

Estoque de Carbono em solos sob vegetação nativa e uso antrópico na bacia do Rio Araguari-MG

Jussara dos Santos Rosendo^{1,2}
Roberto Rosa¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Av. João Naves de Ávila, 2121 - Campus Santa Mônica Bloco H, Uberlândia - MG, Brasil
rrosa@ufu.br

² Faculdade de Ciências Integradas do Pontal - FACIP/UFU
Rua José João Dib, 2545 – B. Progresso, CEP: 38302-000 - Ituiutaba - MG, Brasil
jussara@pontal.ufu.br

Abstract. The intensification of the greenhouse effect caused by the polluting gases emission, that come from anthropic activities, worries the scientific community in the hole, because we are alarmed by the risks related to this intensification, for example, the increasing of terrestrial temperature and consequent increase in sea level. The soils can work as source or carbon sink to the atmosphere, depending on the climatic conditions and, especially, the kind of adopted management. The main objective of this paper is to evaluate the Carbon stock presented in the soils of Araguari River's watershed in Minas Gerais state under the natural vegetation and anthropic use, more specifically the areas covered by agriculture and pastures, in the years of 1973 and 2009. The methodology of work encompassed two steps: the first one is a reference to the selection of soil sampling, and the second one, to the mapping of the land use and natural coverage. The analysis of the periods evaluated showed that in 2009 the C stocked was significantly higher than in 1973, therefore, it's possible to conclude that the modification of the land use increased with the stocked C.

Palavras-chave: C stock in the soils, remote sensing, land use, estoque de carbono nos solos, sensoriamento remoto, uso da terra.

1. Introdução

O efeito estufa é a propriedade que permite que parte da radiação solar seja absorvida pela atmosfera terrestre, em função dele, a temperatura média na superfície da Terra mantém-se em cerca de 15°C. Portanto, o efeito estufa é benéfico ao planeta, pois cria condições para a existência de vida, caso contrário, a temperatura média da Terra seria de, cerca de -18°C.

É a intensificação do efeito estufa, causada pela emissão de gases poluentes, provenientes de atividades antrópicas, que preocupa a comunidade científica de maneira geral, pois se alerta para os riscos relacionados a essa intensificação, como por exemplo, a elevação da temperatura terrestre e consequente aumento no nível dos mares.

Os principais gases da atmosfera terrestre que contribuem para o efeito estufa são vapor d' água (H₂O), o gás carbônico (CO₂), o monóxido de carbono (CO), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), sendo o vapor d' água o gás mais importante para o efeito estufa (representando 3 a 4% do volume da atmosfera), e o CO₂, o segundo em importância, ocupando apenas 0,035% do volume da atmosfera (IPCC, 2007).

Os solos podem funcionar como fonte ou sumidouro de carbono para a atmosfera, dependendo das condições climáticas e, sobretudo, do tipo de manejo adotado. Dessa forma, mesmo a agricultura sendo considerada, em alguns casos, uma grande "vilã", pois exige para sua prática, a retirada da cobertura vegetal natural e, em muitos casos, a queimada para completar a limpeza da área, não é permissível pensar em extinguir o modelo vigente de produção agrícola, levando-se em consideração a grande quantidade de nascimentos que acontecem por dia em todo planeta. Dessa forma, é preciso pensar em modelos que evitem, ou, pelo menos, minimizem os impactos causados pela agricultura.

De acordo com IPCC (2007), o sequestro de carbono pelos solos é o mecanismo responsável pelo maior potencial de mitigação de gases de efeito estufa (GEE), com uma estimativa de contribuição de 89%.

Para Lal (2006), o sequestro de carbono pelos solos pode ser avaliado como:

The process of transferring atmospheric CO₂ into a pedologic/soil C pool is called soil C sequestration. Soil C sequestration is a natural process and involves transfer of atmospheric CO₂ into biomass C via photosynthesis. Transfer of biomass C into SOC occurs through humification of the biomass returned to the soil. (LAL, 2006, p. 50).

O solo pode se transformar em fonte ou dreno de C atmosférico, a partir de

Practices that lead to transfer of C from soil to the atmosphere include deforestation, burning, plowing, and continuous cropping. In contrast, practices that make agricultural soil a sink are conservation tillage, judicious use of fertilizers, crop rotations, cover crops, and fallowing; improved pasture and growing deep rooted crops (Lal and Kimble, 1997). (SINGH; LAL, 2005, p. 162)

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o estoque de Carbono presente nos solos da bacia do Rio Araguari-MG sob vegetação natural e uso antrópico, mais especificamente áreas cobertas por agricultura e pastagens, nos anos de 1973 e 2009.

A área escolhida para ser objeto de estudo da pesquisa foi a bacia do Rio Araguari-MG em virtude desta apresentar vastas áreas ocupadas com agricultura e pastagens, merecendo destaque a produção econômica dos municípios inseridos na bacia. Localizada na Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, na porção oeste do estado de Minas Gerais; compreende a maior parte da região do Triângulo Mineiro. Está situada entre as coordenadas geográficas de 18° 20' e 20° 10' de latitude sul e 46° 00' e 48° 50' de longitude oeste de Greenwich, ocupando uma área de 20.186 km². Fazem parte da bacia, os seguintes municípios: Araguari, Araxá, Campos Altos, Ibiá, Indianópolis, Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Pratinha, Rio Paranaíba, Sacramento, Santa Juliana, São Roque de Minas, Serra do Salitre, Tapira, Tupaciguara, Uberaba e Uberlândia.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Materiais

Para alcançar os resultados desta pesquisa foram necessários os seguintes materiais:

- Receptor GPS;
- Trado Holandês com caçamba de 20 cm de profundidade e diâmetro de 3" (três polegadas);
- Pá-de-corte, anel volumétrico (volume 81,54 cm³) e latas para acomodar as amostras de densidade;
- Câmera fotográfica; régua, faca, baldes, prancheta, caneta para retroprojektor, fita adesiva, sacos plásticos para acomodar e identificar as amostras após a coleta;
- Imagens do satélite Landsat disponibilizadas gratuitamente pelo INPE. As órbitas/pontos, as datas de passagem, os sensores utilizados e sua resolução espacial são descritos na Tabela 1;
- Base cartográfica em meio digital, que contemplam o limite da bacia, as drenagens e o limite político dos municípios, elaborada pelo Laboratório de Geoprocessamento do Instituto de Geografia (LAGEO/UFU);
- Cartas temáticas elaboradas para o projeto Mapeamento da cobertura vegetal do bioma Cerrado, realizado pelo Ministério do Meio Ambiente, Embrapa Cerrados em parceria com o Laboratório de Geoprocessamento da UFU, adquiridas no site do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2008);

Tabela 1: Imagens do satélite Landsat utilizadas para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do Rio Araguari-MG

| Sensor/Satélite | Órbitas/Pontos (O/P) | Datas de passagem/Satélite | Resolução espacial (m) |
|-----------------|----------------------|----------------------------|------------------------|
| MSS/Landsat 2 | 237/73 | 14/07/1973 | 80 |
| | 236/73 | 13/09/1975* | |
| | 236/74 | 31/07/1973 | |
| | 235/73 | 30/07/1973 | |
| | 235/74 | 30/07/1973 | |
| TM/Landsat 5 | 221/73 | 18/07/2009 | 30 |
| | 220/73 | 27/07/2009 | |
| | 220/74 | 27/07/2009 | |
| | 219/73 | 20/07/2009 | |
| | 219/74 | 20/06/2009 | |

* A imagem do ano 1973 correspondente a O/P236/73 apresentava falha de sobreposição a O/P adjacente, por esse motivo foi utilizada a imagem do ano 1975.

2.2 Softwares

- ArcView 3.2; Envi 4.0.

2.3 Métodos

2.3.1 Seleção e amostragem do solo

A quantificação do estoque de carbono do solo consiste, essencialmente, em dois passos, o primeiro, a amostragem de solo no campo para análises químicas e físicas do solo, bem como da densidade; e o segundo, a determinação dos teores totais de carbono (COT) nos diferentes tipos de uso amostrados e a sua quantificação em Mg C ha^{-1} .

A seleção dos usos da terra, para o levantamento do estoque de carbono na área da pesquisa, foi a primeira etapa da metodologia. Em laboratório, foram identificados os usos mais representativos das atividades econômicas presentes na bacia do Rio Araguari-MG. Sendo assim, as amostras de solo foram coletadas em áreas de:

- Cerrado (Cerradão e Campo Cerrado);
- Plantio Direto (soja e milho);
- Cultura Anual Irrigada (feijão, milho e soja);
- Pastagem Melhorada;
- Pastagem Degradada;
- Cana-de-açúcar;
- Reflorestamento (*Pinus* e *Eucaliptus*);
- Café.

Todas as coletas foram efetuadas em solos do tipo Latossolo. Todavia, os teores de areia, argila e silte variaram significativamente de acordo com a localização de cada uso. Para a quantificação do estoque de carbono, há necessidade de se estabelecer a profundidade do solo a que se refere o estoque. Para a presente pesquisa, as amostras de solo foram obtidas nas camadas 0-20 cm de profundidade.

Depois de definidos os tipos de uso e as profundidades, foi realizado um trabalho de campo nas áreas previamente identificadas. Com auxílio da imagem de satélite TM/Landsat5, mapa de solos e receptor GPS, percorreram-se as áreas selecionadas para coleta das amostras de solo. O trabalho de campo foi efetivado durante os dias 17, 18, 19 e 21 de junho de 2009.

Para cada uso da terra definido, foram obtidas amostras de solo das camadas 0-20 cm de profundidade com trado tipo holandês, em que foram coletadas cinco amostras simples de

maneira aleatória em cada tipo de uso, por profundidade, as quais foram combinadas para formar uma amostra composta por camada de solo amostrada. Todo o solo coletado na amostra composta foi embalado e identificado para a determinação do Carbono Orgânico Total (COT), densidade aparente e granulometria.

A densidade do solo foi obtida por meio do peso seco (g) de amostras retiradas nas profundidades de 0-20 cm, com o auxílio de um anel volumétrico de metal de volume previamente conhecido (81,54 cm³). Esse procedimento de coleta das amostras de solo foi efetuado nas mesmas áreas de onde foram extraídas as amostras para análises do carbono orgânico total (COT) e textura também nas profundidades 0-20 cm.

O COT do solo foi determinado pela oxidação da matéria orgânica com K₂Cr₂O₇ em meio ácido, e o excesso de dicromato foi titulado com (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ (YEOMANS & BREMNER, 1988). O cálculo do estoque de carbono (Mg C ha⁻¹), para uma determinada profundidade, dá-se da seguinte maneira:

$$EstC = \frac{CO_{total} * D * e}{10} \quad (1)$$

Onde:

EstC = estoque de carbono orgânico na camada estudada (Mg ha⁻¹);

CO_{total} = carbono orgânico total (g kg⁻¹);

D = densidade aparente do solo da camada estudada (g cm⁻³);

e = espessura da camada estudada (cm).

2.3.2 Imagens de satélite e mapeamento do uso da terra

Para o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do Rio Araguari-MG, o primeiro passo foi a aquisição das imagens do satélite Landsat no site do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Em seguida, foram realizadas as composições coloridas (3B4R5G para o TM/Landsat5 e 4B5G7R para o MSS/Landsat2), e depois as imagens foram georreferenciadas, mosaicadas e recortadas no *software* ENVI 4.0, para posterior interpretação visual. Para isso, foi elaborada uma chave de interpretação das composições coloridas nos diferentes períodos, com intuito de orientar a análise/interpretação das imagens. Com intuito de sanar as dúvidas relacionadas a interpretação visual, foi realizado um trabalho de campo na área da pesquisa, em setembro de 2009. No *software* ArcView 3.2 cada polígono foi associado a uma determinada classe de uso. A legenda do mapeamento foi composta por dois grupos principais, o de cobertura vegetal natural e o de uso antrópico (Tabela 2).

Tabela 2: Legenda do mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal natural utilizada nos períodos de 2009 e 1973

| Grupos | Legenda (Categorias mapeadas) | |
|-------------------|-------------------------------|------------------------|
| | 1973 | 2009 |
| Vegetação Natural | Cerradão/Mata | Cerradão/Mata |
| | Cerrado | Cerrado |
| | Campo Sujo | Campo Sujo |
| | Campo Limpo | Campo Limpo |
| Uso Antrópico | Reflorestamento | Reflorestamento |
| | Pastagem | Pastagem |
| | Cultura Anual | Cultura Anual |
| | - | Cana-de-açúcar |
| | - | Cultura Anual Irrigada |
| | - | Cultura Perene (Café) |
| | - | Influência Mineral |
| Influência Urbana | Influência Urbana | |
| | Água | Água |

A legenda da cobertura vegetal natural teve que ser agrupada em função da dificuldade de separação de algumas fitofisionomias. Foi o que aconteceu com o Cerradão e a Mata e com o Campo Sujo e Campo Cerrado. As florestas de galeria, em função de suas pequenas dimensões, não foram separadas, sendo incluídas na classe Cerradão/Mata.

A identificação das diferentes classes de uso da terra e cobertura vegetal natural, presentes na bacia, foi realizada pela interpretação visual das imagens digitais diretamente na tela do computador (classificação visual em tela). O mapeamento das áreas de cana-de-açúcar foi realizado a partir dos dados do Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra (CANASAT, 2010) disponibilizados por Rudorff, et al. (2010).

3. Resultados

O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal permitiu concluir que, em 1973, quase 86% da área era coberta por vegetação natural, enquanto, apenas 14,66%, estava ocupada pela agricultura e pecuária. Já em 2009, observamos o oposto, em que cerca de 61% da área destinava-se à agricultura e pecuária, enquanto aproximadamente 40% da área encontrava-se coberta com vegetação natural. Os dados apresentados na Tabela 3, e nas Figura 1 e Figura 2 permitem analisar a dinâmica do uso da terra e da cobertura vegetal natural ao longo do período analisado.

Tabela 3: Área ocupada (ha e %) por cada classe de uso da terra e cobertura vegetal natural - Bacia do Rio Araguari-MG nos anos 1973 e 2009

| Usos | 1973 | | 2009 | |
|------------------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|
| | Área (ha) | % | Área (ha) | % |
| Cerradão/Mata | 340.895,56 | 16,89 | 256.437,00 | 12,70 |
| Cerrado | 146.608,25 | 7,26 | 33.790,11 | 1,67 |
| Campo Sujo | 1.061.703,50 | 52,60 | 393.717,80 | 19,50 |
| Campo Limpo | 173.392,37 | 8,59 | 115.351,29 | 5,71 |
| Reflorestamento | 18.246,81 | 0,90 | 71.106,82 | 3,52 |
| Pastagem | 212.950,69 | 10,55 | 600.055,99 | 29,73 |
| Cultura Anual | 48.196,25* | 2,39 | 391.657,87 | 19,40 |
| Cana-de-açúcar | - | - | 50.130,51 | 2,48 |
| Cultura Anual Irrigada | - | - | 33.526,44 | 1,66 |
| Cultura Perene (Café) | - | - | 3.542,16 | 0,18 |
| Influência Mineral | - | - | 1.213,07 | 0,06 |
| Influência Urbana | 10.598,37 | 0,53 | 20.667,93 | 1,02 |
| Água | 6.008,20 | 0,30 | 47.403,02 | 2,35 |
| Total | 2.018.600,00 | 100,00 | 2.018.600,00 | 100,00 |

* A cultura anual em 1973 realizava-se por meio de plantio convencional, já nesta classe em 2009, ocorre o predomínio do plantio direto

Da área total da bacia (em 2009), mais de 60% estavam ocupados por uso antrópico. Destes, 29,73% destinavam-se à pecuária, configurando-se na atividade econômica predominante na área. No entanto, as culturas anuais (plantio direto), também correspondem por uma parcela significativa da atividade econômica dos municípios presentes na bacia, com um total de 19,40%, ao passo que as culturas anuais irrigadas correspondem a 1,66%. É importante destacar que, foram identificadas apenas as culturas anuais irrigadas por-pivô central (em virtude da facilidade de identificação/separação pelo seu formato circular). Dessa forma, tal estimativa pode estar subestimada, pois não se consideraram as áreas irrigadas por outros métodos. As áreas de reflorestamento de *Pinus* e *Eucaliptus*, juntas, ocupam 3,52% da área. Já as áreas de cultura perene, mais especificamente, o café, apenas 0,18%. No caso do

café, a pequena extensão das lavouras associada a resolução espacial de 30 do sensor TM/Landsat 5, tornam-se complicadores no momento do mapeamento.

A delimitação dos polígonos referente às áreas de cana-de-açúcar foi realizada a partir de dados do CANASAT. Dessa forma, estimou-se que em 2,48 % da área total da bacia é cultivada a cana-de-açúcar em 2009.

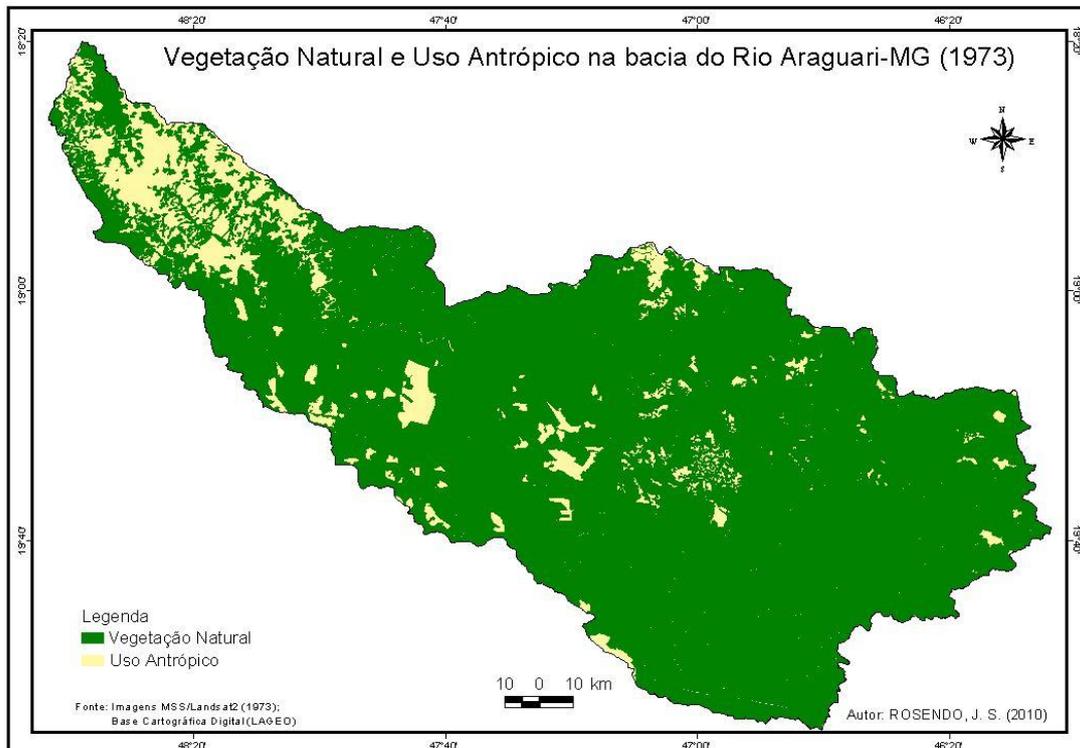


Figura 1: Mapa de vegetação natural e uso antrópico na bacia do Rio Araguari-MG (1973)

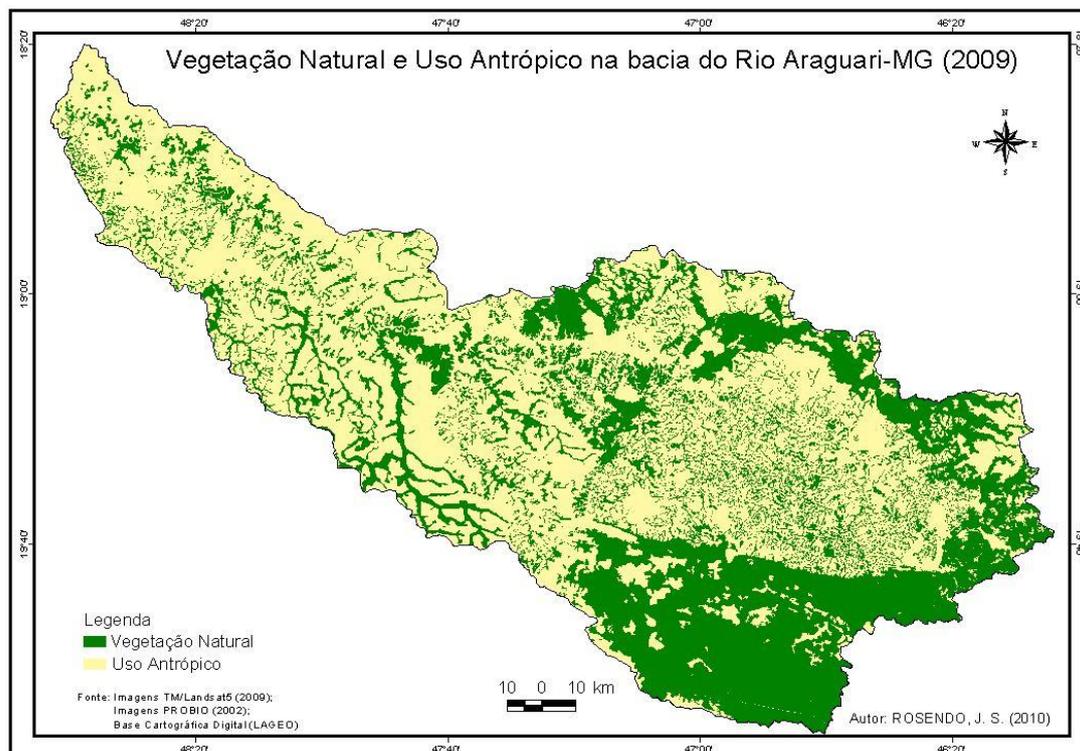


Figura 2: Mapa de vegetação natural e uso antrópico na bacia do Rio Araguari-MG (2009)

Com relação aos resultados da determinação do estoque de C nos solos da bacia do Rio Araguari-MG, verificou-se que, com exceção da pastagem degradada, todos os usos da terra apresentaram valores médios de estoque de C superiores ao cerrado na profundidade 0-20 cm. A sequência de dados obedeceu a seguinte ordem decrescente: CAI ~ CAN ~ PDI > CAF ~ PME > REF ~ CER > PDE (Tabela 4).

Tabela 4: Estoque de C (baseado nas médias) do CER (cerrado), REF (reflorestamento), CAI (cultura anual irrigada), PDI (plantio direto), CAF (café), CAN (cana-de-açúcar), PME (pastagem melhorada) e PDE (pastagem degradada) para as profundidades 0-20 cm

| Usos | Estoque C (Mg ha ⁻¹) |
|------------|----------------------------------|
| | (0-20 cm) |
| CER | 38,05 |
| REF | 39,90 |
| CAI | 49,64 |
| PDI | 48,48 |
| CAF | 44,29 |
| CAN | 48,73 |
| PME | 43,92 |
| PDE | 34,63 |

O mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal permitiu a contabilização do impacto no estoque de C, em 1973 e 2009, a partir da multiplicação da área (ha) de cada uso (Tabela 3) por seu estoque de C correspondente (Tabela 4). Sendo assim, verificou-se que em 1973, do total de 71,68 Tg de C estocado nos solos da bacia do Rio Araguari-MG, a maior parte do carbono estocado era oriundo da vegetação natural, em que cerca de 61 Tg estava estocado sob as diferentes fitofisionomias do Cerrado, ao passo que o uso antrópico correspondia por 10,71 Tg C (Tabela 5).

Tabela 5: Contribuição da vegetação natural e do uso antrópico no estoque de C da bacia do Rio Araguari-MG (1973 e 2009)

| Uso | 1973 | | | | 2009 | | | |
|------------------|--------------|----------|--------|--------|--------------|----------|--------|--------|
| | Área (ha) | Área (%) | C (Tg) | C (%) | Área (ha) | Área (%) | C (Tg) | C (%) |
| Natural | 1722599,68 | 85,33 | 60,96 | 85,06 | 799296,20 | 39,58 | 29,17 | 37,04 |
| Antrópico | 296000,32 | 14,67 | 10,71 | 14,94 | 1219303,80 | 60,40 | 49,57 | 62,96 |
| Total | 2.018.600,00 | 100,00 | 71,68 | 100,00 | 2.018.600,00 | 99,98 | 78,74 | 100,00 |

Foi evidenciado que, em 2009, a maior parte do C armazenado no solo se deu pelas atividades agropecuárias, uma contribuição de 49,57 Tg de C, representando 62,92 % do C estocado. Em termos gerais, menos de 40% da área da bacia ainda possui vegetação natural. Esse montante armazena mais de 29 Tg C (cerca de 37 % do estoque de C estimado para toda a bacia). O aumento do estoque de C no período compreendido entre 1973 e 2009 foi de mais de 7 Tg de C.

4. Conclusões

A análise dos períodos avaliados mostrou que em 2009 o C estocado foi significativamente maior que em 1973, sendo assim, pode-se concluir que a modificação do uso da terra aumentou o C estocado. Dessa forma é imprescindível que sejam adotadas

medidas conservacionistas como o plantio direto, melhoria de pastagens, integração lavoura-pecuária, etc., a fim de promover o aumento do C estocado nos solos. Todos os usos da terra analisados, com exceção da pastagem degradada, apresentaram valores médios de estoque de C superiores ao cerrado na profundidade 0-20 cm, dados que permitem concluir que o solo sob condições de manejo adequadas pode sequestrar mais carbono que a vegetação nativa.

Agradecimentos

Ao Antônio Roberto Formaggio (INPE) e ao Daniel Alves Aguiar (INPE), pela concessão dos dados da expansão da cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais.

Referências Bibliográficas

CANASAT. **Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra**. Aquisição de dados da expansão da cana-de-açúcar em Minas Gerais. Disponível em: < <http://150.163.3.3/canasat/index.php>>. Acesso em: 25 mar 2010.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Aquisição de imagens de satélite MSS/Landsat2 e TM/Landsat5. Disponível em: < <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 15 ago 2009.

IPCC. 2007. **Cambio Climático 2007: Mitigación del Cambio Climático. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático**. Resumen Técnico. Disponível em: < http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg3_report_mitigation_of_climate_change.htm>. Acesso em 8 jul 2008.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. **Carbon Sequestration in Soils of Latin America**. Haworth Press, 2006, 49-64.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Cartas elaboradas para o projeto Mapeamento da cobertura vegetal do bioma cerrado**. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?/>>. Acesso: 05 jun 2009.

PROBIO. **Mapeamento da Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado: Relatório Final**. Brasília/DF. Junho 2007, 93 p.

ROSENDO, J. S. Estoque de carbono nos solos da bacia do Rio Araguari-MG: estimativas, modelagem e cenários. 311 p. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2010.

RUDORFF B. F. T., AGUIAR D. A., SILVA W. F., SUGAWARA L. M., ADAMI M., MOREIRA M. A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, 2(4), p. 1057-1076, 2010. doi: <10.3390/rs2041057>.

YEOMANS, J.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil. Sci. Plant Anal.**, 19: 1467-1476, 1988.