

Uso do sensor MODIS para estimativa da produtividade de palha da cana-de-açúcar

Ana Cláudia dos Santos Luciano^{1,2}
Daniel Garbelini Duft¹
Michelle Cristina Araújo Picoli^{2,3}
Thayse Aparecida Dourado Hernandes¹
Jansle Vieira Rocha²

¹Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) – CTBE/CNPEM
Caixa Postal 6192 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil.
{ana.luciano, daniel.duft, thayse.hernandes}@bioetanol.org.br

²Universidade Estadual de Campinas –UNICAMP/ FEAGRI
Caixa Postal 6011 - 13083-875 - Campinas - SP, Brasil
{ana.luciano, michelle.picoli, jansle.rocha}@feagri.unicamp.br

³Universidade Estadual de Campinas –UNICAMP/FEM
Caixa Postal 6122 - 13083-860 - Campinas - SP, Brasil
mipicoli@gmail.com

Abstract. The sugarcane industry has grown significantly in recent years due to bioenergy production. Sugarcane residues such as bagasse and straw have contributed to cellulose ethanol production as well electricity. The objective of this paper is forecasting the straw sugarcane yield of three varieties using NDVI time series of MODIS sensor. The gross primary production (GPP) was calculated using NDVI, photosynthetically active radiation (PAR) and light use efficiency (LUE), for the 2015/16 crop year. The annual net primary productivity (NPP), integrated throughout the development period of sugarcane, was obtained from the difference between GPP and sugarcane respiration. The carbon fraction in the sugarcane, the crop moisture and the amount of biomass above the soil were used according to literature data, as well as field data referring to straw fraction and total biomass. The sugarcane straw yield estimated values were compared among the varieties and analyzed in relation to sugarcane straw yield measured on field. The yield between varieties ranged from 13 to 22 t/ha. The use of NDVI time series collaborated with the estimation of net primary productivity of sugarcane. It was possible to note is a positive correlation between the real values and the estimated values of straw sugarcane yield in the blocks evaluated ($R^2 \sim 0,67$). Further analysis should be made regarding the use of light efficiency parameters for biomass production in order to improve the forecasting sugarcane straw yield.

Palavras-chave: NDVI, bioenergy, net primary production (NPP), NDVI, bioenergia, NPP.

1. Introdução

Atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e de açúcar e o segundo maior produtor mundial de etanol (OECD e FAO, 2015). O setor sucroenergético do país tem se desenvolvido, especialmente, em relação à produção de bioenergia, visto que grande parte da cultura de cana-de-açúcar pode ser transformada em energia aproveitável. A conversão de resíduos da cultura em biomassa (*i.e.*, folhas, partes superiores do caule e bagaço) consiste em uma opção viável e sustentável para a geração de energia (Jiang et al., 2012) e representa ganhos significativos para o setor sucroenergético.

A palha da cana-de-açúcar é um importante resíduo da cultura tanto para a produção de açúcar como para a produção de álcool, pois proporciona a geração de energia bem como apresenta potencial de uso na produção do etanol celulósico ou etanol de segunda geração, para o futuro próximo. Diante disto, investimentos em pesquisas e tecnologias têm sido incentivados em busca de significativos progressos na produção do etanol de segunda geração (Walter et al., 2013) bem como no aproveitamento da palha para geração de energia.

A elevação nos preços do petróleo combinado com os avanços tecnológicos coloca o aproveitamento da palha como um recurso energético com perspectiva real. O uso da palha da cana-de-açúcar, como recurso energético, contribui com o desenvolvimento rural e evita os impactos ambientais negativos através da redução da emissão dos gases do efeito estufa, em virtude da substituição do petróleo pelo bioetanol. Dada a sua importância como fonte de energia, a estimativa da produtividade da palha da cana-de-açúcar é de suma importância para o planejamento adequado e desenvolvimento sustentável do setor sucroenergético (Scarlat et al., 2011).

A utilização da palha da cana-de-açúcar como fonte de energia e para a produção de etanol celulósico requer o um bom planejamento do setor sucroenergético em relação à produção da cultura, visto a grande extensão territorial brasileira. Contudo, avanços recentes mostram que o uso de dados e técnicas de sensoriamento remoto para o monitoramento do uso e cobertura da terra possibilitam estimar os resíduos agrícolas, como por exemplo, a palha deixada em campo (Duft et al., 2013; Elmore et al., 2008) e, portanto, colaboram com o planejamento adequado do setor.

De modo geral, a estimativa da produtividade agrícola por dados e técnicas de sensoriamento remoto é feita a partir do uso de índices de vegetação, provenientes de imagens de satélite, em conjunto com informações da produtividade primária líquida (*net primary production* - NPP) de culturas por meio das relações entre os índices e a radiação solar absorvida pela cultura para seu desenvolvimento (Morel et al., 2014; Bastiaanssen e Ali, 2003). Tal relação permite estimar a produtividade agrícola das culturas, como por exemplo cana-de-açúcar, pastagem e soja, de forma eficiente.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo estimar a produtividade de palha de 3 variedades da cultura da cana-de-açúcar, a partir da produtividade primária líquida obtida de séries temporais de imagens do NDVI do sensor MODIS.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo corresponde a talhões de cana-de-açúcar de 3 variedades em diferentes estádios de desenvolvimento, os quais estão localizados na região oeste do estado de São Paulo, entre as latitudes 22°00'30"S e 22°15'30"S e longitudes 50°33'30" W e 50°47'00" W (Figura 1). A região possui altitude média de 560 m e o clima é classificado por Köppen como sendo do tipo Aw, definido como tropical quente com chuvas de verão (Cepagri, 2016). A principal fonte econômica da região é a cultura da cana-de-açúcar que em 2015 apresentou uma produtividade média 72 t/ha (IBGE, 2016).

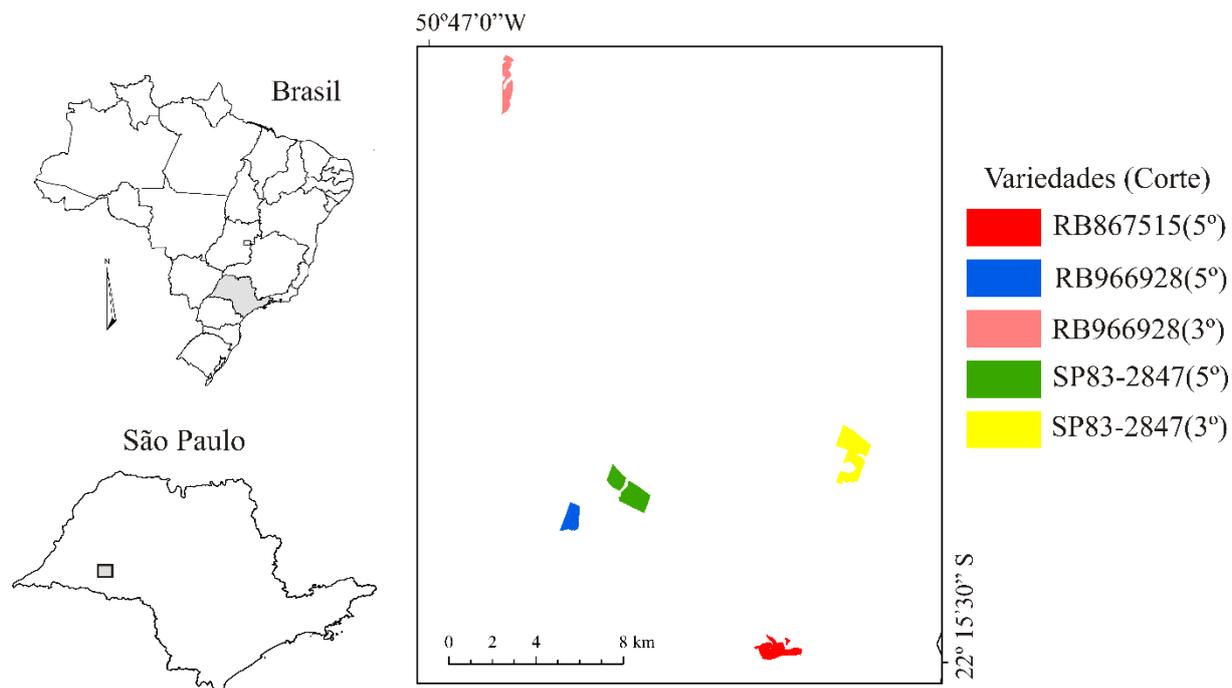


Figura 1. Localização da área de estudo no Estado de São Paulo e as respectivas variedades de estádio de corte presentes na área.

Para o cálculo da produtividade da palha da cana-de-açúcar na safra 2015/2016 foi utilizado o produto MOD13Q1 do sensor MODIS do tile h13v11 (NASA, 2012) para os períodos de 25/05/2015 a 25/05/2016, 28/07/2015 a 28/07/2016 e 13/08/2015 a 13/08/2016. Este produto é referente a uma composição de 16 dias do índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), com resolução espacial de 250 metros. Primeiramente, foi calculada a produtividade primária bruta (*Gross primary productivity – GPP*) da cana-de-açúcar com base na relação entre o NDVI, radiação fotossinteticamente ativa (PAR) e o fator de eficiência de uso da luz pela cultura (LUE) de acordo com a Equação 1, descrita por Elmore et al. (2008).

$$GPP = LUE * NDVI * PAR \quad (1)$$

Foi adotado o valor de LUE máximo para culturas agrícolas, correspondente a 0,001044 kgC/m²/dia/MJ, conforme Running e Zhao (2015) e o valor de PAR igual a 2,1 KWh/m² (Pereira et al., 2006). Em seguida, a produtividade primária líquida (NPP) anual, integrada ao longo do período de desenvolvimento da cana-de-açúcar, foi obtida a partir da diferença entre a GPP e a respiração. Os valores de respiração foram utilizados de acordo com Running e Zhao (2015).

Por fim, a metodologia de cálculo da palha de cana-de-açúcar foi ajustada de acordo com a equação adotada por Li et al. (2014) para correlacionar a produtividade da cultura com a NPP (Equação 2).

$$Palha(kgkm^{-2}) = \frac{(Pp * NPP * Asb)}{Ccx(1-Uc)} \quad (2)$$

Onde:

- Pp: fração entre palha e total de biomassa;
- NPP: produtividade primária líquida;
- Asb: Quantidade de biomassa acima do solo;
- Cc: fração de carbono na cana-de-açúcar;
- Uc: umidade da cana-de-açúcar.

O valor de Asb utilizado para o cálculo de produtividade foi correspondente a 85% (Rodrigues, 1995), enquanto que para a fração de carbono no solo (Cc) foi adotado o valor de 45%, conforme Leal et al. (2013). Para a Uc foi utilizado o valor de 70% segundo Junqueira et al. (2015). Os valores de Pp foram determinados a partir de medições em campo (Tabela 1).

As medições em campo referentes a fração de palha (Pp) foram feitas em cinco áreas com diferentes variedades e estádios de corte. Para isso, foram selecionadas as variedades RB867515 (5° corte), SP83-2847 (3° e 5° corte), RB966928 (3° e 5° corte). As medições em campo foram realizadas antes do período de colheita das áreas, nos meses de junho de 2016 para a variedade RB966298 e no mês de agosto para as variedades RB867515 e SP83-287. Para cada área foram obtidas medições de palha (peso da palha) e biomassa total (peso dos colmos) de 10 pontos. Em seguida, a fração de palha de cada área foi obtida a partir da média entre a relação do peso de palha seca e o peso do colmo na base úmida dos 10 pontos.

Tabela 1. Valores da fração palha e total de biomassa (Pp) para as variedades e cortes diferentes.

Variedade	Corte	Pp
RB867515	5°	0,149
SP83-2847	3°	0,169
SP83-2847	5°	0,152
RB966928	5°	0,128
RB966928	3°	0,109

3. Resultados e Discussão

A utilização da NPP para o cálculo da produtividade de palha da cana-de-açúcar resultou em um mapa de produção de palha por área para os blocos de cana-de-açúcar com diferentes variedades e estádios de corte (Figura 2) na safra 2015/2016. O mapa de produtividade de palha apresentou variações entre os blocos e, portanto, entre as variedades e o estágio de corte. Os valores estimados de produtividade de palha por hectare variaram de 13 t/ha a 22 t/ha.

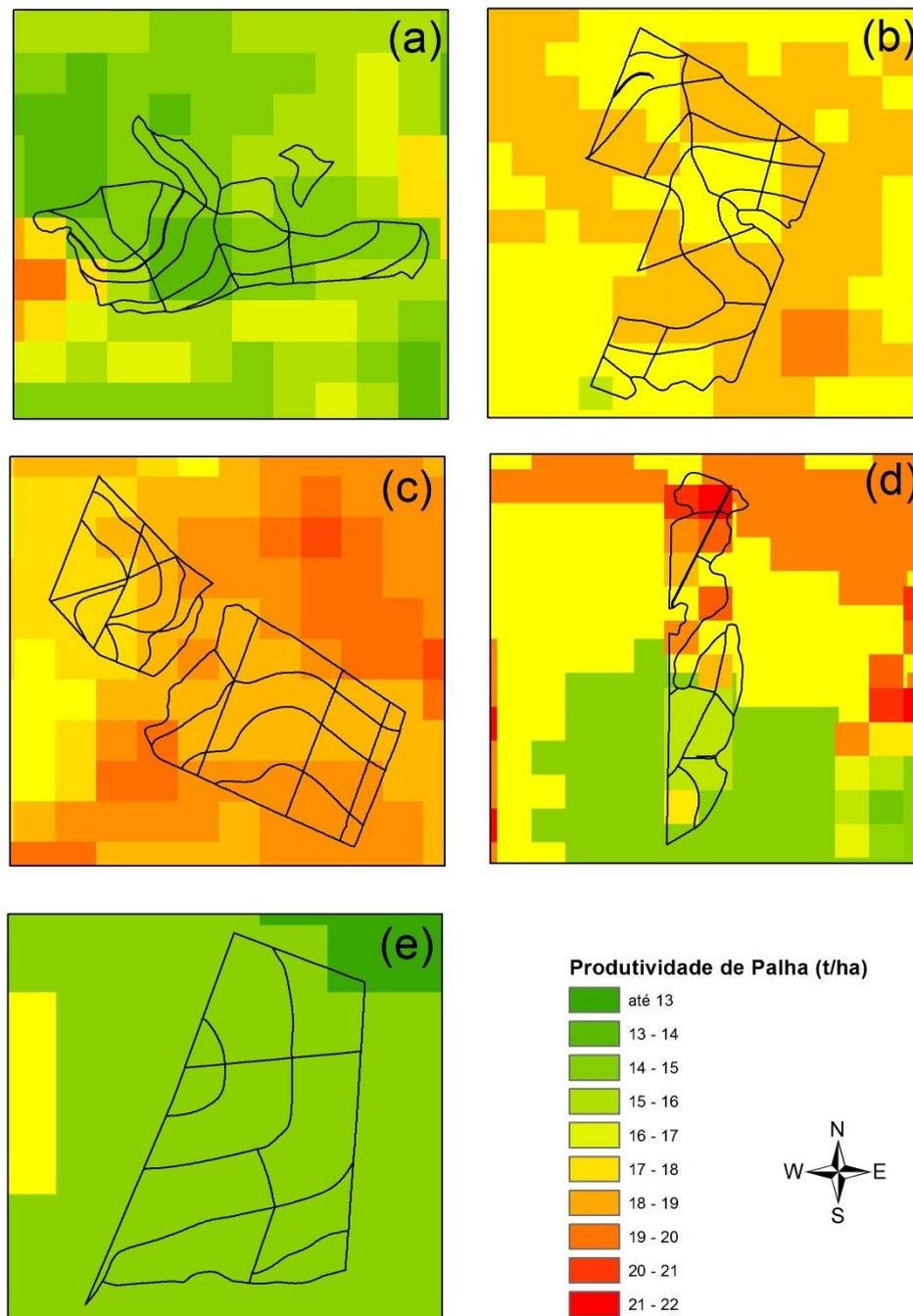


Figura 2. Mapa de produtividade da palha da cana-de-açúcar para as variedades selecionadas: a) RB867515 – 5º corte, b) SP83-2847 – 3º corte, c) SP83-2847 – 5º corte, d) RB966928 – 5º corte, e) RB966928 -3º corte.

A maior produtividade média da palha da cana-de-açúcar calculada a partir da NPP foi verificada para a variedade SP83-2847 no 3º corte enquanto que a menor produtividade foi verificada para a variedade RB966928 do 3º corte (Tabela 2). A variação de produtividade dos cortes da variedade SP83-2847 foi de aproximadamente 10% entre o 3º corte e 5º, uma vez que a produtividade se modifica a medida em que se altera os cortes em conjunto com as condições climáticas, manejo e práticas culturais (Conab, 2015). Já em relação a variedade RB966928 foi verificado que do 3º para o 5º corte a produtividade aumentou em 7,7%. A diferença de produtividade entre o 3º e 5º da variedade RB966928 pode ter ocorrido devido a diferenças de ambientes de produção dos talhões de 3º corte e 5º corte. Além disso, podem ter ocorrido erros

de medições em campo referentes a quantidade de palha em relação a biomassa total, bem como variações das condições climáticas durante a aquisição dos dados.

Tabela 2. Produtividade média da palha da cana-de-açúcar para os blocos das variedades estudadas na safra 2015/2016.

Variedade	Corte	Média da produtividade de palha estimada (t/ha)	Média da produtividade real de colmos (t/ha)	Média da produtividade de palha real (t/ha)
RB867515	5°	19,65	46,19	6,88
SP83-2847	3°	20,92	42,21	7,13
SP83-2847	5°	18,82	38,68	5,88
RB966928	5°	15,21	30,79	3,94
RB966928	3°	14,12	50,25	5,48

De maneira geral, aos valores reais de produtividade dos blocos foram baixos (Tabela 2), chegando ao valor médio de 41,6 toneladas de colmo por hectare, valor muito aquém da produtividade média para o estado de São Paulo, de 74,8 toneladas de colmo por hectare (Conab, 2015). Essa produtividade tem influência direta no desempenho do modelo utilizado, já que o mesmo considera condições ideais de fertilização e suplementação hídrica, ou seja, os valores dos parâmetros adotados para estimativa da produtividade de palha da cana-de-açúcar foram correspondentes ao fator de eficiência de uso da luz pela cultura (LUE) máximo de culturas agrícolas e uma radiação fotossinteticamente ativa (PAR) anual. Além do PAR e do LUE, os erros na magnitude da estimativa se devem, provavelmente, as questões ligadas às características físicas do ambiente de produção como o solo, arenoso neste caso. Outros fatores ligados ao manejo também influenciam na superestimação da produtividade de palha, como o tráfego de máquinas e o manejo de água e fertilizantes, que têm efeito direto na produtividade do canavial.

Apesar da utilização de índices genéricos, que consideram culturas agrícolas em geral, e da impossibilidade de refletir as condições de manejo do canavial na equação, é possível perceber que existe uma correlação entre os valores reais e os valores estimados de produtividade de palha nos blocos avaliados (Figura 3), evidenciando uma possível utilidade do modelo de estimativa na predição da quantidade de palha produzida. Diante disto, os dados de NDVI colaboraram na estimativa da produtividade agrícola da palha de cana-de-açúcar, principalmente por ser utilizado em séries temporais que acompanham o desenvolvimento da cultura. É importante considerar que a escala de medição dos dados reais e os dados estimados a partir do NPP são diferentes e, podem colaborar com os possíveis erros de estimativa.

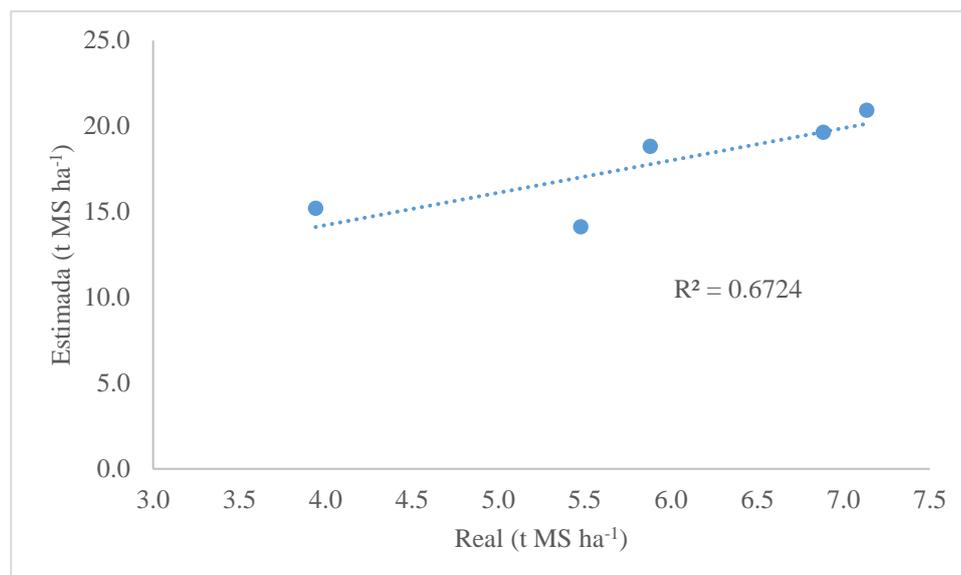


Figura 3. Relação entre a produtividade de palha estimada e real.

É importante considerar não apenas as variações de NDVI, mas também as variações de radiação solar incidente sobre a cultura e sua potencialidade em transformar a energia em biomassa. Outro fator importante está relacionado as condições adversas do ambiente, como condições climáticas variáveis, incidências de pragas e manejo agrícola ao longo do ano. Espera-se que ajustes nos valores de PAR e LUE, de forma que eles representem a cultura da cana-de-açúcar e, se possível, as diferentes variedades, melhorem as estimativas da equação de forma considerável.

4. Conclusões

O uso de séries temporais de imagens NDVI do sensor MODIS colaborou com a estimativa da produtividade agrícola da palha da cana-de-açúcar e permitiu analisar a espacialização da produção. Análises adicionais são necessárias para melhorar a estimativa da produtividade primária líquida da palha de cana-de-açúcar, principalmente no que diz respeito a utilização de energia solar pela cultura para conversão em biomassa.

Agradecimentos

Ao Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol, projeto SUCRE (CTBE/PNUD Project BRA/10/G31 - Sugarcane Renewable Electricity).

Referências Bibliográficas

- Bastiaanssen, W.G.M.; Ali, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.94, p.321-340, 2003.
- CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura). **Clima dos Municípios Paulistas**. Disponível em < <http://www.cpa.unicamp.br/>> Acesso em 28. Out. 2016. 2016.
- CGEE. **Bioetanol combustível**: uma oportunidade para o Brasil. Brasília: Centro de Gestão em Estudos Estratégicos, 2009.
- Companhia Nacional de Abastecimento - Conab. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília: Conab, 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>, Data de acesso em: 20/06/2016.
- Duft, D. G.; Picoli, M. C. A.; Galdos, M. V.; Scarpore, F. V.; Leal, M. R. L. V. Estimativa da produtividade dos resíduos da cana-de-açúcar por meio do sensor MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, Foz do Iguaçu. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2013. p 193-200.

Elmore, A.J.; Shi, X.; Gorence, N.J.; Li, X.; Jin, H.M.; Wang, F.; Zhang, X.H. The spatial distribution of agricultural residue from rice for potential biofuel production in China. **Biomass Bioenergy**, n. 32, p. 22-27, 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2015**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em 02.Nov.2016.

Junqueira, T.; Gouveia, V.; Sampaio, S.; Morais, E.; Bonomi, A. MeT 22. **Sugarcane biomass composition for the industrial simulations in the Virtual Sugarcane Biorefinery (VSB)**. Campinas, CNPEM, 2015.

Jiang, D.; Zhuang, D.; Fu, J.; Huang, Y.; Wen, K. Bioenergy potential from crop residues in China: Availability and distribution. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, n.3, p.1377-1382, 2012.

Leal, M. R. L.; Galdos, M. V.; Scarpore, F. V.; Seabra, J. E.; Walter, A.; Oliveira, C. O. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. **Biomass and Bioenergy**, v.53, p.11-19, 2013.

Li, Z.; Liu, S.; Tan, Z.; Bliss, N. B.; Young, C. J.; West, T. O.; Ogle, S. M.. Comparing cropland net primary production estimates from inventory, a satellite-based model, and a process-based model in the Midwest of the United States. **Ecological Modelling**, v. 277, p. 1-12, 2014.

Morel, J.; Bégué, A.; Todoroff, P.; Martiné, J. F.; Lebourgeois, V.; Petit, M. Coupling a sugarcane crop model with the remotely sensed time series of fiPAR to optimise the yield estimation. **European Journal of Agronomy**, v. 61, p. 60-68, 2014.

OECD e FAO. **Perspectivas Agrícolas no Brasil: desafios da agricultura brasileira 2015-2024**. FAO, Roma, 2015.

Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L.; Rütther, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. 60p.

Rodrigues, J.D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1995.99p.

Running, S. W., Zhao, M. Daily GPP and Annual NPP (MOD17A2/A3) Products NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm. **MOD17 User's Guide**, version 3, 2015.

Scarlat, N.; Blujdea, V.; Dallemand, J. F. Assessment of the availability of agricultural and forest residues for bioenergy production in Romania. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n.5, p.1995-2005, 2011.

Walter, A.; Galdos, M. V.; Scarpore, F. V.; Leal, M. R. L. V.; Seabra, J. E. A.; Cunha, M. P.; Picoli, M.C.A.; Oliveira, C. O. F. Brazilian sugarcane ethanol: developments so far and challenges for the future. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, v. 3, n.1, p. 70-92, 2013.