

Valoração de serviços ecossistêmicos em uma bacia de abastecimento na Rota de Integração Latino-Americana

Valuation of ecosystem services in a supply basin on the Latin American Integration Route

Valoración de servicios ecosistémicos en una cuenca de abastecimiento en la Ruta de Integración Latinoamericana

Wesley dos Santos Carvalho¹
Monik Loraine Candido Cunha¹
Izabella do Carmo Amaral¹
Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho¹

Recebido em: 04/05/2020; revisado e aprovado em: 16/07/2020; aceito em: 17/09/2020
DOI: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v22i3.3041>

Resumo: O estudo valorou os serviços ecossistêmicos prestados pela bacia do rio Santo Antônio, localizada em Guia Lopes da Laguna (MS), utilizando dados da dinâmica do uso e ocupação do solo entre os anos de 2009 e 2019. Os resultados demonstraram que o valor dos serviços ecossistêmicos prestados pelas classes de uso de solo estudadas representou um fluxo anual de, aproximadamente, US\$ 93,8 milhões em serviços ecossistêmicos no ano de 2019. Entretanto, comparando-se os anos de 2009 a 2019, observou-se uma redução de 26,44% no fluxo anual dos serviços ecossistêmicos, devido, principalmente, à redução das áreas de vegetação nativa na bacia.

Palavras-chave: serviços ecossistêmicos; valoração ambiental; uso e ocupação do solo.

Abstract: The study valued the ecosystem services provided by the rio Santo Antônio basin, located in Guia Lopes da Laguna (MS), using data from the dynamics of land use and occupation between the years 2009 to 2019. The results showed that the value of ecosystem services provided by the classes of land use studied represented an annual flow of approximately US\$ 93.8 million in ecosystem services in 2019. However, comparing the years from 2009 to 2019, a reduction of 26.44% was observed in the annual flow of ecosystem services, mainly due to native vegetation areas reduction in the basin.

Keywords: ecosystem services; environmental valuation; land use and occupation.

Resumen: El estudio valoró los servicios ecosistémicos proporcionados por la cuenca del Río Santo Antônio, ubicada en Guia Lopes da Laguna (MS), utilizando datos de la dinámica del uso y la ocupación de la tierra entre los años 2009 y 2019. Los resultados mostraron que el valor de los servicios ecosistémicos proporcionados por las clases de uso de la tierra estudiadas representó un flujo anual de, aproximadamente, US\$ 93,8 millones en servicios ecosistémicos en 2019. Sin embargo, al comparar los años 2009 a 2019, se observó una reducción del 26,44% en el flujo anual de servicios ecosistémicos, principalmente, debido a la reducción de áreas de vegetación nativa en la cuenca.

Palabras clave: servicios ecosistémicos; valoración ambiental; uso del suelo y ocupación.

1 INTRODUÇÃO

1.1 A questão de valoração ambiental

Ainda é presente a ideia de que os recursos naturais são ilimitados, o que leva à percepção de que eles nunca se esgotam. Nesta visão, o valor atribuído aos recursos naturais poderia ser considerado como zero ou infinito, sendo encarados, desta maneira, como “bens gratuitos”.

Os sistemas financeiros tradicionais não consideram estes recursos em sua contabilidade econômica, embora sejam explorados na produção de bens e serviços (MANGABEIRA; TÔSTO;

¹ Universidade Católica Dom Bosco (UCDB), Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.



ROMEIRO, 2011; ANDRADE *et al.*, 2012). Andrade (2008) explica que a economia tradicional interage com o ambiente na forma de impactos. O resultado dessa interação se resume em extrair recursos naturais e devolver subprodutos, geralmente atrelado aos resíduos.

O entendimento do funcionamento dos ecossistemas e as interações entre economia e ecologia permitem estabelecer importantes instrumentos para a preservação e proteção ambiental e a aceitação social da necessidade da gestão racional dos ambientes naturais (CUNHA, 2008).

De acordo com Tôsto (2010), o desenvolvimento econômico e o meio ambiente estão indissolúvelmente vinculados. Portanto, é fundamental que as teorias econômicas considerem em seu arcabouço teórico as complexas interações dos sistemas econômicos e o meio ambiente natural (ANDRADE, 2008).

Desta maneira, o meio ambiente fornece benefícios diretos e indiretos ao ser humano na forma de serviços ecossistêmicos. Estes serviços dão suporte às funções que garantem a sobrevivência das espécies, o bem-estar humano e a produção de bens e serviços econômicos (MOTTA, 1997; MANGABEIRA; TÔSTO; ROMEIRO, 2011). A *Millennium Ecosystem Assessment* [MEA] (2005) classificou os serviços ecossistêmicos em quatro categorias: serviços de provisão ou de abastecimento, serviços de regulação, serviços culturais e serviços de suporte.

Para a gestão do capital natural, uma ferramenta é a valoração ambiental, que pode ser considerada uma área de fronteira das ciências econômicas, e trata-se da estimativa do valor monetário dos recursos naturais em relação aos outros bens e serviços disponíveis na economia (MOTTA, 1997). Esta ferramenta permite subsidiar a tomada de decisão em relação ao capital natural, subsidiando informações necessárias à eficiente gestão dos recursos naturais, e até mesmo propondo incentivos econômicos para sua preservação (ANDRADE *et al.* 2012).

Ao tratar da valoração ambiental, é importante distinguir dois termos importantes: as funções e os serviços ecossistêmicos. O valor das funções advém dos processos físicos, químicos e biológicos, por exemplo, como proteção do solo, estabilidade climática, oferta de *habitat*, entre outros, enquanto que os serviços ecossistêmicos dizem respeito aos benefícios, ao ambiente natural e para o ser humano, resultantes da interação com as funções ecossistêmicas. Deste modo, as funções do ecossistema são neutras de valor, enquanto seus serviços têm valor para a sociedade (MORAES; SAMPAIO; SEIDL, 2009).

1.2 Histórico sobre a valoração ambiental e o uso e a ocupação do solo

Liu (2007) realizou uma análise cronológica dos estudos relacionados à valoração dos serviços ecossistêmicos, em que constatou que estudos ganharam destaque sobretudo na década de 1960, com o surgimento de movimentos ambientalistas. Posteriormente, no início da década de 1990, mais atenção foi dada à importância da valoração ambiental, em virtude do acidente com o navio petroleiro Exxon Valdez, quando foram lançadas centenas de litros de petróleo no mar do Alasca nos Estados Unidos. Liu (2007) afirma que este evento gerou vários debates e estudos que pudessem produzir estimativas confiáveis o suficiente para ser o ponto de partida para a determinação judicial ou administrativa de danos aos recursos naturais – incluindo o valor de uso passivo perdido.

Entre os trabalhos frequentemente citados, cabe destacar o publicado por Costanza *et al.* (1997), publicado em conjunto com vários pesquisadores da área ecológica e econômica na

Revista Nature, em 1997. Este trabalho foi um dos primeiros a realizar um levantamento global dos serviços ecossistêmicos providos pelos biomas em todos os continentes. Costanza *et al.* (1997) estimaram que o valor anual de 17 serviços ecossistêmicos para toda a biosfera era de US\$ 33 trilhões em valores da época. Outra importante contribuição na valoração dos serviços ecossistêmicos foi dada pela MEA (2005), que mobilizou mais de 1.300 cientistas ao redor do mundo, entre os anos de 2001 e 2005, cujo objetivo era reunir bases científicas para avaliar as consequências de alterações dos ecossistemas e aumentar a conservação e o uso sustentável desses em benefício do bem-estar humano. O *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* [TEEB] (sigla em inglês para “A Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade”) foi outra importante contribuição de larga escala no estudo dos serviços ecossistêmicos. Publicado em 2007 em *Potsdam*, na Alemanha, o estudo contou com mais de quinhentos pesquisadores ao redor do mundo, cujo objetivo principal era estimar os efeitos da perda global de biodiversidade e, assim, evidenciar os benefícios econômicos de sua conservação (ROMA *et al.*, 2013).

Com ênfase na área de uso e ocupação do solo, Kreuter *et al.* (2001) utilizaram o LANDSAT MSS para quantificar as mudanças no uso da terra e nos serviços ecossistêmicos devido à expansão urbana no Condado de Bexar, no estado do Texas, Estados Unidos. Os autores analisaram a mudança na cobertura do solo entre os anos de 1976 e 1991 e estimaram os serviços ecossistêmicos em $\text{US}\$ \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de cada tipo de cobertura do solo. Em nível regional, no Brasil, alguns trabalhos vêm sendo realizados em bacias hidrográficas, como o trabalho de Andrade *et al.* (2012), em que realizaram a aplicação da valoração de serviços ecossistêmicos considerando a dinâmica de uso do solo da bacia hidrográfica dos rios Mogi-Guaçu e Pardo no estado de Estado de São Paulo, entre os anos de 2002 e 2012. Cunha *et al.* (2014) realizaram um estudo semelhante de valoração dos serviços ecossistêmicos no bioma Caatinga, no território bacia do Jacuípe, localizado no sertão do estado da Bahia.

As bacias hidrográficas são importantes espaços territoriais de gestão ambiental, principalmente dos recursos hídricos. É considerada como unidade básica para o planejamento e a gestão do ambiente natural e urbano da Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997). Esta subdivisão territorial permite realizar análise dos impactos da ação antrópica sobre as paisagens naturais e suas consequências sobre a dinâmica dos fluxos de serviços ecossistêmicos (ANDRADE *et al.* 2012). Desta forma, para Ross e Prette (1998), a gestão das bacias deve ir muito além dos recursos hídricos, contemplando outros componentes dos recursos naturais (solo, relevo, atmosfera, subsolo, fauna e flora).

Dada a importância territorial das bacias hidrográficas, faz-se necessário conhecer os impactos da mudança na cobertura do solo sobre os serviços ecossistêmicos nessa delimitação de área, além de entender a dinâmica de degradação dos serviços ecossistêmicos, mas também propor políticas ambientais eficazes de preservação (ANDRADE *et al.* 2012). A classificação de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas permite entender importantes variáveis ambientais, como tipo de solo, cobertura vegetal e recursos hídricos. Ajuda, ainda, a compreender a distribuição espacial e temporal das atividades humanas no território estudado, a planejar e orientar a ocupação da paisagem, respeitando sua capacidade de suporte ambiental (LEITE; ROSA, 2012).

As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento permitem obter de maneira rápida, confiável e repetitiva, em diferentes faixas espectrais e escalas, diversas informações sobre a superfície terrestre (ROSA, 2005). O reconhecimento de diferentes coberturas de solo

é um dos principais objetivos do sensoriamento remoto. Esses procedimentos de distinção e identificação são chamados de classificação de imagens, podendo ser realizado de maneira manual ou automática, com o auxílio de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PARANHOS FILHO; LASTORIA; TORRES, 2008). A classificação manual ou fotointerpretação de imagens é um método muito utilizado na interpretação visual de imagens de satélites, em que o operador utiliza a visão do olho humano e sua experiência para extrair informações destas imagens. Vasconcelos e Novo (2004) explicam que, embora a classificação manual seja mais precisa, ela pode se tornar inviável considerando o tamanho da área de estudo e a quantidade de informação para processar. A alternativa ao método manual é o uso de algoritmos computacionais para a classificação digital, embora os resultados não sejam satisfatórios, demandando um grande tempo de edição (VASCONCELOS; NOVO, 2004).

1.3 Objetivo do estudo

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é valorar os serviços ecossistêmicos na bacia do rio Santo Antônio, localizada no município de Guia Lopes da Laguna, por meio da análise de uso e ocupação do solo a partir dos coeficientes de valores dos serviços ecossistêmicos calculados por Costanza *et al.* (1997), por meio do uso de geotecnologias.

Com este estudo, pretende-se entender como a dinâmica do uso e da ocupação do solo tem modificado os serviços ecossistêmicos na bacia, servindo como subsídio a gestores e tomadores de decisão, em uma área de interesse para a Rota de Integração Latino-Americana.

2 METODOLOGIA

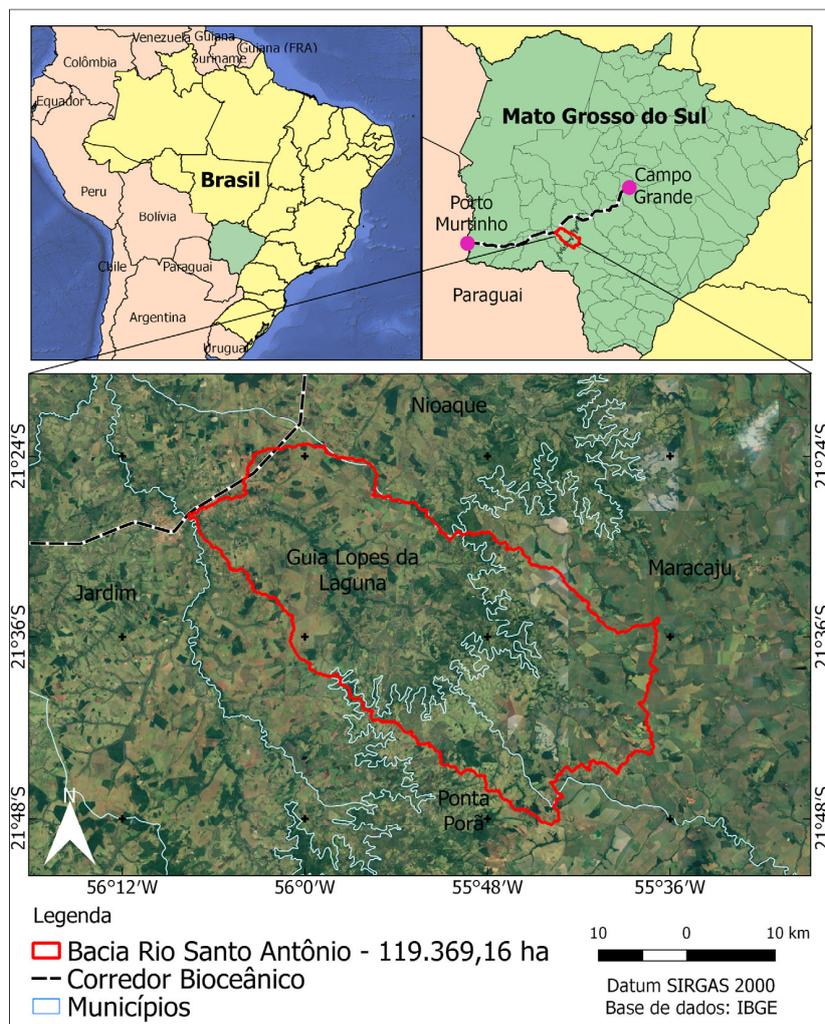
2.1 Delimitação e caracterização da área de estudo

A bacia do rio Santo Antônio está localizada em uma área que abrange três municípios do Estado de Mato Grosso do Sul: Guia Lopes da Laguna, Maracaju e Ponta Porã; e pertence a sub-bacia do rio Miranda, localizada na bacia do rio Paraguai.

Conforme Abrão e Kuerten (2016), o rio Santo Antônio é o manancial responsável por todo o abastecimento público do município de Guia Lopes da Laguna. As principais nascentes do rio Santo Antônio estão localizadas na região da Serra de Maracaju, em cotas altimétricas que variam entre 600 e 630 metros.

Para a delimitação da bacia do rio Santo Antônio, foram utilizados, neste estudo, dados do Modelo Digital de Elevação TOPODATA, com resolução espacial de 30 m reamostrados, articulação 21S57_ZN (BRASIL, 2008). Foi utilizado, ainda, o *software* QGIS para processamento das informações da área de estudo. E com o auxílio do algoritmo "*Channel network and drainage basins*", do *plug-in* de processamento SAGA GIS, foi possível determinar o divisor de águas da bacia do rio Santo Antônio, totalizando uma área de 119.369,16 ha, conforme Figura 1.

Figura 1 – Bacia hidrográfica do rio Santo Antônio



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.2 Identificação do uso e cobertura do solo

Para identificar o uso e a cobertura do solo, foram utilizadas imagens do sensor *Thematic Mapper (TM)*, a bordo do satélite Landsat 5 e imagens do sensor *Operational Land Imager (OLI)* a bordo do satélite Landsat 8, baixadas por meio da plataforma on-line *Earth Explorer*, do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey [USGS]*, sigla em inglês), exposto na Tabela 1. Para a confecção do mapa de uso e cobertura do solo, foram definidas quatro classes: Vegetação Nativa, Agricultura, Pastagem e Água.

Tabela 1 – Informação das imagens de satélite utilizadas no estudo

Dado	Landsat 5/TM	Landsat 8/OLI
Data	12/06/2009	10/07/2019
Órbita/Ponto	225/75	225/75
Resolução espacial (m)	30	30
Resolução radiométrica	8 bits	16 bits
Bandas	Bandas 4(R), 5(G), 3(B)	Bandas 5(R), 6(G), 4(B)

Fonte: *United States Geological Survey [USGS]* (2013).

Foi aplicada a classificação automática supervisionada, aplicando-se o Modelo de Mistura Gaussiana, dada a sua facilidade, quantidade de parâmetros e precisão para descrição de agrupamentos de amostras (SILVA, 2014). Segundo Paranhos Filho, Lastoria e Torres (2008), a Classificação Automática Supervisionada divide estatisticamente a imagem em classes baseadas em amostras de treinamento (ou áreas de treinamento) fornecidas pelo operador, de maneira que o sistema possa reconhecer padrões na imagem.

As áreas de treinamento foram coletadas diretamente em cada uma das imagens, haja vista a diferença de resolução radiométrica e espectral existente entre os dois sensores.

2.3 Valoração de serviços ecossistêmicos

Para valoração dos serviços ecossistêmicos, foi utilizada como referência a metodologia proposta por Kreuter *et al.* (2001) e testada por Andrade *et al.* (2012) e Cunha *et al.* (2014). Utilizaram-se como referência as estimativas dos serviços ecossistêmicos calculadas por Costanza *et al.* (1997).

Para obter valores dos serviços ecossistêmicos da bacia do rio Santo Antônio, foram utilizadas as classes de uso do solo identificadas na Tabela 2. Essas classes foram comparadas com os 16 biomas identificados no modelo de avaliação de serviços ecossistêmicos de Costanza *et al.* (1997).

Embora os tipos de uso e cobertura do solo desta pesquisa não sejam os mesmos utilizados por Costanza *et al.* (1997), os biomas mais representativos foram utilizados como *proxy* para a determinação do valor de cada categoria de cobertura do solo, como propôs Kreuter *et al.* (2001). A Tabela 2 indica a equivalência entre os biomas e as classes de uso e ocupação do solo identificados. Cabe destacar que o trabalho de Costanza *et al.* (1997) foi realizado considerando como moeda o dólar americano (US\$) no ano de 1994.

Tabela 2 – Classe de uso do solo e os biomas equivalentes na bacia do rio Santo Antônio

Classes	Bioma equivalente	Coefficiente dos serviços ecossistêmicos (US\$·ha ⁻¹ ·ano ⁻¹)
Vegetação nativa	<i>Tropical forest</i>	2.008
Agricultura	<i>Cropland</i>	92
Pastagem	<i>Grass/rangelands</i>	244
Água	<i>lakes/rivers</i>	8.498

Fonte: Adaptado de Costanza *et al.* (1997).

O valor dos serviços ecossistêmicos de cada classe de uso do solo foi calculado pela Equação 1:

$$VSE_{tk} = VC_k \cdot A_k \quad (1)$$

Onde:

VSE_{tk} = Valor total do serviço ecossistêmico estimado para a classe de uso do solo k (em US\$·ano⁻¹); VC_k = Coeficiente para o serviço ecossistêmico correspondente à classe k (em US\$·ha⁻¹·ano⁻¹); A_k = Área total da classe de uso do solo k (em ha).

Foi calculada, também, a contribuição do valor individual de cada serviço ecossistêmico

por meio da Equação 2. Destaca-se que os serviços ecossistêmicos assumem diferentes valores para cada classe de uso do solo, de acordo com a Tabela 3.

$$VSE_j = \sum(A_k \cdot VSE_k) \quad (2)$$

Onde:

VSE_i = Valor da contribuição individual total do serviço ecossistêmico j , considerando todas as classes de uso do solo ($US\$ \cdot \text{ano}^{-1}$); A_k = Área da Classe de uso do solo k (em ha); VSE_k = Valor do serviço ecossistêmico correspondente à classe K (em $US\$ \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$).

Tabela 3 – Valores individuais de serviços ecossistêmicos em $US\$ \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$

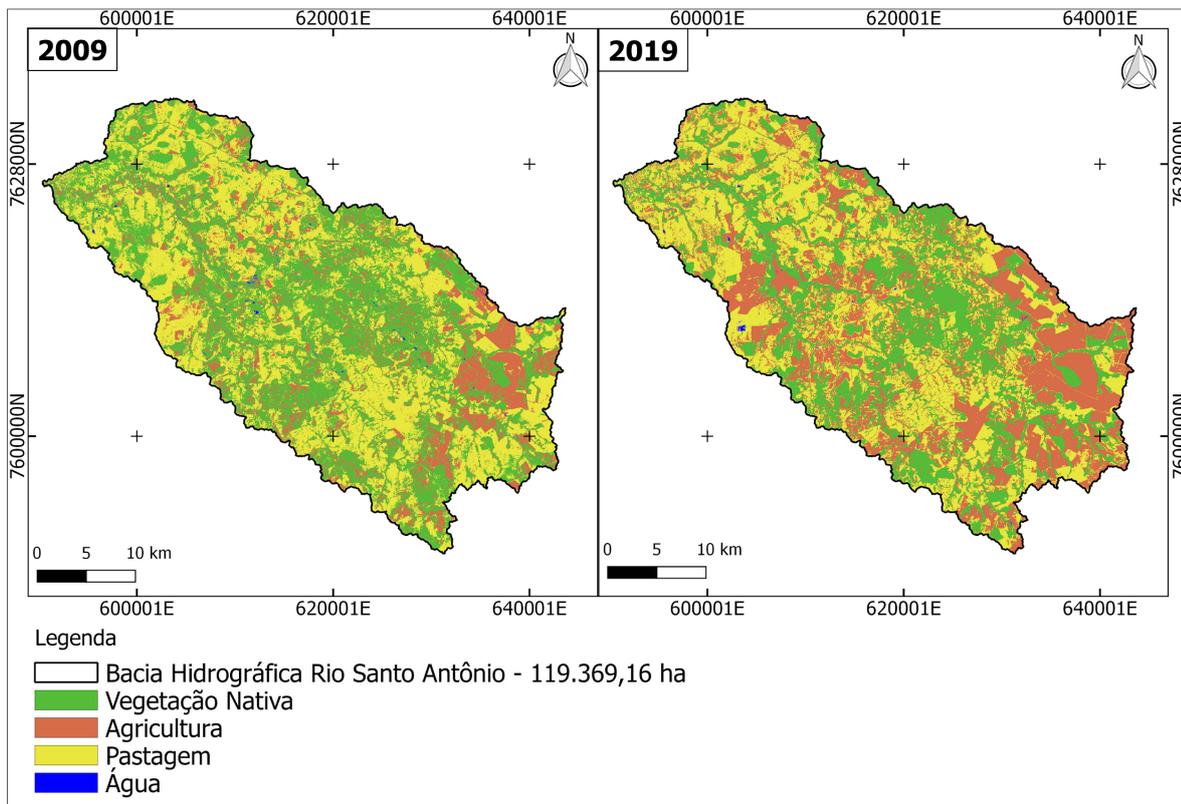
Serviços ecossistêmicos	Vegetação Nativa	Agricultura	Pastagem	Água
Regulação de gás	*	*	7	*
Regulação climática	223	*	0	*
Reg. de distúrbios	5	*	*	*
Regulação de água	6	*	3	5.445
Oferta de água	8	*	*	2.117
Controle da erosão	245	*	29	*
Formação do solo	10	*	1	*
Ciclagem de nutrientes	922	*	*	665
Tratamento de resíduos	87	*	87	*
Polinização	*	14	25	*
Controle biológico	*	24	23	*
Habitat/refúgio	*	**	*	41
Prod. de alimentos	32	54	67	*
Matérias-primas	315	*	*	*
Recursos genéticos	41	*	0	230
Recreação	112	**	2	*
Serviços culturais	2	*	*	*
Total	2.008	92	244	8.498

**Indica que o serviço ecossistêmico não é prestado pela respectiva categoria de uso do solo.

*Informação indisponível ou inexistente.

Fonte: Adaptado de Costanza *et al.* (1997).

Figura 2 – Mapa de uso e ocupação do solo para os anos de 2009 e 2019, na bacia do rio Santo Antônio



Fonte: Elaborado pelos autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Classificação de uso e ocupação do solo

Com a aplicação da classificação supervisionada, foi possível determinar as classes de uso e ocupação do solo para a bacia do rio Santo Antônio para os anos de 2009 e 2019, como apresentado na Figura 2. É possível identificar o aumento da classe Agricultura em relação às outras classes de uso do solo: Vegetação Nativa, Pastagem e Água. A Tabela 4 apresenta os resultados da classificação do uso e cobertura do solo na bacia do rio Santo Antônio.

Tabela 4 – Valores das classes de uso do solo na bacia do rio Santo Antônio entre os anos de 2009 e 2019

Ano	2009		2019		Variação 2009/2019 ha	Variação 2009/2019 %
	ha	Classe/Bacia %	ha	Classe/Bacia %		
Vegetação Nativa	52123,59	43,67	38340,72	32,12	-13782,87	-26,44
Agricultura	20380,05	17,07	39259,44	32,89	18879,39	92,64
Pastagem	46490,67	38,95	41403,78	34,69	-5086,89	-10,94
Água	374,85	0,31	365,22	0,31	-9,63	-2,57
Total	119369,16	100,00	119369,16	100,00		

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se que a classe de uso e ocupação do solo mais representativa no ano de 2009 foi “Vegetação Nativa”, ocupando 43,67% da área total da bacia. Entretanto verificou-se que esta classe obteve a maior redução de área comparando-se 2009 e 2019, com um decréscimo de 26,44% de sua área, passando a ocupar 32,12% da bacia.

Na classe “Agricultura”, observou-se o maior acréscimo de área, com 92,64% de incremento entre 2009 e 2019, praticamente duplicando a área ocupada, passando de 17,07% para 32,89% em termos de ocupação da bacia. As pastagens reduziram 10,94% no período analisado, porém tornou-se a classe mais representativa em 2019, ocupando 34,69% da área da bacia.

A classe de uso do solo denominada “Água”, que representa os corpos hídricos, reduziu 2,57% no período analisado, embora este fato possa estar muito mais relacionado às condições climáticas da data em que as imagens de satélite foram capturadas do que, propriamente, à atividade antrópica.

3.2 Valoração dos serviços ecossistêmicos

Na Tabela 5, é apresentada a estimativa dos valores dos serviços ecossistêmicos na bacia do rio Santo Antônio para cada classe de uso e ocupação de solo analisada.

Tabela 5 – Estimativa dos serviços ecossistêmicos por classe de uso do solo na bacia do rio Santo Antônio, entre os anos de 2009 e 2019

Ano	2009			2019			Variação 2009/2019	
	Classe	Área	Valor dos Serviços Ecossistêmicos	Área	Valor dos Serviços Ecossistêmicos			
					ha	US\$·ano ⁻¹		%
		ha	US\$·ano ⁻¹	%	ha	US\$·ano ⁻¹	%	
	Vegetação Nativa	52.123,59	104.664.168,72	86,45	38.340,72	76.988.165,76	82,07	-26,44
	Agricultura	20.380,05	1.874.964,60	1,55	39.259,44	3.611.868,48	3,85	92,64
	Pastagem	46.490,67	11.343.723,48	9,37	41.403,78	10.102.522,32	10,77	-10,94
	Água	374,85	3.185.475,30	2,63	365,22	3.103.639,56	3,31	-2,57
	Total		121.068.332,10	100,00		93.806.196,12	100,00	-22,52

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados demonstraram que os serviços ecossistêmicos prestados pela bacia do rio Santo Antônio, considerando-se as classes de uso de solo no ano de 2009, correspondem a aproximadamente US\$ 121 milhões anuais, e, para o ano de 2019, esse fluxo correspondeu a aproximadamente US\$ 93,8 milhões por ano.

Em relação à classe de uso do solo “Vegetação Nativa”, os maiores valores de serviços ecossistêmicos prestados, com aproximadamente US\$ 76 milhões por ano, representaram 82,07% do valor total dos serviços prestados em 2019. Em seguida, tivemos a classe “Pastagem”, com aproximadamente US\$ 10 milhões dos serviços prestados em 2019, o que representou 10,77% do valor total. Estes resultados são semelhantes aos observados por Andrade *et al.* (2012), que constataram que os serviços ecossistêmicos prestados por áreas florestadas representaram cerca de 83% do total.

Embora a classe “Vegetação Nativa” seja a maior prestadora de serviços ecossistêmicos em termos monetários, observou-se que esta classe obteve uma redução de 26,44%, a maior

observada entre as classes estudadas. Este fato está relacionado à redução proporcional de vegetação nativa no período estudado. Em contrapartida, os serviços ecossistêmicos prestados pela classe “Agricultura” obtiveram a maior variação, com o aumento de 92,64% do valor dos serviços prestados, resultado do aumento de área plantada no período.

De modo geral, constatou-se uma redução de 22,52% no valor total dos serviços prestados pela bacia do rio Santo Antônio, o que corresponde a uma redução de aproximadamente US\$ 27,2 milhões por ano. A redução das áreas de Vegetação Nativa e Pastagem colaboraram significativamente para este resultado, dado o valor elevado associado a estas classes. No trabalho de Cunha *et al.* (2014), os autores constataram uma taxa de redução de 20,98%, semelhante à observada neste estudo, embora tivessem utilizado apenas duas classes de uso de solo.

A Tabela 6 apresenta a contribuição individual dos 17 serviços ecossistêmicos na bacia do rio Santo Antônio, obtidos por meio da aplicação dos dados da Tabela 3, na Equação 2.

Tabela 6 – Estimativa individual dos serviços ecossistêmicos para a bacia do rio Santo Antônio, entre os anos de 2009 e 2019

Serviços ecossistêmicos	Total 2009 (US\$·ha⁻¹)	Total 2019 (US\$·ha⁻¹)
Regulação de gás	325.434,69	289.826,46
Regulação climática	11.623.560,57	8.549.980,56
Reg. de distúrbios	260.617,95	191.703,60
Regulação de água	2.493.271,80	2.342.878,56
Oferta de água	1.210.546,17	1.079.896,50
Controle da erosão	14.118.508,98	10.594.186,02
Formação do solo	567.726,57	424.810,98
Ciclagem de nutrientes	48.307.225,23	35.593.015,14
Tratamento de resíduos	8.579.440,62	6.937.771,50
Polinização	1.447.587,45	1.584.726,66
Controle biológico	1.558.406,61	1.894.513,50
<i>Habitat</i> /refúgio	15.368,85	14.974,02
Produção de alimentos	5.883.352,47	6.120.966,06
Matérias-primas	16.418.930,85	12.077.326,80
Recursos genéticos	2.223.282,69	1.655.970,12
Recreação	5.930.823,42	4.376.968,20
Serviços culturais	104.247,18	76.681,44

Fonte: Elaborado pelos autores.

Percebe-se que o serviço “ciclagem de nutrientes” apresentou os maiores valores anuais de serviços ecossistêmicos, cerca de US\$ 48,3 milhões em 2009 e US\$ 35,9 milhões em 2019, semelhante ao observado no trabalho de Cunha *et al.* (2014). Destacam-se os serviços “provisão de matéria-prima”, “controle de erosão” e “regulação climática” como maiores valores monetários. Estes serviços possuem os maiores valores associados à classe vegetação nativa, portanto tendem a apresentar as maiores contribuições monetárias proporcionalmente ao tamanho desta classe.

Na análise de Andrade *et al.* (2012), resultados similares foram observados na bacia dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo, onde foram identificados os cinco serviços ecossistêmicos mais relevantes

em termos de valor: ciclagem de nutrientes, regulação de água, fornecimento de matérias-primas, produção de alimentos, controle da erosão. Já Sawut, Eziz e Tiyyip (2013) identificaram que os três serviços ecossistêmicos mais relevantes no delta do rio Ugan-Kupa, localizado no noroeste chinês, corresponderam ao tratamento de resíduos, oferta de água e formação de solo, em razão das extensas áreas de pastagens desta região.

Ressalta-se que na metodologia utilizada neste trabalho a variação do valor anual dos serviços ecossistêmicos é diretamente proporcional à variação da ocupação do solo (área ocupada pela classe de uso do solo), uma vez que os coeficientes de serviços ecossistêmicos foram considerados estáticos ao longo do tempo.

Andrade *et al.* (2012) explicam que o cenário ideal para a valoração dos serviços ecossistêmicos deve levar em conta valores específicos para o local estudado e considerar a dinâmica ecológica, pois, na medida em que a oferta de um serviço ecossistêmico diminui, o seu valor tende a aumentar. Desta forma, a abordagem adotada neste estudo deve ser entendida como ordem de grandeza, utilizada como orientadora no debate entre a exploração e o uso sustentável dos recursos naturais.

4 CONCLUSÃO

Este estudo apresentou os resultados estimados da valoração dos serviços ecossistêmicos na bacia do rio Santo Antônio, um importante manancial de abastecimento do município de Guia Lopes da Laguna. Por meio da classificação supervisionada de imagens de satélite *Landsat*, foi possível identificar as classes de uso e ocupação do solo da área de estudo.

Conclui-se que há uma redução de 26,44% da área de vegetação nativa, bem como a migração de áreas de pastagem para agricultura, que, por sua vez, praticamente dobraram de tamanho entre 2009 e 2019, com um aumento de 92,64%.

A vegetação nativa é classe de uso do solo que mais contribuiu monetariamente com os serviços ecossistêmicos na bacia estudada, devido à área total da classe e ao elevado valor dos serviços associados aos recursos florestais, totalizando cerca de US\$ 76 milhões anuais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério Público do Estado de Mato Grosso do Sul pelo apoio e pela disponibilização de recursos para a instalação do Centro Integrado de Proteção e Pesquisa Ambiental da Universidade Católica Dom Bosco (CEIPPAM/UCDB) e pela concessão de Bolsa de Estudo de Iniciação Científica e Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária da UCDB.

REFERÊNCIAS

ABRÃO, C. M. R.; KUERTEN, S. Avaliação da área de preservação permanente do rio Santo Antônio na colônia Santo Antônio em Guia Lopes da Laguna-MS: aplicação do novo código florestal. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 36, n. 2, p. 265-84, maio/jul. 2016.

ANDRADE, D. C. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. *Leituras de Economia Política*, Campinas, v. 14, p. 1-31, ago./dez. 2008.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R.; FASIABEN, M. C. R.; GARCIA, J. R. Dinâmica do uso do solo e valoração de serviços ecossistêmicos: notas de orientação para políticas ambientais. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 25, p. 53-71, jan./jun. 2012.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil. *TOPODATA INPE*, São José dos Campos-SP, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata>. Acesso em: 30 abr. 2020.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, Brasília-DF, 8 jan. 1997. p. 470-74.

COSTANZA, R. *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, n. 6630, p. 253-60, maio 1997.

CUNHA, F. L. S. J. *Valoração dos serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas*. 2008. 129 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente) –Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.

CUNHA, J. U. C. P.; ANDRADE, D. C.; UEZU, A.; ALENCAR, C. M. M. Valoração econômica de serviços ecossistêmicos no território Bacia do Jacuípe (Bahia). *Revista Debate Econômico*, Cidade, v. 2, n. 2, p. 5-30, jul./dez. 2014.

KREUTER, U. P.; HARRIS, H. G.; MATLOCK, M. D.; LACEY, R. E. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. *Ecological Economics*, [s.l.], v. 39, n. 3, p. 333-46, 2001.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura na bacia do rio Formiga, Tocantins. *Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia*, Uberlândia, v. 4, n. 12, p. 90-106, dez. 2012.

LIU, S. *Valuing ecosystem services: an ecological economic approach*. 2007. 354 f. Dissertation (Doctor of Philosophy, specializing in Natural Resources) – University of Vermont, USA, 2007.

MANGABEIRA, J. A. C.; TÔSTO, S. G.; ROMEIRO, A. R. *Valoração de serviços ecossistêmicos: estado da arte dos sistemas agroflorestais (SAFs)*. Campinas Embrapa Monitoramento por Satélite, 2011. 47 p.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT [MEA]. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, D.C.: Island Press, 2005.

MORAES, A. S.; SAMPAIO, Y.; SEIDL, A. *Quanto vale o Pantanal?* Valoração ambiental aplicada ao bioma Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2010. 35 p.

MOTTA, R. S. *Manual para valoração econômica de recursos ambientais*. Brasília-DF: IPEA; MMA; PNUD; CNPq, 1997.

PARANHOS FILHO, A. C.; LASTORIA, G.; TORRES, T. G. *Sensoriamento remoto ambiental aplicado: introdução às geotecnologias*. 1. ed. Campo Grande: Editora UFMS, 2008. 198 p.

ROMA, J. C.; SACCARO JUNIOR, N. L.; MATION, L. F.; PAULSEN, S. S., VASCONCELLOS, P. G. *A economia de ecossistemas e da biodiversidade no Brasil (TEEB Brasil): análise de lacunas*. Rio de Janeiro: IPEA, 2013. 62 p. (Texto para discussão, 1912).

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 16, n. 16, p. 81-90, 2005.

ROSS, J. L. S.; PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v. 12, n. 12, p. 89-121, 1998.

SAWUT, M.; EZIZ, M.; TIYIP, T. The effects of land-use change on ecosystem service value of desert oasis: a case study in Ugan-Kuqa River Delta Oasis, China. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 93, n. 1, p. 99-108, 2013.

SILVA, S. S. *Segmentação de imagens utilizando combinação de modelos de mistura gaussianas*. 2014. Dissertação (mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2014.

TÔSTO, S. G. *Sustentabilidade e valoração de serviços ecossistêmicos no espaço rural do município de Araras*, SP. 2010. Tese (doutorado em Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2010.

United States Geological Survey [USGS]. *USGS*, 2013. Science for a changing world. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov>. Acesso em: 30 abril 2020.

VASCONCELOS, C. H.; NOVO, E. M. L. M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens: fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí, PA. *Acta Amazonica*, Cidade, v. 34, n. 3, p. 487-93, 2004.

Sobre os autores:

Wesley dos Santos Carvalho: Mestrando em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). Bolsista do Centro Integrado de Proteção e Pesquisa Ambiental (CEIPPAM). Engenheiro sanitário e ambiental pela UCDB. **E-mail:** wesleysc352@gmail.com, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0003-1244-893X>

Monik Loraine Candido Cunha: Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). Estagiária do Centro Integrado de Proteção e Pesquisa Ambiental (CEIPPAM). **E-mail:** ra176511@ucdb.br, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-0293-2552>

Izabella do Carmo Amaral: Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). Estagiária do Centro Integrado de Proteção e Pesquisa Ambiental (CEIPPAM). **E-mail:** ra172175@ucdb.br, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0003-4277-8307>

Fernando Jorge Corrêa Magalhães Filho: Doutor em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. Bolsista de produtividade pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Engenheiro sanitário e ambiental. Professor e pesquisador na Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). **E-mail:** fernandojcmf@hotmail.com, **Orcid:** <http://orcid.org/0000-0001-5447-0137>

