

MAPEAMENTO DE ÁREAS POTENCIAIS PARA REMOÇÃO DA PALHA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Bruna Cristina Gama Campagnuci¹, Ana Claudia dos Santos Luciano¹, Lauren Maine Santos Menandro¹, Sergio Gustavo Quassi de Castro¹, João Luis Nunes Carvalho¹ e Daniel Garbellini Duft¹

¹Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), CEP 13083-970, Campinas, São Paulo, Brasil, [bruna.campagnuci, ana.luciano, lauren.menandro, sergio.castro, joao.carvalho e daniel.duft]@ctbe.cnpem.br

RESUMO

Os dados geoespaciais têm auxiliado o monitoramento da produção de cana-de-açúcar e o planejamento estratégico do setor sucroenergético. O objetivo deste trabalho foi mapear as áreas potenciais de remoção de palha da cana-de-açúcar para produção de bioenergia, utilizando dados geoespaciais e sistemas de informação geográfica, sem comprometer a conservação do solo e produtividade da cultura. Os fatores para remoção sustentável da palha em campo foram determinados a partir da declividade, o tipo de solo, a época de colheita e a produtividade das áreas de cana-de-açúcar. As áreas aptas à remoção da palha representaram 21% da área total de estudo. As áreas inaptas e restritas representaram aproximadamente 74% e 4%, respectivamente, enquanto que 1% das áreas não foi classificada devido a não disponibilidade de dados de solos. Os dados geoespaciais e o uso de sistemas de informação geográfica auxiliaram no planejamento estratégico da remoção da palha em campo.

Palavras-chave — SIG, bioenergia, resíduos agrícolas, geoprocessamento.

ABSTRACT

Geospatial data have been used for monitoring sugarcane production and for the strategic planning of sugar-energy sector. The aim of this study was to map the potential areas for sugarcane straw removal to bioenergy production, without compromising the soil conservation and the crop yield, using geospatial data and geography information system. The sustainable strategy for straw removal was determined based on slope, soil type, harvest data and crop yield from sugarcane areas. The apt areas for straw removal corresponded to 21% of total study area. The inapt and restrict areas were equal to 74% and 4%, respectively, while 1% of sugarcane areas was not classified due to the non availability of soil data. Geospatial data and geographic information systems helps on the strategic planning of straw removal from the field.

Keywords — GIS, bioenergy, agricultural residues, geoprocessing.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é um dos principais produtos agrícolas nacionais, colocando o Brasil como o maior produtor e exportador mundial de açúcar e segundo maior produtor de etanol [1]. O etanol produzido a partir da cana-de-açúcar tem representando uma alternativa para a sustentabilidade global, especialmente no que diz respeito a redução das emissões dos gases do efeito estufa (GHG).

Nos últimos anos, a transição da colheita da cana-de-açúcar com queima para mecanizada tem resultado na redução dos impactos ambientais e sociais do processo de produção da cultura e, na deposição da palha no campo [2]. No campo, a palha da cana-de-açúcar auxilia na conservação do solo, por exemplo, preservando a umidade e diminuindo a erosão, e pode gerar ganhos na produtividade da cultura. Na indústria, a palha pode ser utilizada para produção de etanol de segunda geração (2G) e geração de bioeletricidade, complementando a matriz energética nacional [3] [4].

Em virtude da importância do uso da palha tanto para a conservação do solo quanto para a produção de bioenergia, o planejamento estratégico da remoção do campo é essencial. Neste contexto, técnicas de geoprocessamento colaboram na análise da distribuição espacial das áreas de cana-de-açúcar e auxiliam no planejamento logístico e estratégico do setor sucroenergético. Estudos tem utilizado a combinação de dados pedológicos, climáticos e geomorfológicos para análise dos fatores ambientais limitantes da remoção de palha em campo e para modelagem espacial de áreas potenciais de remoção de resíduos de culturas como milho, trigo e arroz [5] [6] [7].

A disponibilidade de dados espaciais em escalas variáveis, como por exemplo Modelos Digitais de Elevação (MDEs), dados cartográficos e mapas digitais evoluiu progressivamente com o advento de novos processos tecnológicos na área de informática. Os dados geoespaciais trazem consigo além da agilidade e redução de custos em análises espaciais, sensores multiespectrais e resoluções espaciais cada vez melhores [8].

A integração de informações geoespaciais (*p.e.*, imagens de satélite, mapas de solos, mapas municipais) e a utilização de sistemas de informação geográfica (SIG) auxiliam no melhor planejamento do uso sustentável do solo, na gestão

hídrica e na cadeia de produção da cana-de-açúcar [9]. No entanto, os trabalhos que utilizam estas informações para criação de modelos de avaliação sustentável da remoção de resíduos agrícolas, em geral, destinados para trigo, milho e arroz, ainda são limitados para a cana-de-açúcar. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi utilizar dados geoespaciais e SIG para mapear as áreas potenciais de remoção de palha da cana-de-açúcar com enfoque na conservação do solo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no oeste do estado São Paulo entre os municípios de Rancharia, João Ramalho, Quatá e Paraguaçu Paulista (Figura 1). A principal produção agrícola na região é a cana-de-açúcar, com produtividade média de $75,5 \text{ ton ha}^{-1}$, na safra 2016/2017 [10]. A área apresenta relevo plano a forte ondulado, com predominância da classe suave ondulado (79%). O solo da região de estudo apresenta predominantemente textura arenosa média [11].

Para determinação das áreas potenciais de remoção de palha foram utilizados dados de campo, solos e do relevo da região (Figura 2). Os dados de campo consistiram em talhões de cana-de-açúcar com informações de produtividade (ton ha^{-1}), estágio de corte (1° a 5° corte e áreas em reforma) e data de colheita, referentes a safra 2016/2017. Para os dados de solo foi utilizado mapa de textura do solo (Mapa Pedológico do Estado de São Paulo), elaborado em 1999 e revisado em 2017 [11]. A declividade foi utilizada na forma do MDEs disponível no Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil - TOPODATA [12].

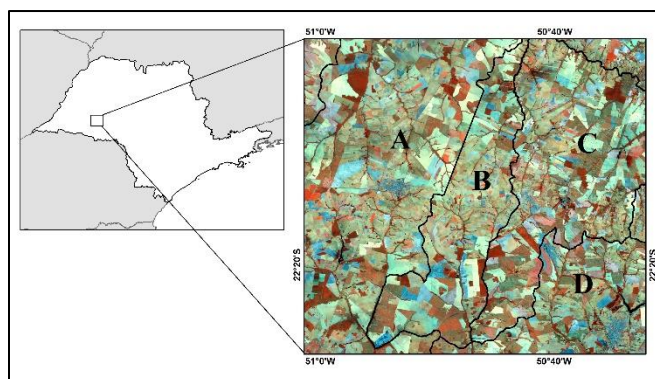


Figura 1. Localização da área de estudo no estado de São Paulo. Imagem Landsat composição 8R9G10B, do mês de setembro do ano de 2017. Limite dos municípios: A) Rancharia; B) João Ramalho; C) Quatá; D) Paraguaçu Paulista.

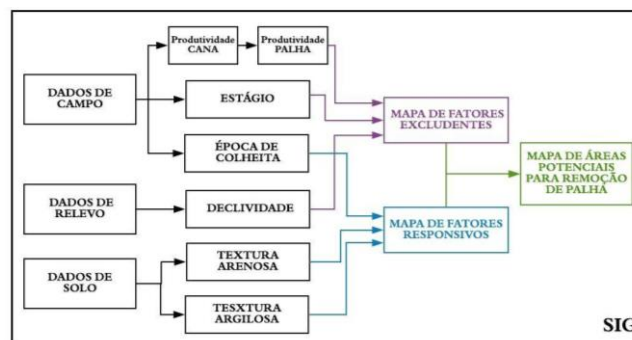


Figura 2. Fluxograma das atividades desenvolvidas para avaliação espacial das áreas potenciais de remoção de palha.

Os dados de relevo, campo e solos foram processados no ambiente SIG ArcGIS 10.4. Inicialmente, a produtividade de palha da cana-de-açúcar foi calculada a partir da relação produtividade palha/colmo igual a 12% [13]. Em seguida, a declividade foi delimitada em duas classes: menor ou igual a 3% e superior a 3%. Os dados de campo referente as datas de plantio foram classificados de acordo com os meses de colheita no decorrer da safra: início (janeiro- março); meio (maio – agosto) e fim de safra (setembro-dezembro). Quanto ao mapa de textura dos solos foram consideradas as classes de textura arenosa e argilosa. Por fim, foi considerado a quantidade mínima de 7 ton ha^{-1} de palha a ser mantida no campo para conservação dos solos [4].

Foram elaborados três mapas de potencial de remoção de palha a partir dos parâmetros e dados avaliados (Figura 2). O primeiro mapa, denominado de fatores excludentes, considerou a declividade e o estágio de corte. Foi assumido neste trabalho que áreas com declividade abaixo de 3% e canaviais em reforma pode-se remover a palha do campo sem que haja problemas em relação ao manejo e conservação do solo [14]. O segundo mapa, denominado de fatores responsivos, considerou a época de colheita e o tipo de solo. Em áreas com textura arenosa e colheita em final de safra (período chuvoso), a remoção da palha é restrita em função da susceptibilidade do solo à erosão. O terceiro mapa, de áreas potenciais de remoção de palha, consistiu na sobreposição dos mapas de fatores excludentes e responsivos.

O mapa de fatores excludentes foi classificado em quatro classes: **A1**: Apto (áreas de reforma); **B1**: Apto sujeito a fatores responsivos (áreas com declividade abaixo de 3%); **C1**: Restrito sujeito a fatores responsivos (áreas de plantio com declividade acima de 3% e produtividade de palha acima de 7 ton ha^{-1}) e **D1**: Inapto (áreas de plantio com declividade acima de 3% e produtividade de palha menor do que 7 ton ha^{-1}).

O mapa de fatores responsivos foi classificado em três classes: **A2**: Apto (solos de textura argilosa e época de colheita do meio de safra); **B2**: Restrito (solos de textura argilosa e época de colheita no fim de safra) e **C2**: Inapto (solos de textura arenosa). Por fim, as áreas potenciais para remoção de palha foram delimitadas pela sobreposição dos mapas dos fatores excludentes e responsivos, com as

seguintes classes: **A3**: Apto – áreas aptas no mapa dos fatores excludentes; **B3**: Restrito - áreas restritas nos mapas de fatores excludentes e responsivos. **C3**: Inapto – áreas inaptas conforme os fatores excludentes e/ou responsivos (Figura 3).

Fatores Excludentes Fatores Responsivos	A1: Apto	B1: Apto sujeito a fatores responsivos	C1: Restrito sujeito a fatores responsivos	D1: Inapto
A2: Apto	A3: Apto	A3: Apto	B3: Restrito	C3: Inapto
B2: Restrito	A3: Apto	B3: Restrito	B3: Restrito	C3: Inapto
C2: Inapto	A3: Apto	C3: Inapto	C3: Inapto	C3: Inapto

Figura 3. Classes do mapa potencial de remoção de palha com base no mapa de fatores excludentes e responsivos.

3. RESULTADOS

O mapa de fatores excludentes (Figura 4a) apresentou maior disponibilidade e distribuição de áreas aptas para remoção de palha em comparação ao mapa de fatores responsivos. Ao total 20,4% da área total de estudo foi classificada como apta para remoção, de acordo com os fatores excludentes (Figura 5a). Apenas 4,4% da área foi classificada como apta sem impacto nos solos, porém sujeita aos fatores responsivos. Considerando os fatores excludentes, aproximadamente 44,2% da área foi classificada como restrita e 31,0% como inapta a remoção de palha (Figura 5a).

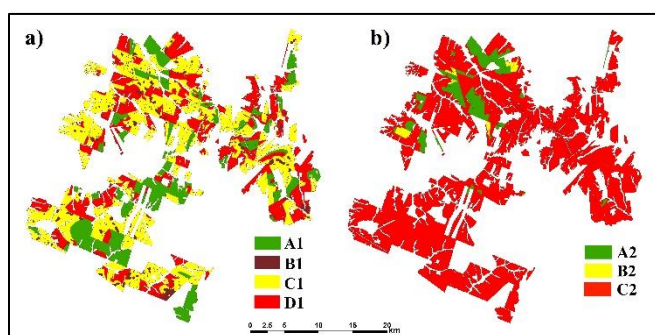


Figura 4. Mapas potenciais de remoção de palha. a) Mapa dos fatores excludentes (A1: apto, B1: apto sujeito aos responsivos, C1: restrito sujeito aos responsivos D1: inapto), b) mapa de fatores responsivos (A2: apto, B2: restrito, C2: inapto).

O mapa dos fatores responsivos (Figura 4b) indicou que apenas 7,6% da área total está apta para remoção da palha em campo, enquanto que 90% da área é inapta e 1,2% com restrição de remoção de palha (Figura 5b). Em virtude da não disponibilidade de informações de textura dos solos para algumas áreas de estudo, 1,2% da área total não foi inserida nas classes de aptidão para remoção da palha.

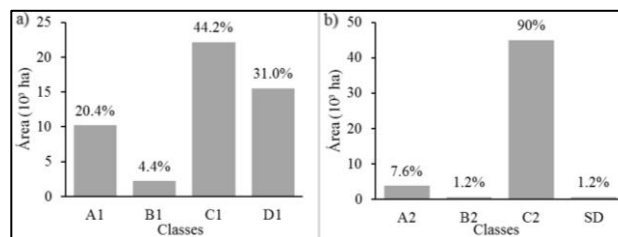


Figura 5. Quantificação das classes dos mapas de fatores excludentes e responsivos. a) Fatores excludentes (A1: apto, B1: apto sujeito aos responsivos, C1: restrito sujeito aos responsivos D1: inapto), b) Fatores responsivos (A2: apto, B2: restrito, C2: inapto, SD: sem dados).

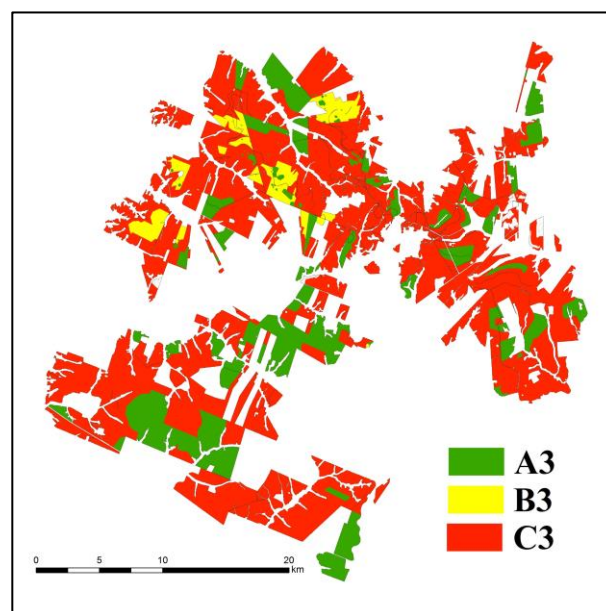


Figura 6. Mapa de áreas potenciais de remoção de palha (A3: apto, B3: restrito, C3: inapto).

As áreas aptas para remoção de palha (Figura 6), ao considerar tanto os fatores excludentes como os responsivos, foram correspondentes a 20,8% da área avaliada (Figura 7). As áreas classificadas como inaptas foram correspondentes a 74,2% da área total, enquanto que apenas 4,4% foi classificada como restrita. Em virtude da não disponibilidade informações de textura em algumas áreas, 0,6% da área de cana-de-açúcar não foi classificada. Ao total, aproximadamente, 66 mil toneladas de palha podem ser removidas do campo, considerando os fatores de conservação do solo, na área estudada.

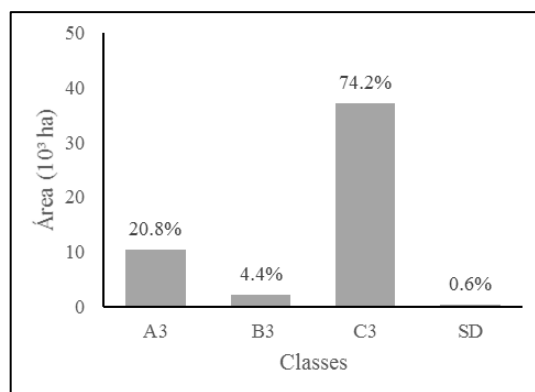


Figura 7. Quantificação das classes de potencial de remoção de palha. (A3: apto, B3: restrito, C3: inapto; SD: sem dados).

4. DISCUSSÃO

A metodologia apresentada neste estudo mostrou que a disponibilidade de dados geoespaciais, como MDÉs e sua derivação da declividade e mapas de solos, auxiliam na análise da variabilidade espacial dos talhões de cana-de-açúcar. Em virtude da área de estudo apresentar relevo suave ondulado, com declividade predominante entre 3 e 8%, grande parte das áreas seriam inaptas ou restritas a remoção de palha. Contudo, as áreas de reforma (*i.e.*, a palha é incorporada ao solo durante o preparo, perdendo a importância na conservação) contribuíram em grande parte para aptidão de remoção de palha.

A limitação dos fatores responsivos fez com que as áreas aptas para remoção de palha reduzissem em 12% em comparação ao mapa de fatores excludentes. Isto ocorreu porque o solo predominante na região é arenoso, o que dificulta a remoção de palha em virtude da susceptibilidade destes solos a erosão [4].

A restrição de manter 7 ton ha⁻¹ em campo, para conservação dos solos e a produtividade da cana-de-açúcar, limitou o potencial de remoção de palha do campo em 66 mil toneladas, o que equivale a 9,5% do total de palha estimada na área de estudo. Apesar disso, o volume total de palha é significativo e passível de remoção para produção de bioenergia.

5. CONCLUSÕES

O uso de SIG é promissor e adequado para estudos em conservação dos solos e planejamento sustentável do setor sucroenergético e essencial para análise da distribuição espacial das áreas aptas e inaptas à remoção de palha da cana-de-açúcar. A análise integrada de informações de relevo, solo e planta, a partir de SIG, auxilia estratégias adequadas para remoção de palha e criação de cenários que atendam a demandas energéticas sem comprometer a sustentabilidade do solo. A metodologia descrita neste trabalho apresenta potencial para ser utilizada em análises futuras e em outros locais.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Lourenzani, W.L. e Caldas, M. M. “Mudanças no uso da terra decorrentes da expansão da cultura da cana-de-açúcar na região do estado de São Paulo” *Ciência Rural, Santa Maria*, v. 44, n. 11, pp.1980-1987, 2014.
- [2] Bordonal, R. de O., Carvalho, J.L.N., Lal, R., Figueiredo, E.B. de, Oliveira, B.G. de, La Scala Jr, N. ‘Sustainability of sugarcane production in Brazil’. *A review. Agron. Sustain. Dev.* v. 38, n. 13, 2018.
- [3] Rípoli, T.C.C., Molina Jr., W.F., Rípoli, M.L.C. “Energy potential of sugar cane biomass in Brazil”. *Sci. Agric.* v.57, pp.677–681, 2000.
- [4] Carvalho, J.L.N., Nogueirol, R.C., Menandro, L.M.S., Bordonal, R. de O., Borges, C.D., Cantarella, H., Franco, H.C.J. “Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review”. *GCB Bioenergy.* v9, pp.1181–1195, 2017.
- [5] Muth, D.J., Bryden, K.M., Nelson, R.G. “Sustainable agricultural residue removal for bioenergy: A spatially comprehensive US national assessment”. *Appl. Energy*,v. 102, pp.403–417, 2013.
- [6] Muth, D.J., McCorkle, D.S., Koch, J.B., Bryden, K.M.. “Modeling sustainable agricultural residue removal at the subfield scale”. *Agron. J.* v.104, pp.970–981, 2012.
- [7] Bonner, I.J., Muth, D.J., Koch, J.B., Karlen, D.L. “Modeled Impacts of Cover Crops and Vegetative Barriers on Corn Stover Availability and Soil Quality.” *Bioenergy Res.* v.7, pp.576–589, 2014.
- [8] Oliveira, G. S; Pissarra, T. C. T e Vanzela, L. S. “Produtividade de biomassa de cana-de-açúcar em função dos índices de vegetação utilizando técnicas de sensoriamento remoto”. Unesp, Jaboticabal, pp. 65, 9 nov. 2015
- [9] Rosa, R. “Geotecnologias na Geografia Aplicada”. *Revista Departamento de Geografia, Uberlandia*, v. 16, n. 16, pp.81-90, 2 ago. 2005.
- [10] IBGE, 2016. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA. Levant. Sist. da Produção Agrícola - LSPA. <https://doi.org/https://sidra.ibge.gov.br>
- [11] ROSSI, M. “Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado”. Instituto Florestal, São Paulo,v.1, pp.118, 2017.
- [12] Brasil. “Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil”. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 2008.
- [13] Menandro, L. M. S., Cantarella, H., Franco, H. C. J., Kölln, O. T., Pimenta, M. T. B., Sanches, G. M., ... & Carvalho, J. L. N. (2017). Comprehensive assessment of sugarcane straw: implications for biomass and bioenergy production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 11(3), 488-504
- [14] Silva, G.R.V.; Souza, Z.M.; Martins Filho, M.V.; Barbosa, R.S.; Souza, G.S. “Soil water and nutrient losses by interrill erosion from green cane cultivation.” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, (963-970), 2012.