



IV CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO PELO CICLO DE VIDA

9 a 12 de novembro de 2014

São Bernardo do Campo – SP – Brasil



Sistema de Informações Geográficas como ferramenta de apoio à Avaliação do Ciclo de Vida

D. F. Bento¹; S. E. M. Pereira²; M. A. B. Morandi²; N. P. Ramos²; B. J. R. Alves³, M. I. S. F. Matsuura²

¹UAB – Universidade Federal de São Carlos

²CNPMA – Embrapa Meio Ambiente

³CNPAG – Embrapa Agrobiologia

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método que demanda informações espaciais. Logo, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma ferramenta que pode fornecer suporte à ACV, na caracterização e quantificação do espaço geográfico. Neste trabalho é exposto o potencial do SIG para a estimação de emissões de gases de efeito estufa derivadas da mudança do uso da terra, exemplificando a conversão de áreas para cana-de-açúcar no estado de São Paulo entre os anos de 2004 e 2013. Também é discutida a variação nas estimativas dos estoques de carbono relacionados ao uso da terra, variação esta decorrente da adoção de diferentes metodologias (Tier 1 e Tier 2, do IPCC). Os dados espaciais corresponderam ao Canasat e Probio II, processados no software SIG ArcGis. Os resultados mostraram que a cana-de-açúcar se expandiu principalmente sobre agricultura, com 2.107.930 ha convertidos em cana-de-açúcar no período estudado. Os valores das emissões de carbono, adotando-se o Tier 1, podem variar em até 75%, dependendo da escolha dos fatores 'uso do solo', 'manejo' e 'aporte de carbono'. Comparando-se o Tier 1 e Tier 2, estes valores variaram em até 160%.

1. Introdução

A Avaliação do ciclo de vida (ACV) é um método de avaliação de impacto ambiental sistêmico e abrangente, que leva em conta todas as atividades potencialmente impactantes ao meio ambiente (SILVA E KULAY, 2003). A abordagem da ACV compreende a análise das atividades desde a retirada das matérias-primas até o descarte do produto em questão (SEO & KULAY, 2006).

Por ter como característica tal amplitude de análise, é de fundamental importância se considerar adequadamente os dados espaciais para que estudos de ACV gerem resultados representativos da realidade. Na ACV, o uso do solo tem grande influência no impacto de mudanças climáticas, devido às alterações dos fluxos de gás carbônico (CO₂) entre o solo e a atmosfera. As emissões desse gás colaboram para o forçamento radioativo que acarreta o aquecimento global (IPCC, 2007).

Nesse âmbito, o sistema de informações geográficas (SIG) é uma ferramenta eficiente para analisar e quantificar o espaço geográfico. Segundo Burrough (1986), o SIG corresponde a um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais sobre o mundo real para um conjunto particular de objetivos. Portanto, o SIG pode suprir as demandas da ACV por dados espaciais, particularmente quando envolve quantificação do espaço e análise da mudança de uso da terra.

O estudo de caso mostrado neste trabalho é o da conversão de áreas para a canavicultura no estado de São Paulo, entre os anos de 2004 e 2013. Assim, seu objetivo foi levantar dados relacionados à expansão desta cultura sobre outros tipos de uso da terra utilizando o SIG, assim como calcular estoques de carbono no solo e sua emissão decorrente da mudança de uso da terra por meio de duas abordagens distintas - Tier 1 e Tier 2, do IPCC (Intergovernmental Panel on



IV CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO PELO CICLO DE VIDA

9 a 12 de novembro de 2014

São Bernardo do Campo – SP – Brasil



Climate Change) - e, conseqüentemente, contribuir para a evolução da metodologia de apoio a estudos de ACV.

2. Materiais e métodos

2.1 Informações espaciais

As informações de cobertura da terra com cana-de-açúcar utilizadas foram obtidas junto ao Projeto Canasat (INPE, 2013). Para o uso da terra anterior ao cultivo de cana-de-açúcar foi adotado o Projeto Nacional de Ações Integradas Público-Privadas para Biodiversidade – Probio (BRASIL, 2010), relativo ao ano de 2002. Também foi utilizado o recorte político do estado de São Paulo em mesorregiões (IBGE, 2007).

A integração temática foi feita no software SIG ArcGis e compreendeu três etapas. (1) Preparação dos dados para a análise: separação por mesorregião; reclassificação dos dados Canasat para exibir somente presença ou ausência de cana-de-açúcar; reclassificação das informações do Probio para exibir os usos da terra nas categorias “agricultura”, “pastagem”, “reflorestamento”, “remanescente”, “urbano” e “outros”, sendo que a categoria “outros” engloba corpos hídricos, áreas sem classificação de uso e não observadas. (2) Agregação de informações: compatibilização e junção dos dados reclassificados e políticos em um único arquivo; cálculo da área de cana-de-açúcar sobre cada tipo de uso anterior. (3) Sumarização das conversões de uso: tabulação dos dados referentes à conversão de uso da terra para cana-de-açúcar.

A expansão do cultivo de cana-de-açúcar foi calculada sempre em comparação com o uso anterior da terra, ou seja, os dados da área de cana-de-açúcar do Canasat foram sobrepostos nas informações do uso da terra anterior do Probio.

As áreas de cultivo de cana-de-açúcar dos anos de 2003 a 2013 foram sobrepostas ao uso da terra do Probio 2002. Como não há informações sobre a área ocupada por cana-de-açúcar anteriormente a 2003, foi adotada a premissa de que a área de cultivo de cana-de-açúcar de 2003 é a mesma área de 2002. Portanto, o ano de 2003 não apresenta dados de conversão de agricultura em cana-de-açúcar, motivo pelo qual este ano foi desconsiderado no cálculo de emissões.

2.2 Mudança dos estoques de carbono em função do uso da terra

Para se estimar as emissões ou o sequestro de carbono resultantes da conversão para canavicultura de uma terra anteriormente ocupada por outro uso, as áreas anualmente convertidas (de 2004 a 2013), calculadas conforme descrito no item 2.1, foram multiplicadas pela diferença entre os estoques de carbono do uso anterior e do uso atual da terra, obtidas segundo método recomendado pela Comissão Europeia (2009, 2010). Os valores de estoque de carbono do solo usados nesta estimativa advieram de duas fontes: (1) Comissão Europeia (2009, 2010), correspondendo a valores “default” propostos para combinações dos fatores “região climática”, “tipo de solo”, “manejo do solo” e “aporte de material orgânico” (para a camada do solo de 0-30 cm e profundidade) (cenário 1, C1; e cenário 2, C2); e (2) Mello et al. (2014), correspondendo a valores estimados para áreas da região Centro-Sul do Brasil sob cultivo de cana-de-açúcar há mais de 20 anos, para solos argilosos (cenário 3, C3; cenário 4, C4) ou para a média entre solos argilosos e arenosos (cenários 5, C5; e cenário 6, C6) (para a camada de 0-30 cm). Nos cenários C1, C3 e C5 foram consideradas práticas de manejo de solo e da cultura que favorecem o sequestro de carbono, enquanto que em C2, C4 e C6 foram consideradas práticas culturais que o desfavorecem.



IV CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO PELO CICLO DE VIDA

9 a 12 de novembro de 2014

São Bernardo do Campo – SP – Brasil



3. Resultados e discussão

3.1 Mudança de uso da terra

Após o cruzamento das informações espaciais provenientes do Canasat e Probio, foram obtidos dados sobre a conversão de áreas para cana-de-açúcar no estado de São Paulo e o uso da terra anterior. As tabelas 1 e 2 mostram a área de cada uso convertida em cana-de-açúcar, em valores absolutos e relativos, comparados com o ano base do Probio 2002.

Tabela 1: Área convertida em cana-de-açúcar (ha).

Ano	Uso anterior da terra (ha)						TOTAL
	Agricultura	Pastagem	Reflorestamento	Remanescente	Urbano	Outros	
2004	166.075	42.444	368	8.167	-6	68	217.116
2005	136.200	10.931	-574	-9.268	-127	-38	137.124
2006	227.473	104.600	503	27.182	124	145	360.025
2007	426.952	162.800	3.384	17.848	40	-108	610.916
2008	532.459	199.300	418	-3.702	-294	269	728.451
2009	236.926	127.784	1.089	13.863	5	-474	379.193
2010	61.144	24.521	435	2.103	-26	-40	88.137
2011	76.556	29.349	483	2.426	-5	607	109.415
2012	89.940	50.392	1.112	817	-34	-600	141.627
2013	154.204	80.862	2.854	6.400	-28	8	244.301
TOTAL	2.107.930	832.983	10.072	65.835	-351	-163	3.016.306

Tabela 2: Área convertida em cana-de-açúcar (%).

Ano	Uso anterior da terra (%)						TOTAL
	Agricultura	Pastagem	Reflorestamento	Remanescente	Urbano	Outros	
2004	5,51	1,41	0,01	0,27	0,00	0,00	7,20
2005	4,52	0,36	-0,02	-0,31	0,00	0,00	4,55
2006	7,54	3,47	0,02	0,90	0,00	0,00	11,94
2007	14,15	5,40	0,11	0,59	0,00	0,00	20,25
2008	17,65	6,61	0,01	-0,12	-0,01	0,01	24,15
2009	7,85	4,24	0,04	0,46	0,00	-0,02	12,57
2010	2,03	0,81	0,01	0,07	0,00	0,00	2,92
2011	2,54	0,97	0,02	0,08	0,00	0,02	3,63
2012	2,98	1,67	0,04	0,03	0,00	-0,02	4,70
2013	5,11	2,68	0,09	0,21	0,00	0,00	8,10
TOTAL	69,88	27,62	0,33	2,18	-0,01	-0,01	100

Pelos dados acima apresentados, é possível afirmar que a conversão de áreas para cana-de-açúcar no estado de São Paulo se deu principalmente sobre agricultura, tendo sido convertidos 2.107.930 ha (ou 69,88% de toda a área convertida) durante o período em estudo.

O segundo uso da terra que mais cedeu espaço para o cultivo da cana-de-açúcar foi o uso como pastagem: 832.983 ha destinados a pastagens transformaram-se em cana-de-açúcar de 2004 a 2013. Essa área totaliza 27,62% da expansão. É importante salientar que a expansão de cana-de-açúcar sobre os dois tipos de uso da terra citados anteriormente representa 2.940.913 ha ou 97,50% da expansão.

A conversão de remanescentes de vegetação nativa em cana-de-açúcar ocupou a área de 65.835 ha, o que representa 2,18% da expansão, sendo o terceiro tipo de uso da terra mais substituído

por cana-de-açúcar. A área de reflorestamento substituída por cana foi de 10.072 ha, correspondendo a 0,33% de toda a conversão. Houve pequeno recuo de área de cana-de-açúcar convertidas a áreas urbanas ou de outros usos (0,02%).

3.2 Mudança dos estoques de carbono em função do uso da terra

A emissão ou sequestro de carbono derivados da conversão da terra à canavicultura variam grandemente em função dos valores de estoque de carbono do solo considerados nas estimativas (Figura 1). Os fatores “default” propostos originalmente pelo IPCC e adequados pela Comissão Europeia (2010) – IPCC-CE, obviamente, assumem um nível maior de “generalização” e, por consequência, imputam às estimativas um maior grau de incerteza. Já os valores de estoque de carbono propostos por Mello et al. (2014) foram gerados especificamente para as condições da região Centro-Sul do Brasil e para áreas sob canavicultura.

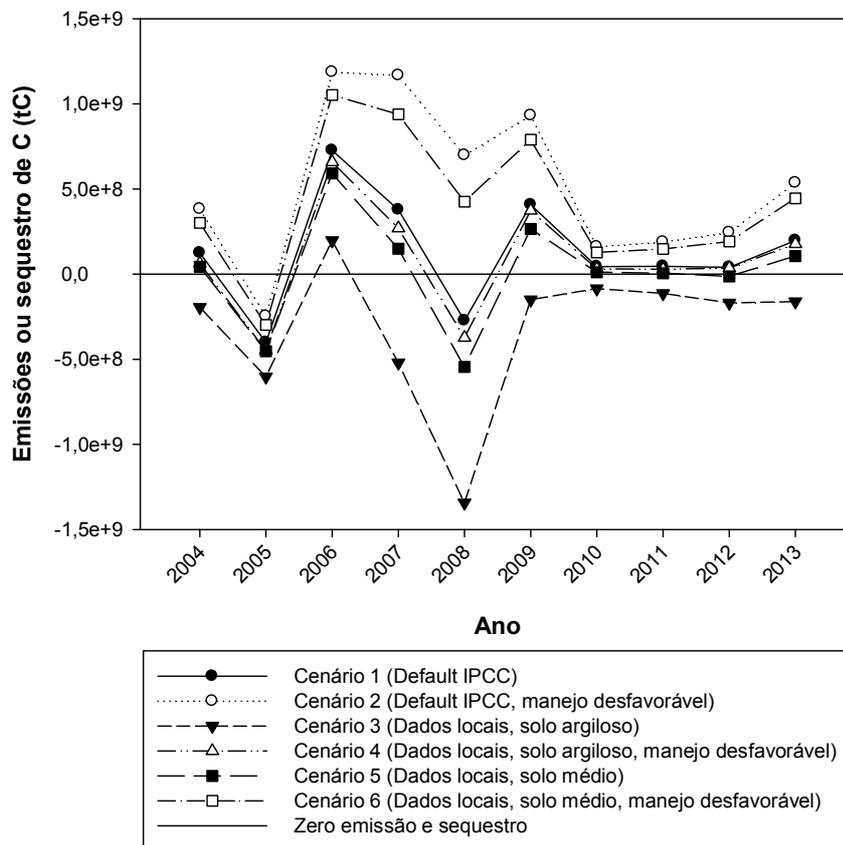


Figura 1 – Estimativa do total de CO₂ que será potencialmente emitido ou sequestrado em 20 anos* em função da conversão de área sob outros usos para cana-de-açúcar no estado de São Paulo, no período de 2004 a 2013. Dados gerados pelos autores. *Corresponde ao tempo para que os estoques de C do solo atinjam novo equilíbrio após a mudança de uso para cana-de-açúcar (IPCC, 2007).

Para qualquer destas duas abordagens, a escolha dos fatores ao se considerar o “manejo do solo” e o “aporte de carbono”, nem sempre uma decisão evidente, influencia claramente os resultados. As categorias de fatores que resultaram nos mais altos valores de emissão de carbono foram as que consideraram o “manejo do solo” e “aporte de carbono” mais desfavorável (C2, C4 e C6) – isto é, condição de maior movimentação do solo e menor aporte de matéria orgânica.

Também o teor de argila no solo, considerado nas estimativas, afeta as emissões: solos mais argilosos (C3 e C5) sequestram mais carbono.

A Figura 2 apresenta a emissão ou sequestro de CO₂ (tCO₂) no período de 20 anos a partir da MUT para estabilização do estoque de C no solo sob uso com cana-de-açúcar, considerando-se as mudanças ocorridas a cada ano, no período de 2004 a 2013. Para os cenários estudados, os resultados variaram de emissões da ordem de 5,0E+08 tCO₂ (Cenário 2) a sequestro de 3,0E+08 tCO₂ (Cenário 3).

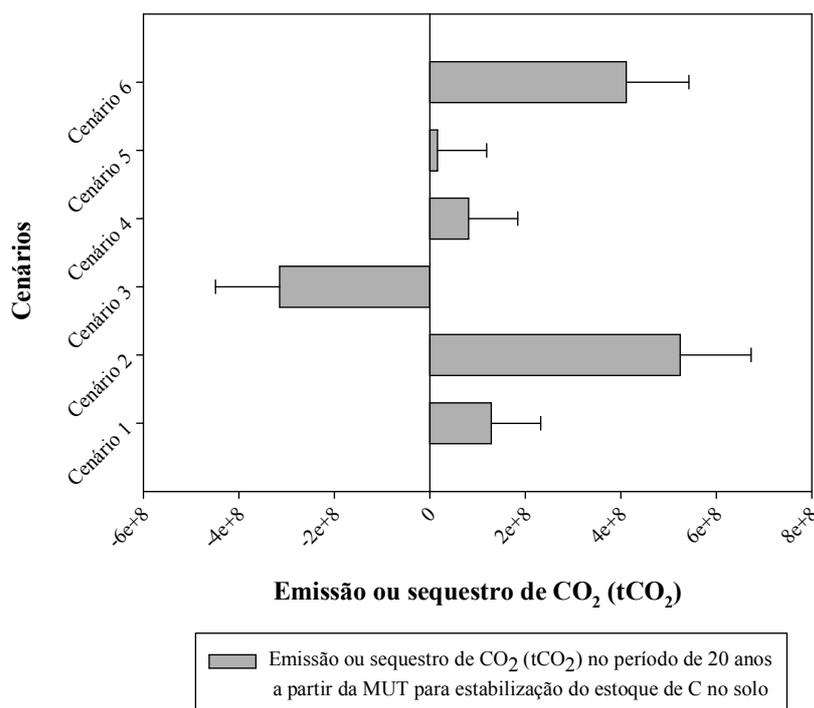


Figura 2 – Estimativa da emissão ou sequestro médios de CO₂ do solo que ocorreriam em 20 anos* considerando-se a conversão de área sob outros usos para cana-de-açúcar a cada ano no estado de São Paulo no período de 2004 a 2013, para os cenários estudados. *Corresponde ao tempo para que os estoques de C do solo atinjam novo equilíbrio após a mudança de uso para cana-de-açúcar (IPCC, 2007).

4. Considerações finais

O SIG é uma ferramenta capaz de apoiar estudos de ACV quando se trata de informações espaciais. Ao se tratar da temática agrícola, a análise espacial é indispensável. No estudo de caso da expansão da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, é possível afirmar que essa cultura substituiu principalmente áreas de agricultura e pastagens no período estudado.

Os valores da emissão de carbono, adotando-se o Tier 1, podem variar em até 75%, dependendo da escolha dos fatores ‘uso do solo’, ‘manejo’ e ‘aporte de carbono’. Comparando-se o Tier 1 e Tier 2, estes valores variaram em até 160%. Essa grande variação é decorrente do fato de um método ter resultado em emissão de CO₂, enquanto outro resultou em sequestro de carbono, a partir da mesma base de dados de MUT.



**IV CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO PELO
CICLO DE VIDA**

9 a 12 de novembro de 2014
São Bernardo do Campo – SP – Brasil



REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto Nacional de Ações Integradas Público-Privadas para a Biodiversidade – Probio II**. Brasília, 2010. Dados vetoriais em escala 1:250.000. Fornecidos sob solicitação.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford University Press, Oxford, 1986. 193 p.
- COMISSÃO EUROPEIA. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union, L 140/16 de 5.6.2009.
- COMISSÃO EUROPEIA. Commission Decision of 10 June 2010 on guidelines for the calculation of land carbon stocks for the purpose of Annex V to Directive 2009/28/EC. Official Journal of the European Union, L 151/19 de 17.6.2010.
- IBGE. **Malha de meso e microrregião geográfica digital do Brasil - 2007** . Dados vetoriais em escala 1: 250.000. Disponível em <<http://www.visualizador.inde.gov.br/>>. Acesso em 1 de agosto de 2014.
- INPE. **Dados vetoriais do projeto Canasat de 2003 a 2013**. Dados vetoriais em escala 1:75.000. São Paulo, 2013. Fornecidos sob solicitação.
- IPCC, 2007. **IPCC Fourth Assessment Report**. Working Group 1, Report “The Physical Science Basis”.
- MELLO, F. F. C.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; HOLBROOK, N. M.; PAUSTIAN, K.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol: supplementary information. *Nature Climate Change*, London, v. 4, p. 605-609, 2014.
- SEO, E. S. M.; KULAY, L. A. Avaliação do Ciclo de Vida: Ferramenta Gerencial para Tomada de Decisão. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**. V.1, n.1, Art 4, agosto 2006
- SILVA, G. A.; KULAY, L. Environmental Performance Comparison of Wet and Thermal Routes for Phosphate Fertilizer Production Using LCI – A Brazilian Experience. In: **LCA/LCM – Life Cycle Assessment/Life Cycle Management: a bridge to a sustainable future**. 2003. Seattle.