

Mudanças de uso da terra e estimativas de emissões antrópicas de CO₂ em bacia hidrográfica

Land use changes and estimates of anthropogenic CO₂ emissions in a watershed

Jocy Ana Paixão de Sousa¹
Elfany Reis do Nascimento Lopes²
José Carlos de Souza³
Roberto Wagner Lourenço⁴

Palavras-chave

Gases do efeito estufa
Impactos ambientais
Matriz de transição

Resumo

As interferências antrópicas sempre provocaram grandes impactos na superfície terrestre, com maior intensidade nos últimos tempos em função das mudanças do uso da terra, que contribuem para emissão dos gases do efeito estufa, em especial do dióxido de carbono. Neste sentido, o estudo objetivou analisar as transições do uso da terra e as emissões de CO₂ resultantes dessas ações em uma bacia hidrográfica. Para isto realizou-se mapeamentos de uso da terra de 2007, 2010, 2013 e 2016, como também estimou as emissões decorrentes das transições. Para o cálculo das emissões líquidas de CO₂ foram utilizados dados das transições que ocorreram, da vegetação pretérita e informações pedológicas. Todos os procedimentos foram realizados com auxílio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, resultando em matrizes de transições e de emissões do CO₂, além das informações espacializadas. Observou-se que a categoria floresta apresentou a maior conversão para outros tipos de uso da terra, destacando-se uma perda de 208,86 ha entre 2010 a 2013. Em relação as emissões, verificaram-se que em nove anos ocorreram mais emissões do que sequestro de carbono da atmosfera, o que mostra a necessidade de medidas de gestão e planejamento que visem a amenização dos impactos ocasionados pela intensa modificações de uso terra na bacia estudada.

¹ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, SP, Brasil. jocy.sousa@unesp.br

² Universidade Federal do Sul da Bahia. Centro de Formação em Ciências Ambientais, Porto Seguro, BA, Brasil. elfany@csc.ufsb.edu

³ Universidade Estadual de Goiás. Campus Cora Coralina. Cidade de Goiás, GO, Brasil. jose.souza@ueg.br

⁴ Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, SP, Brasil. roberto.lourenco@unesp.br

Keywords

Greenhouse gases
Environmental impacts
Transition matrix

Abstract

Anthropogenic interference has always impacted the Earth's surface, with greater intensity in recent times due to land use changes, which contribute to the emission of greenhouse gases, especially carbon dioxide. In this sense, this study analyzes land use transitions and CO₂ emissions resulting from these actions in a watershed. For this, land use mappings were made in 2007, 2010, 2013, and 2016, along with estimates of the emissions from transitions. The calculation of net CO₂ emissions included data from the transitions that occurred, from past vegetation, and pedological information. All procedures were performed with the aid of geoprocessing and remote sensing techniques, resulting in matrices of transitions and CO₂ emissions, in addition to spatialized information. The forest category showed the highest conversion to other types of land use, with a loss of 208.86 ha between 2010 and 2013. In the observed period of nine years, carbon emissions were higher than its sequestration from the atmosphere, which shows the need for management and planning to mitigate the impacts caused by intense land use changes in the studied watershed.

INTRODUÇÃO

As interferências antrópicas sobre a natureza sempre provocaram danos ambientais, porém foi em meados do século XVIII, a partir da Revolução Industrial, que esses impactos sobre o meio ambiente atingiram uma escala global. As ações antrópicas resultam em transformações tanto na superfície terrestre quanto na composição da atmosfera, contribuindo de forma significativa para os desequilíbrios ambientais e socioeconômicos (CARVALHO et al., 2010; HOUGHTON et al., 2001).

O uso da terra, com a finalidade de produzir bens para suprir as necessidades do ser humano, tem se mostrado um desafio para encontrar um ponto de equilíbrio entre o uso racional dos recursos naturais e a produtividade, ambos essenciais para a sobrevivência humana. Ainda assim, a maneira como o homem interfere na natureza reflete em alterações na superfície terrestre e à medida que essas mudanças se intensificam,

a preocupação com o meio ambiente aumenta (SILVA; ROSA, 2016).

Entre as ações antropogênicas mais significativas estão as mudanças de uso da terra, as quais contribuem com as emissões dos gases do efeito estufa (GEE) e influenciam o balanço energético da atmosfera. As mudanças de uso da terra são consideradas a segunda fonte emissora de dióxido de carbono (CO₂) no mundo, perdendo somente para os combustíveis fósseis (IPCC, 2014; MATA et al., 2015).

O CO₂ é um gás regulador do efeito estufa, originado naturalmente e através de atividades antrópicas. Estudos têm demonstrado que a intensificação do efeito estufa contribuem para a elevação da temperatura e para ocorrência de eventos extremos, com destaque para o aumento do nível do mar, enchentes, seca, ciclones, tempestades e extinção de espécies da fauna e flora (BAUMERT et al., 2005; HOSHINO et al., 2016; MOREIRA; GIOMETTI, 2008; REIS; SILVA, 2016).

Vale ressaltar que, a avaliação das estimativas de emissões de CO₂ resultante da alteração de uso da terra é de grande relevância para as pesquisas que contribuem com políticas de redução dos GEE e, junto com a crescente demanda para se estimar tais emissões, surge a necessidade de utilização de geotecnologia que aprimore a obtenção destes dados, destacando-se o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e do Sensoriamento Remoto (SR).

As geotecnologias permitem a atualização na periodicidade dos dados, maior processamento na quantidade de dados e menor custo. Além disso, contribuem para aquisição de informações espaciais, análise

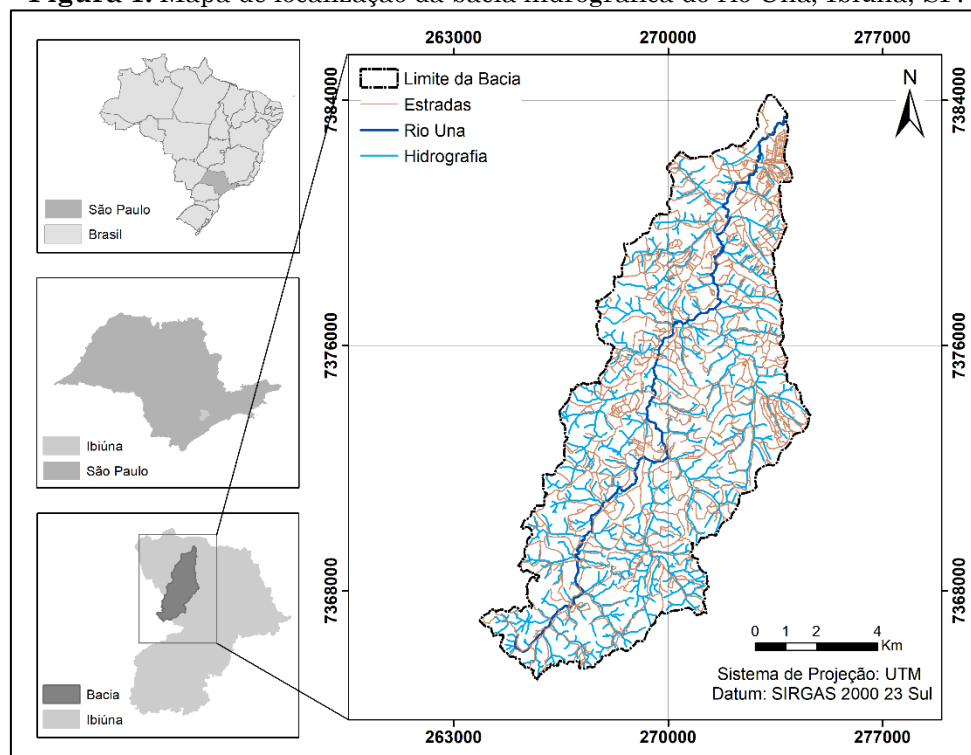
multitemporal e auxílio em diagnóstico e monitoramentos da superfície terrestre. Sendo, portanto, capazes de auxiliar nos estudos que busquem estimar os GEE (LEITE; FREITAS, 2013; VAEZA et al., 2010).

Nesse contexto, este estudo objetivou avaliar as mudanças de uso da terra e estimar as emissões e reduções dos GEE em um período de nove anos em uma bacia hidrográfica do sudeste do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Una, situada na cidade de Ibiúna, sudeste do Brasil (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Una, Ibiúna, SP.



Org.: pelos Autores, 2018.

A bacia apresenta uma área de aproximadamente 96 km² e destaca-se por

estar inserida em um território de elevado desenvolvimento econômico, com forte

expressão da produção agrícola, ocupação urbana e fragmentação da paisagem, com diferentes graus de perturbação devido às atividades antropogênicas (LOPES et al.; 2018; ROSA et al., 2014).

A área contribui significativamente para a formação de importantes reservatórios, entre eles o de Itupararanga, considerado a principal fonte de fornecimento de água regional (LOPES et al.; 2018), com destaque para Ibiúna, Sorocaba, Mairinque e Votorantim.

Para a obtenção das transições de uso da terra e estimativas líquidas de CO₂ foram necessários uma sequência de etapas metodológicas descritas a seguir:

Mapeamentos dos usos da terra

Os mapeamentos dos usos da terra foram realizados utilizando imagens de satélites do Landsat 5 para o ano de 2007, Spot 5 para 2010, RapidEye para 2013 e Sentinel 2A para 2016. As imagens utilizadas referem-se ao mês de novembro, com exceção do Landsat 5 que foi adquirida para o mês de setembro.

A classificação das imagens foi realizada por meio da técnica de interpretação visual e retroanálise multitemporal. O método da interpretação visual, consiste na vetorização das categorias ou classes identificadas na área de estudo por meio da identificação das feições, por sua forma, tonalidade e textura (PANIZZA; FONSECA; 2011).

As categorias de uso da terra adotadas para as legendas dos mapas foram adaptadas das orientações do Guia de Boas Práticas para

Uso da Terra, Mudanças no Uso da Terra e Floresta (GPG/LULUCF) (IPCC, 2003) e do o Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013), sendo elas: Floresta (F), Reflorestamento (R), Campo (C), Agricultura (A), Área urbana (Au), Área alagada (Aa) e Pastagem (P).

Mapa da vegetação pretérita

O mapa de vegetação pretérita foi obtido por meio do recorte do arquivo vetorial do mapeamento da vegetação pretérita do Brasil (IBGE, 2004) para a área de estudo e da construção de um Modelo Digital de Elevação (MDE), ambos utilizados para determinar a formação florestal que existia na bacia.

O MDE foi gerado por meio da interpolação das curvas de nível e dos pontos cotados utilizando o método *Irregular Triangulated Networks* (TIN). O TIN consiste em uma estrutura vetorial com topologia nó-arco, onde para cada um dos três vértices de cada elemento do triângulo existem coordenadas de localização e informações de altitude da superfície terrestre (SOUSA JUNIOR; DEMATTÊ, 2008).

Posteriormente, as fisionomias florestais pretéritas foram enquadradas nas categorias de vegetação estabelecidas por Bernuox et al. (2002).

Mapa de solos e mapa de carbono no solo sob a associação solo-vegetação

Realizou-se um recorte do arquivo vetorial do mapeamento pedológico do Estado de São

Paulo (ROSSI, 2017) para a área de estudo, buscando obter as classes pedológicas existentes na área. Devido à baixa qualidade cartográfica para trabalho a nível de detalhe, realizou-se a análise da textura do solo buscando detalhar as características pedológicas e identificar com mais especificidade o estoque de carbono no solo.

A análise da textura foi realizada por meio da análise granulométrica do solo, precedida da coleta de amostras de solos em 35 pontos distribuídos de forma irregular nos diferentes tipos de uso da terra. A coleta foi realizada com trado na profundidade de 0-20 cm, retirando-se 500 gramas de solo. Todas as amostras foram embaladas e levadas ao Laboratório de Águas e Solos da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba.

Em laboratório, analisou-se as amostras pelo método da pipeta na terra fina seca ao ar (TFSA), segundo metodologia do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC, 2009). Após obtidos os percentuais de silte, areia e argila, fez-se a classificação da textura, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

As tabelas das informações de solos e de textura do solo foram combinadas por meio do ArcGIS 10.3 (ESRI, 2014) visando definir os grupos de solos na bacia, segundo Bernuox et al. (2002). O mapeamento do estoque de carbono no solo sob associação solo-vegetação foi realizado com base no mapa da vegetação pretérita e nos grupos de solos identificados.

Os valores de carbono adotados foram os

mesmos utilizados pela CETESB (2012), que se refere aos dados da mediana de carbono resultantes da associação solo-vegetação, do Relatório de referência - Emissões e remoções de Dióxido de Carbono pelos Solos por Mudanças de Uso da Terra e Calagem (BRASIL, 2006).

Para determinação do carbono, Brasil (2006) utilizou dados de solos de 0-30 cm de profundidade. Então, foram realizadas as estimativas de carbono em cada perfil, obtidos por meio da multiplicação da densidade aparente do solo com a concentração e a espessura do horizonte. Por fim, os dados de carbono foram somados para se ter o carbono em cada local.

Transição de uso da terra

Com base nos mapeamentos do uso da terra obtidos foram realizadas análises de transições entre três períodos, 2007 a 2010, 2010 a 2013 e 2013 a 2016 utilizando a ferramenta de *Tabulate Area* do software ArcGIS 10.3. As matrizes de transições consistem na comparação do ano anterior com o ano posterior para detectar as mudanças ocorridas em cada categoria.

Cálculo de estimativas de emissões e remoções de CO₂

O cálculo das estimativas de emissões e remoções de CO₂ são referentes às mudanças ocorridas em um determinado período, tanto em relação ao uso da terra, quanto ao estoque

de carbono no solo.

Para os cálculos das estimativas de emissões e remoções de CO₂ das mudanças de uso da terra foram utilizadas equações da CETESB (2012), em que leva em consideração as transições que ocorreram de um ano para outro, por exemplo, uma área que era floresta e foi convertida para agricultura apresenta uma determinada equação. Sendo assim, para cada transição ocorrida em uma área consultou-se qual equação que seria utilizada.

Os cálculos das estimativas de emissões e remoções de CO₂ relativo à mudança de estoque do carbono no solo foram realizados por meio da Equação 1, proposta pelo IPCC (2003).

$$ESi = Ai * C_{solo} * (fc(to) - fc(tf)) * \left(\frac{T}{20}\right) \quad [1]$$

Em que:

ESi: emissão líquida de CO₂ na área em um determinado período (tc);

Ai: área da categoria de uso da terra (ha);

C_{solo}: Conteúdo de carbono do solo resultante da associação solo-vegetação [tc.ha⁻¹];

fc(to): Fator de alteração de carbono do solo no ano anterior (adimensional), referente a categoria do uso da terra que era;

fc(tf): Fator de alteração de carbono do solo no ano posterior (adimensional), referente a categoria do uso da terra que se tornou;

T: intervalo de tempo (ano).

Para definir o fator fc utilizou-se a Equação 2.

$$fc(to) \text{ ou } fc(tf) = fLu * fMg * fI \quad [2]$$

Em que:

fc(to): Fator de mudança de carbono no solo no ano anterior (adimensional);

fc(tf): Fator de mudança de carbono no solo no ano posterior (adimensional);

fLu: Fator de mudança de carbono pelo uso da terra (adimensional);

fMg: Fator de alteração de carbono em função da prática de manejo (adimensional);

fI: Fator de alteração de carbono pelo uso de fertilizantes (adimensional).

Os valores das variáveis do fator fc encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Fator de mudança de carbono do solo em função da mudança de uso da terra.

Uso da terra	f _{Lu}	f _{Mg}	f _I	f _c
Campo	1	-	-	1
Floresta	1	-	-	1
Área urbana	0	-	-	0
Agricultura	0,58	1,16	0,91	0,612
Área alagada	0	-	-	0
Pastagem	1	0,97	1	0,97
Reflorestamento	0,58	1,16	1	0,673

Fonte: Adaptado da CETESB, 2012. Org.: pelos Autores, 2018.

Matriz de emissões líquidas

Para o cálculo das emissões líquidas foi utilizada a Equação 3.

$$EL = \sum ERMUT + \sum ERCS \quad [3]$$

Em que:

ERMUT: Emissão ou remoção referente a mudança do uso da terra (tc);

ERCS: Emissão ou remoção do estoque de carbono no solo (tc).

Resultado positivo significa que houve emissão de CO₂ para a atmosfera, enquanto o negativo indica a remoção de CO₂ da atmosfera. Os valores de toneladas de carbono foram convertidos para Gigagrama (Gg) de carbono e posteriormente, por meio da equação 4, foram transformados em Gigagrama de CO₂ (GgCO₂) (AGUIAR et al., 2016; ELETROBRAS, 2009). Enfim, os resultados foram apresentados em uma matriz e especializados por meio do ArcGIS 10.3.

$$ECO_2 = Ec * \left(\frac{44}{12}\right) \quad [4]$$

Em que:

ECO₂: Emissão de CO₂ (GgCO₂);

Ec: Emissão de carbono (Ggc);

44/12: Razão entre os pesos moleculares do CO₂ e do Carbono.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 indicam-se os quantitativos das categorias para os anos de 2007, 2010, 2013 e 2016. A Figura 2 apresenta os mapeamentos do uso da terra na bacia hidrográfica do rio Una.

Tabela 2. Quantificação das categorias de uso da terra para cada ano analisado

Categorias	2007		2010		2013		2016	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Campo	741,28	7,69	673,27	6,98	592,11	6,14	598,67	6,21
Floresta	4.242,5	44,00	4.122,5	42,75	3.938,08	40,84	3.828,19	39,70
Área urbana	1.107,87	11,49	1.160,03	12,03	1.356,45	14,07	1.400,14	14,52
Agricultura	3.186,71	33,05	3.315,74	34,38	3.389,67	35,15	3.433,44	35,61
Área alagada	82,28	0,85	81,77	0,85	81,36	0,84	80,84	0,84
Pastagem	91,7	0,95	92,2	0,96	93,35	0,97	97,75	1,01
Reflorestamento	190,43	1,97	197,26	2,05	191,75	1,99	203,74	2,11
Total	9.642,77	100,00	9.642,77	100,00	9.642,77	100,00	9.642,77	100,00

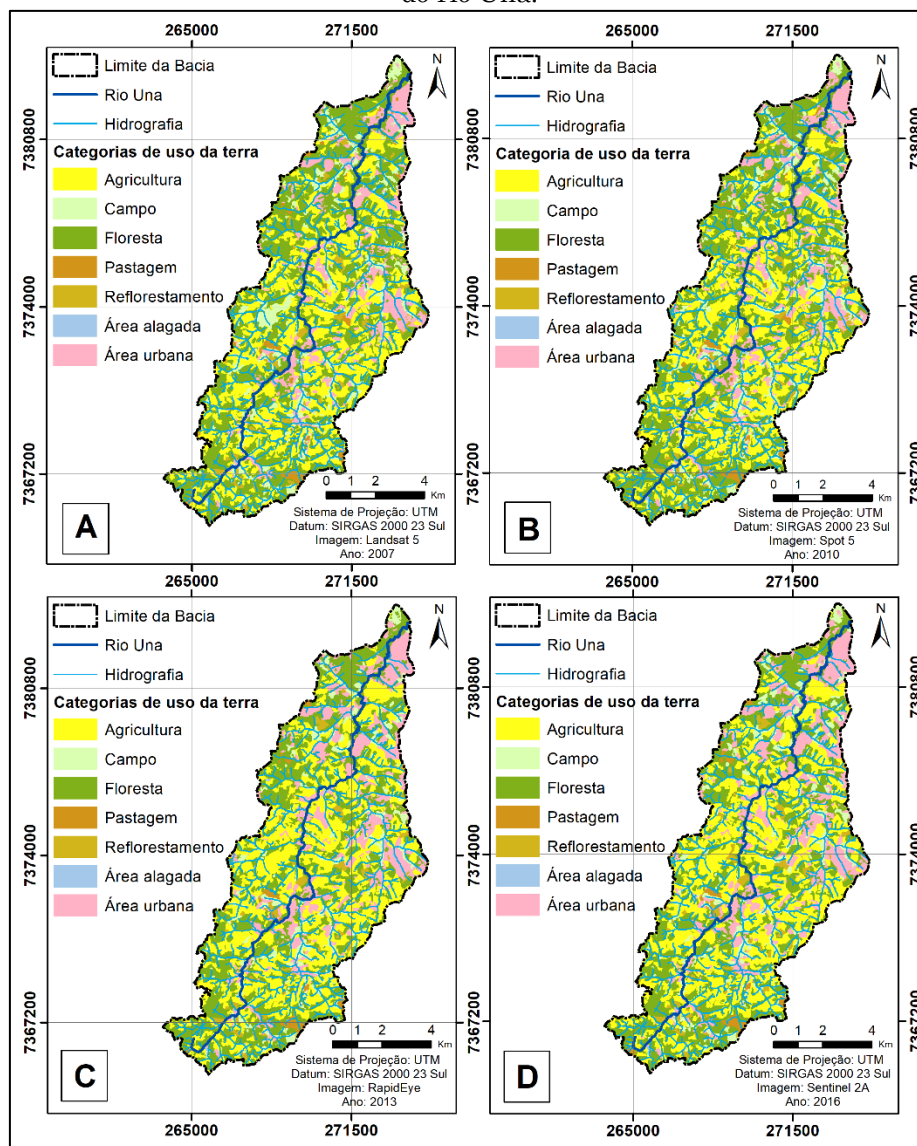
Org.: pelos Autores, 2018.

Pode-se verificar na Tabela 2 que ao longo de nove anos houve uma aumento das categorias de agricultura, área urbana e pastagem. Já a categoria com maior perda de área foi a floresta. Em estudo na área de mata atlântica realizado por Weckmuller et al. (2012) também constataram o aumento da área urbana, agricultura e pastagem, em função da redução das áreas de florestas.

Já em pesquisa realizada por Eckhardt

et al. (2013) identificaram resultados opostos, pois verificaram o aumento da vegetação natural e redução das áreas agrícolas, em razão do êxodo rural, somado à utilização de ferramentas mecanizadas, de difícil utilização em áreas com elevadas declividades, o que contribui para o abandono destas áreas e consequente recuperação da mata atlântica.

Figura 2. Mapa de uso da terra do ano de 2007 (A), 2010 (B), 2013 (C) e 2016 (D) da bacia hidrográfica do rio Una.



Org.: pelos Autores, 2018.

O decréscimo da vegetação natural evidencia o nível de exposição antrópica em que a bacia se encontra, sendo que o percentual de 4,30% de perda de vegetação ao longo de nove anos reforça a necessidade de conservação das áreas naturais, permitindo assim, o fluxo gênico, a formação de corredores ecológicos, a regeneração natural e a conservação dos recursos hídricos.

Na bacia hidrográfica do rio Una

existiam as fisionomias vegetais de floresta ombrófila densa montana, floresta estacional decidual e floresta estacional semidecidual (Figura 3A), que correspondem a três grupos de vegetação proposto por Bernoux et al. (2002) para o bioma mata atlântica, conforme Tabela 3.

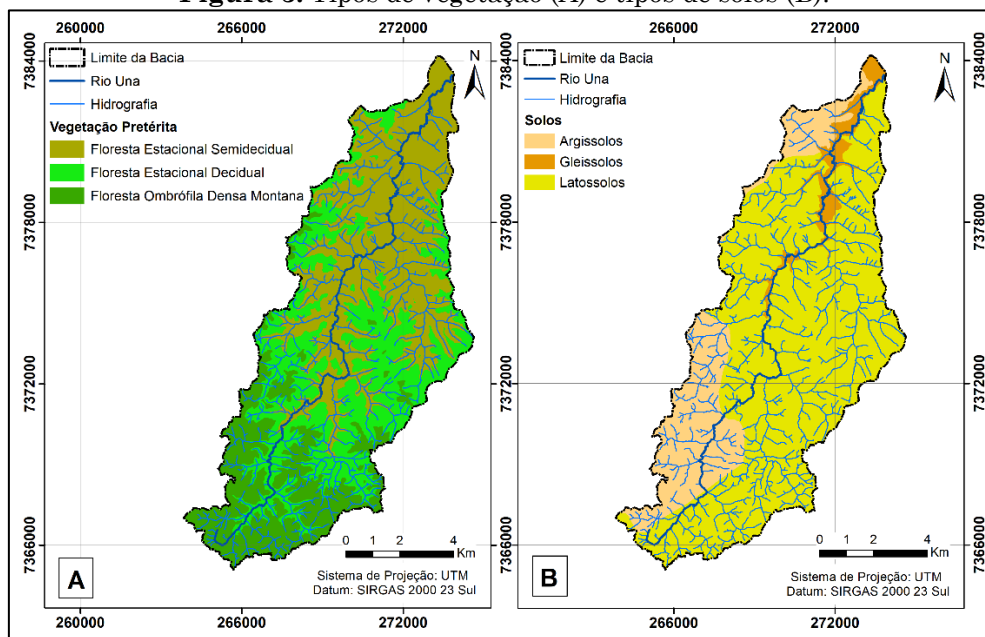
Quanto aos tipos de solos, a bacia apresenta Latossolos, Argissolos e Gleissolos (Figura 3B).

Tabela 3. Tipologias de vegetação encontradas para a bacia hidrográfica do rio Una.

Grupos de vegetação	Fisionomias vegetais
V3	floresta ombrófila densa montana
V4	floresta estacional decidual
V5	floresta estacional semidecidual

Fonte: Adaptado de Bernuox et al. (2002). Org.: pelos Autores, 2018.

Figura 3. Tipos de vegetação (A) e tipos de solos (B).



Org.: pelos Autores, 2018.

As texturas encontradas variam entre argilosa, franco-argilo-arenosa, argilo-arenosa e franco-argilosa. Estas informações juntamente com os tipos de solos foram enquadradas em cinco grupos proposto por Bernuox et al. (2002), conforme Tabela 4.

Tabela 4. Grupos de solos encontrados na bacia hidrográfica do rio Una.

Grupos	Categorias de solos
S1	Solos que apresentam argila de atividade alta
S2	Latossolos com presença de argila de atividade baixa
S3	Solos diferentes de Latossolos com argila de atividade baixa
S4	Solos arenosos
S5	Solos hidromórficos

Fonte: Adaptado de Bernuox et al. (2002). Org.: pelos Autores, 2018.

Os resultados do mapeamento do estoque de carbono para a associação solo-vegetação são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Estoque de carbono no solo sob a associação solo-vegetação da bacia hidrográfica do rio Una.

Vegetação	Solos (Kg/m ²)				
	S1	S2	S3	S4	S5
V3	5,83	5,23	4,29	6,33	3,58
V4	4,67	3,08	4,00	2,59	3,27
V5	4,09	4,43	3,74	2,7	5,36

Legenda: V3) Floresta ombrófila densa montana, V4) Floresta estacional decidual, V5) Floresta estacional semidecidual, S1) Solos com a presença de argila de atividade alta, S2) Latossolos com presença de argila de atividade baixa, S3) Solos diferentes de Latossolos com argila de atividade baixa, S4) Solos arenosos e S5) Solos hidromórficos. Fonte: Adaptado da CETESB, 2012. Org.: pelos Autores, 2018.

Nas Tabelas 6, 7 e 8 apresentam as transições ocorridas nos períodos de 2007 a 2010, 2010 a 2013, 2013 a 2016, respectivamente. Nestas tabelas, as células em cinza correspondem às transições ocorridas de um período para o outro, as células verdes àquelas com permanência do uso da terra, as

células não coloridas referem-se à inexistência de transição e a coluna Transição refere-se o quanto de área foi perdida por uma determinada categoria. As linhas representam o ano anterior e as colunas o ano posterior (CETESB, 2011; 2012).

Tabela 6. Matriz de transição para as categorias de uso da terra no período de 2007 a 2010 (ha).

Área (ha)	Uso da terra em 2010									
		C	F	Au	A	Aa	P	R	Total 2007	Transição 2007-2010
Uso da terra em 2007	C	628,86	0,24	12,15	82,49	0,06	0,60	16,88	741,28	112,42
	F	38,93	4.112,50	26,99	62,57		1,51		4.242,50	130,00
	Au	0,56	3,66	1.102,60	1,05				1.107,87	5,27
	A	3,37	0,66	12,98	3.167,81		1,89		3.186,71	18,90
	Aa		0,06	0,45	0,06	81,71			82,28	0,57
	P	0,34		3,16			88,20		91,70	3,50
	R	1,21	5,38	1,70	1,76			180,38	190,43	10,05
Total 2010	673,27	4.122,50	1.160,03	3.315,74	81,77	92,20	197,26	9.642,77	Total de transição 280,71 ha	

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento. Org.: pelos Autores, 2018.

Pode-se verificar na Tabela 6 que categoria com maior perda de área foi a floresta (130,00 ha) e, o maior quantitativo de

conversão de áreas naturais para uso antrópico, foi de floresta para agricultura (62,57 ha).

Tabela 7. Matriz de transição para as categorias de uso da terra no período de 2010 a 2013 (ha).

Área (ha)	Uso da terra em 2013									
		C	F	Au	A	Aa	P	R	Total 2010	Transição 2010-2013
Uso da terra em 2010	C	513,89	6,45	75,76	61,47	0,15	3,63	11,92	673,27	159,38
	F	48,24	3.913,64	89,00	63,01	0,49	6,52	1,60	4.122,50	208,86
	Au	1,21	0,91	1.155,03	2,82	0,06			1.160,03	5,00
	A	24,39	8,57	19,47	3.256,12	0,24	3,62	3,33	3.315,74	59,62
	Aa		0,40	0,43	0,52	80,42			81,77	1,35
	P	0,96	0,45	10,97	0,24		79,58		92,20	12,62
	R	3,42	7,66	5,79	5,49			174,9	197,26	22,36
Total 2013	592,11	3.938,08	1.356,45	3.389,67	81,36	93,35	191,75	9.642,77	Total de transição 469,19 ha	

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento. Org.: pelos Autores, 2018.

No período de 2010 a 2013 (Tabela 7), verificou-se que a floresta foi a que também apresentou maior perda de áreas, dando lugar principalmente a áreas urbanas, que correspondeu a 89 ha.

Ao se comparar as transições da Tabela 8

com os períodos anteriores, nota-se que foi neste período onde aconteceu a menor quantidade de transições, porém a categoria com as principais mudanças continuou sendo a floresta.

Tabela 8. Matriz de transição para as categorias de uso da terra no período de 2013 a 2016 (ha).

Área (ha)	Uso da terra em 2016									
		C	F	Au	A	Aa	P	R	Total 2013	Transição 2013-2016
Uso da terra em 2013	C	531,91	0,06	5,54	52,46	0,18		1,96	592,11	60,20
	F	41,24	3.824,55	25,66	40,41	0,39	0,66	5,17	3.938,08	113,53
	Au		2,91	1.352,04	1,00	0,46		0,04	1.356,45	4,41
	A	25,52	0,67	14,02	3.338,73	0,37	4,28	6,08	3.389,67	50,94
	Aa			1,98		79,38			81,36	1,98
	P			0,66		0,06	92,63		93,35	0,72
	R			0,24	0,84		0,18	190,49	191,75	1,26
Total 2016	598,67	3.828,19	1.400,14	3.433,44	80,84	97,75	203,74	9.642,77	Total de transição 233,04 ha	

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento. Org.: pelos Autores, 2018.

O comparativo entre as matrizes de transição indicou que a floresta apresentou destaque na conversão para áreas antrópicas. Os maiores quantitativos ocorreram do ano de 2010 para 2013, com 208,86 ha. As transições também mostraram que o processo de urbanização tem aumentado, embora as áreas agrícolas sejam mais proeminentes.

A maior conversão da categoria floresta nos períodos estudados é um fator preocupante, sobretudo quando se considera a quantidade de florestas que foram suprimidas e suas consequências para o meio ambiente, principalmente por deixar de realizar um dos principais serviços ecossistêmicos, o sequestro ou estocagem de CO₂, que em excesso na

atmosfera contribui para intensificação do efeito estufa (RIBEIRO et al., 2009).

Segundo Baird e Cann (2011), uma grande quantidade de CO₂ é emitida para atmosfera quando as florestas são derrubadas, sendo que o desmatamento é responsável por cerca de um quarto das emissões de CO₂. Já em relação ao processo de urbanização verificado, as bacias se tornam vulneráveis à rápidas transformações e modificações de suas condições naturais, influenciando a qualidade da paisagem e incentivando a degradação ambiental e ocupação irregular (GUIMARÃES; PENHA, 2009).

As Tabelas 9, 10 e 11 encontram-se as estimativas de emissões líquidas de CO₂,

ocorridas no período de 2007 a 2010, 2010 a 2013, 2013 a 2016, respectivamente. As células em cinza representam as emissões de CO₂ (valores positivos) ou remoção (valores negativos), que ocorreram de um período para o outro. A célula verde e a não colorida não apresentam valores, a primeira porque corresponde a categoria em que não apresentaram transições de um período para o outro, e a outra porque não houve transição. Já na coluna Emissão/Remoção tem-se o total de emissão líquida para cada categoria. As linhas representam o ano anterior e as colunas o ano posterior (CETESB, 2011; 2012). Nota-se

na Tabela 9 que emissão de CO₂ foi maior que remoção, sendo a mudança de floresta para campo foi a que mais contribui para as emissões.

No período de 2010 a 2013 (Tabela 10), notou-se também um total de emissões líquidas superior ao do período de 2007 a 2010, o que foi condizente com a quantidade transições que ocorreram, principalmente de florestas. Já em relação ao ano de 2013 a 2016 (Tabela 11), apresentou-se um decréscimo nas emissões, porém estas ainda foram superiores as remoções.

Tabela 9. Matriz das Estimativas de emissões líquidas de CO₂ (GgCO₂) no período de 2007 a 2010.

GgCO ₂	Uso da terra em 2010								Emissão/ Remoção
	C	F	Au	A	Aa	P	R		
Uso da terra em 2007	C		-0,0021	0,0025	0,0190	0,0001	-0,0002	-0,0194	0,0001
	F	0,8383		0,4632	0,8100		0,0471		2,1586
	Au	-0,0004	-0,0516		-0,0015				-0,0535
	A	0,0012	-0,0004	0,0104			-0,0001		0,0111
	Aa		-0,0006		-0,0001				-0,0007
	P	0,0020		0,0017					0,0037
	R	0,0039	-0,1030	0,0073	0,0060				-0,0858
Total = 2,0335									

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento. Org.: pelos Autores, 2018.

Tabela 10. Matriz das Estimativas de emissões líquidas de CO₂ (GgCO₂) no período de 2010 a 2013.

GgCO ₂	Uso da terra em 2013								Emissão/ Remoção
	C	F	Au	A	Aa	P	R		
Uso da terra em 2010	C		-0,0562	0,0535	0,0143	0,0011	-0,0044	-0,0115	-0,0032
	F	1,2452		2,0147	0,8223	0,0086	0,1698	0,0022	4,2628
	Au	-0,0015	-0,0186		-0,0048				-0,0249
	A	0,0191	-0,0034	0,0184		0,0010	-0,0005	-0,0034	0,0312
	Aa		-0,0038		-0,0013				-0,0051
	P	0,0009	-0,0007	0,0087	0,0001				0,0090
	R	0,0058	-0,1670	0,0126	0,0210				-0,1276
Total = 4,1422									

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento. Org.: pelos Autores, 2018.

Tabela 11. Matriz das Estimativas de emissões líquidas de CO₂ (GgCO₂) no período de 2013 a 2016.

GgCO ₂	Uso da terra em 2016								Emissão/ Remoção
		C	F	Au	A	Aa	P	R	
Uso da terra em 2013	C		-0,0003	0,0120	0,0110	0,0180		-0,0004	0,0403
	F	1,1130		0,4066	0,5470	0,0046	0,0296	0,0145	2,1153
	Au		-0,0316		-0,0011			-0,0003	-0,0330
	A	0,0202	-0,0005	0,0139		0,0016	-0,0005	-0,0098	0,0249
	Aa								0,0000
	P			0,0008		0,0007			0,0015
	R			0,0060	0,0030		0,0189		0,0279
	Total = 2,1769								

Legenda: (C) Campo, (F) Floresta, (Au) Área urbana, (A) Agricultura, (Aa) Área alagada, (P) Pastagem e (R) Reflorestamento. Org.: pelos Autores, 2018.

Ao se comparar as Tabela 9, 10 e 11 pode-se verificar que no período de 2010 a 2013 a maior estimativa de emissões de CO₂ (4,1422 GgCO₂). Nesse período a estimativa de emissões foi o dobro do período de 2007-2010 e aproximadamente o dobro do período de 2013 a 2016. Apesar de todas as categorias apresentarem algum tipo de transição que emitisse esse gás, as conversões mais evidentes para as emissões foram as de florestas, tendo as emissões de 2,15, 4,26 e 2,11 para os períodos 2007-2010, 2010-2013 e 2013-2016, respectivamente.

Essa maior conversão de floresta para outras categorias pode ser justificada pelo fato dessas áreas apresentam alta quantidade de carbono em sua biomassa, logo quando há supressão de vegetação para atender a demanda de outras categorias de uso da terra, a quantidade de CO₂ emitida será superior a capacidade de novos usos em sequestrar carbono. Segundo Don et al. (2011) e Kim e Kirschbaum (2015), a supressão da floresta provoca uma perda rápida de carbono, principalmente se a biomassa for queimada, fazendo com que haja o aumento de CO₂ na

atmosfera.

As emissões de CO₂ nos três períodos indicam coerência com os dados relatados no estudo de Kim e Kirschbaum (2015), quando identificaram emissões nas conversões de floresta para agricultura e floresta para pastagem, assim como de pastagem para agricultura emitiram CO₂.

De modo geral, os valores estimados de emissões líquidas estão condizentes com o que a dinâmica de uso da terra da bacia hidrográfica, uma vez que em função do seu tamanho essas emissões não poderiam ser comparadas em nível de Estado ou país, já que a dinâmica de mudança de uso nestes locais seria muito maior. Contudo, esses resultados reforçam a importância do estudo em bacias hidrográficas, uma vez que estas são concebidas como unidades básicas de planejamento ambiental e possuem em seu interior múltiplos usos.

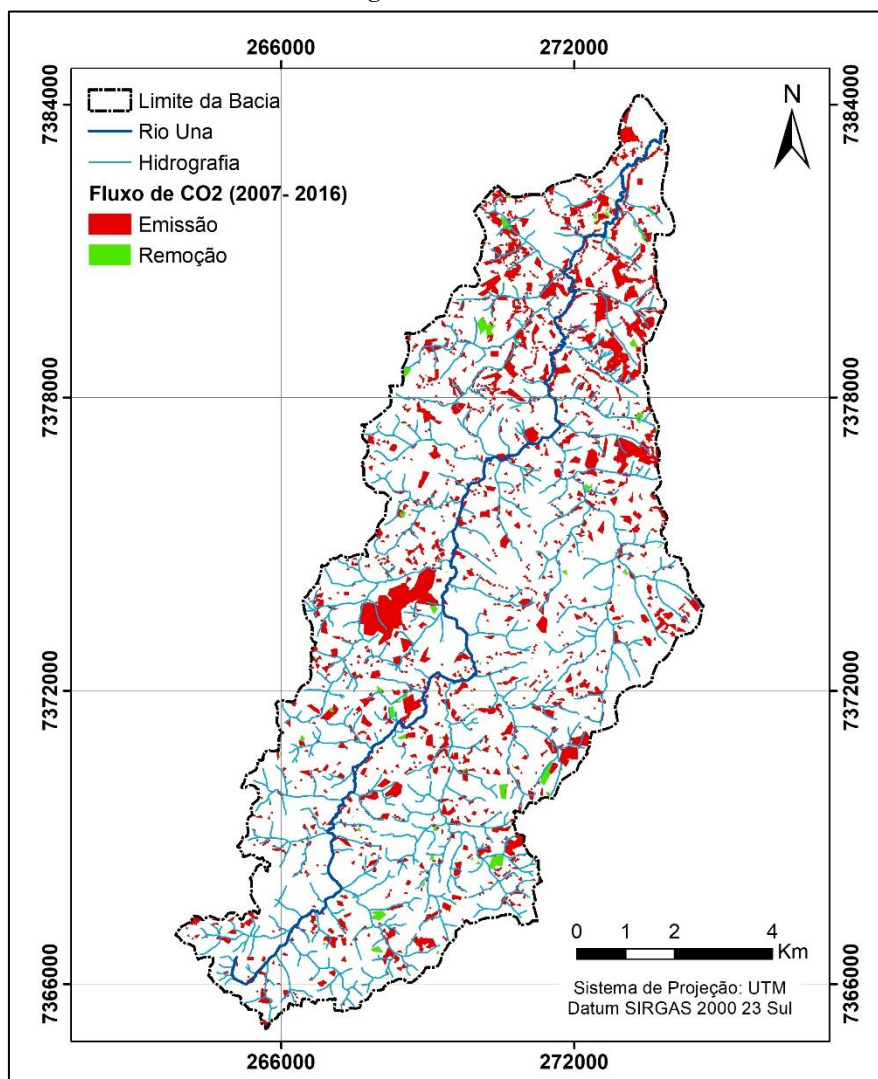
Buscando uma comparação, o inventário da CETESB (2012) para o estado de São Paulo identificou que o valor de emissão devido a conversão de agricultura para área urbana considerando entre 1994 e 2008 foi equivalente

a 444,26 GgCO₂, superior ao obtido na bacia, que apresentou um valor de 0,0142 GgCO₂, já que se tratam de escalas diferentes.

Observou-se o quanto a bacia hidrográfica do rio Una apresenta

interferências antrópicas, principalmente na porção central e ao norte da bacia, onde se constatou a maioria das emissões, indicando a ocorrência de degradação ambiental neste local (Figura 4).

Figura 4. Fluxo de CO₂ em função da mudança de uso da terra no período de 2007 a 2016 na bacia hidrográfica do rio Una.



Org.: pelos Autores, 2018.

Há uma tendência de aumento das emissões se as áreas de florestas forem substituídas por novas ocupações, ou seja, a bacia é suscetível à perda da qualidade ambiental, o que compromete seus recursos

hídricos, sua biodiversidade, além do bem-estar da população local.

Entre as medidas a serem realizadas com o intuito de reduzir as emissões de CO₂ estão políticas de planejamento e gestão ambiental,

que incluem a elaboração de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), Cadastro Ambiental Rural (CAR) dos imóveis e Plano de Controle Ambiental (PCA) de atividades com alto impacto ambiental, que auxiliadas por propostas de manutenção e restauração de áreas naturais com o uso de geotecnologias, podem minimizar os impactos da mudança do uso da terra.

Outra medida eficaz seria o incentivo ao pequeno agricultor para adoção do sistema agrossilvipastoris, uma vez que associa a prática da agricultura e criação de gado com a manutenção da floresta, fornecendo um ambiente adequado às práticas agrícolas e benefícios ao meio ambiente.

O uso da terra é considerado um fator importante quando se trata das políticas relacionadas às mudanças climáticas. Por isso, Rose et al. (2012), relatam que as transformações nas práticas e nas tecnologias adotadas podem reduzir os GEE e, a longo prazo, uma estratégia de mitigação com baixo custo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se o aumento das mudanças de uso da terra sobre a vegetação natural em um período de nove anos, equivalente à perda de 4,30% de florestas para o aumento da agricultura e da área urbana. O campo e a área alagada foram reduzidos em 1,48% e 0,01%, respectivamente, enquanto a pastagem aumento de 0,06% e o reflorestamento de 0,14%.

A floresta apresentou as maiores transições para atividades antrópicas em todos os períodos estudados, sendo que o período de 2010-2013 apresentou o maior quantitativo, equivalente a 208,86 ha. Em todos os períodos analisados verificou-se emissões líquidas de CO₂ para atmosfera foram registrados. O período com maior emissão foi de 2010 para 2013, como um total de 4,1422 GgCO₂.

A principal contribuição nas emissões de CO₂ na bacia hidrográfica do rio Una consiste na supressão da vegetação para atender a demanda da agricultura e a expansão da urbanização. Além disso, mostrou-se que as emissões foram superiores às remoções de CO₂.

O estudo foi eficaz na identificação das intervenções antrópicas e identificação do quantitativo de áreas de florestas suprimidas na bacia, podendo a metodologia adotada servir como um delineamento técnico-metodológico em áreas similares, buscando diagnosticar a situação das emissões e remoções de CO₂ provenientes das mudanças de uso da terra em áreas de relevante interesse hídrico e ambiental.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES). Código de financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. V.; FORTES, J. D. N.; MARTINS, E. Neutralização compensatória de carbono-

- estudo de caso: indústria do setor metal mecânico, Rio de Janeiro (RJ). **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 21, n. 1, p. 197-205, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41520201600100116414>
- BAIRD, C.; CANN, M. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman. 2011, 844p.
- BAUMERT, K. A.; HERZOG, T.; PERSHING, J. **Navigating the Numbers: greenhouse gas data and international climate policy**. World Resources Institute. 2005. 132p.
- BERNUOX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 66, p. 888-896, 2002. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2002.8880>
- BRASIL. Emissões e remoções de Dióxido de Carbono pelos Solos por Mudanças de Uso da Terra e Calagem. Relatório de Referência. Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília: MCT, 2006. 50p.
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Primeiro Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo** - Emissões do setor de uso da terra, mudanças de uso da terra e florestas: relatório de referência. São Paulo: FUNCATE, CETESB, 2012. 120p.
- _____. **Primeiro Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo**. Programa de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo – Pro clima. 2. ed. São Paulo: CETESB, 2011. 192p.
- ELETROBRAS - Departamento de Meio Ambiente, Divisão de Estudos e Planejamento. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa provenientes de Usinas Termelétricas (fontes fixas) de 2003 a 2008**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2009. 44p.
- DON, A., SCHUMACHER, J., FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. **Glob. Change Biol.** v. 17, 1658–1670, 2011. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x>
- ECKHARDT, R. R.; SILVEIRA, C. REMPEL, C. Evolução Temporal do Uso e Cobertura da Terra no Município de Bom Retiro do Sul - RS – Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 47, p. 150–161, 2013. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/21973>>. Acesso em: 24 maio 2017.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.
- ESRI - Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS 10.3**. 2014.
- GUIMARÃES, N. A.; PENHA, J. W. Mapeamento das áreas de risco de inundação com a utilização do modelo digital de elevação hidrológicamente consistente: Estudo de caso em Muriaé-MG. **Revista Agrogeoambiental**, v. 1, n. 2, p. 46-52, 2009. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v1n2200976>
- HOSHINO, S.; ESTEBAN, M.; MIKAMI, T.; TAKAGI, H.; SHIBAYAMA, T. Estimation of increase in storm surge damage due to climate change and sea level rise in the Greater Tokyo area. **Natural Hazards**, v. 80, n. 1, p. 539-565, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1983-4>
- HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P. J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A. **Em Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge University Press: Cambridge, 2001, 95p.
- IAC - Instituto Agronômico de Campinas. **Boletim técnico 106** - Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. Campinas: IAC, 2009. 77p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Vegetação do Brasil**. 2004. Disponível em:<<https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em: 22 maio 2016.
- _____. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171 p.
- IPCC - International Panel on Climate Change. **Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry**. Kamiyamaguchi: IGES, 2003. 590p.
- _____. **Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014.
- KIM, D. G; KIRSCHBAUM, M. U. F. The effect

- of land-use change on the net exchange rates of greenhouse gases: A compilation of estimates. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 208, p. 114–126, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.026>
- LEITE, M. E.; FREITAS, M. F. Análise Espaço-Temporal de uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Tabuas, Norte de Minas Gerais, com Aplicação das Geotecnologias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 184-194, 2013. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6.2.p184-194>
- LOPES, E. R. N. SALES, J. C. A. SOUSA, J. A. P.; AMORIM, A. T.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; LOURENÇO, R. W. Losses on The Atlantic Mata Vegetation Induced by Land Use Changes. **CERNE**, v. 24, n. 2, p. 121-132, 2018. <https://doi.org/10.1590/01047760201824022512>
- MATA, M. V. M.; HOELZEMANN, J. J.; SOUSA NETO, E. R.; AGUIAR, A. P. D.; VIEIRA, R. M. S. P.; ASSIS, T. O.; OMETTO, J. P. H. B. Emissões de CO₂ Provenientes de uso e Mudanças no Uso da Terra no Bioma Caatinga no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 144-155, 2015. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.1.p144-155>
- MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. R. Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. **Contexto internacional**, p. 9-47, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-85292008000100001>
- PANIZZA, A. C.; FONSECA, F. P. Técnicas de interpretação visual de imagens. **GEOUSP (Online)**, n. 30, p. 30-43, 2011. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2011.74230>
- REIS, D. A.; SILVA, L. F. Análise de dissertações e teses brasileiras de Educação Ambiental: compreensões elaboradas sobre o tema "mudanças climáticas". **Ciência & Educação**, v. 22, n. 1, p. 145-162, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320160010010>
- RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; SOUZA, A. L.; NARDELLI, A. M. B. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **R. Árvore**, v.33, n.5, p. 917-926, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622009000500014>
- ROSA, F. S.; TONELLO, K. C.; VALENTE, R. O. A.; LOURENÇO, R. W. Estrutura da paisagem, relevo e hidrografia de uma microbacia como suporte a um programa e pagamento por serviços ambientais relacionados à água. **Rev. Ambient. Água**, v. 9, n. 3, p. 526-539, 2014. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1326>
- ROSE, S. K.; AHAMMAD, H.; EICKHOUT, B.; FISHER, B.; KUROSAWA, A.; RAO, S.; RIAHI, K.; VUUREN, D. P. V. Land-based mitigation in climate stabilization. **Energy Economics**, v. 34, p. 365–380, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.06.004>
- ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>>. Acesso em: 02 set. 2017.
- SILVA, M. K. A.; ROSA, R. Aquisição de Dados Espaciais e Acesso a Novas Tecnologias para Estudos Hidrometeorológicos. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 1278-1290, 2016. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/issue/view/115>>. Acesso em: 18 abr. 2017.
- SOUSA JUNIOR, J. G. A.; DEMATTÊ, J. A. M. Modelo Digital de Elevação na Caracterização de Solos Desenvolvidos de Basalto e Material Arenítico. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, n.1, p.449-456, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100043>
- VAEZA, R. F.; OLIVEIRA FILHO, P.C.; DISPERATI, A. M. A. A. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010. <http://dx.doi.org/10.4322/foram.2011.003>
- WECKMULLER, R.; SLOVINSKI, N. C.; SÁNCHEZ VICENS, R. S. Análise Multitemporal como Subsídio à Identificação da Trajetória Evolutiva do Uso e Cobertura da Terra no Corredor Ecológico do Muriqui/RJ. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65, p.467-477, 2013. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44799/0>>. Acesso em: 20 maio, 2017.