



## AVALIAÇÃO DE ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO A PARTIR DE DADOS ÓTICO-ORBITAIS DA SÉRIE LANDSAT (OLI, TM) E SUA RELAÇÃO COM O TEOR DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO

Manuela Corrêa de Castro **Padilha**<sup>1</sup>; Diego Urbina **Salazar**<sup>2</sup>; José Alexandre Melo **Demattê**<sup>3</sup>;  
Daniel Gomes dos Santos Wendriner **Loebmann**<sup>4</sup>; Luiz Eduardo **Vicente**<sup>5</sup>

Nº 18408

**RESUMO** – *A quantificação do carbono orgânico do solo (COS) é de grande importância para a agricultura e o uso sustentável da terra, porém, ocorrem dificuldades para estimá-lo em grandes áreas, como o alto custo da amostragem de solo e dos preparos em laboratório. Há abordagens que podem facilitar a estimativa do COS, como o uso de imagens de satélite e a aplicação de modelos estatísticos baseados em índices de vegetação e nas bandas espectrais do satélite Landsat. Neste estudo foi proposta a avaliação de índices espectrais de vegetação (NDMI, EVI e o índice de biomassa aérea da vegetação (BAV), proposto pelos autores) a partir de dados ótico-orbitais da série Landsat (OLI, TM) para estimativa de teor de COS. Estatisticamente, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apresentou valores de 0,5 a 0,6 entre as variáveis teor de COS determinado da coleta de amostras de solo e os valores dos índices extraídos das cenas nos pixels correspondentes aos locais de coleta de amostras. Entretanto, através do mapeamento feito por software de SIG (ArcGis®) foi possível observar que o manejo das culturas na área de estudo impactou na relação da biomassa e, conseqüentemente, na concentração de COS ao longo do tempo. Portanto, o uso dos índices espectrais de vegetação para estimativa de COS necessita de melhores validações e calibrações para tentar se melhorar, estatisticamente, a relação entre as variáveis de estudo.*

**Palavras-chaves:** Sensoriamento remoto, biomassa aérea da vegetação, agricultura de baixo carbono, série temporal.

1 Autora, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Engenharia Florestal, ESALQ/USP, Piracicaba-SP; manuela.padilha2111@gmail.com.

2 Co-autor; mestrando em Ciências do Solo da Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP; diego\_urbina\_salazar@usp.br.

3 Co-orientador: Professor Titular da Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP; jamdemat@usp.br.

4 Analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; daniel.gomes@embrapa.br.

5 Orientador: Pesquisador A da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; luiz.vicente@embrapa.br.



**ABSTRACT** – *The quantification of soil organic carbon (SOC) is very important to agriculture and sustainable use of the land, but there are difficulties to estimate it in large areas, such as the high cost of extraction of soil samples and laboratory preparations. There are approaches that can facilitate the estimation of SOC, such as the use of satellite imagery and the application of statistical models based on vegetation indices and on the spectral bands of the satellite under study. In this study it was proposed the evaluation of spectral indices of vegetation (NDMI, EVI and the aboveground biomass index (AGBI), proposed by the authors) from optical-orbital data of the Landsat series (OLI, TM) for estimation of the content of SOC. Statistically, the coefficient of determination ( $R^2$ ) presented a moderate relationship (0,4 to 0,5) between the SOC measured in collected soil samples and the values of the contents extracted from the scenes in the pixels corresponding to the sampling locations. However, through the mapping done by GIS software (ArcGis®), it was possible to observe that the management of the cultures in the field of study impacted on the biomass ratio, and consequently in the concentration of SOC over time. Therefore, the evaluation of the vegetation spectral indices for SOC estimation requires better validation and calibrations in order to try to improve, statistically, the relationship between the study variables.*

**Keywords:** Remote sensing, aboveground vegetation biomass, low carbon agriculture, time series.

## 1. INTRODUÇÃO

O carbono orgânico do solo (COS) é um dos atributos capaz de demonstrar alterações na qualidade do solo, refletindo os atributos físicos, químicos e biológicos (LARSON; PIERCE, 1994). O COS se encontra estável em áreas que não sofrem alterações antrópicas, porém, quando os solos em questão são submetidos a diferentes manejos de uso do solo, principalmente no revolvimento e na exposição do solo, estes podem sofrer com a redução da demanda nutricional bem como a disponibilidade da matéria orgânica, sendo que a matéria orgânica é onde o COS se concentra (ADDISCOT, 1992). O conhecimento do padrão de distribuição espacial do COS provê informações de grande importância para a agricultura, como por exemplo para o uso sustentável da terra e para identificação de usos e manejos do solo que promovam o sequestro de carbono (MACHADO, 2005).

Entre as principais limitações para avaliação do estoque de COS pode ser citado o alto custo das análises, o que acarreta em pontos amostrais esparsos que podem não refletir a

variabilidade espacial (BHUNA et al., 2016), resultando em valores altos de incerteza no mapeamento através do sensoriamento remoto, principalmente em áreas extensas.

Em estudo realizado por Woodbury et. al. (2006), nos Estados Unidos, foi observado que a biomassa aérea foi mais impactada pelas mudanças de uso do que o estoque de COS, fato que pode estar relacionado ao tempo necessário para que o estoque de carbono no solo seja impactado e mobilizado após as mudanças de uso (COSTA, 2015). Em citação de Nelson et al. (2000), Houghton et. al. (1991) avaliaram que a biomassa abaixo da terra pode ser calculada como aproximadamente 25% da biomassa acima do solo. Dessa forma, considerando tais relações diretamente proporcionais, o conhecimento sobre a biomassa aérea da vegetação obtidas através de sensoriamento remoto pode auxiliar nas estimativas do COS em áreas vegetadas.

Assim, tem-se como objetivo principal deste estudo a avaliação de índices espectrais de vegetação (NDMI, EVI e o índice de biomassa aérea da vegetação (BAV), proposto pelos autores) a partir de dados ótico-orbitais da série Landsat (OLI, TM) para estimativa de teor de COS.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudo

A área de estudo, demonstrada na Figura 1, compreende os municípios de Charquedá, Piracicaba, Rio das Pedras, Saltinho, Mombuca, Tietê e Rafard, todos no Estado de São Paulo. A classificação climática segundo Köppen é tropical (Cwa), com invernos secos e verões chuvosos. A região é reconhecida pelo crescente pólo econômico do agronegócio impulsionada especialmente pelo cultivo de cana-de-açúcar.

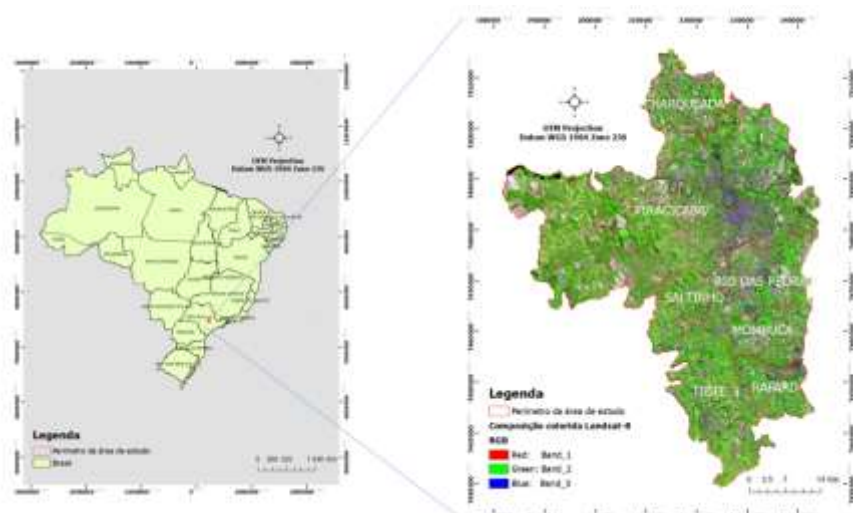


Figura 1. Mapa da localização da área de estudo.

## 2.2. Aplicação de máscara de solo exposto (MSE) para amostragem de pontos

Os pontos amostrais foram escolhidos utilizando amostragem orientada, sendo necessário selecionar pixels correspondentes ao solo exposto nas cenas, a partir da criação de uma máscara de solo exposto (MSE) de acordo com a metodologia de Demattê et al. (2016), que inclui solos de diferentes texturas, como demonstrado na Figura 2. Esta etapa de aplicação da MSE foi necessária para excluir alvos não vegetados, já que a análise da relação entre o COS e o índice BAV só faz sentido em áreas com presença de vegetação (Figura 2). Desta forma, dos 190 pontos amostrados para realizar a análise de teor de carbono no solo, foram selecionados 47 pontos amostrais correspondentes às áreas cobertas com vegetação no momento da aquisição das imagens.

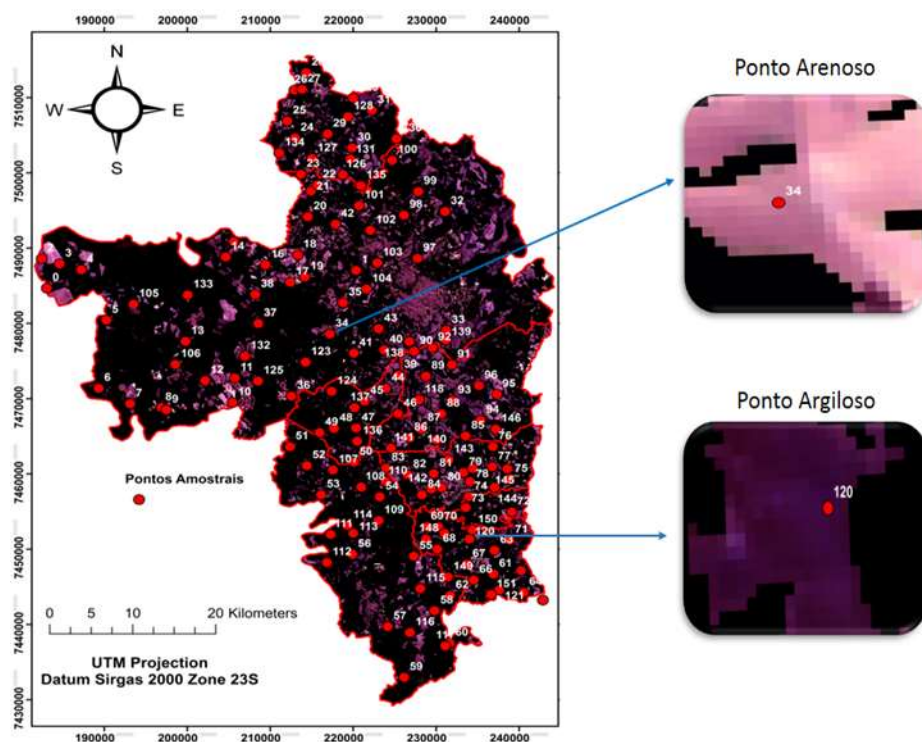


Figura 2. Máscara de solo exposto (MSE) feita para amostrar os pontos levantados em campo.

## 2.3. Trabalho de Campo

Como mencionado no item 2.2, foram coletadas 47 amostras de solo, dos pontos previamente selecionados pela aplicação da MSE, na camada 0-20cm, com trado holandês, entre os meses de novembro de 2017 a março de 2018. Os pontos foram identificados em “nº X, nº P e nº”, sendo que “nº X” são as amostras que foram coletadas de acordo com a MSE de 2017, “nº P” as coletas com a MSE do ano de 2015, e “nº” as coletas para a MSE dos anos de 2004, 2015 e



2017, de modo que alguns pontos, no momento da coleta, estavam em áreas de solo exposto e outros em áreas vegetadas. Os locais de levantamento foram principalmente de plantios de cana, no entanto alguns pontos foram coletados em culturas de milho, laranja, soja e mandioca. E em cada levantamento foram anotadas informações sobre variáveis de campo, como a altitude do ponto, tipo de relevo, cor do solo e tipo de cultura.

#### **2.4. Preparação das amostras de solo**

As amostras foram colocadas em recipientes de plástico de 250 mL para secagem a temperatura ambiente, com duração média de 20 a 30 dias. Após secagem, as amostras foram organizadas de acordo com os pontos que foram coletadas, posteriormente, moídas e peneiradas a 2 mm. A análise de COS foi determinada através do método Walkley-Black (1934).

#### **2.5. Aquisição e processamento das imagens Landsat**

As cenas dos satélites Landsat 5 e Landsat 8 foram selecionadas no catálogo do site Earth Explorer (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2018a) e adquiridas no site do ESPA (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2018b), que fornece os dados de reflectância de superfície e disponibiliza índices de vegetação de pronto uso e, também foram adquiridas imagens no WebGis Carbscan (2018). Essas imagens já são calibradas radiometricamente e corrigidas para efeito da atmosfera, só dessa forma é possível se utilizar das séries temporais, pois os efeitos da atmosfera são debitados no momento em que o sensor captura a imagem. Todos os sensores da série Landsat possuem o mesmo conjunto de bandas e resolução espectral e espacial necessários à isonomia da aplicação multitemporal dos índices espectrais (VICENTE et al., 2015). As cenas selecionadas para a análise foram obtidas durante a época da seca, para maximizar as áreas de solo exposto e minimizar a cobertura de nuvens. A cena de 17/07/2017 foi selecionada por ser a cena com menor cobertura de nuvens próxima à data da coleta de amostras no campo e as cenas de 14/08/2004 e 02/07/2000 foram selecionadas para permitir uma análise da evolução temporal da BAV e a sua influência sobre os níveis atuais do teor de carbono orgânico do solo.

#### **2.6. Aplicação do índice de BAV**

Para estimar a BAV foram utilizados os índices *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI - GAO, 1996) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI - HUETE et al., 2002). De acordo com Jacon (2016), a relação de bandas exploradas pelo EVI (Equação 1) tem uma alta correlação positiva



com a BAV, enquanto a relação de bandas exploradas pelo NDMI (Equação 2) tem uma alta correlação negativa com a biomassa aérea da vegetação. Estas características espectrais podem ser melhor exploradas por meio de um índice de diferença normalizada entre EVI e NDMI, que realça as áreas com mais BAV, constituindo assim o índice BAV (Equação 3).

$$EVI = 2,5 \frac{\text{Infravermelho próximo} - \text{Vermelho}}{\text{Infravermelho próximo} + 6 * \text{Vermelho} - 7,5 * \text{Azul} + 1} \quad (1)$$

$$NDMI = \frac{\text{Infravermelho próximo} - \text{Infravermelho de ondas curtas (1600 nm)}}{\text{Infravermelho próximo} + \text{Infravermelho de ondas curtas (1600 nm)}} \quad (2)$$

O índice de BAV apresentado na Equação 3, foi aplicado às cenas do Landsat-5 (anos de 2000 e 2004) e Landsat-8 (ano de 2017) (ArcGis®).

$$BAV = \frac{EVI + NDMI}{EVI - NDMI} \quad (3)$$

As imagens índices obtidas foram correlacionados aos dados coletados de COS, sendo que se considerou para seleção dos pixels das imagens por ano (2000, 2004 e 2017) (Figura 2), apenas pontos correspondentes aos locais amostrados em campo em áreas vegetadas, totalizando 35 pontos para o ano de 2000, 8 pontos para 2004 e 6 pontos para 2017 (Tabelas 1, 2 e 3). Um dos desafios em se trabalhar com carbono no solo em cultivos agrícolas trata-se da não perenidade das culturas em questão, visto que, diferente de florestas naturais, as culturas mudam de local e alteram a matéria orgânica remanescente, dificultando o estabelecimento de uma grade amostral multitemporal.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da extração dos valores dos pixels dos pontos levantados, apresentado nas Tabelas 1, 2 e 3 foi possível se obter dados de correlação entre os índices avaliados, NDMI, EVI e BAV com o teor de COS medido em campo.

**Tabela 1.** Pontos levantados para análise do teor de COS medidos da matéria orgânica e valores dos índices BAV, NDMI, e EVI para o ano de 2000.

PONTO	C%	BAV	NDMI	EVI
110	0,4756	4,5329	1263	1978
81	0,5916	4,5169	2192	2988



**12º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2018**  
**01 a 03 de agosto de 2018 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-145-5**

<b>53</b>	1,0731	4,8845	1480	2242
<b>2X</b>	1,8677	5,5536	2701	3954
<b>52</b>	0,7541	4,4118	2059	3266
<b>114</b>	0,7541	4,3635	1961	3196
<b>11</b>	1,0615	4,6119	2243	3485
<b>32</b>	1,6357	5,1709	2294	3394
<b>131</b>	1,1195	4,6404	3433	5343
<b>72</b>	1,0151	4,4022	2236	3899
<b>14X</b>	1,8097	5,1949	2961	3778
<b>84</b>	0,7193	4,0804	1762	2906
<b>88</b>	1,6125	4,9630	3107	4797
<b>68</b>	1,1311	4,3398	1735	2774
<b>71</b>	1,9954	5,0730	2623	3911
<b>120</b>	1,2239	4,2583	1771	3233
<b>104</b>	0,6613	3,6760	1936	3553
<b>55</b>	1,0035	3,9642	1626	2914
<b>100</b>	0,8643	3,8235	1440	2460
<b>18X</b>	1,4965	4,4033	895	1103
<b>4P</b>	3,9844	6,8691	3283	4164
<b>30</b>	1,4327	4,2226	3221	5220
<b>23P</b>	0,5800	3,2962	1292	2492
<b>21</b>	0,4524	2,9884	1376	2760
<b>122</b>	1,4501	3,8975	2444	4131
<b>31</b>	1,4965	3,9282	1754	2952



**12º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2018**  
**01 a 03 de agosto de 2018 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-145-5**

<b>85</b>	1,1079	3,4808	1795	3195
<b>80</b>	0,4176	2,7681	2104	4484
<b>12</b>	0,6845	2,9887	1407	2822
<b>144</b>	0,7193	2,9904	2063	3984
<b>29</b>	1,2819	3,4137	1371	3161
<b>101</b>	0,5104	2,6279	1330	2964
<b>109</b>	0,6265	2,7218	823	1779
<b>96</b>	1,5893	3,6385	2704	4577
<b>119</b>	0,6148	2,6458	1264	2800

**Tabela 2.** Pontos levantados para análise do teor de COS medidos da matéria orgânica e valores dos índices BAV, NDMI, e EVI para o ano de 2004.

<b>PONTOS</b>	<b>C%</b>	<b>BAV</b>	<b>NDMI</b>	<b>EVI</b>
<b>14X</b>	1,8097	7,6200	2605	3567
<b>3X</b>	0,9803	5,5995	3140	4832
<b>2X</b>	1,8677	6,1746	3670	5086
<b>4X</b>	1,2587	4,8034	2059	3498
<b>15X</b>	1,3283	4,7250	2311	3640
<b>5X</b>	0,9455	3,9845	2611	4257
<b>17X</b>	0,5684	3,5428	2082	3572
<b>0X</b>	1,4211	3,9578	2241	3802

**Tabela 3.** Pontos levantados para análise do teor de COS medidos da matéria orgânica e valores dos índices BAV, NDMI, e EVI para o ano de 2017.

<b>PONTOS</b>	<b>C%</b>	<b>BAV</b>	<b>NDMI</b>	<b>EVI</b>
42	1,0847	0,2925	-872	1593





**12º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2018**  
**01 a 03 de agosto de 2018 – Campinas, São Paulo**  
**ISBN 978-85-7029-145-5**

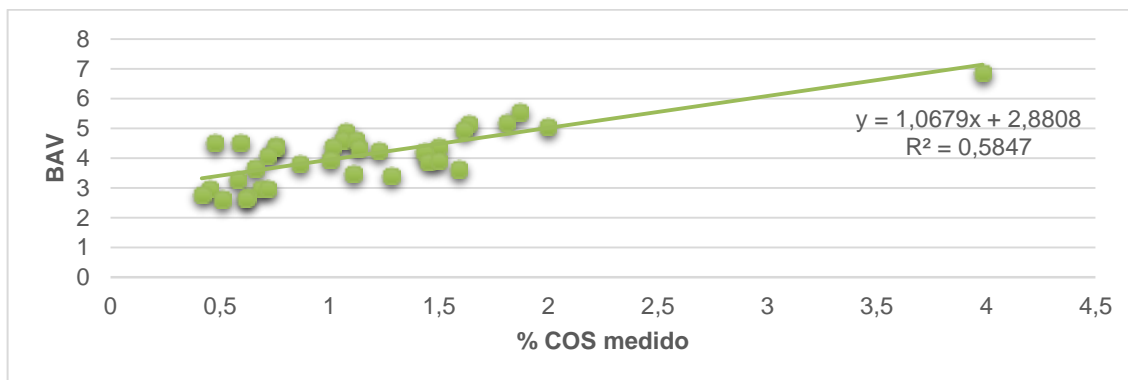
11X	0,7773	0,2376	-974	1581
68	1,1311	0,2333	-626	1007
129	0,8759	0,0954	-1067	1292
93	0,8237	0,0892	-1337	1599
26	0,5336	0,0129	-1611	1653

A análise dos coeficientes do índice de BAV com a porcentagem dos teores de COS extraídos das amostras indica a influência entre a relação da presença de vegetação no solo para todos os anos, com correlações ( $r$ ) de 0,7646 para o ano de 2000, 0,7452 para 2004 e 0,7775 para 2017, provavelmente devido a pouca movimentação da biomassa acima do solo, não impactando significativamente na alteração dos valores de COS.

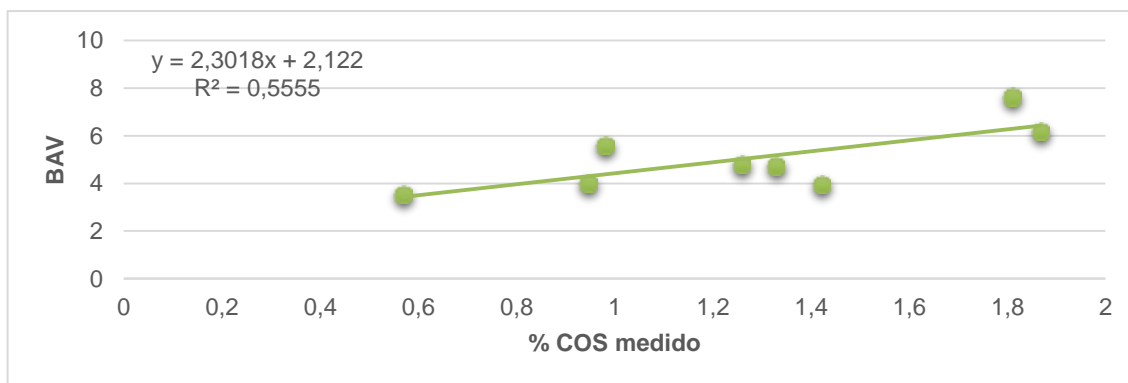
Em seguida, foi feita a análise da regressão dos dados através dos gráficos de dispersão apresentados nas Figuras de 3 a 5. Notoriamente a variação do  $R^2$ , devido a quantidade de pontos utilizados na análise, demonstra a influência da variável BAV sobre a variável % COS medido (BOLFE, 2010; DEMATTÊ, 2016).

De acordo com a Figura 6, em 2000, a densidade de pontos amostrados foi maior em relação aos anos de 2004 e 2017 (Figuras 7 e 8, respectivamente). A média do valor de BAV entre os pontos amostrados em 2000 foi de  $3,99 \pm 0,80$ , com aumento em 2004 ( $5,05 \pm 1,36$ ) e redução no ano de 2017 ( $0,46 \pm 0,64$ ). Devido à baixa densidade de vegetação em 2017, que apresentou solo recoberto por palhada e rotação de cultura, visto em campo na realização do levantamento das amostras, a resposta espectral na região do verde não foi tão expressiva e a aplicação do índice em estudo não se mostrou com grande eficiência neste período.

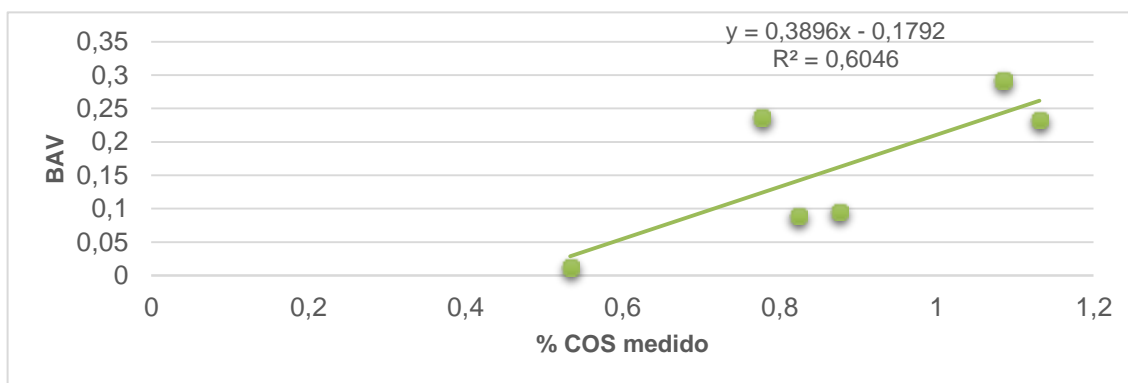
Os valores de BAV revelaram um  $R^2 > 0,50$  em relação às porcentagens do teor de COS amostrados para os três períodos em estudo. Uma hipótese para estar ocorrendo isso é que a restrição de áreas para queima da cana de açúcar propiciou melhores condições ao solo nas áreas que estão recebendo colheita mecanizada. De acordo com o ponto de vista agrônomo do pesquisador Rossetto (2018), da Agência Embrapa de Informação Tecnológica, as entidades ambientais originaram a Lei da Queima da Cana (Lei nº 11.241/2002), que trata da queima controlada da cana-de-açúcar para despalha e de sua gradual eliminação. Assim, o aumento do uso da palhada sob o solo exposto, propicia uma significativa melhora no uso do solo.



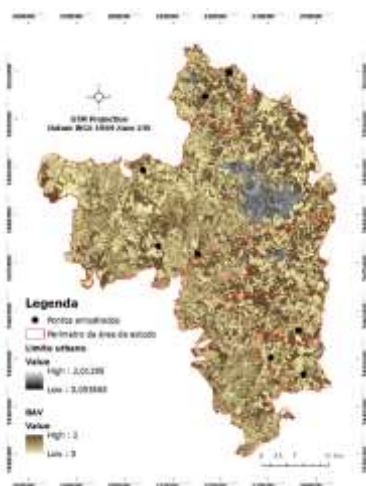
**Figura 3.** Gráfico de regressão linear para a porcentagem de COS medidos em campo vs. o índice de BAV para o ano de 2000.



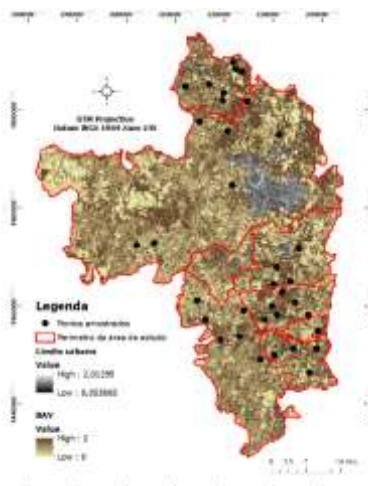
**Figura 4.** Gráfico de regressão linear para a porcentagem de COS medidos em campo vs. o índice de BAV para o ano de 2004.



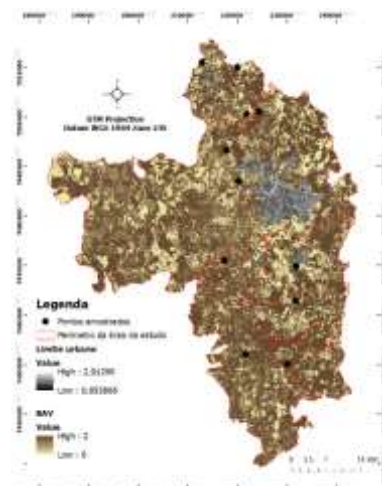
**Figura 5.** Gráfico de regressão linear para a porcentagem de COS medidos em campo vs. o índice de BAV para o ano de 2017.



**Figura 6.** Mapeamento do índice de BAV para os pontos levantados do ano de 2000 (ArcGis®).



**Figura 7.** Mapeamento do índice de BAV para os pontos levantados do ano de 2004 (ArcGis®).



**Figura 8.** Mapeamento do índice de BAV para os pontos levantados do ano de 2017 (ArcGis®).

#### 4. CONCLUSÃO

Diferentes índices espectrais de biomassa (EVI, NDMI, BAV) foram satisfatórios na estimativa de COS. De modo a sugerir o uso do índice composto BAV como promissor. Espera-se que na continuidade deste trabalho, tais resultados sejam aprimorados e utilizados por especialistas na implementação de modelos de estimativa de COS ou no mapeamento remoto através de sensores multiespectrais, gerando a diminuição de custos e tempo de processamento, com maior acurácia e precisão dos resultados.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq pela bolsa concedida (Processo 18408), à equipe da Embrapa Meio Ambiente/Plataforma ABC pela oportunidade de estágio, ao Grupo de Pesquisa em Geotecnologia em Ciência do Solo (GeoCis, site: <http://esalqgeocis.wixsite.com/geocis>) e ao projeto temático FAPESP 2014-22262-0, e à pesquisadora Andrea Koga Vicente pelo apoio no projeto.

#### 6. REFERÊNCIAS

ADDISCOT, T.M. Entropy and sustainability. Eur. J. **Soil Sci.**, Dordrecht, v. 46, p. 161-168, 1992.



12º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2018  
01 a 03 de agosto de 2018 – Campinas, São Paulo  
ISBN 978-85-7029-145-5

- BHUNA, G.S; SHIT, P.K.; MAITI, R. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC). **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.17, p. 114-126, 2016.
- BOLFE, É. L., **Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa de biomassa e de carbono em sistemas agroflorestais por meio de imagens orbitais**. 319 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Geociências, Campinas, 2010.
- CARBSCAN. Sistema de coleta e análise multissensor para estimativa de carbono. Disponível em: <<http://mapas.cnpmembrapa.br/carbscan/app.html>>. Acesso em: 04 de janeiro, 2018.
- COSTA, K. M. **O estoque de carbono na vegetação e no solo de fragmentos florestais em paisagens tropicais fragmentadas**. 2015. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) -Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia, São Paulo. 2015.
- DEMATTÊ J.A.M., ALVES, M.R., TERRA, F.S., BOSQUILIA, R.W.D., FONGARO, C.T., BARROS, P.P.S. Is it possible to classify topsoil texture using a sensor located 800 km away from the surface? **Rev Bras Cienc Solo**, v. 40, p. 1-13, 2016.
- HOUGHTON, R.A., SKOLE, D.L. AND LEFKOWITZ, D.S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985: II. Net release of CO<sub>2</sub> to the atmosphere. **Ecol. Manage**, Amsterdam, v. 38, p. 173-199, 1991.
- GAO, B.C. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266, 1996.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRÍGUEZ, E. P.; GAO, X. FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195-213, 2002.
- JACON, A. D. **Caracterização espectro-sazonal de fitofisionomias do cerrado e estimativa de biomassa usando dados do sensor Hyperion/EO-1**. 120 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.
- LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. **The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, SSSA, 1994. p.37-51. (Special, 35)
- MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Rio de Janeiro**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.
- NELSON, R.F.; KIMES, D.; SALAS, W.; ROUTHIER, M. Secondary forest age and tropical forest biomass estimation using thematic mapper imagery. **BioScience**, Washington, v. 50, n.5, p. 419-431, 2000.
- ROSSETO, R. Ageitec. Árvore do conhecimento: cana-de-açúcar. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de\\_açúcar/arvore/contag01\\_92\\_22122006154841.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de_açúcar/arvore/contag01_92_22122006154841.html)>. Acesso em: 13 de maio, 2018.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Earth explorer. Disponível em: < <https://earthexplorer.usgs.gov> >. Acesso em: 23 de Maio, 2018a.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center Science Processing Architecture (ESPA) on demand interface. Disponível em: <<https://espa.cr.usgs.gov/index/>>. Acesso em: 23 de maio, 2018b.
- VICENTE, L.E.; GOMES, D.; C.; CUSTODIO, D. O. Para além das figuras coloridas: fronteiras e desafios do sensoriamento remoto multibanda. **MundoGEO**, v. 81, p. 48-50, 2015.
- WALKLEY, A., BLACK, J.A. An examination of the method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Sci**. v. 37, p. 29–38, 1934.
- WOODBURY, P. B.; HEATH, L. S.; SMITH, J. E. Land use change effects on forest carbon cycling throughout the southern United States. **Journal of environmental quality**, v. 35, n.4, p. 1348-1363, 2006.