0, January 1996. US Department of Agriculture, Washington, DC, USA, 693 p.

VEIGA, J.B. e SERRÃO, E.E., 1987. *Recuperación de pasturas en la región este de la Amazônia Brasileira*. - *Pasturas Tropicales*, v.9, p.40-43.

WALKLEY, A. e BLACK, J.A., 1934. *An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic titration method*. *Soil Sci.*, 37:29-38.

WHITTAKER, R.H. e LIKENS, G.E., 1975. *The biosphere and man*. In H. LIETH e R.H. WHITTAKER (ed.) *Primary production of the biosphere*. Ecological Studies 14 Springer Verlag, Heidelberg, Berlin, New-York.

Anexo

Tabelas do cálculo do estoque de carbono em solos brasileiros

Lista de Tabelas

	Página
TABELA A1 – Categorias de solos e suas relações com as classes originais do mapa de solos EMBRAPA/FAO	51
TABELA A2 – Categorias de vegetação e suas relações com os grupos originais, subgrupos e classes do mapa de vegetação do IBGE/FAO	52
TABELA A3 – Número de unidades mapeadas e correspondente área das categorias de Associação Solo-Vegetação	54
TABELA A4 – Estoque de carbono representativo (ECR) por categoria de Associação Solo-Vegetação	55

Tabela A1 – Categorias de solos e suas relações com as classes originais do mapa de solos EMBRAPA/FAO

Grupos de solos	Unidades de mapeamento	Código	Relação com a legenda original do mapa de solos da EMBRAPA	Área (km ²)
Solos (argila de atividade alta)	208	S1	Podzólico (31 unidades - 231.812 km ²), <i>Alfisols</i> :	651.802
			- Vermelho-Amarelo eutrófico Ta (16 unidades - 111.888 km ²)	
			- Vermelho-Amarelo Ta Tb associado com o solo Ta (7 unidades - 73.992 km ²)	
			- Bruno (6 unidades - 45.234 km ²)	
			- Plíntico eutrófico Ta (2 - 699 km ²)	
			Solo Litólico (100 unidades - 191.741 km ²), <i>Lithic</i> - vários subgrupos:	
			- Eutrófico (84 unidades - 172.551 km ²)	
			- Húmico (12 unidades - 15.146 km ²)	
			- Rendzina (4 unidades - 4.044 km ²)	
			Solo Bruno não cálcico (24 unidades - 101.895 km ²), <i>Ustalf</i> ;	
			Regossolo (29 unidades - 44.789 km ²), várias subordens <i>regic</i> ;	
			Cambissolo eutrófico Ta (8 unidades - 41.127 km ²), <i>Inceptisols</i> ;	
			Brunizem (16 unidades - 40.437 km ²), <i>Chernozems</i> .	
Latossolos (argila de atividade baixa)	689	S2	Latossolos (689 unidades), <i>Oxisols</i> .	3.305.725
Não-Latossolos (argila de atividade baixa)	1.008	S3	Podzólico (555 unidades - 1.941.839 km ²), <i>Ultisols</i> ;	2.752.408
			- Vermelho- amarelo distrófico Tb (306 unidades - 1.205.935 km ²)	
			- Other Podzólicos Tb (249 unidades - 735.904 km ²)	
			Solo Litólico distrófico (277 unidades - 418.699 km ²), vários <i>Lithic</i> subgrupos	
			Cambissolo (104 unidades - 192.154 km ²), <i>Inceptisols</i> :	
			- distrófico Tb (73 unidades - 123.789 km ²)	
			- Outros Cambissolos TbTa associados com solos Tb (31 unidades - 68.365 km ²)	
			Terra Estruturada (50 unidades - 126.296 km ²), <i>Ultisols</i> .	
Solo concrecionário Indiviso (22 unidades - 73.421 km ²), <i>Ultisols</i> .				
Solos Arenosos	257	S4	Areia Quartzosa (194 unidades - 544.743 km ²), <i>Psamment</i> ;	686.995
			Podzol (63 unidades - 142.253 km ²)	
Solos Hidromórficos	368	S5	Laterita Hidromórfica (108 unidades - 440.547 km ²), <i>Plinthaquox</i> or <i>Plintaquults</i> ;	811.717
			Gley (182 unidades - 312.325 km ²) várias <i>aquic</i> subordens ;	
			Solo Aluvial (78 unidades - 58.844 km ²), <i>Entisols</i> - <i>Fluvents</i> .	
Outros Solos	168	S6	Planossolo (59 unidades - 104.432 km ²), <i>Ustalf</i> ;	170.661
			Solonetz (21 unidades - 29.892 km ²), <i>Ustalf</i> or <i>Ustoll</i> ;	
			Solo Salino e Solonchack (71 unidades - 23.914 km ²), <i>Aridisols</i> ;	
			Vertissolo (17 unidades - 12.422 km ²), <i>Udert</i> ou <i>Ustert</i> .	

Tabela A2 – Categorias de vegetação e suas relações com os grupos originais, subgrupos e classes do mapa de vegetação do IBGE/FAO

Categoria de Vegetação	Unidades de mapeamento	Símb.	Relação com a legenda original do mapa de vegetação da EMBRAPA		Unidades de mapeamento e Área (km ²)	Área (km ²)
			Nome original do Grupo e símbolo	Subgrupo ou classe ¹		
Floresta Amazônica Aberta	193	V1	Floresta Ombrófila aberta (A)	Vários	176 (1.063.413)	1.253.896
			Áreas de contato e de tensão ecológica (V)	Floresta Ombrófila – Floresta Estacional	17 (190.483)	
Floresta Amazônica Densa	312	V2	Floresta Ombrófila Densa (D)	Vários	312 (2.051.902)	2.051.902
Floresta Atlântica	73	V3	Floresta Ombrófila Densa (D)	Vários	59 (214.110)	241.179
			Floresta Ombrófila Aberta (A)	Vários	12 (20.174)	
			Áreas de contato e de tensão ecológica (V)	Floresta Ombrófila Densa – Floresta Estacional	2 (6.895)	
Floresta Estacional Decidual	61	V4	Floresta Estacional Decidual (C)	Todas	61 (277.572)	277.572
Floresta Estacional Semi-decidual	110	V5	Floresta Estacional Semi-decidual (F)	Todas	108 (566.134)	575.762
			Áreas de contato e de tensão ecológica (V)	Floresta Estacional – Floresta Ombrófila Mista	1 (9.309)	
			Áreas de contato e de tensão ecológica (V)	Floresta Estacional – Restinga	1 (318)	
Floresta Ombrófila Mista	27	V6	Floresta Ombrófila Mista (M)	Todas	27 (170.459)	170.459
Savana do Sul	45	V7	Savana (S)	Várias	34 (113.414)	130.438
			Áreas de contato e de tensão ecológica (V)	Savana – Floresta Estacional	7 (10.715)	
			Áreas de contato e de tensão ecológica (V)	Savana – Savana Estépica	4 (6.309)	
Savana da Amazônia	122	V8	Áreas de contato e de tensão ecológica (V)	Savana – Floresta Ombrófila	63 (164.091)	376.152
			Áreas de contato e de tensão ecológica (V)	Savana – Floresta Estacional	18 (125.147)	
			Savana (S)	Várias	39 (74.637)	
			Savana Estépica (T)	Várias	2 (12.276)	

Savana (Cerrado brasileiro)	606	V9	Savana (S) Áreas de contato e de tensão ecológica (V) Áreas de contato e de tensão ecológica (V) Áreas de contato e de tensão ecológica (V) Áreas de contato e de tensão ecológica (V)	Várias Savana – Floresta Estacional Savana – Savana Estépica Savana – Floresta Ombrófila Savana – Floresta Ombrófila Densa	430 (1.552.402) 162 (409.321) 5 (16.830) 6 (16.271) 3 (8.013)	2.002.837
Estepe do Sul	16	V10	Estepe (E) Savana Estépica (T) Áreas de contato e de tensão ecológica (V)	Várias Várias Savana – Estepe	9 (37.702) 4 (11.308) 3 (4.627)	53.637
Estepe do Nordeste (Caatinga)	245	V11	Estepe (E) Áreas de contato e de tensão ecológica (V) Áreas de contato e de tensão ecológica (V) Áreas de contato e de tensão ecológica (V)	Várias Estepe – Floresta Estacional Savana – Estepe Savana – Estepe Floresta Estacional	174 (556.192) 46 (129.567) 16 (55.262) 9 (34.865)	829.523
Estepe do Oeste (Pantanal)	18	V12	Savana Estépica (T) Áreas de contato e de tensão ecológica (V)	Várias Savana Estépica – Floresta Estacional	15 (11.056) 3 (2.173)	13.229
Campos de Altitude	8	V13	Refúgios ecológicos de montanhas/terras altas (R)	Todas	8 (10.188)	10.188
Áreas de formação pioneira	120	V14	Áreas de formação pioneira (P)	Todas	120 (152.558)	152.558
Vegetação Lenhosa Oligotrófica	65	V15	Áreas de contato e de tensão ecológica (V) Vegetação Lenhosa Oligotrófica de Várzeas / Áreas Arenosas (L)	Vegetação Lenhosa Oligotrófica de Várzeas / Áreas Arenosas – Floresta Todas	30 (201.968) 35 (83.343)	285.311

¹ Foram usadas classes apenas no caso do grupo “Áreas de contato e tensão ecológica”. Nos demais, foram usados subgrupos.

Tabela A3 – Número de unidades mapeadas e correspondente área das categorias de Associação Solo-Vegetação

		Categorias ¹														
		Solo	Vegetação													
		V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15
Nº de unidades	S1	127	81	52	58	80	74	134	8	132	80	592	8	3	10	2
Área (km ²)		190.436	28.169	7.522	39.268	20.423	37.557	35.969	2.480	24.522	44.089	214.586	1.133	821	350	75
Nº de unidades	S2	403	775	199	252	494	102	55	290	2.210	5	440		14	148	221
Área (km ²)		399.184	956.196	101.432	110.616	285.541	52.267	39.492	147.618	910.984	3.554	160.731		1.289	19.804	83.351
Nº de unidades	S3	868	885	346	290	424	176	118	331	1.822	22	677	6	21	86	116
Área (km ²)		537.116	683.673	116.546	99.825	229.264	80.378	50.480	125.568	523.716	4.239	211.325	350	8.078	9.319	43.287
Nº de unidades	S4	73	126	66	68	98			91	611		201			70	178
Área (km ²)		13.672	25.204	5.973	15.733	18.106			56.965	302.148		83.461			25.152	127.233
Nº de unidades	S5	414	832	28	26	65			167	500		55	22		179	109
Área (km ²)		101.156	300.211	3.781	5.002	15.611			37.706	206.474		12.265	6.315		64.539	26.797
Nº de unidades	S6		37	24	31	36		42	6	99		315	25		114	
Área (km ²)			4.216	3.144	5.573	3.426		4.398	2.617	22.566		89.966	4.890		20.923	

¹Veja Tabela A1 para categoria de solos e Tabela A2 para categorias de vegetação.
Categorias não representadas são realçadas em cinza.

Tabela A4 – Estoque de carbono representativo (ECR) por categoria de Associação Solo-Vegetação

Estatística ¹	Categorias ²															
	Solo	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	Vegetação							
		V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15							
N	S1	24	26	22	61	61	13	22	4	10	4	116	2	2	3	
Média		6,62	4,03	6,93	5,24	4,91	12,83	8,13	4,60	2,67	6,24	2,93	3,38	3,41	5,98	
Mínimo		2,24	1,64	3,23	1,90	0,99	7,20	3,57	2,30	1,13	4,44	0,65	3,04	2,93	2,90	
Máximo		25,79	9,48	17,05	17,28	17,28	29,91	29,25	6,50	4,25	7,30	9,24	3,71	3,89	7,73	
Mediana		5,09	3,22	5,83	4,67	4,09	9,88	6,42	4,80	2,44	6,60	2,42	3,38	3,41	7,30	5,09 ³
Desvio-Padrão		1,18	0,38	0,83	0,37	0,38	1,89	1,28	0,90	0,35	0,64	0,15	0,33	0,48	1,54	
N	S2	30	89	123	34	120	14	14	7	197	3	46		1	1	2
Média		5,08	5,83	5,66	3,73	4,87	10,07	8,76	2,46	4,35	4,47	2,73		5,04	4,13	4,68
Mínimo		2,46	2,15	1,72	1,61	1,19	4,10	4,33	0,80	0,85	3,97	0,80				4,62
Máximo		10,50	18,10	13,06	9,39	11,71	15,51	12,35	5,65	9,62	4,78	5,96				4,74
Mediana		4,75	5,19	5,23	3,08	4,43	10,25	9,09	1,98	4,31	4,66	2,58				4,68
Desvio-Padrão		0,38	0,29	0,20	0,32	0,21	0,75	0,61	0,66	0,13	0,25	0,17				0,06
N	S3	95	219	121	104	179	15	31	9	140	2	124	2	6	4	4
Média		5,39	5,64	4,59	4,55	4,17	6,07	7,09	3,62	4,08	6,12	2,86	3,52	4,64	3,36	5,33
Mínimo		1,56	1,06	1,11	0,97	1,15	1,11	0,80	1,05	0,40	6,07	0,74	2,86	2,97	2,58	1,70
Máximo		16,25	27,31	12,87	14,16	11,93	13,01	26,23	5,71	14,02	6,17	6,47	4,17	8,74	4,24	10,02
Mediana		4,89	4,69	4,29	4,00	3,74	5,68	5,16	3,81	3,60	6,12	2,62	3,52	3,99	3,31	4,81
Desvio-Padrão		0,28	0,25	0,19	0,22	0,15	0,87	1,00	0,53	0,18	0,05	0,11	0,65	0,88	0,39	1,97
N	S4	7	8	9	2	7		1	3	33		15	4	1	14	6
Média		5,10	4,62	8,17	2,59	3,70		3,85	3,44	2,09		1,66	3,74	8,64	5,43	5,27
Mínimo		2,11	2,50	2,13	1,71	1,04			1,11	0,77		0,75	3,01		0,83	1,79
Máximo		11,25	5,98	18,97	3,46	8,02			4,83	4,30		2,95	4,85		14,89	7,39
Mediana		4,11	5,06	6,33	2,59	2,70			4,37	1,92		1,51	3,54		5,02	6,17
Desvio-Padrão		1,22	0,48	2,12	0,88	0,92			1,17	0,14		0,17	0,40		1,01	0,98
N	S5	34	24	29	17	11	5	5	37	30	2	10	7		50	11
Média		4,76	5,55	4,57	3,42	5,71	8,17	9,50	4,53	7,90	3,38	2,94	8,76		8,79	16,35
Mínimo		0,94	1,98	1,68	1,48	1,36	5,41	2,93	0,85	1,40	3,19	1,65	1,48		0,89	2,32
Máximo		10,09	14,70	14,42	8,86	16,10	10,69	17,21	14,58	25,93	3,57	6,06	15,54		44,42	68,31
Mediana		4,36	5,27	3,58	3,27	5,36	8,54	7,42	3,46	6,65	3,38	2,51	10,52		5,92	9,05
Desvio-Padrão		0,40	0,61	0,56	0,43	1,17	0,98	2,89	0,51	1,09	0,19	0,40	2,11		1,22	6,09
N	S6	2	5	4	23	22		5	2	9	3	99	13		17	2
Média		7,87	4,17	41,25	3,51	4,08		4,07	2,90	4,90	7,76	2,50	2,22		9,97	12,09
Mínimo		1,69	1,45	2,14	0,86	1,83		2,32	1,42	0,25	3,88	0,48	1,42		0,56	4,29
Máximo		14,04	6,64	79,30	11,37	8,34		7,19	4,38	16,83	14,42	9,98	3,47		58,30	19,89
Mediana		7,87	4,81	41,78	3,18	3,16		3,28	2,90	3,29	4,99	2,09	2,17		3,72	12,09
Desvio-Padrão		6,17	1,02	21,58	0,46	0,40		0,86	1,48	1,59	3,34	0,16	0,16		3,77	7,80

¹ Os valores são expressos em kg C/m².

² Veja Tabela A1 para categoria de solos e Tabela A2 para categoria de vegetação.

³ Veja texto.

Os valores realçados em cinza correspondem a categorias inexistentes no mapa digital AS.