

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor ,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir de
29/01/2021.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



RICARDO DE LIMA VASCONCELOS

**MODELAGEM *FUZZY* DA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR
IRRIGADA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO
E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA**

**Botucatu
2019**

RICARDO DE LIMA VASCONCELOS

**MODELAGEM *FUZZY* DA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR
IRRIGADA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO
E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas – Unesp, Câmpus de Botucatu, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Prof. Dr. Luis Roberto Almeida Gabriel Filho
Coorientadora: Prof. Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel

**Botucatu
2019**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

V331m	Vasconcelos, Ricardo de Lima, 1980- Modelagem fuzzy da produtividade de cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada / Ricardo de Lima Vasconcelos. - Botucatu: [s.n.], 2019 136 p.: fots. color., grafs. color., ils., tabs. Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2019 Orientador: Luis Roberto Almeida Gabriel Filho Coorientadora: Camila Pires Cremasco Gabriel Inclui bibliografia 1. Cana-de-açúcar - Adubos e fertilizantes. 2. Adubação fosfatada. 3. Irrigação agrícola. 4. Redes neurais (Computação). 5. Algoritmos difusos. I. Gabriel Filho, Luis Roberto Almeida. II. Gabriel, Camila Pires Cremasco. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.
-------	---

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: **“MODELAGEM FUZZY DA PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR
IRRIGADA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO E DA
ADUBAÇÃO FOSFATADA”**

AUTOR: RICARDO DE LIMA VASCONCELOS

ORIENTADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

COORDENADORA: CAMILA PIRES CREMASCO GABRIEL

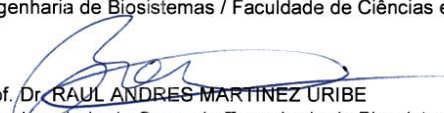
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA
(IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

Coordenadoria do Curso de Administração / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP - Tupã/SP


Prof. Dr. ALFREDO BONINI NETO

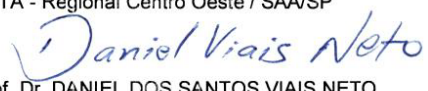
Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia


Prof. Dr. RAUL ANDRES MARTINEZ URIBE

Coordenadoria do Curso de Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - FCE - UNESP
- Tupã/SP


Prof. Dr. GLAUBER JOSÉ DE CASTRO GAVA

APTA - Regional Centro Oeste / SAA/SP


Prof. Dr. DANIEL DOS SANTOS VIAIS NETO

/ Faculdade de Tecnologia de Presidente Prudente

Botucatu, 29 de janeiro de 2019.

A Deus.
Ofereço.

Aos meus pais, Sônia Maria Delfina de Lima e Ivan Alves Vasconcelos
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia – Irrigação e Drenagem, pela oportunidade de ingressar no curso de Doutorado;

A CAPES pelo apoio financeiro durante a condução do curso;

Aos Professores Dr. Luís Roberto Almeida Gabriel Filho e Dra. Camila Pires Cremasco Gabriel, pela orientação e perseverança;

Aos professores que ministraram aulas durante o curso de Doutorado (Antônio de Pádua Sousa, Célia Regina Lopes Zimback, Fernando Broetto, Hélio Grassi Filho, João Carlos Cury Saad, João Eduardo M. Perea Martins, João Luís Zocoler, José Abramo Marchese, Luís Henrique Bassoi, Priscila Lupino Gratão, Rodrigo Lilla Manzione, Rogério Teixeira de Faria); Aos professores membros da banca de qualificação (Enzo Dal Pai, João Carlos Cury Saad e Leonardo de Barros Pinto), e da defesa (Luís Roberto Almeida Gabriel Filho, Raúl Andres Martinez Uribe, Glauber José de Castro Gava, Daniel dos Santos Viais Neto, Alfredo Bonini Neto, Anice Garcia e Silvelena Vanzolini Segato) pela valiosa colaboração contida em suas sugestões e seus questionamentos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, Seção de Pós-Graduação e Seção de Biblioteca pelo auxílio nas diversas etapas do trabalho.

Aos amigos de graduação e de pós-graduação (FCAV e FCA) que me apoiaram em muitos momentos difíceis, tornando possível a realização deste sonho.

Em especial a Lídia Galdiano, Lucimara Antônio Borges, Zezinha e família, Fernanda Rego Freitas, Jaime Forti Benassi e a Prof. Dra. Maria Cristina Thomaz que me apoiaram na realização do sonho de concluir o mestrado, dando condições para alçar voos no doutorado, que aqui, cito com carinho, o apoio dado por Luís Gomes, Rafael Lima, Jéssica Ferrari, Maurício Prado, Jhonathan Piazzentin e Júnior Flausino.

Muito obrigado a todo(as)!!

Nos momentos em que me fazia companhia, recorria a alegria e a ensinamentos de vida, assistindo *Animes* e *RuPaul's Drag Race*.

“Mas de todas as coisas que podem dar lucro a um homem, não há nada melhor do que a agricultura, nada mais produtivo, mais doce, nada que melhor convenha a um homem livre”.

(Cícero, 44 a. C).

RESUMO

A produtividade da cana-de-açúcar é relacionada a vários fatores, dentre eles o manejo nutricional, especialmente do fósforo (P) e um adequado fornecimento de água. A zona tropical apresenta grande irregularidade nas precipitações pluviométricas, tornando recorrente o uso da irrigação de salvamento, que proporciona umidade do solo para rebrota de cana-soca ou brotação de cana-planta. A dinâmica do P no solo é complexa, e associada a prática de irrigação de salvamento que, potencializa os efeitos do nutriente na planta, gera relações e interações dentro do sistema água-solo-planta-atmosfera. O que requer o uso de modelos estatísticos (análise multivariada) e computacionais (modelagem *fuzzy*), quando há um grande volume de dados ou interações complexas, pois, estes são capazes de indicar as melhores opções de manejo a serem utilizados. O objetivo deste trabalho foi realizar a modelagem *fuzzy* da produtividade de cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada. O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura média, no município de Itajobi-SP. O arranjo experimental foi em blocos ao acaso, em triplicata, no esquema $3 \times 4 \times 2$, com fontes de P (superfosfato triplo, fosfato natural reativo Bayóvar e fosfato natural de Araxá), doses (0, 90, 180 e 360 kg ha⁻¹ de P₂O₅), na presença e ausência da torta de filtro (7,5 Mg ha⁻¹, base seca). Em todos os tratamentos, foi aplicado 80 mm de água em lâmina única, na forma de irrigação de salvamento em área total. A produtividade da água para produção de colmos e açúcar foi significativa na presença da torta de filtro combinada com fontes de P e na associação de torta de filtro e doses de P, respectivamente, em particular, reforçando o potencial da torta de filtro tanto como fonte adicional de P, quanto material eficiente em reter água (irrigação de salvamento). A aplicação de doses de P mostrou-se diretamente proporcional às respostas de todas variáveis, com exceção da variável fosfatase ácida foliar, que apresentou comportamento inversamente proporcional. A variável industrial tonelada de Pol ha⁻¹ (TPH) apresentou alta correlação positiva, podendo ser atribuída as correlações positivas de sacarose e principalmente de produção de colmos, no entanto o açúcar total recuperável (ATR) apresentou alta correlação negativa, podendo-se inferir que houve efeito negativo da combinação de temperatura inadequada e do excesso de precipitação na fase de maturação.

Palavras-chave: Modelo linguístico Mamdani. Superfosfato triplo. Análise de componentes principais. Irrigação de salvamento.

ABSTRACT

Sugarcane productivity is related to several factors, including nutritional management, especially phosphorus (P) and adequate water supply. Tropical zone shows a great rainfall irregularity, making recurrent the use of water saving irrigation, which provides soil moisture for regrowth of sugarcane ratoon or cane-plant sprouting. P dynamics in soil is complex, and it is associated with water saving irrigation practices, which potentiates the nutrient effects in the plant, generating relationships and interactions within the water-soil-plant-atmosphere system. Multivariate analysis (main components) and computational (*fuzzy* modeling) are able to indicate individual importance and variable correlation within the agricultural production system when there is a large volume of data or complex interactions, as these are able to indicate the best management options to be used. Our aim was to perform *fuzzy* modeling of the yield from irrigated sugarcane as a function of filter cake application and phosphate fertilization. The experiment was settled in a Red-Yellow Latosol Dystrophic, medium texture, in Itajobi-SP, Brazil. The experimental arrangement was in randomized blocks with three replications, in a $3 \times 4 \times 2$ factorial scheme with three sources of phosphorus (triple superphosphate, Bayóvar natural reactive phosphate and Araxá natural phosphate), doses (0, 90, 180 and 360 kg ha⁻¹ of P₂O₅), in the presence and absence of the filter cake (7.5 Mg ha⁻¹, dry basis). Water saving irrigation was applied in a single lamina of 80 mm of water in the total area. Crop water productivity for stalks and sugar production was significant in the filter cake presence combined with P sources and in the association of filter cake and P doses, respectively, in particular, reinforcing the potential of the filter cake both as a source as well as efficient material in retaining water (water saving irrigation). P doses were directly proportional to the responses of all variables, except for foliar acid phosphatase, which presented an inversely proportional behavior. The industrial variable ton of Pol ha⁻¹ (TPH) presented a high positive correlation being attributed a positive correlation of sucrose and mainly of stalk production, however the total recoverable sugar (ATR) presented a high negative correlation, and it can be inferred that there was a negative effect of the combination of inadequate temperature and excess precipitation in the maturation phase.

Keywords: Linguistic model Mamdani. Triple superphosphate. Principal components. Water saving irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Sistema <i>fuzzy</i> genérico, com <i>fuzzificador</i> , motor de inferência e <i>defuzzificador</i>	35
Figura 2 -	Foto da área do experimento com a cana-planta variedade RB86 7515 aos 120 dias após o plantio. Itajobi-SP (2011).....	41
Figura 3 -	Balanço Hídrico Normal (a) e Balanço Hídrico Sequencial (b) do município de Itajobi-SP (junho de 2011 a junho de 2012).....	42
Figura 4 -	Sistema baseado em regras <i>fuzzy</i> (SBRF) da cana-de-açúcar com variável de entrada (doses de P), sete variáveis de saída (fertilidade do solo, nutricional e bioquímica da planta e produtividade).....	46
Figura 5 -	Funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de saída do Modelo 1 (SFT).....	50
Figura 6 -	Funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de saída do Modelo 2 (FNB).....	51
Figura 7 -	Funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de saída do Modelo 3 (FNA).....	52
Figura 8 -	Funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de saída do Modelo 4 (SFT ⁺).....	53
Figura 9 -	Funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de saída do Modelo 5 (FNB ⁺).....	54
Figura 10 -	Funções de pertinência dos conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de saída do Modelo 6 (FNA ⁺).....	55
Figura 11 -	Comportamento de P resina em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, cultivado com cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada. Na presença de torta de filtro (superfosfato triplo - SFT ⁺ ; fosfato natural Bayóvar - FNB ⁺ ; fosfato natural de Araxá - FNA ⁺). Na ausência de torta de filtro superfosfato triplo - SFT; fosfato natural Bayóvar - FNB; fosfato natural de Araxá - FNA).....	62
Figura 12 -	Comportamento de P foliar em cana-de-açúcar irrigada, cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada. Na presença de torta de filtro (superfosfato triplo - SFT ⁺ ; fosfato natural Bayóvar - FNB ⁺ ; fosfato natural de Araxá - FNA ⁺). Na ausência de torta de filtro superfosfato triplo - SFT; fosfato natural Bayóvar - FNB; fosfato natural de Araxá - FNA).....	65
Figura 13 -	Comportamento do acúmulo de P foliar em cana-de-açúcar irrigada, cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada. Na presença de torta de filtro (superfosfato triplo - SFT ⁺ ; fosfato natural Bayóvar - FNB ⁺ ; fosfato natural de Araxá - FNA ⁺). Na ausência de torta de filtro superfosfato triplo - SFT; fosfato natural Bayóvar - FNB; fosfato natural de Araxá - FNA).....	67

Figura 14 -	Comportamento do acúmulo de P nos colmos em cana-de-açúcar irrigada, cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada. Na presença de torta de filtro (superfosfato triplo - SFT ⁺ ; fosfato natural Bayóvar - FNB ⁺ ; fosfato natural de Araxá - FNA ⁺). Na ausência de torta de filtro superfosfato triplo - SFT; fosfato natural Bayóvar - FNB; fosfato natural de Araxá - FNA).....	69
Figura 15 -	Comportamento do acúmulo de P total em cana-de-açúcar irrigada, cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada. Na presença de torta de filtro (superfosfato triplo - SFT ⁺ ; fosfato natural Bayóvar - FNB ⁺ ; fosfato natural de Araxá - FNA ⁺). Na ausência de torta de filtro superfosfato triplo - SFT; fosfato natural Bayóvar - FNB; fosfato natural de Araxá - FNA).....	71
Figura 16 -	Comportamento da fosfatase ácida foliar em cana-de-açúcar irrigada, cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada. Na presença de torta de filtro (superfosfato triplo - SFT ⁺ ; fosfato natural Bayóvar - FNB ⁺ ; fosfato natural de Araxá - FNA ⁺). Na ausência de torta de filtro superfosfato triplo - SFT; fosfato natural Bayóvar - FNB; fosfato natural de Araxá - FNA).....	73
Figura 17 -	Comportamento da produção de colmos de cana-de-açúcar irrigada, cultivada em Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada. Na presença de torta de filtro (superfosfato triplo - SFT ⁺ ; fosfato natural Bayóvar - FNB ⁺ ; fosfato natural de Araxá - FNA ⁺). Na ausência de torta de filtro superfosfato triplo - SFT; fosfato natural Bayóvar - FNB; fosfato natural de Araxá - FNA).....	75
Figura 18 -	Foto da área do experimento com a cana-planta variedade RB86 7515 aos 120 dias após o plantio. Itajobi-SP (2011).....	89
Figura 19 -	Balanço Hídrico Normal (a) e Balanço Hídrico Sequencial (b) do município de Itajobi-SP (junho de 2011 a junho de 2012).....	90
Figura 20 -	Dendrograma das inter-relações da produção de colmos (Mg ha ⁻¹), sacarose (%), ATR (Kg ha ⁻¹), fibra (%) e TPH (Mg ha ⁻¹).....	95
Figura 21 -	Contribuição de cada variável para explicação da variância total (<i>scree plot</i>) da qualidade industrial da cana-de-açúcar sob doses de P (fontes de P na presença e ausência de torta de filtro).....	99
Figura 22 -	Dispersão (<i>bi plot</i>) dos componentes principais CP1 e CP2 contendo as variáveis (qualidade industrial) da cana-de-açúcar sob doses de P (fontes de P na presença e ausência de torta de filtro)....	100
Figura 23 -	Foto da área do experimento com a cana-planta variedade RB86 7515 aos 120 dias após o plantio. Itajobi-SP (2011).....	110
Figura 24 -	Balanço Hídrico Normal (a) e Balanço Hídrico Sequencial (b) do município de Itajobi-SP (junho de 2011 a junho de 2012).....	111

Figura 25 -	Dendrograma do estado nutricional de cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada.....	114
Figura 26 -	Contribuição de cada variável para explicação da variância total (<i>scree plot</i>) do estado nutricional da cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e de adubação fosfatada.....	116
Figura 27 -	Contribuição de cargas fatoriais para o estado nutricional de cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação da torta de filtro e da adubação fosfatada.....	117
Figura 28 -	Dendrograma das inter-relações da biometria de cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada.....	119
Figura 29 -	Contribuição de cada variável para explicação da variância total (<i>scree plot</i>) da biometria da cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada.....	121
Figura 30 -	Dispersão (<i>bi plot</i>) dos componentes principais CP1 e CP2 da biometria de cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada.....	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Análises química e granulométrica do solo da área experimental. Fazenda Santo Antonio, Itajobi - SP (2011).....	43
Tabela 2 -	Funções pertinentes da variável de entrada doses de P.....	47
Tabela 3 -	Delimitadores de todas funções de pertinência dos 6 modelos (SFT, FNB, FNA, SFT ⁺ , FNB ⁺ e FNA ⁺).....	49
Tabela 4 -	Combinação da variável de entrada doses de P com os pontos de grau de pertinência 1 associados ao conjunto <i>fuzzy</i> para sistema de bases de regras <i>fuzzy</i> (SBRF).....	56
Tabela 5 -	Produtividade da água (PA_c) de colmos de cana-de-açúcar sob irrigação de salvamento e adubação fosfatada.....	57
Tabela 6 -	Representação da base de regras do sistema <i>fuzzy</i> , com conjuntos fuzzy D_i das variáveis de entrada e conjuntos fuzzy C_i das variáveis de saída.....	60
Tabela 7 -	Análises química e granulométrica do solo da área experimental. Fazenda Santo Antonio, Itajobi - SP (2011).....	91
Tabela 8 -	Produtividade da água (PA_c) de TPH ($Pol\ ha^{-1}$) de cana-de-açúcar sob irrigação de salvamento e adubação fosfatada.....	93
Tabela 9 -	Componentes principais (CP1 e CP2) e análise fatorial das variáveis industriais da cana-de-açúcar sob doses de P (fontes de P na presença e ausência de torta de filtro) sob irrigação de salvamento.	96
Tabela 10 -	Análises química e granulométrica do solo da área experimental. Fazenda Santo Antonio, Itajobi - SP (2011).....	112
Tabela 11 -	Componentes principais (CP1 e CP2) e análise fatorial do estado nutricional de cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada.....	115
Tabela 12 -	Componentes principais (CP1 e CP2) da análise multivariada da biometria de cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada.....	119

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	23
REVISÃO DE LITERATURA.....	26
Importância da cana-de-açúcar.....	26
Aplicação da irrigação na cultura de cana-de-açúcar: irrigação de salvamento e produtividade da água.....	27
Requerimentos climáticos da cultura de cana-de-açúcar: precipitação pluviométrica, temperatura do ar e radiação solar....	29
Importância da adubação fosfatada na produtividade da cultura de cana-de-açúcar.....	31
Importância da torta de filtro.....	32
Modelos matemático-estatísticos na agricultura: lógica <i>fuzzy</i> e análise multivariada.....	33
CAPÍTULO 1 – MODELAGEM <i>FUZZY</i> PARA ABSORÇÃO E ACÚMULO DE P, ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA E PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	37
RESUMO.....	37
ABSTRACT.....	38
1 INTRODUÇÃO.....	39
1.1 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
1.1.1 Área experimental (clima e solo)	40
1.1.2 Tratamentos e variedade cultivada.....	43
1.1.3 Análise do solo, nutricional e de atividade de fosfatase ácida em folhas de cana-de-açúcar.....	44
1.1.4 Análise da produção de colmos e de produtividade da água na cultura da cana-de-açúcar.....	45
1.1.5 Aplicação da modelagem matemática <i>fuzzy</i>	45
1.1.6 Conjuntos <i>fuzzy</i> das variáveis de entrada e saída.....	47
1.1.7 Base de regras.....	56
1.1.8 Metodologia de inferência, defuzzificação e softwares utilizados.	56
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
1.3.1 Produtividade da água, modelagem <i>fuzzy</i> , comportamento do clima e tratamentos aplicados: efeitos nas variáveis estudadas...	57
1.4 CONCLUSÕES.....	77
REFERÊNCIAS.....	78
CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DA QUALIDADE INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	85
RESUMO.....	85
ABSTRACT.....	86

2	INTRODUÇÃO.....	87
2.1	MATERIAL E MÉTODOS.....	88
2.1.1	Área experimental (clima e solo)	88
2.1.2	Tratamentos e variedade cultivada.....	92
2.1.3	Análise tecnológica e produtividade da água na cana-de-açúcar..	92
2.1.4	Análise de componentes principais da qualidade industrial da cana-de-açúcar.....	93
2.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
	Produtividade da água, análise multivariada, tratamentos	
2.2.1	aplicados e comportamento do clima: efeitos nas variáveis estudadas.....	93
2.3	CONCLUSÕES.....	101
	REFERÊNCIAS.....	102
	CAPÍTULO 3 - COMPORTAMENTO MULTIVARIADO DO ESTADO NUTRICIONAL E BIOMETRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	106
	RESUMO.....	106
	ABSTRACT.....	107
3	INTRODUÇÃO.....	108
3.1	MATERIAL E MÉTODOS.....	109
3.1.1	Área experimental (clima e solo)	109
3.1.2	Tratamentos e variedade cultivada.....	112
3.1.3	Análise de componentes principais da biometria e estado nutricional da cana-de-açúcar.....	113
3.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	113
3.3	CONCLUSÕES.....	122
	REFERÊNCIAS.....	123
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	127
	REFERÊNCIAS.....	129

CAPÍTULO 1 – MODELAGEM FUZZY PARA A ABSORÇÃO E ACÚMULO DE P, ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA E PRODUTIVIDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA.

RESUMO

A cultura de cana-de-açúcar é uma das mais importantes do agronegócio brasileiro, seja, pela área de cultivo, volume produzido, tecnologia empregada na cadeia produtiva e valores comercializados. O que reforça estudos que possam determinar os melhores manejos, que resultem em maiores rendimentos, englobando a nutrição, particularmente o fósforo (P) e o fornecimento de água (irrigação de salvamento). Processar grande volume de informações/dados é um desafio e principalmente quando há necessidade de extrair e confirmar informações incertas, particularmente no sistema água-solo-planta-atmosfera. Para este fim, a lógica *fuzzy* é uma ferramenta eficiente, pois, é capaz de detectar variações em micro e macro escala. Portanto, o objetivo deste trabalho foi realizar a modelagem *fuzzy* dos efeitos de doses de P em fontes de P (presença e ausência de torta de filtro) na fertilidade do solo, nutrição e bioquímica de planta e produtividade da cultura de cana-de-açúcar irrigada. O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura média, no município de Itajobi-SP. O arranjo experimental foi em blocos ao acaso, em triplicata, no esquema 3x4x2, com fontes de P (superfosfato triplo, fosfato natural reativo Bayóvar e fosfato natural de Araxá), doses (0, 90, 180 e 360 kg de P₂O₅ ha⁻¹), na presença e ausência da torta de filtro (7,5 Mg ha⁻¹, base seca). Foi aplicada em lâmina única, 80 mm de água em todas as parcelas, como irrigação de salvamento em área total. A produtividade da água/produção de colmos foi elevada, na presença da torta de filtro e fonte de P. A análise dos efeitos das doses de P foi realizada por meio de gráficos bidimensionais, e por combinação de conjuntos associados, constatou-se que os manejos com a maior dose, independente da fonte (presença e ausência da torta de filtro) proporcionaram alto efeito positivo para todas as variáveis, sobretudo na produção de colmos, com exceção da fosfatase ácida foliar, onde estimulou muito baixo efeito positivo.

Palavras-chave: Lógica nebulosa. Torta de filtro. Cana-planta. Fosfatagem.

CHAPTER 1 - FUZZY MODELING FOR ABSORPTION AND P ACUMULATION, ACTIVITY OF ACID PHOSPHATASE AND PRODUCTIVITY OF SUGARCANE IRRIGATED IN THE FUNCTION OF THE APPLICATION OF FILTER CAKE AND PHOSPHATE FERTILIZATION

ABSTRACT

Sugarcane crop is one of the most important Brazilian agribusinesses, which reinforces how important are studies focusing on how to determine the best management practices, resulting in higher yields, including nutrition, particularly in phosphorus (P), and water supply (water saving irrigation). Processing large amounts of data is a challenge especially when there is a need to extract and confirm uncertain information. For this purpose, *fuzzy* logic is an efficient tool because it is able to detect variations in micro and macro scale. The experiment was settled in a Red-Yellow Latosol Dystrophic, medium texture, in Itajobi-SP, Brazil. The experimental arrangement was in randomized blocks with three replications, in a $3 \times 4 \times 2$ factorial scheme with three sources of phosphorus (triple superphosphate, Bayovar reactive natural phosphate and Araxa natural phosphate), rates (0, 90, 180 and 360 kg of P_2O_5 ha⁻¹), in the presence and absence of the filter cake (7.5 Mg ha⁻¹, dry basis). In the total area was applied single lamina of 80 mm of water (water saving irrigation). Therefore, we evaluated the effect of phosphorus application rates from various sources and in the presence or absence of filter cake in variables related to soil fertility, plant nutrition, and biochemistry and productivity and to infer the influence of potential evapotranspiration on cultivation. In the presence of the filter cake and P source, water productivity/stalks production was high. Analysis of P data was performed through two-dimensional images, and by their combination of datasets, with the help of a larger dose, the data source, and a proportional data filter. For all variables, especially in stalks production, excepted for foliar acid phosphatase, where we stimulated a lot by the positive effect

Keywords: Nebula logic. Filter cake. Water productivity, Phosphate.

do nutriente. A produção agrícola é dependente das relações do sistema água-solo-planta-atmosfera, portanto, é natural que a produção final seja diversa, sendo recomendado estudos direcionados particularmente à mineralogia do ambiente produtivo, onde ocorre processos que afetam fortemente a disponibilidade de água e de P para a cana-de-açúcar.

CONCLUSÕES

Obteve-se teores adequados de P resina no solo e de P foliar na maior dose de superfosfato triplo, seja na presença e ausência de torta de filtro, para as demais fontes na maior dose associada a torta de filtro.

As maiores produtividades de água em colmos são relacionadas a presença de elevados teores de matéria orgânica (Torta de filtro) e a fonte mais solúvel de P (Superfosfato Triplo).

As maiores produções de colmos observadas estão relacionadas aos tratamentos que forneceram as maiores concentrações de P no solo, P foliar, acúmulos de P foliar, nos colmos, e total, além da menor atividade de fosfatase ácida foliar.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. W., SÁ, L. A., RODRIGUES, W. A. R., MOURA, A. B., OLIVEIRA FILHO, M. S. Growth and yield of sugarcane as a function of phosphorus rates and forms of application. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 1, p. 29–35, 2016.

ALCARDE, J. C. **Manual de análise de fertilizantes**. FEALQ, Piracicaba. 2009, 279 p.

ALLEONI, L.R.F.; BEAUCLAIR, E.G.F. Cana-de-açúcar cultivada após milho e amendoim, com diferentes doses de adubo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, n.3, p.409- 415, 1995.

ARRUDA, B.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; RICHARDSON, A. E.; ANDREOTE, F. D.; PAVINATO, P. S. Biological and morphological traits of sugarcane roots in relation to phosphorus uptake. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 16, n. 4, p. 901-915, 2016.

AWASTHI, R.; TEWARI, R.; NAYYAR, H. 2011. Synergy between plants and P-solubilizing microbes in soils: effects on growth and physiology of crops. **International Research Journal of Microbiology**, v. 2, n. 12, p. 484-503, 2011.

BOKHTIAR, S. M.; PAUL, G. C.; ALAM, K. M. Effects of organic and inorganic fertilizer on growth, yield, and juice quality and residual effects on ratoon crops of sugarcane. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v. 31, p. 1832 – 1843, 2008.

BOSO, A. C. M. R. **Modelagem matemática e computacional na avaliação do uso de água magnetizada na irrigação do rabanete utilizando o sistema Mamdani**. 106 p. 2018. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias, Botucatu, 2018.

CAIONE, G.; LANGE, A.; BENETT, C. G. S.; FERNANDES, F. M. Fontes de P para adubação de cana-de-açúcar forrageira no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73. 2011.

CAIONE, G.; PRADO, R. M.; CAMPOS, C. N. S.; MODA, L. R.; VASCONCELOS, R. L.; PIZAULO JÚNIOR, J. M. Response of sugarcane in a Red Ultisol to phosphorus rates, phosphorus sources, and filter cake. **Scientific World Journal**, v. 2015, p. 1–10, 2015.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. IAC, Campinas. 2009. 77p.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_253.html>. Acesso em: 10 fev. 2018.

CONSECANA. Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 6ª ed. Consecana. Piracicaba. 2015. 81 p.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; FILHO, G. M.; SANTOS, J. R. Influence of phosphorus doses and soil moisture on diffusion flow. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 828 - 835. 2006.

COSTA, C. T. S.; FERREIRA, V. M.; ENDRES, L.; FERREIRA, D. T. R. G.; GONÇALVES, E. R. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 56-63, 2011.

CHAI, B.; WU, Y.; LIU, P.; LIU, B.; GAO, M. Isolation and phosphate-solubilizing ability of a fungus, *Penicillium* sp. from soil of an alum mine. **Journal of Basic Microbiology**, v. 51, n. 1, p. 5 - 14, 2011.

CHOUERI, M. **Modelagem fuzzy para avaliação do desenvolvimento da cultura do rabanete irrigado com água tratada magneticamente sem estresse hídrico**. 2018. 54 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento). Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã, 2018.

CREMASCO, C. P. **Aplicação da lógica fuzzy para avaliação do faturamento do consumo de energia elétrica e demanda de uma empresa de avicultura de postura**. 2008. 97 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - FCA/UNESP. Botucatu, 2008.

ENDRES, L.; SILVA, J. V.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, v. 4, p. 31 - 37, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353 p.

FLORENTINO, H. O.; CANTAO, L. A. P.; MORENO, E. V.; SARTORI, M. M. P. Uma abordagem fuzzy do problema de otimização do balanço econômico do aproveitamento do resíduo de colheita da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 63-77, 2015.

FRANCO, H. C. J.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; SARTORI, R. H.; TRIVELIN, M. O. Acúmulo de nutrientes pela cana-planta. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 26, n. 5, p. 47-51. 2008.

GABRIEL, C. P. C. **Modelagem fuzzy para avaliação do desenvolvimento do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação com água tratada magneticamente** (Tese - Livre Docência em Matemática Aplicada). 2018. 117 p. Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências e Engenharia, Tupã, 2018.

GABRIEL FILHO, L. R. A. **Sistemas Fuzzy aplicados nas Ciências Agrárias**. 2015. 258 f. Tese (Livre-Docência em Matemática Aplicada e Computacional) - FCE/UNESP, Tupã, 2015.

GABRIEL FILHO, L. R. A.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; CHACUR, M. G. M. Application of *fuzzy* logic for the evaluation of livestock slaughtering. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 813-825, 2011.

GODOY, A. P. **Modelagem de Processos de Acumulação de Biomassa e de Açúcar da Cana-de-açúcar via Sistemas Nebulosos**. 2007. 254 f. Dissertação (Engenharia Elétrica e de Computação – Automação). Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2007.

GONZÁLEZ, L. C.; PRADO, R. M.; HERNÁNDEZ, A. R.; CAIONE, G.; SELVA, E. P. Use of filter cake enriched with rock phosphate and biofertilizers in a Haplustox soil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 2, p.135 -141, 2014.

INMAN-BAMBER, N. G.; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; WOOD, A. W.; PACE, R.; SPILLMAN, M. F. Boosting yields with limited irrigation water. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technology**, Townsville, v. 21, p. 203-211, 1999.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F.; GARCIA, S. R.; CALHEIROS, A. J. El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos. **Revista Climanalise**. p. 7- 12, 2016.

KINGSTON, G. Benchmarking yield of sugarcane from estimates of water use. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technology**, Brisbane, v. 16, p. 201-209, 1994.

LEE, Y. B.; KIM, P. J. Reduction of phosphate adsorption by ion competition with silicate in soil. **Korean Journal of Environmental Agriculture**, Seul, v. 26, n. 4, p. 286-293, 2007.

LIMA, C. C. Disponibilidade de P para a cana-de-açúcar em solo tratado com compostos orgânicos ricos em silício. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1222-1227, 2011.

LOPEZ-HERNANDEZ, D.; SEQUERA, D.; MEDINA, E. Balances de elementos em un agroecosistema de caña de azucar: I. Balance de nitrogeno. **Tropicultura**, Brussels, v. 24, n.1, p. 25-32, 2006.

LOPEZ-HERNANDEZ, D.; SEQUERA, D. Phosphorus biogeochemical cycling in a sugar cane agroecosystem. **American Journal Agricultural and Biological Sciences**, Dubai, v. 7, n. 4, p. 473–481, 2012.

MARRO, A. A.; SOUZA, A. M. C.; CAVALCANTE, E. R. S.; BEZERRA, G. S.; NUNES, R. O. **Lógica Fuzzy: conceitos e aplicações**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) Natal – RN – Brasil, 2010.

McCRAE, J. M.; RICE, R. W.; LUO, Y.; JI, S. Sugarcane response to phosphorus fertilizer on Everglades Histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 5, p. 1468 - 1477, 2010.

MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a *fuzzy* logic controller. **International Journal Man-Machine Studies**, London, v. 7, n. 1, p. 1-13, 1975.

MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Irrigação e Drenagem) – ESALQ, Piracicaba, 2011.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. DA (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2009. p. 191–233.

MODA, L. R.; PRADO, R. M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S.; SILVA, E. C.; FLORES, R. A. Effect of sources and rates of phosphorus associated with filter cake on sugarcane nutrition and yield. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 9, n. 6, p. 477 - 485, 2015.

OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, R. I.; OLIVEIRA, A. C.; FREIRE, M. B. G. S. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 579-588, 2011.

OLIVEIRA, R. I.; MEDEIROS, M. R. F. A.; FREIRE, C. S.; FREIRE, F. J.; NETO, D. E. S.; OLIVEIRA, E. C. A. Nutrient partitioning and nutritional requirement in sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 10, n. 1, p. 69-75, 2016.

PIZAURO, J. M.; CURTI, C.; CIANCAGLINI, P.; LEONE, F. A.; Kinetic properties of triton X-100 solubilized bone matrix-induced alkaline phosphatase. **Cellular and Molecular Biology**, Elmsford, v. 34, n. 5, p. 921-926, 1988.

PMGCA. Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar. **Variedades RB de cana-de-açúcar**. Centro de Ciências Agrárias/UFSCAR, 2008.

PUTTI, F. F. **Análise dos indicadores biométricos e nutricionais da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) irrigada com água tratada magneticamente utilizando modelagem *fuzzy***. 2015. 205 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - FCA/UNESP. Botucatu, 2015.

PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; SILVA, A. O.; LUDWIG, R.; GABRIEL, C. P. C. *Fuzzy* logic to evaluate vitality of *catasetum fimbriatum* species (*Orchidacea*). **Revista Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 3, p. 405 - 413, 2014.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. IAC, Campinas. 2001. 285 p.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 233-243. (Boletim, 100).

REDDY, K. R. 1983. Soluble phosphorus release from organic soils. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 9, n. 4, p. 373-382, 1983.

RICHARDSON, A. E.; SIMPSON, R. J. (2011) Soil microorganisms mediating phosphorus availability. **Plant Physiology**. v. 156, n. 3, p. 989 - 996. 2011.

ROSS, T. J. **Fuzzy logic with engineering applications**. 2^a ed. Wiley. England, 2010. 607 p.

ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C. Future research challenges for eficiente crop water use in sugarcane production. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technology**, Brisbane, v. 16, p.193 – 200, 1994.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. Fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: DINARDO-MIRANDA, L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010, p. 234.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A.C.; PRADO JÚNIOR, J. P. Q. P. Fósforo. In: DINARDO MIRANDA, L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010, p. 271-288.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Adubação: resíduos alternativos**. 2009. Disponível em:<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

SANTOS, V. R.; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 13, n.4, p. 389–396, 2009.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S. Efeito residual da adubação fosfatada e torta de filtro na brotação de soqueiras de cana-de-açúcar. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 5, n. 15, p. 1-6, 2012.

SANYAL, S. K.; DE DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Advances in Soil Science**, New York, v. 16, n. 2, p. 1-120, 1991.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, 2010.

SECREMIN, O. B. **Modelagem matemática em aveia por regressões, lógica fuzzy e redes neurais artificiais na otimização de uso do nitrogênio pelo emprego do hidrogel**. 2016. 115 f. Dissertação (Modelagem Matemática). Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul, Ijuí. 2016.

SILVA, F. C.; BASSO, L. C. Avaliação da atividade in vivo da fosfatase ácida da folha na diagnose da nutrição fosfórica em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 371-375, 1993.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Lógica fuzzy no mapeamento de variáveis indicadoras de fertilidade do solo. **Idesia**, Arica, v. 27, n. 3, p. 41- 46, 2009.

SMITH, S.; NOKLEBY, B.; COMER, D. *Fuzzy control systems*. In: SMITH, S.; NOKLEBY, B.; COMER, D. CRC Press. **A computational approach to fuzzy logic controller design and analysis using cell state of space methods**, 1994. p. 398-427.

SOUZA JUNIOR, J. A. **Impactos dos déficits hídricos na cultura de cana-de-açúcar em regiões produtoras de São Paulo, Minas Gerais e Paraná**. 2017. 147 f. (Tese em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B.; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. IAC, Campinas. 1997. p. 233-243.

STEFFENS, D.; LEPPIN, T.; LUSCHIN-EBENGREUTH, N.; YANG, Z. M.; SCHUBERT, S. Organic soil phosphorus considerably contributes to plant nutrition but is neglected by routine soil-testing methods. **Journal of Plant Nutrition in Soil Science**, Tharandt, v. 173, p. 765-771, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TANAKA, H.; UEJIMA, S.; ASAI, K. Linear Regression Analysis with *Fuzzy Model*. **IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics**, V. SMC-12, n. 6, 1982. p. 903-906.

TOPPA, E. V. B.; JADOSKI, C. J.; JULIANETTE, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 3, p. 3, p. 217-223, 2010.

TSADO, P. A.; LAWAL, B. A.; IGWE, C. A.; ADEBOYE, M. K. A.; ODOFIN, A. J.; ADEKAMBI, A. A. Effects of sources and levels of phosphorus on yield and quality of sugarcane in Southern Guinea Savanna Zone of Nigeria. **Agriculture Science Developments**, Lagos, v. 2, n. 3, p. 25- 27, 2013.

VASCONCELLOS, K. C. **Estudo do risco de falha ambiental em rios sujeitos à concessão de outorga de lançamento de efluentes mediante o uso da equação de streeter-phelps “fuzzificada”**. 2013. 75 f. (Dissertação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2013.

VASCONCELOS, R. L. **Fontes de fósforo e torta de filtro sobre o estado nutricional e produtividade da cana-planta**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2013.

VAZQUEZ, G. H.; BORTOLIN, R.; VANZELA, L. S.; BONINI, C. S. B.; BONINI NETO, A. Uso de fertilizante organofosfatado e torta de filtro em cana-planta. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 9, n.1, p. 53–64, 2015.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, n. 1, p. 29-37, 1934.

ZHAO, D.; GLAZ, B.; COMSTOCK, J. C. Sugarcane response to water-deficit stress during early growth on organic and sand soils. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, New York, v. 5, n. 3, p. 403 - 414, 2010.

ZADEH, L. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Process. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. SMC-3, n. 1, 1973. p.28-44.

CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DA QUALIDADE INDUSTRIAL DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA

RESUMO

A produção agrícola mundial tem o desafio de aumentar seus rendimentos sob a pressão de uma população global crescente e das adversidades climáticas que estão se tornando mais intensas e frequentes. A cana-de-açúcar, por ser uma cultura de cultivo em vastas áreas, particularmente na faixa tropical é sujeita a diversas condições, seja pela disponibilidade de nutrientes, em especial o fósforo (P), seja pela irregular precipitação pluviométrica, o que torna frequente o uso da irrigação, especialmente, irrigação de salvamento, por proporcionar melhores condições de umidade do solo para a emergência das plantas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar por meio de técnicas multivariadas a produtividade e a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada. Técnicas multivariadas, são eficazes em sintetizar elevado volume de dados, proporcionando uma filtragem de dados relevantes. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura média, no município de Itajobi-SP. O arranjo experimental foi em blocos ao acaso, em triplicata, no esquema $3 \times 4 \times 2$, com fontes de P (superfosfato triplo, fosfato natural reativo Bayóvar e fosfato natural de Araxá), doses (0, 90, 180 e 360 kg de P_2O_5 ha⁻¹), na presença e ausência da torta de filtro (7,5 Mg ha⁻¹, base seca). A irrigação de salvamento foi aplicada em lâmina única de 80 mm de água em área total. A produtividade da água/produção de açúcar apresentou-se elevada, especialmente quando houve a presença da torta de filtro e crescentes doses de P. Por meio das técnicas de análise multivariada, foi verificado que com exceção da variável fibra, a produção de colmos, sacarose, açúcar total recuperável (ATR) e toneladas de Pol ha⁻¹ (TPH) são correlacionadas entre si, e que sob as condições experimentais, a sacarose e particularmente a produção de colmos propiciaram uma elevada correlação positiva em TPH, contudo, pode-se inferir que a associação de alta temperatura do ar e alta precipitação pluviométrica resultaram em ATR com alta correlação negativa.

Palavras-chave: Produção de colmos. Sacarose. ATR. Componentes principais.

CHAPTER 2 - ANALYSIS OF PRINCIPAL COMPONENTS OF THE INDUSTRIAL QUALITY OF SUGARCANE IRRIGATED IN THE THE FUNCTION OF THE APPLICATION OF FILTER CAKE AND PHOSPHATE FERTILIZATION

ABSTRACT

World agricultural production has a challenge of increasing its incomes under pressures of a growing global population and also the climatic adversities that are becoming more intense and frequent. Sugarcane, because it is a crop growing in large areas, particularly in tropical areas, is subject to several conditions, either due to the nutrients' availability, especially phosphorus (P) or irregular rainfall, which frequent use irrigation, especially water saving irrigation, to provide better soil moisture conditions for plants' emergence. Thus, our aim was to evaluate the productivity and technological quality of irrigated sugar cane through multivariate techniques as a function of filter cake application and phosphate fertilization. Multivariate techniques are effective in synthesizing high data volume, providing filtering of relevant data. The experiment was carried out in a Red-Yellow Latosol Dystrophic, medium texture, in Itajobi-SP, Brazil. The experimental arrangement was in randomized blocks with three replications, in a $3 \times 4 \times 2$ factorial scheme with three sources of phosphorus (triple superphosphate, Bayóvar natural reactive phosphate and Araxá natural phosphate), doses (0, 90, 180 and 360 kg of P_2O_5 ha⁻¹), in the presence and absence of the filter cake (7.5 Mg ha⁻¹, dry basis). Water saving irrigation was applied in a single lamina of 80 mm of water in the total area. Productivity of water/sugar production was high, especially when there was the presence of filter cake and increasing doses of P. Using multivariate analysis techniques, it was verified exception to the fiber variable, sucrose, total recoverable sugar (ATR), and tons of Pol ha⁻¹ (TPH) are correlated with each other, and that under sucrose conditions and particularly stalks production gave a high positive correlation in TPH, it was inferred that the association of high air temperature and high rainfall resulted in ATR with high negative correlation.

Keywords: Production of stalks. Sucrose. ATR. Multivariate statistics.

No entanto, houve respostas diferenciadas da variedade RB86 3129 cultivada em solos de Pernambuco, em que apresentou para a produção de colmos e de TPH seus maiores valores sob as menores doses de P, o que indica, alta deficiência do elemento no solo combinado com a baixa precipitação pluviométrica, visto que essa variedade foi desenvolvida para locais mais úmidos (SIMÕES NETO et al., 2012). Os mesmos autores, apontam que, apesar do ATR não ter sido influenciado pelas doses de P, os maiores valores foram verificados em solos que apresentam maior deficiência de P.

Em estudo com doses de P e fertilizante organomineral, Teixeira; Sousa; Korndörfer (2014) observaram que a variedade IAC 95-5000 produziu colmos e açúcar em valores semelhantes sob ambos tratamentos, e que não houve efeito dos tratamentos para sacarose e ATR.

Uma planta de cana-de-açúcar que apresenta teores adequados de P e está sob condições apropriadas de produção tem condições de expressar uma boa relação entre produção de colmos e de açúcar, pois é capaz de aumentar sua produtividade e de elevar os níveis de sacarose acumulada, e potencialmente os teores de açúcar recuperável por meio de um processo fotossintético sem limitações nutricionais. Portanto, toda variação nas respostas observadas, devem ser atribuídas ao material de origem da torta de filtro, as condições edafoclimáticas, a solubilidade e a dose da fonte de P empregada e a genética da variedade cultivada.

CONCLUSÕES

O açúcar total recuperável apresentou correlação negativa, representando perdas na recuperação da sacarose. Possivelmente, a deficiência hídrica na maior parte do cultivo e a elevada precipitação pluviométrica na fase de maturação da cana-de-açúcar reduziu os níveis de sacarose, o que seria reforçado pela forte correlação negativa do açúcar total recuperável. A elevada correlação de Pol indica que a variável produção de colmos influenciou diretamente na produção de açúcar. Os maiores incrementos na produtividade da água em Pol foram obtidos na presença de torta de filtro (altos teores de matéria orgânica) e nas maiores doses de P.

REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. **Manual de análise de fertilizantes**. FEALQ, Piracicaba. 2009, 279 p.

ALEXANDER, A.G. **Sugarcane physiology**. Amsterdam: Elsevier, 52 p, 1973.

BERNARDO, S; SOARES, A. A; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 361-570.

CALHEIROS, A. S.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. B.; SANTIAGO, A. D.; ARISTIDES, E. V. S. Production of biomass, from sugar and protein in function of sugarcane varieties and phosphorous fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina. v. 33, n. 2, p. 809-818, 2012.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. IAC, Campinas. 2009. 77p.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_253.html>. Acesso em: 10 fev. 2018.

CONSECANA. Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**. 6ª ed. Consecana. Piracicaba. 2015. 81 p.

COSTA, J. P. V.; BARROS, N. F.; ALBUQUERQUE, A. W.; FILHO, G. M.; SANTOS, J. R. Influence of phosphorus doses and soil moisture on diffusion flow. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 828 - 835. 2006.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, vol. 1. Viçosa: Editora UFV, 2004. p. 171- 201.

DIACONO, M.; A. CASTRIGNANO, A.; TROCCOLI, A.; BENEDETTO, D.; BASSO, B.; RUBINO, P. Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in a Mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach. **Field Crops Research**, v. 131, n. 49-62, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

ENDRES, L.; SILVA, J. V.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. S. Photosynthesis and water relations in Brazilian sugarcane. **The Open Agriculture Journal**, v. 4, p. 31 - 37, 2010.

FRAVET, P. R. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 618-624, 2010.

GLAZ, B.; POWELL, G.; PERDOMO, R.; ULLOA, M. F. Sugarcane response to phosphorus fertilizer in relation to soil test recommendations on Everglades Histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 375–380, 2000.

HAIR JUNIOR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688 p.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F.; GARCIA, S. R.; CALHEIROS, A. J. El Niño e La Niña dos últimos 30 anos: diferentes tipos. **Revista Climanalise**. p. 7- 12, 2016.

LEAL, D. P. V.; BARBOSA, F. S.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; COELHO, R. D.; MASCHIO, R.; SANTOS, L. C. Water Productivity into sugar and biomass for sugarcane. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 3., Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: INOVAGRI, 2015. 1 CD-ROM.

LEAL, D.P.V.; COELHO, R. D.; BARBOSA, F. S.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; MAURI, R.; SANTOS, L. C. Water productivity for sugar biomass of sugarcane varieties. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 21, n. 9, p. 618-622, 2017.

MARÔCO, J. **Análise Estatística com a Utilização do SPSS**. 5. ed. Lisboa: Pero Pinheiro, 2011

McCRAY, J. M.; RICE, R. W.; LUO, Y.; JI, S. Sugarcane response to phosphorus fertilizer on Everglades Histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 5, p. 1468 - 1477, 2010.

MODA, L. R.; PRADO, R. M.; CAIONE, G.; CAMPOS, C. N. S.; SILVA, E. C.; FLORES, R. A. Effect of sources and rates of phosphorus associated with filter cake on sugarcane nutrition and yield. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 9, n. 6, p. 477 - 485, 2015.

PINHO, R. E. E. **Aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar por gotejamento subsuperficial: dinâmica de íons e balanço de água**. 2013. 97f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

PMGCA. Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar. **Variedades RB de cana-de-açúcar**. Centro de Ciências Agrárias/UFSCAR, 2008.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. IAC, Campinas. 2001. 285 p.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 233-243. (Boletim, 100).

RODRIGUES JUNIOR, F. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; FRANCO, H. C. J. Soil attributes and leaf nitrogen estimating sugar cane quality parameters: brix, pol and fibre. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 3, p. 270-289, 2013.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A.C.; PRADO JÚNIOR, J. P. Q. P. Fósforo. In: DINARDO MIRANDA, L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010, p. 271-288.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. **Cana-de-açúcar**: Adubação - resíduos alternativos. Agência de Informações Embrapa, Brasília, 2007. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html . Acesso em: 05 jan 2018.

SANTCHURN, D.; RAMDOYAL, K.; BADALOO, M. G. H.; LABUSCHAGNE, M. From sugar industry to cane industry: Evaluation and simultaneous selection of different types of high biomass canes. **Biomass and Bioenergy**, v. 61, p. 82-92, 2014.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 443-449, 2011.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C. D.; ROCHA, A. T. D.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. D. S.; NASCIMENTO, C. W. D. Industrial characteristics of sugar cane under phosphate fertilization in soils of Pernambuco Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 347-354, 2012.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; GOMES JÚNIOR, W. F. Demanda hídrica e eficiência do uso da água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 12, p. 1257-1265, 2011.

SOUZA JUNIOR, J. A. **Impactos dos déficits hídricos na cultura de cana-de-açúcar em regiões produtoras de São Paulo, Minas Gerais e Paraná**. 2017. 147 f. (Tese em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B.; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. IAC, Campinas. 1997. p. 233-243.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TEIXEIRA, W. G.; SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014.

TENA, E.; MEKBIB, F.; AYANA, A. Genetic Diversity of Quantitative Traits of Sugarcane Genotypes in Ethiopia. **American Journal of Plant Sciences**, v. 7, p. 1498-1520, 2016.

TOPPA, E. V. B.; JADOSKI, C. J.; JULIANETTE, A.; HULSHOF, T.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Aspectos da fisiologia de produção da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 3, p. 3, p. 217-223, 2010.

VASCONCELOS, R. L. **Fontes de fósforo e torta de filtro sobre o estado nutricional e produtividade da cana-planta**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2013.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, n. 1, p. 29-37, 1934.

ZHAO, D.; GLAZ, B.; COMSTOCK, J. C. Sugarcane response to water-deficit stress during early growth on organic and sand soils. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, New York, v. 5, n. 3, p. 403 - 414, 2010.

CAPÍTULO 3 - COMPORTAMENTO MULTIVARIADO DO ESTADO NUTRICIONAL E BIOMETRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE TORTA DE FILTRO E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA

RESUMO

Dentre os desafios da cultura de cana-de-açúcar, destaca-se a nutrição mineral, particularmente o P, que em solos tropicais encontra-se pouco disponível à cultura e o fornecimento adequado de água. A região tropical possui irregularidade em suas precipitações pluviométricas, tornando recorrente o uso da irrigação, principalmente a irrigação de salvamento, que visa possibilitar condições de umidade necessária para emergência de plantas ou rebrota de soqueiras. A análise multivariada (componentes principais) é capaz de indicar a importância individual e a de correlações de uma variável, dentro do sistema produtivo agrícola, que é extremamente complexo. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar por meio de processos multivariados o estado nutricional e biometria de cana-de-açúcar irrigada em função da aplicação de torta de filtro e da adubação fosfatada. A análise multivariada, é eficiente em converter elevado número e complexidade de dados em relações de relevância de fácil compreensão. O solo da área experimental foi um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, textura média, no município de Itajobi-SP. O delineamento do experimento foi em blocos ao acaso, com três repetições, no arranjo $3 \times 4 \times 2$, com fontes de P (superfosfato triplo, fosfato natural reativo Bayóvar e fosfato natural de Araxá), doses (0, 90, 180 e 360 kg de P_2O_5 ha⁻¹), na presença e ausência da torta de filtro (7,5 Mg ha⁻¹, base seca). Em toda a área experimental, foi aplicada a irrigação de salvamento em lâmina única de 80 mm de água. A análise de componentes principais mostrou que a variável nutricional K apresentou comportamento distinto e fortemente negativo das demais, especialmente de P, Fe, Mn e B, que possuem alto grau similaridade. Para as variáveis biométricas, os perfilhamento e perfilhamento final apresentaram correlação, no entanto, a altura de plantas, expressou alta correlação negativa.

Palavras-chave: Perfilhamento final. Altura de planta. Matéria orgânica. Agrupamentos hierárquicos.

CHAPTER 3 - MULTIVARIATE BEHAVIOR OF THE NUTRITIONAL STATE AND BIOMETRY OF SUGARCANE IRRIGATED IN THE FUNCTION OF THE APPLICATION OF FILTER CAKE AND PHOSPHATE FERTILIZATION

ABSTRACT

Among sugarcane cultivation challenges, mineral nutrition, particularly P, is outstanding, which in tropical soils is shortly available to the crop and adequate water supply. The tropical region has an irregularity in its rainfall, making recurrent the use of irrigation, mainly the water saving irrigation that aims to enable conditions of humidity necessary for the plants' emergence or ratoon regrowth. Multivariate analysis (main components) is able to indicate individual importance and variable correlation within the agricultural production system, which is extremely complex. Thus, our aim was to evaluate nutritional status and biometry of irrigated sugar cane using multivariate processes as a function of filter cake application and phosphate fertilization. The multivariate analysis is efficient in converting high number and complexity of data into relations of the relevance of easy comprehension. Experimental area soil was a Red Dystrophic Yellow Latosol, medium texture, in Itajobi-SP, Brazil. The experimental arrangement was in randomized blocks with three replications, in a $3 \times 4 \times 2$ factorial scheme with three sources of phosphorus (triple superphosphate, natural reactive phosphate Bayóvar and natural phosphate from Araxá), doses (0, 90, 180 and 360 kg of P_2O_5 ha⁻¹), in the presence and absence of filter cake (7.5 Mg ha⁻¹, dry basis). Throughout the experimental area, the water saving irrigation was applied in a single slide of 80 mm of water. The analysis of main components showed the nutritional variable K presented a distinct and strongly negative behavior of the others, especially of P, Fe, Mn, and B, that have high degree similarity. For biometric variables, tillering and final tillering showed correlation, however, plants height, expressed high negative correlation.

Keywords: Final tillering. Plant height. Organic matter. Hierarchical groupings.

As variáveis perfilhos e perfilhamento final estão agrupadas no quadrante I e a altura no quadrante IV, constata-se que perfilhos e perfilhamento final estão relacionadas, demonstrando que essas variáveis possuem a mesma expressão no gráfico, ou seja, têm grandes cargas fatoriais positivas no CP1. A variável altura também colabora no processo, pois além de ser relevante para o sistema, está bem próxima da região central do gráfico, contudo, representa um extremo entre variáveis.

A altura de colmos, juntamente com área foliar, massa de colmos, perfilhamento e diâmetro são determinantes para a produtividade da cultura de cana-de-açúcar (SANTANA; OLIVEIRA; MELO, 2010). A aplicação de 5 Mg ha⁻¹ de torta de filtro em Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico, cultivado com a variedade RB92 579 resultou em incrementos na altura de plantas e para perfilhamento, efeito similar a adubação mineral (COSTA et al., 2016). No entanto, o perfilhamento da variedade RB79 579 cultivada Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, apresentou incremento na aplicação de torta de filtro (GONÇALVES, 2015).

O máximo perfilhamento ocorre até o sexto mês de cultivo, após este período, há uma redução, devido, a competição dos perfilhos, por água, nutrientes e radiação solar (OLIVEIRA et al., 2010). A aplicação da irrigação de salvamento, com lâminas de 60 a 80 mm de água, reverte em incrementos médios de 12 a 15 Mg ha⁻¹ nos cultivos de cana-de-açúcar (PEREIRA et al., 2015), portanto, tem efeito positivo nas variáveis relacionadas a produtividade da cultura. A altura de plantas de cana-de-açúcar, sob irrigação de salvamento, de lâmina de 60 mm de água, foi superior, em comparação à altura de plantas, que não foram irrigadas, resultando em elevação da produtividade final da cultura (SILVA, 2015).

CONCLUSÕES

As variáveis altura de plantas e K apresentaram alta correlação negativa, o que pode ter contribuído para uma limitação na produtividade de cana-de-açúcar. As variáveis biométricas perfilhos e perfilhamento final possuem alta correlação positiva, mesmo comportamento dos nutrientes, com destaque para a forte relevância de P, Fe, Mn e B. Pode-se atribuir ao comportamento da variedade e a composição da torta de filtro as respostas obtidas.

REFERÊNCIAS

- ADORNA, J. C.; CRUSCIOL, C. A. C.; ROSSATO, O. B. Fertilization with filter cake and micronutrients in plant cane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 649-657, 2013.
- ALCARDE, J. C. **Manual de análise de fertilizantes**. FEALQ, Piracicaba. 2009, 279 p.
- ALMEIDA JÚNIOR, A. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOBRAL, M. F.; SILVA, F. B. V.; GOMES, W. A. Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 10, p. 1004-1013, 2011.
- BERGER, K. C.; PRATT, P. F. Advances in secondary and micronutrient fertilization. In: McVICKAR, M. H.; BRIDGER, G. L.; NELSON, L. B. (eds). *Fertilizer Technology and Usage*. Madison, WI: **Soil Science Society of America**, 1963, p. 287–340
- BERNARDO, S; SOARES, A. A; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006. p. 361-570.
- BOT, A.; BENITES, J. The importance of soil organic matter: Key to drought-resistant soil and sustains food and production. Roma, FAO: **Soils Bulletin** 80, 95 p.
- CAIONE, G.; PRADO, R. M.; CAMPOS, C. N. S.; MODA, L. R.; VASCONCELOS, R. L.; PIZAULO JÚNIOR, J. M. Response of sugarcane in a Red Ultisol to phosphorus rates, phosphorus sources, and filter cake. **Scientific World Journal**, v. 2015, p. 1–10, 2015.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. IAC, Campinas. 2009. 77p.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_253.html>. Acesso em: 10 fev. 2017.
- CHA-UM, S.; CHUENCHAROEN, S.; MONGKOLSIRIWATANA, C.; ASHRAF, M.; KIRDMANEE, C. Screening Sugarcane (*Saccharum* sp.) Genotypes for Salt Tolerance Using Multivariate Cluster Analysis. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 110, n. 1, p. 23-33, 2012.
- COSTA, N. R.; LIMA, R. A.; SILVA, G. D. S.; MATOSO, A. O.; GARCIA, G. C.; ROMEIRO, E. R.; MARASCA, I.; SOUZA, D. M.; LIMA, C. G. R. Aplicação de torta de filtro no sulco de plantio sobre o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa. v. 10, n. 6, p. 1 - 7, 2016.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, vol. 1. Viçosa: Editora UFV, 2004. p. 171- 201.

DIACONO, M.; A. CASTRIGNANO, A.; TROCCOLI, A.; BENEDETTO, D.; BASSO, B.; RUBINO, P. Spatial and temporal variability of wheat grain yield and quality in a Mediterranean environment: A multivariate geostatistical approach. **Field Crops Research**, v. 131, n. 49-62, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353 p.

GONÇALVES, C. A. **Biossólido e torta de filtro na composição de fertilizantes organominerais para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum sp*)**. 2018. 116 f. Tese (Doutorado em Biocombustíveis) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2018.

GUPTA, N.; TRIPATHI, S.; BALOMAJUMDER, C. Characterization of pressmud: A sugar industry waste. **Fuel**, v. 90, n. 1, p. 389–394, 2011.

HAIR JUNIOR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688 p.

INUI-KISHI, R. N.; KISHI, L. T.; PICCHI, S. C.; BARBOSA, J. C.; LEMOS, M. T. O.; MARCONDES, J.; LEMOS, E. G. M. Phosphorus solubilizing and IAA production activities in plant growth promoting rhizobacteria from brazilian soils under sugarcane cultivation. **Journal Engineering Applied Sciences**, v. 7, n. 11, p. 1446-1454, 2012.

KHODARAHMPOUR, Z. Morphological classification of maize (*Zea mays* L.) genotypes in heat stress condition. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 5, p. 1-14, 2012.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. DA (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2009. p. 191–233.

MUSTAFA, H. S. B.; ASLAM, M.; HASSAN, E. U.; FAROOQ, J. Genetic variability and path coefficient in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Agricultural Sciences**, v. 9, n. 1, 37-43, 2014.

NUNES JÚNIOR, D. Torta de filtro: de resíduo a produto nobre. **IDEA News**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 92, p. 22-30, 2008.

OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; LIRA JUNIOR, M. A.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 951-960, 2010.

PAVINATO, P. S., ROSOLEM, C. A., 2008. Effects of organic compounds produced by plants on soil nutrient availability. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 911 - 920, 2008.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Meteorologia agrícola**. Apostila de curso. ESALQ, 2007. 192p.

PEREIRA, R. M.; JUNIOR, J. A.; CASAROLI, D.; SALES, D. L.; RODRIGUEZ, W. D. M.; SOUZA, J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Revista Irriga & Inovagri**, Botucatu, v. 1, n. 2, p. 149-157, 2015

PINHO, R. E. C. **Aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar por gotejamento subsuperficial**: dinâmica de íons e balanço de água. 2013. 97 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

PMGCA. Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar. **Variedades RB de cana-de-açúcar**. Centro de Ciências Agrárias/UFSCAR, 2008.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. IAC, Campinas. 2001. 285 p.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 233-243. (Boletim, 100).

SANTANA, M. S.; OLIVEIRA, F. J.; MELO, L. J. O T. Correlações genéticas em alguns clones RB e em variedades de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 4, p. 460-467, 2010.

SANTOS, O. S. **Adsorção de micronutrientes e metais potencialmente tóxicos por torta de filtro da cana-de-açúcar: influência da matéria orgânica na interação desses elementos no ambiente**. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado em Química e Biotecnologia) - Instituto de Química e Biotecnologia, Programa de Pós-Graduação em Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, 2010.

SILVA, D. N. **Comportamento de genótipos de cana-de-açúcar com irrigação de salvamento em Goianésia-GO**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Genética e Melhoramento). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2015.

SOUZA, A. M.; VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: Departamento de Estatística UFSM. 2005. 215 p.

SPIRONELLO, A.; RAIJ, B.; PENATTI, C. P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J. L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. IAC, Campinas. 1997. p. 233-243.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Laboratory of Climatology. 1955. 104 p. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1.).

TIECHER, T.; SANTOS, D. R, RASCHE, J. W. A.; BRUNETTO, G.; MALLMANN, F. J. K.; PICCIN, R. Resposta de culturas e disponibilidade de enxofre em solos com diferentes teores de argila e matéria orgânica submetidos à adubação sulfatada. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 518-527, 2012.

VASCONCELOS, R. L. **Fontes de fósforo e torta de filtro sobre o estado nutricional e produtividade da cana-planta**. 2013. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2013.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, n. 1, p. 29-37, 1934.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas aplicadas nos capítulos possibilitaram analisar informações que contribuíram para uma maior compreensão, de aspectos relacionados aos efeitos de doses de P (fontes de P na presença e ausência de torta de filtro) na cana-de-açúcar sob irrigação de salvamento.

Os modelos *fuzzy* apresentados demonstraram que a variável de entrada doses de P tem efeito positivo nas fontes de P em todas as variáveis de saída seja na presença e ausência de torta de filtro, em particular no superfosfato triplo e na produção de colmos.

A análise de componentes principais foi eficiente em indicar a relevância das variáveis: produção de colmos, sacarose, TPH e ATR na cultura de cana-de-açúcar nas condições experimentais. Sendo para TPH e ATR verificado comportamento inverso, podendo-se atribuir a condição climática do local, com efeito na fase de maturação da cultura.

A produtividade da água para produção de colmos e açúcar apresentaram maiores valores, quando na presença da torta de filtro e doses de P. A torta de filtro, por possuir grande capacidade higroscópica contribuiu com a manutenção da umidade do solo, e, por conseguinte, com melhores resultados para todas as variáveis.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. P.; QUEIROZ, T. R. Caracterização dos aspectos e impactos econômicos, sociais e ambientais do setor sucroalcooleiro Paulista. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: SOBER, 2008. p. 21.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS- ANA. **Atlas da Irrigação – Uso da água na agricultura irrigada**, 2017. Disponível em: <http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>. Acesso em: 10 nov 2018.
- ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolo e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1003-1011, 2003.
- ANDRADE NETO, ROMEU C.; MIRANDA, NEYTON O.; DUDA, GUSTAVO P.; GÓES, GLÊIDSON B.; LIMA, ANDRÉ S. Crescimento e produtividade do sorgo forrageiro BR 601 sob adubação verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 14, n. 2, 124-130, 2010.
- ARALDI, R.; SILVA, F. M. L.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Florescimento em cana-de-açúcar. **Ciência. Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 3, 2010.
- ARGENTON, P. E. **Influências das variáveis edafoclimáticas e de manejo no rendimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região de Piracicaba, São Paulo**. 2006. 109 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- ASPELMEIER, S.; LEUSCHNER, C. Genotypic variation in drought response of silver birch (*Betula pendula*): leaf water status and carbon gain. **Tree Physiology**, Oxford, v. 24, n. 5, p. 517-528, 2004.
- AVALHÃES, C. C.; PRADO, R. M. Compostagem de resíduos da indústria sucroalcooleira enriquecidos com fontes alternativas de P. **Nucleus**, Ituverava, v. 6, n. 1, p. 271-283, 2009.
- BATISTA, E. L. S.; ZOLNIER, S. R. A.; LYRA, G. B.; SILVA, T. G. F.; BOEHRINGER, D. Modelagem do crescimento de cultivares de cana-de-açúcar no período de formação da cultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v. 17, n. 10, p. 1080-1087, 2013.
- BARBIERI, V.; VILLA NOVA, N. A. **Climatologia e a cana-de-açúcar**. In: PLANALSUCAR, COORDENADORIA REGIONAL SUL. COSUL. Araras. 1977. p. 1-22.
- BESFORD, R. T. Nutrients imbalances in tomato plants and acid phosphatase activity in the leaves. **Journal of the Science Food Agriculture**, Londres, v. 30, n. 3, p. 275-280, 1979.

BORGHETTI, J. R.; SILVA, W. L. C.; NOCKO, H. R.; LOYOLA, L. N.; CHIANCA, G. K. **Agricultura irrigada sustentável no Brasil: identificação de áreas prioritárias**. Agência Nacional de Águas - ANA, Brasília, 2017, 243 p.

BOVI, M. L. A.; BASSO, L. C.; TUCCI, M. L. S. Avaliação da atividade “in vivo” da fosfatase ácida e do crescimento de progênies de pupunheira cultivadas em duas doses de nitrogênio e P. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 427-434, 1998.

BREZOLIN, A. P. **Modelagem matemática para otimização e previsibilidade de produtividade do trigo pelas formas de fornecimento do nitrogênio**. 2015, 149 f. (Dissertação em Modelagem Matemática), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Unijuí.

BURR, G. O.; HARTT, C. E.; BRODIE, H. W.; TANIMOTO, T.; KORTSCHAK, H. P.; TAKAHASHI, D.; ASHTON, F. M.; COLEMAN, R. E. The sugarcane plant. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 8, p. 275-308, 1957.

CAIONE, G.; FERNANDES, F. M.; LANGE, A. Efeito residual de fontes de P nos atributos químicos do solo, nutrição e produtividade de biomassa da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 2, p. 189-196, 2013.

CAIONE, G.; LANGE, A.; BENETT, C. G. S.; FERNANDES, F. M. Fontes de P para adubação de cana-de-açúcar forrageira no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011.

CALHEIROS, A. S.; OLIVEIRA, M. W.; FERREIRA, V. M.; BARBOSA, G. V. B.; SANTIAGO, A. D.; ARISTIDES, E. V. S. Production of biomass, from sugar and protein in function of sugarcane varieties and phosphorous fertilization. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 809-818, 2012.

CARDOZO, N. P.; SENTELHAS, P. C. Climatic effects on sugarcane ripening under the influence of cultivars and crop age. **Scientia Agricola**, v. 70, n.6, p. 449-456, 2013.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da Safra Brasileira, v. 4 - Safra 2014 - 2015, Quarto Levantamento. Disponível em: https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/1199_6d17e4217b4a7eb35f603_c18b0b3e06. Acesso em: 10 fev. 2018.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da Safra Brasileira, v. 4 - Safra 2017 - 2018, Quarto Levantamento. Disponível em: https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/17026_e0504d08aca77ee13e86c2e7e7f43424. Acesso em: 19 fev. 2018.

COSTA, V. M. **Irrigação em cana-de-açúcar: uma realidade ainda oculta no Brasil**. CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, 2011, v. 30, n. 2.

COSTA, B. S. J.; BEZERRA, C.; GUEDES, L. A. Desenvolvimento de um software para automação de processos utilizando lógica *fuzzy*., CBA (2012). **XIX Congresso Brasileiro de Automática**.

COX, E. **The Fuzzy Systems Handbook: A Practitioner's Guide to Building, Using, and Maintaining Fuzzy Systems**. A. P Professional. 1994.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. rev. Viçosa: UFV. 2001. 390 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético, vol. 1**. Viçosa: Editora UFV, 2004. p. 171- 201.

DONZELLI, J. L.; COSTA, V. M. Workshop - **Impacto da produção de etanol no balanço hídrico nas regiões de expansão**. CTC - Centro de Tecnologia Canavieira, p.1-2, 2010.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yields response to water**. Rome: FAO, 1979. 306p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 33).

EVERITT, B. S.; LANDAU, S.; LEESE, M.; STAHL, D. **Cluster analysis**. London, 2011. 346p.

FADEL, M.; ABDEL-NASER, A. Z.; MAKAWY, M.; HSONA, M. S.; ABDEL-AZIZ, A. M. Recycling of vinasse in ethanol fermentation and application in Egyptian distillery factories. **African Journal of Biotechnology**. Nairobi. v. 13, n. 47, p. 4390 – 4398, 2014.

FERRAUDO, A. S. **Técnicas de análise multivariada**. 1ª edição. São Caetano do Sul, StatSoft -South America, 2005.

FRAVET, P. R. F.; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 618-624, 2010.

FRIZZONE, J. A. **Otimização em Irrigação com Déficit**. In: PAZ, V. P. S.; OLIVEIRA, A. S.; PEREIRA, F. A.; GHEYI, H. R. Manejo e Sustentabilidade da Irrigação em Regiões Áridas e Semi-Áridas. Cruz das Almas: UFRB, 2014. p. 274 – 307.

GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

GOUDRIAAN, J.; MONTEITH, J. L. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf area expansion. **Annals of Botany**, Oxford. v. 66, p. 695-701, 1990.

GOUVÊA, J. R. F. **Mudanças Climáticas e a expectativa de seus impactos da cultura de cana-de-açúcar na região Piracicaba- SP**. 2008. 99 f. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

HAAG, H. P.; DECHEN, A. R.; CARMELO, Q. A. C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar, cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. cap. 1, p. 88-159.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agronômica de fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (ed). **P na Agricultura Brasileira**. POTAFOS, Piracicaba. 2004. p. 665-682.

HOUSSAIN, A. A.; ABO GHALIA, H. H.; ABDALLAH, S. A. Rock phosphate solubilization by Aspergilli species grown on olive-cake waste and its application in plant growth improvement. **Egyptian Journal of Biology**, Cairo, v. 3, n.1, p. 89-96, 2001.

KEATING, B. A.; VERBURG, K.; HUTH, N. I.; ROBERTSON, M. J. Nitrogen management in intensive agriculture: sugar cane in Australia. In: KEATING, B. A.; WILSON, J. R. (Ed.). **Intensive sugar cane production: meeting the challenges beyond 2000**. Wallingford: CAB International, 1997. p. 221-242.

KEFLENS, P. C. O. **O Biplot na análise fatorial multifatorial**. 2009. 103 f. Dissertação (Mestre em Ciências – Estatística e Experimentação Agrônômica) – Escola Superior "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2009.

KNOX, J.W.; RODRÍGUEZ DÍAZ, J.A.; NIXON, D.J.; MKHWANAZI, M. A preliminary assessment of climate change impacts on sugarcane in Swaziland. **Agricultural Systems**, v.103, p.63-72, 2010.

KROPFF, M. J.; MUCHOW, R. C.; RABBINGE, R.; AGGARWAL, P. K. Limits to intensive agricultural systems and opportunities for sustainable agricultural development. In: KEATING, B. A.; WILSON, J. R. (Ed.). **Intensive sugarcane production: meeting the challenges beyond 2000**. Wallingford: CAB International, 1997. p. 17-35.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2-3, p. 185-202, 2005.

JACOB, J.; LAWLOR, D. W. Stomatal and mesophyll limitations of photosynthesis in phosphate deficient sunflower, maize and wheat plants. **Journal Experimental Botany**, Exeter, v. 42, n. 241, p. 1003-1011, 1991.

KORNDÖRFER, G. H. Fósforo na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004. p. 290-306.

KORNDÖRFER, G. H. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. In: SÁ, M. E.; BUZETTI, S. (Ed.). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994, cap. 7. p. 133-142.

KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cultura da cana-de-açúcar à adubação fosfatada. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 102, p. 7, 2003.

KUWAHARA, F. A.; SOUZA, G. M. P como possível mitigador dos efeitos da deficiência hídrica sobre o crescimento e as trocas gasosas de *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 Vitória. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 261-267. 2009.

LYRA, G. B.; ZOLNIER, S.; COSTA, L. C.; SEDIYAMA, G. C.; SEDIYAMA, M. A. N. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, p. 69-77, 2003.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

MAMDANI, E. **Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic systems**. *Fuzzy, Sets and Systems*, v. 26, p. 1182–1191, 1977.

MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULIO JÚNIOR, J. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, 2009. p. 111-130.

MASCHIO, R. **Produtividade da água em biomassa e energia para 24 variedades de cana-de-açúcar**. 2011. 87f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MATIAS, G. C. S. **Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de P e teores de matéria orgânica**. 2010. 175f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MOORE, P. H.; BOTHA, F. C.; FURBANK, R. T.; GROF, C. P. L. Potential for overcoming physio-biochemical limits of sucrose accumulation. In: KEATING, B. A.; WILSON, J. R. (Ed.). **Intensive sugarcane production: meeting the challenges beyond 2000**. Wallingford: CAB International, 1997. p. 141–155.

NARDIN, R. R. **Torta-de-filtro aplicada em Argissolo e seus efeitos agronômicos em duas variedades de cana-de-açúcar colhidas em duas épocas**. 2007. 57f. Dissertação de mestrado (Mestrado em Agricultura tropical e subtropical) – Curso de pós-graduação em agricultura tropical e subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, 2007.

NICKELL, L. G. Sugarcane. In: ALVIN, P. KOZLOWSKI, T. (Ed.). **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic Press, 1977. p. 89-110.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399 p.

NUNES JÚNIOR, D. Torta de filtro: de resíduo a produto nobre. **IDEA News**, Ribeirão Preto, v. 8, n. 92, p. 22-30, 2008.

O'LEARY, G.J. A review of three sugarcane simulation models with respect to their prediction of sucrose yield. **Field Crops Research**, v. 68, p. 97-111, 2000.

PEACOCK, S. D.; STARZAK, M. Modelling of climbing film evaporators. **Proceedings of South African Sugarcane Technology Association**, Bangkok, v. 70, p. 213–220, 1996.

PEDRYCZ, W. An identification algorithm in *fuzzy* relational systems. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 13, p. 153–167, 1984.

RAIJ, B.; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1997. p. 233-243. (Boletim, 100).

RAMOS, R. C.; NACHILUK, K. Geração de Bioenergia de Biomassa da Cana-de-açúcar nas Usinas Signatárias ao Protocolo Agroambiental Paulista, Safra 2015/2016. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 12, n. 4, abr. 2017. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=14278>. Acesso em: mai. 2018.

REICH, P. B.; OLEKSYN, J.; WRIGHT, I. J. Leaf phosphorus influences the photosynthesis-nitrogen relation: a cross-biome analysis of 314 species. **Oecologia**, Heidelberg, v. 160, n. 2, p. 207-212, 2009.

REIS, N. P. Perspectivas para o P. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO SETOR DE FERTILIZANTES, 2., 2002, São Paulo. **Palestra...** São Paulo: ANDA, 2002. 364 p.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; PRADO JÚNIOR, J. P. Q. Fósforo. In: DINARDO-MIRANDA, L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A (Ed). **Cana-de-açúcar**. IAC, Campinas. 2010, p. 272.

REZENDE, R. S. ANDRADE JUNIOR, A. S. **Cana-de-açúcar: irrigação**. 2019. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeaucar/arvore/CONTAG01_56_711200516718.html. Acesso em: 17 fev 2019.

SALGADO, S. A. B. **Avaliação da probabilidade de ocorrência de queda de estruturas metálicas de linhas de transmissão usando regressão logística e redes neurais artificiais combinadas com doe**. 2015. 127 f. (Tese em Engenharia Elétrica – Ciências de Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

SANTOS, L. C. **Produção de biomassa e eficiência no uso da água para oito variedades de cana-de-açúcar irrigadas or gotejamento em dois ciclos de cultivo**. 2016. 196f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

SANTOS, V. R.; MOURA FILHO, G.; ALBUQUERQUE, A. W.; COSTA, J. P. V.; SANTOS, C. G.; SANTOS, A. C. I. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de P. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 389-396, 2009.

SANTOS, D. L; SENTELHAS, P. C. Climate change scenarios and their impact on the water balance of sugarcane production areas in the State of São Paulo, Brazil. **Ambiente e Água**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 7-17, 2012.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 454-461, 2010.

SILVA, F. C.; BASSO, L. C. Avaliação da atividade in vivo da fosfatase ácida da folha na diagnose da nutrição fosfórica em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 371-375, 1993.

SILVA, F. C.; BERGAMASCO, A. F. Levantamento de modelos matemáticos descritos para a cultura da cana-de-açúcar. **Revista Biociências**, v. 7, n. p. 7-14, 2001.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; CARMO, J. F. A.; SOUZA, L. S. B. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no submédio do vale do São Francisco. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 500-509, 2012.

SIMÕES NETO, D. E.; OLIVEIRA, A. C. D.; ROCHA, A. T. D.; FREIRE, F. J.; FREIRE, M. B. D. S.; NASCIMENTO, C. W. D. Industrial characteristics of sugar cane under phosphate fertilization in soils of Pernambuco Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 347-354, 2012.

SOUSA JUNIOR, P. R. **Modos de aplicação e doses de fósforo na cana-de-açúcar em distintos manejos de solo**. 2016. 52f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2016.

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: Influência na adsorção de P em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 975-983, 2006.

SUGUITANI, C. **Entendendo o crescimento e produção da cana-de-açúcar: avaliação do Modelo Mosicas**. 2006. 62 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

TAKAGI, T.; SUGENO, M. *Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control*. **IEEE Transactions of Systems, Man, and Cybernetics**, v. 1, n. 15, p. 116–132, 1985.

TARUMOTO, M. B. **Eficiência de uso de fósforo por dois genótipos de cana-de-açúcar cultivados em solução nutritiva**. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016

ÚNICA. **União da Indústria de Cana-de-Açúcar**. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br>. Acesso em: 19 fev. 2018.

VASCONCELOS, R. L. **Fontes de fósforo e torta de filtro sobre o estado nutricional e produtividade da cana-planta**. 2013. 61 f. (Dissertação em Agronomia - Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Jaboticabal.

VASCONCELOS, R. L.; ALMEIDA, H. J.; PRADO, R. M.; SANTOS, L. F. J.; PIZAURO JÚNIOR, J. M. Filter cake in industrial quality and in the physiological and acid phosphatase activities in cane-plant. **Industrial Crops and Products**, v. 105, p. 133-141, 2017.

VASSILEV, N.; MEDINA, A.; AZCON, R.; VASSILEVA, M. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P uptake. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 287, n. 1-2, p. 77-84. 2006.

VERMAAS, L. L. G. **Aprendizado supervisionado de sistemas de inferencia fuzzy aplicado em veículos inteligentes**. 2010. 133 f. (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais.

WALDRON, J. C.; GLASZIOU, K. T.; BULL, T. A. The physiology of sugar cane. IX. Factors affecting photosynthesis and sugar storage. **Australian Journal of Biological Sciences**, East Melbourne, v. 20, n. 6, p. 1043-1052, 1967.

WOOD, A. W. Application of crop growth models to sugar milling and raw sugar marketing. In: ROBERTSON, M.J. (Ed.). **Research and modelling approaches to assess sugarcane production opportunities and constraints**. Brisbane: CSIRO, 1995. p. 97-101.

ZHANG, J.; BARBER, A. S. Maize root distribution between phosphorus-fertilized and unfertilized soil. **S. S. S. A. J.**, Madison, 2012, v. 56, n. 3, p. 819-822, 2012.