

# EFEITO DA APLICAÇÃO DE FONTES DE Ca, Mg, S e K NA PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR E NO NDVI ELABORADO POR SENSORES MULTIESPECTRAIS

*Marlon Rodrigues<sup>1</sup>; Marcos Rafael Nanni<sup>2</sup>; Glaucio Lebosso Alemparte Abrantes dos Santos<sup>3</sup>; Amanda Silveira Reis<sup>3</sup>; Renato Herrig Furlanetto<sup>3</sup>; Karym Mayara de Oliveira<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Doutorando em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá - UEM. Bolsista CAPES - marlon.rodrig@hotmai.com;

<sup>2</sup>Orientador, Doutor, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá – UEM - mrnani@uem.br;

<sup>3</sup>Doutorando(a) em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá – UEM - glaucio@agronomo.eng.br; reisaamanda89@gmail.com; renatohfurlanetto@hotmail.com; karym\_mayara@hotmail.com

## RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da aplicação fontes de Ca, Mg, S e K na produtividade da cana-de-açúcar e no NDVI elaborado por sensores multiespectrais. O estudo foi conduzido em um Neossolo Quartzarênico Órtico. Os tratamentos relacionados as parcelas foram denominados: Testemunha; Calcário; Ritmito; Calcário + Ritmito; Calcário + Gesso; Calcário + Fidagran S05. Já as subparcelas foram as fontes de K: Ekosil e Corumbataí. As doses dos insumos seguiram a recomendação do Manual de Adubação e Calagem do Paraná (2017) de acordo com a caracterização inicial do solo. A cultura escolhida na condução do experimento foi a cana-de-açúcar, que foi plantada no sistema de mudas pré brotadas. Anteriormente ao plantio (36 dias) foram aplicados os insumos referentes as parcelas e subparcelas. Ao longo do experimento (57, 150, 254 e 409 dias após o plantio) foram realizadas coletas de imagens de sensores multiespectrais para a elaboração do NDVI. A colheita da cana-de-açúcar foi realizada 425 dias após o plantio. Houve um aumento dos valores do NDVI médio ao longo do experimento. A aplicação dos insumos alterou o índice de vegetação NDVI no início do desenvolvimento da cana de açúcar, aos 57 DAP e no final, aos 409 DAP. Não houve diferença entre os tratamentos para a variável produtividade. O NDVI mostrou ser uma ferramenta que diferencia os tratamentos em determinadas condições de desenvolvimento da cana de açúcar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Coprodutos, Sensoriamento próximo, Espectro.

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma cultura muito utilizada para a produção de açúcar e energia, sendo o Brasil o maior produtor. O etanol brasileiro produzido da cana-de-açúcar é o mais competitivo no contexto mundial em termos energéticos e econômicos (VIEIRA et al., 2008).

O Brasil é um grande importador de insumos utilizados na agricultura. Mais de 70% da matéria-prima para a fabricação de fertilizantes consumidos no país é importada, o que torna os preços praticados no país dependentes da disponibilidade mundial desse tipo de produto (FERNANDES et al., 2009). Diante disso, são importantes pesquisas que buscam o uso de insumos alternativos, como coprodutos da mineração, que permitem a diminuição da demanda externa por fertilizantes, colaborando com a soberania alimentar do país.

Diversas pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de incorporação das geotecnologias nos atuais sistemas de produção agrícola, seja na estimativa da área plantada, na produtividade ou nas variáveis produtivas das culturas (GUALBERTO, 2015). Dentre essas pesquisas, destaca-se as relacionadas aos Índices de vegetação (IV's), que são combinações da reflectância de diferentes bandas do espectro eletromagnético que tem por fim destacar características da vegetação em relação ao solo e a outros objetos da superfície. Normalmente as faixas do espectro eletromagnético situadas no vermelho e infravermelho próximo são as mais utilizadas, pois contém mais de 90% da variação do espectro da vegetação. Desse modo, ao escolher as características de interesse, é possível correlacionar com parâmetros bioquímicos e biofísicos das plantas (ROSA, 2007).

Mesmo com número reduzido de informações disponíveis, os sensores multiespectrais também têm um bom potencial de uso, já que é possível obter IV's que correlacionam com atributos como a produtividade das culturas. Desse modo, o objetivo do trabalho foi avaliar os índices de vegetação elaborados por sensores multiespectrais e a produtividade da cana de açúcar após a aplicação de coprodutos da mineração de calcário.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na estação experimental da RIDESA (Paranavaí – PR). A classe de solo predominante na área é Neossolo Quartzarênico Órtico (Tabela 1).

**Tabela 1:** Teor de argila e atributos químicos<sup>1</sup> da camada arável (0-20 cm) de um Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo)

Solo	Argila	C	pH	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	CTC <sub>p</sub>	K	P	SO <sub>4</sub>	V
	--- g kg <sup>-1</sup> ---		(H <sub>2</sub> O)	(CaCl <sub>2</sub> )		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				----- mg dm <sup>-3</sup> -----			%
RQo	140	4,84	6,0	5,0	2,05	0,05	0,72	0,51	3,39	50,8	4,2	6,4	40

<sup>1</sup> As metodologias utilizadas foram propostas por Embrapa (2017)

Os tratamentos foram esquematizados em parcelas subdivididas (6x2) delineadas em blocos casualizados com quatro repetições (Tabela 2). As parcelas e subparcelas foram compostas por 5 sulcos (1,5 m entre linhas) de 6,0 e 3,0 m de comprimento, respectivamente. As doses dos insumos seguiram a recomendação do NEPAR (2017).

**Tabela 2:** Fatores de tratamento e doses aplicadas das fontes de Ca, Mg, S e K

Parcela	Subparcela	Quantidades aplicadas (kg ha <sup>-1</sup> )			
		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	S	K <sub>2</sub> O
Testemunha	Ekosil/Corumbataí <sup>1</sup>	0	0	0	140
Calcário	Ekosil/Corumbataí <sup>1</sup>	586	351	10	140
Ritmito <sup>1</sup>	Ekosil/Corumbataí <sup>1</sup>	555	415	91	140
Calcário + Ritmito <sup>1</sup>	Ekosil/Corumbataí <sup>1</sup>	1141	766	101	140
Calcário + Gesso	Ekosil/Corumbataí <sup>1</sup>	698	351	101	140
Calcário + Fidagran S05	Ekosil/Corumbataí <sup>1</sup>	914	479	101	140

<sup>1</sup> Material extraído de uma mineração de calcário na região de Piracicaba - SP

O calcário foi incorporado (0-20 cm) em área total. Os demais insumos-tratamentos juntamente com o superfosfato triplo na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foram aplicados no interior dos sulcos que, após, foram cobertos. Posteriormente foi realizado o plantio da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) - RB867515, no sistema de mudas pré-brotadas na densidade de 2 plantas m<sup>-1</sup>. Após, foi aplicada a ureia na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup>.

No decorrer do experimento foi realizada a coleta dos dados de precipitação. A colheita foi realizada 425 dias após o plantio (DAP). Anteriormente, foi realizada a biometria através da contagem de número de colmos e pesagem da área útil da parcela.

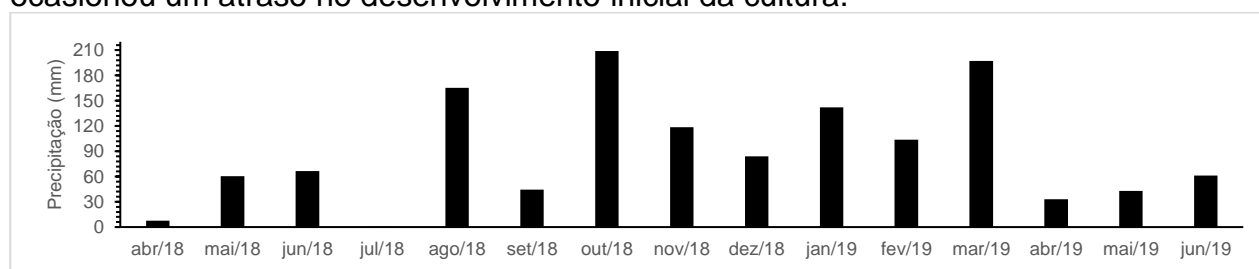
A coleta das imagens foi realizada aos 57, 150, 254 e 409 dias após o plantio (DAP) por meio de duas câmeras multiespectrais Fujifilm S200 - EXR análogas, acopladas a um VANT. As câmeras utilizadas são equipadas com detector interno CCD com sensibilidade à radiação eletromagnética entre 350 e 1100 nm e não apresentam filtro interno de bloqueio à infravermelho próximo (NIR). Cada câmera foi equipada com determinado filtro óptico. Uma com UV-IR CUT, que bloqueia a passagem da radiação ultravioleta e infravermelho, possibilitando apenas a transmissão de valores espectrais na faixa visível; e outra com filtro 760 nm, que permite somente a passagem da radiação do espectro infravermelho com comprimentos de onda superiores a 760 nm. Para aquisição das imagens aéreas foram realizados voos com um VANT octocóptero modelo Tarot Iron Man 1000. Foi realizada ainda uma calibração com o espectrorradiômetro ASD Fieldspec 3 Jr. com o intuito de obter os valores de reflectância de alvos de calibração (placas de diferentes cores) para em seguida utilizá-los como parâmetros para conversão do número digital (ND) coletados pelas câmeras para reflectância.

O IV avaliado foi o NDVI, que para sua obtenção foi aplicado o algoritmo que consiste na equação:  $NDVI = ((R_{ivp} - R_v)/(R_{ivp} + R_v))$  Onde:  $R$  = reflectância;  $ivp$  = espectro eletromagnético infravermelho;  $v$  = espectro eletromagnético vermelho.

Os resultados inicialmente foram avaliados quanto a sua normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade da variância do erro (Bartlett). Após, foram submetidos à análise de variância e o teste de comparação de médias - Tukey a 5% de probabilidade de erro. Os softwares utilizados foram o Excel - suplemento XLSTAT e SISVAR 5.6.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nota-se na Figura 1 que logo após o plantio da cana de açúcar houve um longo período, de abril de 2018 até julho de 2018 com precipitações acumuladas diminutas, o que ocasionou um atraso no desenvolvimento inicial da cultura.



**Figura 1:** Precipitação ao longo do cultivo da cana de açúcar

De forma geral, os NDVI's aumentaram de um valor médio de 0,603 aos 57 DAP, até valores de 0,829 aos 409 DAP (Tabela 3). Isso ocorreu devido ao incremento do índice de área foliar e vigor da cultura. Benvenuti (2005) comenta que menores reflectâncias do dossel na região do vermelho ocasiona maiores valores de NDVI e que isso ocorre quando a vegetação está com a fotossíntese mais ativa devido a absorção de energia pela clorofila.

**Tabela 3:** Valores médios de NDVI aos 57, 150, 254 e 409 dias após o plantio (DAP) e produtividade da cana de açúcar após aplicação de diferentes insumos fontes de nutrientes

Subparcela	Parcela					
	Testemunha	Calcário	Ritmito	Calcário + Ritmito	Calcário + Gesso	Calcário + Fidagran S05
NDVI – 57 DAP						
Ekosil	0,611 Aa	0,619 Aa	0,589 Aa	0,611 Aa	0,609 Aa	0,596 Ab
FC <sup>1</sup>	0,599 Aa	0,596 Aa	0,559 Aa	0,592 Aa	0,598 Aa	0,660 Aa
Valor médio						0,603
NDVI – 150 DAP						
Ekosil	0,708 Aa	0,694 Aa	0,685 Aa	0,719 Aa	0,744 Aa	0,728 Aa
FC <sup>1</sup>	0,742 Aa	0,687 Aa	0,707 Aa	0,702 Aa	0,731 Aa	0,720 Aa
Valor médio						0,714
NDVI – 254 DAP						
Ekosil	0,761 Ba	0,815 Aa	0,815 Aa	0,815 Aa	0,833 Aa	0,817 Aa
FC <sup>1</sup>	0,830 Aa	0,821 Aa	0,814 Aa	0,814 Aa	0,817 Aa	0,819 Aa
Valor médio						0,814
NDVI – 409 DAP						
Ekosil	0,792 Aa	0,847 Aa	0,841 Aa	0,833 Aa	0,856 Aa	0,838 Aa
FC <sup>1</sup>	0,767 Ba	0,845 Aa	0,837 ABa	0,833 ABa	0,848 Aa	0,815 ABa
Valor médio						0,829
Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )						
Ekosil	99.18 Aa	113.15 Aa	114.56 Aa	111.48 Aa	111.20 Aa	117.48 Aa
FC <sup>1</sup>	107.93 Aa	119.90 Aa	113.88 Aa	128.12 Aa	125.81 Aa	110.22 Aa

<sup>1</sup> Formação Corumbataí; \* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Quanto aos insumos aplicados, nota-se que o NDVI aos 57 DAP não apresentou diferença entre os insumos aplicados nas parcelas, somente entre as subparcelas. A aplicação do Calcário + Fidagran + FC proporcionou maiores valores de NDVI nessa data. A FC é constituída, entre outras coisas, de argilominerais fontes de K, como a illita (AZZI; CURTOLO; ZANARDO, 2015). A. Os maiores valores de NDVI encontrados quando da

aplicação desse insumo, possivelmente, foi em decorrência desses argilominerais, que em uma época de déficit hídrico (Figura 1), proporcionou maior retenção de água no solo e consequentemente maior NDVI decorrentes da melhor condição da planta.

Não houve efeito dos insumos aplicados na parcela e subparcela nos valores de NDVI aos 150 e 254 DAP. Já aos 409 DAP, os NDVI's foram maiores com a aplicação do Calcário + FC e Calcário + Gesso + FC quando comparado ao tratamento testemunha + FC. Já nos tratamentos que foram aplicados Ekosil na subparcela, não houve diferença.

Embora houve diferença no NDVI na última avaliação (409 DAP), não ocorreu diferença entre os tratamentos para a variável produtividade. Mesmo com esse resultado, nota-se que a aplicação dos insumos aumentou a produtividade da cana-de-açúcar em relação ao tratamento testemunha. Esse resultado foi devido, possivelmente, ao rigor do teste utilizado (Tukey 5%), que previamente foi estipulado no projeto do experimento.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Houve aumento dos valores médios do NDVI ao longo das datas de avaliação do experimento.

A aplicação dos insumos alterou o no início do desenvolvimento da cana-de-açúcar, aos 57 DAP, assim como no final, aos 409 DAP.

Não houve diferença entre os tratamentos para a variável produtividade.

O NDVI diferenciou os tratamentos em situações de déficit hídrico, no início do desenvolvimento da cana-de-açúcar, assim como na pré-colheita.

#### REFERÊNCIAS

AZZI, A. A.; CURTOLO, M. Z.; ZANARDO, A. Sensibilidade à secagem da matéria-prima cerâmica da Formação Corumbataí na região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, SP. **Cerâmica**, São Paulo, v. 61, n. 358, p. 236-243, 2015.

BENVENUTI, F.A. **Relação de índices espectrais de vegetação com a produtividade da cana-de-açúcar e atributos edáficos**. 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 575 p. 2017.

FERNANDES, E. et al. Principais empresas e grupos brasileiros do setor de fertilizantes. **BNDES**. n. 29, p. 203-228, 2009.

GUALBERTO, A. A. S. **Sensores multi e hiperespectrais na estimativa de biomassa de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2015. 96 f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

NEPAR. **Manual de adubação e calagem para o estado do PR**. Curitiba: SBCS/NEPAR. 482 p. v.1, 2017.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6ª ed. Uberlândia: EDUFU, 2007. 248p.

VIEIRA, P. A. et al. Produção brasileira de cana-de-açúcar e deslocamento da fronteira agrícola no Estado do MT. **Informações Econômicas**, v. 38, n. 4, p. 58-77, 2008.