

Emissões do setor de Uso da Terra, Mudanças de Uso da Terra e Florestas (UTMUTF), para o Estado de São Paulo, por região administrativa

Clotilde Pinheiro Ferri dos Santos^{1,2}
Antônio Roberto Formaggio²
Thelma Krug²

¹ Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais - FUNCATE
Av. Dr. João Guilhermino, 429 – 18^o. andar – 12210-131 – São José dos Campos - SP, Brasil
cferri@funcate.org.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{formag@dsr.inpe.br} { thelma@dir.iai.int }

Abstract. The net anthropogenic emissions of Greenhouse Gases (GHGs) have been cause of serious preoccupations in the past decades. Thus, this study was conducted with the aim of presenting the methodology developed to inventory the estimated net anthropogenic emissions of carbon dioxide (CO₂). Furthermore we present an assessment of emissions and removals associated with the sector Land Use, Change of Land Use and Forestry (UTMUTF), for São Paulo state, considering the periods from 1994 to 2002, 2002 to 2005 and from 2005 to 2008. 76 TM / ETM+ images for the base years (1994, 2002, 2005 and 2008) were used, generating about 245.000 polygons, that integrated all different classes of mapping data, through the union and intersection of distinct information layers. It was found that Sao Paulo state, on average, proved to be a CO₂ remover with respect to the sector UTMUTF. The method was found suitable and efficient for those estimates.

Palavras-chave: remote sensing, carbon emissions, São Paulo state, sensoriamento remoto, emissões de carbono, estado de São Paulo

1. Introdução

Devido ao aumento das concentrações de Gases de Efeito Estufa (GEE) e sua relação com o aquecimento do sistema climático, não só governos nacionais que fazem parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC) (BRASIL, 1992), mas também os governos subnacionais ou locais, como governos de estado, províncias e municípios, têm se empenhado em fazer estimativas das emissões antrópicas líquidas desses gases, visando subsidiar a sociedade na identificação das prioridades locais e adoção das medidas mais adequadas para reduzir essas emissões (FUNCATE, 2012).

O Estado de São Paulo realizou seu primeiro inventário de emissão/remoção de gases do efeito estufa em parceria com o Governo do Reino Unido para o período de 1990 a 2008, sendo que, como determina a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, o inventário incluiu apenas as emissões antrópicas por fontes e remoções antrópicas por sumidouros de gases do efeito estufa, e foi desenvolvido utilizando metodologias comparáveis e acordadas pelas Partes da referida Convenção (CETESB, 2011).

O Estado de São Paulo ocupa uma área aproximada de 248.000 km² e está dividido em 15 Regiões Administrativas, também chamadas de mesorregiões. A mesorregião é uma subdivisão do Estado composta por diversos municípios de uma determinada região geográfica com similaridades econômicas e sociais (SEADE, 2012; IBGE, 2007).

Em termos de Brasil, o setor UTMUTF responde por 60,6%, enquanto que o setor energia, por 15%; o setor indústria, por 3,6%; o setor agropecuário, por 19%; e o setor resíduo, por 1,9% (CETESB, 2011).

Desta forma, é de grande importância o desenvolvimento de metodologias que permitam inventariar as emissões antrópicas líquidas dos GEE causadas pelo setor UTMUTF, objetivo

em que a tecnologia de sensoriamento remoto desempenha papel imprescindível (IPCC, 2003; CETESB, 2011).

Juntamente com a crescente preocupação quanto aos efeitos das mudanças do uso e cobertura da terra, bem como com as melhorias e avanços nos meios de observar tais processos, busca-se atualmente incrementar a investigação quanto ao entendimento dos processos e padrões das mudanças (Rogan and Chen, 2004).

Conforme Ruelland et al. (2010), para determinadas regiões, ao se buscar suprir informações visando monitorar mudanças de uso e cobertura, considerando períodos de tempo específicos, visando o estabelecimento de linhas-de-base, torna-se necessário utilizar técnicas de interpretação visual, em função do conhecimento dos intérpretes sobre a área de estudo, bem como por sua habilidade em processar simultaneamente informações sobre textura, níveis de cinza, feições geométricas, para diferentes datas de imagens, homogeneidade e densidade de tipos de coberturas terrestres, assim como as mudanças de limites com o passar do tempo.

Em função das características de ampla cobertura geográfica, resoluções geométrica e espectral, além de repetitividade temporal, imagens orbitais Landsat, ou semelhantes, têm uma aplicabilidade insubstituível para levantamentos relacionados com mudanças de uso da terra (JENSEN, 2009).

A metodologia UTMUTF deve levar em conta emissões e remoções relativas à mudanças de estoques na biomassa viva, na matéria orgânica morta e no estoque de carbono do solo, conforme é mostrado em CETESB (2011).

Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo apresentar a metodologia, bem como avaliar a distribuição das emissões do setor UTMUTF pelas sub-regiões administrativas do Estado de São Paulo, para os anos 1994, 2002, 2005 e 2008, as quais foram estimadas via o uso de imagens de sensoriamento remoto e geotecnologias espaciais.

2. Material

No presente trabalho, foram utilizados os seguintes imagens e softwares: LANDSAT TM e ETM+ - Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, (19 órbitas/pontos que recobrem o estado de São Paulo), para diferentes datas, nos anos-bases de 1994, 2002, 2005 e 2008). Softwares: TerraAmazon, Excel, Access, PostGresSQL

3. Metodologia

A distribuição geográfica e a área das meso regiões administrativas do Estado de São Paulo de acordo com IBGE (2007) podem ser observadas na Figura 1.



Figura 1. Distribuição das 15 meso regiões administrativas do Estado de São Paulo.

Fonte: Adaptado de IBGE (2007)

Utilizando os dados resultantes dos mapas de mudanças de uso da terra dos anos 1994, 2002, 2005 e 2008 obtidos via interpretação de imagens Landsat e as correspondentes estimativas de emissões líquidas de dióxido de carbono para o setor UTMUTF, agruparam-se os resultados das emissões e remoções por região administrativa.

Para cada região foi realizada a estimativa das emissões de dióxido de carbono (CO₂) no setor UTMUTF, conforme metodologia desenvolvida por FUNCATE. (2012), em consonância com a Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Brasil, 2010) e Primeiro Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa diretos e Indiretos do Estado de São Paulo (FUNCATE, 2012), para os mesmos anos de estudo do Primeiro Inventário do Estado de São Paulo quais sejam: 1994, 2002, 2005 e 2008.

Para realizar a estimativa foi necessário preparar o mapa de uso e ocupação da terra definindo as áreas de floresta, campos, áreas urbanas, áreas alagadas, áreas agrícolas e pecuária. Para isso, foram realizados, através de análise e interpretação visual de imagens do sensor TM/Landsat, para os anos 1994, 2002, 2005 e 2008, os respectivos mapas de uso e ocupação da terra para todo o Estado de São Paulo. Destaca-se que foram necessárias 76 imagens para completar os quatro anos de mapeamento, sendo 19 imagens por ano-base, para recobrir todo o Estado de São Paulo. A partir das interpretações realizadas, para cada período estudado, foram gerados cerca de 245.000 polígonos que integraram todos os dados do mapeamento através da união e intercessão de diferentes layers (p.ex., mapa de vegetação, mapa de solos, mapa dos biomas, limite municipal 2007, mapa das unidades de conservação, ente outros, gerando um banco de dados com 9.542.593 de informações.

Outra necessidade para gerar a estimativa de emissões/remoções UTMUTF é considerar os valores de carbono dos diferentes tipos de vegetação que estão sobre o solo. Para isso, foi gerado um *mapa de vegetação pretérita*, o qual foi o resultado de uma adaptação do Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 2004), utilizando imagens Landsat do ano 1994, trazendo para uma escala aproximada de 1:250.000. Para cada tipologia de vegetação presente neste mapa, com auxílio de bibliografia, foram definidos os valores de carbono por tipologia vegetal.

Além do mapa de carbono da vegetação, a metodologia definida pelo IPCC estabelece que seja determinado o valor de carbono abaixo do solo. Para isso, foi utilizada a mesma metodologia da Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Brasil, 2004), que se constituiu nas seguintes etapas: a) adaptação do Mapa de Solos do Brasil (IBGE; EMBRAPA, 2001), recortado para o Estado de São Paulo; b) Adaptação do Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 2004), recortado para o Estado de São Paulo; c) geração do mapa de associação solo-vegetação. Para cada associação solo-vegetação foi adotado o mesmo estoque de carbono do solo sob vegetação natural utilizado no Primeiro Inventário do Brasil (Brasil, 2006).

Como forma de estimar somente as emissões/remoções de natureza antrópica, o IPCC propõe uma aproximação baseada na hipótese de que todas as emissões/remoções que ocorrem em área manejada são consideradas antrópicas (IPCC, 2003). O IPCC avalia que essa abordagem não é completamente perfeita, mas argumenta que não existem atualmente métodos que possam ser amplamente utilizados para separar os efeitos direta e indiretamente promovidos pelo homem daqueles que são naturais. Desta forma, houve a necessidade de definir o que constitui área manejada e não manejada no Estado de São Paulo e, na Primeira Comunicação do Estado de São Paulo foram consideradas manejadas todas as áreas de floresta e vegetação nativa não florestal (campo) contidas em terras indígenas e no Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC (Lei no. 9.985/2000),

excetuando-se as RPPNs¹. O mapa de distribuição geográfica das áreas manejadas do Estado está apresentado na Figura 02.

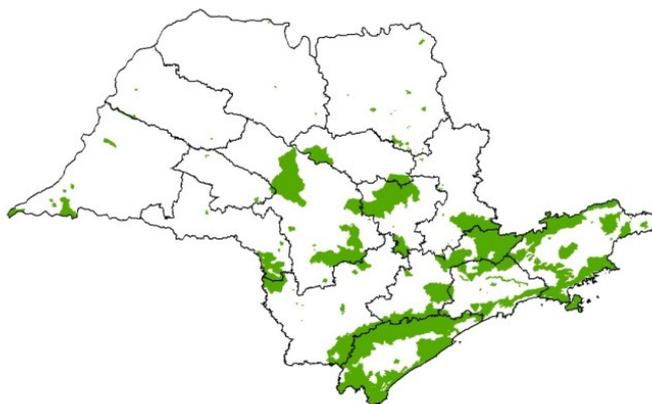


Figura 2. Distribuição geográfica das áreas manejadas do Estado de São Paulo.
Fonte: (SNUC, 2000)

A metodologia utilizada para estimar as mudanças dos estoques de carbono na biomassa em áreas de floresta baseou-se nas equações do GPG/LULUCF (IPCC,2003), reproduzidas a seguir:

$$\Delta C = \sum_{ijk} [A_{ijk} \cdot (C_I - C_L)_{ijk}] \quad \text{(Equação 1)}$$

onde:

ΔC : mudança média anual do estoque de carbono (tC/ano)

A_{ijk} : é a área de floresta sob clima i , vegetação j , manejo k (ha)

C_I : ganho (incremento) médio anual de carbono por unidade de área (tC/ha/ano)

C_L : perda média anual de carbono por unidade de área (tC/ha/ano)

$$\Delta C = \sum_{ijk} (C_{t_2} - C_{t_1}) / (t_2 - t_1)_{ijk} \quad \text{(Equação 2)}$$

onde:

ΔC : mudança média anual do estoque de carbono (tC/ano)

C_{t_1} : estoque de carbono no tempo t_1 (tC)

C_{t_2} : estoque de carbono no instante t_2 (final do período) (tC)

ijk : índices que correspondem ao tipo de clima i , tipo de vegetação j e prática de manejo k

t_1 : início do período compreendido pelo Inventário (anos)

t_2 : final do período compreendido pelo Inventário (anos)

4. Resultados e Discussão

4.1 Banco de Dados

Utilizando o sistema TerraAmazon (www.terraamazon.org), uma ferramenta projetada para edição de bases geográficas vetoriais, armazenadas em um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD) modelo Terralib (www.terralib.org), em ambiente corporativo, distribuído e de uso corrente, foi feita a compilação e interpretação dos dados.

Com o uso das imagens do sensor TM/Landsat foi possível gerar para cada um dos anos analisados (1994, 2002, 2005 e 2008) um mapa de uso e cobertura da terra com as categorias indicadas na Tabela 1.

¹ As RPPNs não foram consideradas devido à dificuldade de obtenção da data de estabelecimento de cada área.

Tabela 1. Categorias de Uso da Terra consideradas para estimativa de emissões UTMUTF

Abreviatura	Categoria	Categoria IPCC
FNM	Floresta Não Manejada	Floresta(Forest)
FM	Floresta Manejada	
FSec	Floresta Secundária	
Ref	Reflorestamento	
GNM	Campo Não Manejado	Campo (Grassland)
GM	Campo Manejado	
GSec	Campo com Vegetação Secundária	
Ap	Pastagem Plantada	
Ac	Área Agrícola	Área Agrícola (Cropland)
S	Área Urbana	Área Urbana (Settlements)
A	Rio e Lagos (área não manejada)	Área Alagada (Wetlands)
Res	Reservatórios (Área Manejada)	
O	Outros Usos	Outros Usos (other land)
NO	Área Não Observada	

Para cada mapeamento foi feita a análise de exatidão com a interpretação de uma mesma área por três experientes consultores, para as mesmas classes do inventário. O índice Kappa desta análise mostrou um acerto de 95%.

4.2 Emissões por mesorregião

Os resultados obtidos, seguindo a metodologia apresentada, referentes à emissão líquida, por período e por região administrativa estão apresentados Tabela 2.

Tabela 2 – Emissões líquidas devidas ao setor UTMUTF, determinadas nos períodos 1994-2002, 2002-2005 e 2005-2008, por meso região administrativa do Estado de São Paulo.

Ordem	Região Administrativa	Emissão Líquida em Gg de CO ₂			Total Acumulado
		1994-2002	2002-2005	2005-2008	
1	Araçatuba	70,80	45,00	111,80	227,60
2	Araraquara	- 96,90	- 63,40	- 14,50	-174,80
3	Assis	169,40	- 31,80	- 46,80	90,80
4	Bauru	-342,90	- 160,10	- 374,10	- 877,10
5	Campinas	580,70	91,00	291,70	963,40
6	Itapetininga	3.085,90	- 834,20	- 886,90	- 4.807,00
7	Litoral Sul	- 9.969,90	- 3.849,10	- 3.910,70	- 17.729,70
8	Metropolitana Paulista	- 2.275,90	- 1.127,40	- 874,00	- 4.277,30
9	Marília	- 32,70	- 1,60	10,80	- 23,50
10	Metropolitana de São Paulo	1.608,00	- 1.035,00	- 562,40	10,60
11	Piracicaba	- 458,10	113,40	- 67,10	- 411,80
12	Presidente Prudente	7.333,30	- 284,00	- 224,00	6.825,30
13	Ribeirão Preto	1.047,20	- 80,90	305,40	1.271,70
14	São José do Rio Preto	647,00	4,50	20,10	671,60
15	Vale do Paraíba Paulista	- 5.857,40	- 4.539,70	- 3.625,50	- 14.022,60
	TOTAL	-10.663,30	- 11.753,30	- 9.846,20	- 32.262,80

Fonte: FUNCATE (2012)

Verifica-se, inicialmente, que as regiões de Central, Bauru, Itapetininga, Litoral Sul, Metropolitana Paulista, Marília, Piracicaba e Vale do Paraíba apresentaram valores negativos, caracterizando-se como removedoras de CO₂. Isto se explica principalmente pelo fato destas regiões apresentarem maior concentração de áreas manejadas como pode ser observado na Figura 1. Estas regiões também passaram por intensa atividade de extração da vegetação

natural para expansão agrícola desde a colonização, não havendo nos anos de estudo muita mudança no uso da terra.

As regiões de Araçatuba, Marília, Campinas, Metropolitana São Paulo, Presidente Prudente, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto apresentaram comportamentos de emissoras no setor UTMUTF como tendência dos três períodos analisados. Isto pode ser explicado por essas regiões não apresentarem áreas de vegetação natural. Estas regiões foram as pioneiras no desenvolvimento do Estado, com a agricultura e pecuária desde as Entradas e Bandeiras pelos colonizadores portugueses. Dentre estas regiões, deve-se dar destaque para as regiões de Campinas, Presidente Prudente e Ribeirão Preto, com os valores mais elevados de emissões.

Na região de Campinas a cobertura vegetal natural (predominantemente de Mata Atlântica e Cerrado) é baixa, especialmente nos municípios maiores, resultado da intensa degradação ambiental que o Estado enfrentou desde o início do século XX. É a segunda região mais importante do Estado na geração do PIB, com uma economia bastante diversificada, com maior diversificação na área industrial (São Paulo, 2012).

Presidente Prudente ocupa o penúltimo lugar no quesito geração de riqueza. A região contribui proporcionalmente mais para a composição do setor agropecuário paulista do que para os outros setores. Esta região tem destaque também no serviço de produção e distribuição de eletricidade, gás e água. Cerca de 28% da energia hidráulica gerada no Estado provém da região.

Originariamente reduto dos índios caiapós, a região de Ribeirão Preto serviu como rota para bandeirantes que iam tentar a sorte nas jazidas de Minas Gerais e Goiás. Na segunda metade do século XVIII, fazendeiros começaram a se instalar ali, aproveitando o bom solo para a agricultura e a criação de gado.

A Região Administrativa de Ribeirão Preto tem sua economia baseada na agropecuária e na agroindústria sucroalcooleira. Destaca-se, ainda, a presença dos centros de pesquisa e universidades. No setor agropecuário, a principal cultura é a cana-de-açúcar. Assim, as usinas de cana-de-açúcar e de álcool predominantes na paisagem da região constituem importante articulação da agropecuária com a indústria na região – a este segmento da agroindústria associa-se também o desenvolvimento da indústria de máquinas e equipamentos (São Paulo, 2012).

Outro ponto a ser destacado é que, nas somatórias por período, o ESP apresentou, para os três períodos analisados, valores negativos, caracterizando-se como um estado removedor de CO₂, variando em torno de - 9.846,20 a - 11.753,30 Gg de CO₂ por período.

5. Conclusões

Com o uso das ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto foi possível gerar os mapas de uso e cobertura da terra e a integração dos mesmos com outros dados de atividade para gerar as estimativas de emissões de dióxido de carbono no setor de uso da terra, mudanças do uso da terra e florestas conforme o Guia de Boas Práticas do IPCC.

Este trabalho gerou um banco de dados de grande proporção, onde é possível fazer consultas e gerar informações importantes para políticas públicas no Estado e suas regiões.

O Estado de São Paulo, em média, mostrou ser removedor de dióxido de carbono no setor UTMUTF, mostrando, portanto, um padrão de emissão de estados mais industrializados, onde o maior emissor é proveniente do Setor de Energia.

As mesorregiões de Araçatuba, Marília, Campinas, Metropolitana São Paulo, Presidente Prudente, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto apresentaram comportamentos de emissoras no setor UTMUTF como tendência dos três períodos analisados. Uma maneira de melhorar

esta tendência, seria criar Unidades de Conservação, estimular a recuperação de áreas degradadas, áreas de preservação permanente e Reserva Legal.

Os dados aqui apresentados poderão ser de grande auxílio às regiões meso metropolitanas, para políticas públicas, na geração do ordenamento territorial e aplicações de recursos na criação de Unidades de Conservação entre outros.

Os dados devem ser atualizados para anos mais recentes, para auxiliar na tomadas de decisões, além de poder ainda melhorar os dados com informações mais detalhadas de uso da terra com imagens de melhor resolução para conseguir separar com mais detalhes áreas agrícolas de pastagem, ou ainda áreas agrícolas anuais de perenes.

Recomenda-se que, em futuros trabalhos, sejam utilizados mapas de vegetação e de solos de maiores escalas, bem como a busca de maior detalhamento de mapas de mudanças de uso e cobertura, visando o aprimoramento metodológico dos cálculos de emissões pelo setor UTMUTF.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CETESB, que autorizou o uso dos dados do Inventário Estadual para gerar as informações para o presente artigo.

6. Referências Bibliográficas

BRASIL. MCTI. Artigo 4: Obrigações. In INC/FCCC. **Convenção sobre mudanças do Clima**. Traduzido pelo MCT. Brasília, DF: MCT, 1992. Disponível em: <http://mct.gov.br/index.php/content/view/4092.html>. Acesso em: nov. 2012.

BRASIL. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Brasília: MCT, 2010. 520p.

BRASIL. **Emissões e remoções de Dióxido de Carbono pelos Solos por Mudanças de Uso da Terra e Calagem**. Relatório de Referência: Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília: MCT, 2006, 50p.

CETESB. **Inventário de Emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo**. Comunicação Estadual. Coordenação: João Wagner Silva Alves, Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer; equipe: Gonzalez, M.P. et al. 2 ed. São Paulo: CETESB, 2011. 192p.

FUNCATE. **Emissões do setor de uso da terra, mudanças do uso da terra e florestas: relatório de referência/** FUNCATE, CETESB; coordenação Clotilde P.F.Santos; elaboração Scolastraci, A.S.S, et al. São Paulo: CETESB, 2012. 120p.

IBGE. **Malha Municipal do Brasil**. Brasília: IBGE, 2007. I mapa color. Escala 1:5.000.000

IBGE. **Mapa de Vegetação do Brasil**. Brasília: IBGE, 2004. I mapa color. Escala 1:5.000.000

IBGE; EMBRAPA. **Mapa de Solos do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE, 2001. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000

IPCC. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Hayama: IGES, 2003.628p.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução Epiphany, J.C.N. (coordenador)... [et al.]. São José dos Campos, SP: PARÊNTESE, 2009. 604p.

ROGAN, J.; CHEN, D.M. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Progress in Planning*, 61: 301-325. 2004.

RUELLAND, D.; LEVVASSEUR, F.; TRIBOTTÉ, A. Patterns and dynamics of land-cover changes since the 1960s over three experimental areas in Mali. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 125: 511-517. 2010.

SEADE. **Estado de São Paulo e suas regionalizações**. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Secretaria de planejamento e Desenvolvimento Regional. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/divpolitica/>> Acesso em: Nov. 2012.

SÃO PAULO. Assembléia legislativa do Estado de São Paulo. **IPRS**. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/web/forum/iprs06/pdf/>. Acessado em 12 de novembro de 2012.

SINUC. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm. Acessado em: nov. 2012..