

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

MARIANA LIMA DE JESUS

MAPEAMENTO DO ESTADO NUTRICIONAL DO MAMOEIRO

ALEGRE

2016

MARIANA LIMA DE JESUS

MAPEAMENTO DO ESTADO NUTRICIONAL DO MAMOEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração de Recursos hídricos e Geoprocessamento.

Orientador: Prof^o DSc. Julião Soares de Souza Lima

ALEGRE

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

J58m Jesus, Mariana Lima de, 1987-
Mapeamento do estado nutricional do mamoeiro / Mariana Lima de Jesus. – 2016.
106 f. : il.

Orientador: Julião Soares de Souza Lima.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Diagnóstico nutricional. 2. Lógica difusa. 3. Mamão. 4. Análise foliar.
I. Lima, Julião Soares de Souza. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. III. Título.

CDU: 63

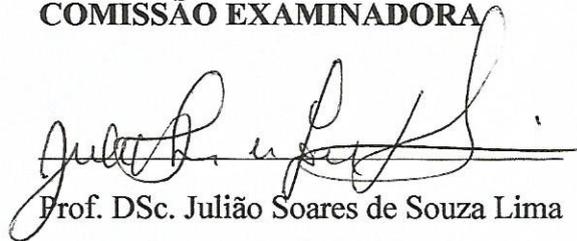
MARIANA LIMA DE JESUS

MAPEAMENTO DO ESTADO NUTRICIONAL DO MAMOEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de *Magister Scientiae* em Produção Vegetal, na área de concentração de Recursos hídricos e Geoprocessamento.

Aprovada em 12 de Julho de 2016.

COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. DSc. Juliano Soares de Souza Lima

CCA – UFES (Orientador)



Prof. DSc. Samuel de Assis Silva

CCA – UFES (membro interno)



Prof. DSc. Alexandre Candido Xavier

CCA – UFES (membro interno)



Prof. DSc. Moisés Zucoloto

CEUNES – UFES (membro externo)

A Aline Medeiros, meu primeiro amor, minha mãe, minha força, minha referência de vida.

Aos meus sobrinhos, Carol, Samu, Zizinho e Pedrinho, meus amores.

Aos meus irmãos Alex e Quelle, com que sempre pude contar.

Aos meus tios, Teté, Ornélia, Edileusa, Ornã, Helena e Celso, minha base.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao professor Julião Soares de Souza Lima, pela paciência, pela oportunidade de trabalhar com algo novo e de grande relevância, pela orientação e pelos conselhos amigos.

Aos professores Samuel de Assis Silva e Alexandre Candido Xavier pelas colaborações, considerações e ensinamentos.

Ao professor Moisés Zucoloto por compor a banca examinadora do presente trabalho, colaborando com o enriquecimento do mesmo.

Ao Professor Edvaldo Fialho Reis, pela amizade e paciência.

Aos meus amigos, irmãos e eternos veteranos Jadson Jordão Ribeiro, Oziel Pinto Monção e Cristiano Rodrigues, por estarem presentes em minha vida desde a graduação, me incentivando e apoiando.

Aos amigos Luciana Ventura e Luís Moreira, que levarei no meu coração, por estarem sempre ao meu lado, por suportarem minhas birras, meus ciúmes, meus dramas, minhas reclamações, minhas “deprê”, por comerem minhas comidas mesmo estando ruins. Por me estressarem, por me fazerem rir, pelos debates, pelos bons momentos que nunca esquecerei e pelas contribuições acadêmicas.

Aos amigos Antonio Drumond (Tony mito) e Abel Fonseca, primeiro pela paciência (risos), pela parceria e conselhos, sempre bem vindos, pela ajuda com a geoestatística e por nossos futuros trabalhos.

À Madalena e Alessandra, pelo apoio e prestatividade.

À amiga Alineane Barbosa, pela amizade, pelo apoio espiritual, por me ajudar ser uma pessoa melhor.

À todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a formação da mestranda.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do CCA- UFES (PPGPV), pela oportunidade de estudo.

À CAPES e FAPES, pelo apoio financeiro à pesquisa.

Obrigada.

Construí amigos, enfrentei derrotas, venci obstáculos, bati na porta da vida e disse-lhe: Não tenho medo de vivê-la.

Augusto Cury (2008)

RESUMO

A geoestatística é utilizada no estudo da variabilidade espacial com base na estimativa e identificação das inter-relações dos atributos estudados, no espaço e no tempo, permitindo a otimização das malhas de amostragem, considerando a dependência espacial entre as observações. A classificação *fuzzy* possibilita gerar agrupamentos considerando a pertinência de cada valor amostrado de determinado atributo associado a cada classe pré-definida. À vista disso, objetivou-se com este trabalho mapear a variabilidade espacial do estado nutricional do mamoeiro, grupo Solo, Golden THB, com base no Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) e na classificação *fuzzy* dos teores foliares do pecíolo. O estudo foi realizado com dados de produtividade e de teores foliares do pecíolo do mamoeiro (2010/2011) de 129 pontos georeferenciados, de uma lavoura comercial de mamão, cultivada no Norte do Estado do Espírito Santo. Na fase de sexagem, contou-se o número de botões florais e coletaram-se folhas recém-maduras, caracterizadas por apresentar uma flor recém-aberta em sua axila. O material, após colhido, foi acondicionado em envelope de papel e seco em estufa a 70°C até massa constante, moídas e enviadas para análise foliar, onde se obteve as concentrações dos macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S; e dos micronutrientes: Zn e Mn. A colheita dos frutos, para determinação da produção, foi realizada no nono mês de idade, no estágio 2 de maturação, com a massa dos frutos obtida em balança digital. A partir dos teores foliares foram calculados os índices DRIS e, com os valores, determinaram-se os índices de balanço nutricional (IBN) para cada ponto amostral. Os valores dos teores foliares, IBN, número de botões florais (NBF), massa de fruto (MF) e de produtividade (PRD) foram submetidos à análise exploratória e descritiva. Fez-se análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre IBN, índice DRIS de cada nutriente, NBF, MF e PRD. Ajustou-se os semivariogramas para verificar e quantificar a dependência espacial das variáveis avaliadas, seguido da elaboração dos mapas da variabilidade espacial por meio da interpolação por krigagem ordinária. Para a confecção do mapa do estado nutricional por meio do sistema de lógica *fuzzy*, classificaram-se os mapas de cada nutriente utilizando a função de pertinência trapezoidal. O efeito combinado dos teores foliares foi medido empregando o operador *fuzzy* soma convexa. A lavoura apresenta desequilíbrio nutricional, indicado pelos dois métodos de avaliação utilizados. O IBN não apresentou correlação linear com a produtividade. A identificação do

nutriente mais limitantes por falta, Mn, possibilita auxiliar no manejo de adubação nas áreas em que o IBN apresenta maiores valores. A utilização do método *fuzzy* permitiu visualizar as mudanças de classe dos teores foliares de cada nutriente e facilitou a interpretação do estado nutricional considerando os nutrientes em estudo.

PALAVRAS CHAVE: DRIS. Lógica fuzzy. *Carica papaya*. Geoestatística. Análise foliar.

ABSTRACT

Geostatistics is used in study of spatial variability based on the estimation and identification of the interrelationships of the attributes studied, in space and time, allowing the optimization of sampling grid considering the spatial dependence between the observations. The fuzzy classification enables generate clusters considering the degrees of pertinence of sampled value of a particular attribute associated with each predefined class. In view of this, the aim of this study was to map the spatial variability of the nutritional status of papaya, Grupo Solo, Golden THB, based in the Integrated System for Diagnosis and Recommendation (ISDR) and in the Fuzzy classification of the foliar levels of petiole. The study was conducted with productivity data and in the foliar levels of petiole (2010/2011) of 129 georeferenced points, a commercial farming of papaya, Grupo Solo, grown in the north of the Espirito Santo state. In the sexing phase, counted the number of flower buds and collected up newly mature leaves, characterized by presenting a newly opened flower in your armpit. The material, collected after, it was packed in an envelope of paper, dried at 70° C to constant weight, was ground and sent for foliar analysis, where there was obtained the concentrations of the macronutrients N, P, K, Ca, Mg, S; and micronutrients Zn and Mn. The fruit harvest, to determine the production, it was made in the ninth month of age, stage 2 of ripeness, with the mass of the fruits obtained in digital scale. From the foliar levels the ISDR indices were calculated and, with the values, were determined the nutritional balance index (NBI) for each sample point. The values of foliar levels, NBI, number of flower buds (NFB), fruit mass (FM) and productivity (PRD) underwent exploratory and descriptive analysis. Was made Pearson correlation analysis ($p \geq 0.05$) in between NBI, ISDR index of the nutrient, NFB, FM and PRD. Was made adjusting semivariogram to verify and quantify the spatial dependence of variables, followed by the preparation of maps of spatial variability through interpolation by ordinary kriging. Was made adjusting semivariogram to verify and quantify the spatial dependence of variables, followed by the preparation of maps of spatial variability through interpolation by ordinary kriging. For confection the map of the nutritional status through the fuzzy logic system, were classified the maps of each nutrient using the trapezoidal membership function. The combined effect of foliar levels was measured using the operator fuzzy convex sum. The crop presents nutritional imbalance, indicated by the two evaluation methods. O NBI showed no linear correlation with

productivity. The identification of the most limiting nutrient for lack, Mn, enables assist in the fertilizer management in areas NBI has higher values. The use of fuzzy method allowed to visualize the foliar levels in each class, and and facilitated the interpretation of nutritional status considering the nutrients in study.

KEY WORDS: DRIS. Fuzzy logic. *Carica papaya*. Geoestatistic. Leaf analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de semivariograma e seus componentes. C: componente estrutural; C₀: efeito pepita; C₀+C₁: patamar; a: alcance de dependência espacial.....24

CAPÍTULO I

Figura 1 – Frequência (%) das classes de resposta para os macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S, e micronutrientes: Mn e Zn, em amostras de folhas de mamoeiro do grupo Solo.....49

Figura 2 – Superfície de resposta do IBN em função do P e do Mn foliar.....53

Figura 3 – Semivariogramas ajustados aos valores observados do IBN (A), produtividade (Mg ha⁻¹) (B), número de botões florais (C) e massa de fruto (kg fruto⁻¹).....55

Figura 4 – Mapa de distribuição espacial do IBN do mamoeiro.....57

Figura 5 – Mapas de número de botões florais (NBT) e massa de fruto (MF).....59

CAPÍTULO II

Figura 1 – Conjuntos *fuzzy* para a variável de entrada do estado nutricional do mamoeiro....71

Figura 2 – Conjuntos *fuzzy* para a variável de saída dos teores foliares dentro da faixa ideal.....76

Figura 3 – Mapas temáticos dos graus de pertinências para o conjunto dos teores ideais para N e K (A e C, respectivamente) e para conjunto dos teores abaixo do ideal para N e K (B e D, respectivamente).....78

Figura 4 – Mapas temáticos dos graus de pertinências para o conjunto dos teores ideais para Ca e Mg (A e C, respectivamente) e para conjunto dos teores abaixo do ideal para Ca e Mg (B e D, respectivamente).....80

Figura 5 – Mapas temáticos dos graus de pertinências para o conjunto dos teores ideais para P e Zn (A e C, respectivamente) e para conjunto dos teores acima do ideal para P e Zn (B e D, respectivamente).....81

Figura 6 – Mapas temáticos dos graus de pertinências para o conjunto dos teores ideais para S e Mn (A e D, respectivamente), para conjunto dos teores abaixo do ideal para S e Mn (B e E, respectivamente) e para conjunto dos teores acima do ideal para S e Mn (C e F, respectivamente).....82

Figura 7 – Mapa Fuzzy do estado nutricional do mamoeiro.....83

Figura 8 – Mapa de produtividade (PRD), em Mg ha⁻¹.....84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teores de macro e micronutriente considerados ideais para o pecíolo foliar do mamoeiro do grupo Solo.....	18
---	----

CAPÍTULO I

Tabela 1 – Teores foliares de macro e micronutrientes considerados adequados para pecíolo de mamoeiro.....	43
Tabela 2 – Critério para classificação da resposta de adubação de acordo com o índice DRIS.....	45
Tabela 3 – Estatística descritiva do IBN; da produtividade; da massa do fruto; e do número de botões florais	48
Tabela 4 – Análise de correlação de Pearson, significativa ao nível de 5% de probabilidade, entre os índices DRIS (ID) de cada nutriente, os teores foliares, índice de balanço nutricional e os atributos relativos a planta.....	50
Tabela 5 – Frequência em que os pontos avaliados apresentaram-se como limitantes, por falta ou deficiência (LF), por excesso (LE), e não limitantes (NL) para a cultura do mamoeiro	58
Tabela 6 – Modelo de regressão linear múltipla (passo-passo) entre o IBN e os teores foliares.....	53

CAPÍTULO II

Tabela 1 – Estatística descritiva dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Mn, da produtividade; da massa do fruto; e do número de botões florais.....	72
Tabela 2 – Modelos e Parâmetros dos semivariogramas para os atributos que caracterizam o estado nutricional e a produtividade do mamoeiro	75

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Semivariograma experimental.....	23
Equação 2. Modelo esférico.....	25
Equação 3. Modelo exponencial.....	25
Equação 4. Modelo gaussiano.....	26
Equação 5. Modelo efeito pepita puro.....	26
Equação 6. Grau de dependência espacial.....	27
Equação 7. Krigagem ordinária.....	28

CAPÍTULO I

Equação 1. Função normal reduzida.....	43
Equação 2. Índice DRIS.....	44
Equação 3. Índice de Balanço Nutricional.....	44
Equação 4. Índice de Balanço Nutricional médio.....	44
Equação 5. Regressão linear múltipla.....	46
Equação 6. Limite inferior no qual o ponto será considerado discrepante.....	46
Equação 7. Limite superior no qual o ponto será considerado discrepante.....	46
Equação 8. Semivariograma experimental.....	47

CAPÍTULO II

Equação 1. Semivariograma experimental.....	68
Equação 2. Função de pertinência trapazoidal.....	69
Equação 3. Função de pertinência em S.....	70
Equação 4. Função de pertinência em Z.....	70

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 DIAGNOSE NUTRICIONAL DO MAMOEIRO	18
2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO	20
2.3 GEOESTATÍSTICA.....	21
2.3.1 Semivariograma.....	23
2.3.2 Krigagem.....	27
2.4 LÓGICA FUZZY	28
3. SISTEMATIZAÇÃO DO ESTUDO.....	31
3.1 COLETA DOS DADOS.....	32
REFERÊNCIAS	34
CAPÍTULO I – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE DE BALANÇO	
NUTRICIONAL DE	
MAMOEIRO	40
RESUMO	40
ABSTRACT	40
1. INTRODUÇÃO	41
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
2.1 SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E	
RECOMENDAÇÃO	43
2.2 CORRELAÇÃO DE PEARSON.....	45
2.3 ANÁLISE	
GEOESTATÍSTICA.....	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
3.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA E DESCRITIVA.....	47

3.2 SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO	50
4. CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	61
CAPÍTULO II – APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY NA ANÁLISE ESPACIAL DO ESTADO NUTRICIONAL DO MAMOEIRO.....	66
RESUMO	66
ABSTRACT	66
1. INTRODUÇÃO	67
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	68
2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS CONJUNTOS FUZZY DE ENTRADA	69
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
2.3 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA.....	74
2.4 LÓGICA FUZZY NA ANÁLISE DOS DADOS	76
4. CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	86
ANEXO.....	89
APÊNDICES.....	90

1. INTRODUÇÃO GERAL

A fruticultura é uma atividade agrícola de grande relevância para o Brasil, que se destaca não apenas na produção das principais frutas consumidas no mundo, mas também no consumo. Tendo importância na alimentação humana, devido à presença da papaína, enzima que auxilia no processo de digestão das proteínas, o mamão é o quinto fruto mais consumido pelos brasileiros e o quinto mais produzido no país (SILVEIRA et al. 2011).

O Brasil se destaca como terceiro maior produtor mundial de mamão com área plantada de 35.850 ha e rendimento médio de 50,06 t ha⁻¹ (IBGE, 2014). Os principais produtores brasileiros são Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Ceará e Rio Grande do Norte. Com apenas 6.342 hectares cultivados com a cultura, o Espírito Santo apresenta rendimento (63,03 t ha⁻¹) de 25,91% acima da média nacional, colocando o estado em segundo lugar no ranking de produtividade (IBGE, 2014).

O mamoeiro é cultivado predominantemente na região norte do Estado do Espírito Santo, em solos típicos dos tabuleiros costeiros que se caracterizam por serem solos caulíníticos, geralmente ácidos, distróficos, com baixos teores de fósforo, bases, matéria orgânica e CTC, o que requer um suprimento constante e adequado nutrientes para que o cultivo do mamão atinja seu potencial de produção (SANTOS et al. 2013).

A recomendação de adubação preconiza uma adubação de pré-plantio, baseada no diagnóstico da fertilidade do solo, aliada a adubação de manutenção, de acordo com a necessidade da planta, identificada por meio da diagnose foliar. Taiz e Zeiger (2009) destacam que, por permitir a melhor identificação da deficiência nutricional, a análise foliar possibilita correções por meio da aplicação foliar de fertilizantes que contenham os minerais necessários ao restabelecimento do equilíbrio nutricional.

Dentre as várias metodologias existentes, capazes de avaliar o estado nutricional das plantas, o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) é uma alternativa viável, científica e capaz de inferir respostas rápidas e práticas no decorrer do desenvolvimento das lavouras (CRESTE, 2008). É considerado um método de interpretação holístico, menos afetado por alguns fatores que influenciam nos teores de nutrientes nas plantas e é capaz de ordenar os

nutrientes em sua ordem de limitação e importância no presente momento (AMARAL et al. 2012).

O DRIS tem como vantagem a possibilidade de identificar quando a produção está limitada por desequilíbrio nutricional, mesmo quando nenhum dos seus nutrientes está abaixo de seu nível crítico. Reis Junior et al. (2002) argumentam que a identificação dos nutrientes limitantes tem sido cada vez mais apoiada para o diagnóstico nutricional das plantas por meio do DRIS.

A compreensão do equilíbrio nutricional da planta e a relação entre os nutrientes conduzem, juntamente com análise de solo, programas de adubação que podem ser manejadas de forma localizada. A interpretação da análise foliar, quando associada às técnicas de agricultura de precisão, reduz as perdas decorrentes de manejos inadequados por meio do estudo da variabilidade espacial do estado nutricional das culturas (VIEIRA et al. 2010).

O tratamento diferenciado das áreas selecionadas de um campo de produção, com base na variabilidade intracampo da cultura, envolve todo um processo de investigação e diagnóstico (MOLIN e MENEGATTI, 2005). Desta forma, conhecer a variabilidade espacial do DRIS possibilita a recomendação de adubações mais equilibradas e economicamente mais ajustadas, permitindo o monitoramento espacial do balanço nutricional (SILVA; LIMA; QUEIROZ, 2011).

A geoestatística, ferramenta utilizada para estudar a variabilidade espacial, quando associado a métodos que têm sua essência na aceitação da incerteza, possibilita resultados mais significativos. A lógica *fuzzy* possibilita apresentar, de forma matemática, a associação parcial de um indivíduo que possui similaridades a vários grupos (ZADEH, 1965). Isso permite maior detalhamento para os mapas de teor de nutrientes e também no mapa de integração (ALBA, 2014), aumentando a eficiência do sistema agrícola, uma vez que facilita a interpretação dos dados e dão suporte às tomadas de decisão.

O método *fuzzy* permite um mapeamento adequado por demonstrar, de forma contínua e gradual, áreas de transição na classificação da fertilidade do solo, permitindo classificar os solos de baixa, média e alta fertilidade (MEIRELLES; MOREIRA e CAMARA, 2007; SILVA et al. 2010). Pelo método *fuzzy* é possível explicar matematicamente se o estado nutricional é bom,

medianamente bom ou ruim, uma vez que é definido o quanto os valores coletados em campo pertencem a cada classe.

Considerando o exposto, a presente pesquisa fundamentou-se no objetivo geral de mapear a variabilidade espacial do estado nutricional do mamoeiro (*Carica papaya* L.), grupo Solo, Golden THB, com base na classificação Fuzzy e no Sistema Integrado de Diagnose e Interpretação (DRIS).

Os objetivos específicos foram:

- Identificar os nutrientes limitantes a produtividade do mamoeiro por meio dos índices DRIS e dos Índices de Balanço Nutricional (IBN);
- Determinar, dentre os nutrientes que afetaram os valores do IBN, qual influenciou mais no desequilíbrio e qual apresenta maior resposta à adubação;
- Avaliar a dependência espacial dos teores foliares, do IBN e dos atributos relacionados à planta;
- Identificar o quanto os teores foliares espacializados pertencem ao grupo de teor ideal para cada nutriente, com base na função de pertinência;
- Definir o estado nutricional da lavoura, considerando os graus de pertinência dos nutrientes pertencentes ao grupo de teores ideais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DIAGNOSE NUTRICIONAL DO MAMOEIRO

O mamoeiro é uma cultura exigente em insumos agrícolas, sendo necessário desenvolver tecnologias que permitam reduzir o custo de produção e, que possibilitem incorporar áreas marginais no processo produtivo dessa cultura, como por exemplo, solos de baixa fertilidade (CRUZ et al. 2004). A exigência nutricional do mamoeiro se dá em função das quantidades extraídas e exportadas pelas colheitas, junto com a marcha de absorção dos nutrientes, durante o ciclo da planta (MESQUITA et al. 2010).

A diagnose nutricional deve ser realizada com base nas análises de solo e de folhas, pois a interpretação dos resultados auxiliará na tomada de decisão quanto à recomendação de adubação (COSTA e COSTA, 2011). A análise foliar possibilita correções, que reduzem os impactos sobre a produtividade, por meio da aplicação foliar de fertilizantes que contenham os minerais necessários ao restabelecimento do equilíbrio, uma vez que nas folhas é que ocorrem as principais reações metabólicas e as alterações fisiológicas decorrentes de distúrbios nutricionais (TAIZ e ZEIGER, 2009).

A maioria das pesquisas, visando o estudo do estado nutricional do mamoeiro, apenas determinam os teores de macro e micronutrientes na matéria seca foliar, conforme mostra a Tabela 1. O que ocorre, segundo os autores, devido os valores nutricionais se correlacionarem estatisticamente com a taxa de crescimento e com a produtividade das culturas.

Tabela 1 – Teores de macro e micronutriente considerados ideais para o pecíolo foliar do mamoeiro do grupo Solo.

Autores	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn
1	11-26,4	1,6-1,7	24,9-28,1	16,5-18,4	5,3-5,7	2,6-3,2	41,7-42,9	10,5-15,3
2	14,3	1,6	27,0	17,2	5,3	3,0	43,0	12,0
3	-	5,0-7,0	25-30	20-22	~10	2,4 a 6,0	-	-
4	7-10,5	2,3-4,7	24,5-27,7	10,9-15,6	3,4-5,4	2,1-4,3	29,6-47,3	7,6-25,1
5	6 a 13	2.5 a 3.5	33 a 48	9 a 15	3.8 a 5	5.8 a 8	27 a 50	12 a 17
6	13 a 25	2,0 a 4,0	30 a 60	10 a 25	-	3 a 8	-	12,5 a 17,5

1 – Costa (1995); 2 – Prezotti et al. (2007); 3 – Malavolta, Vitti, Oliveira (1997); 4 – Almeida et al. (2002); 5 – Marinho et al. (2002); 6 – Awada (1977); N, P, K, Ca, Mg e S em g kg⁻¹; Mn e Zn em mg kg⁻¹.

Para Oliveira et al. (2004) o tecido que melhor representa o estado nutricional do mamoeiro para a maioria dos nutrientes é o pecíolo da folha, que apresenta em sua axila uma flor prestes a se abrir ou recentemente aberta. Para melhor interpretação dos resultados da análise foliar é recomendada a utilização de padrões de níveis críticos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997) ou do método DRIS (BEAUFILS, 1973).

O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) foi desenvolvido por Beaufils (1973) e envolve comparações entre as relações de cada par de nutrientes encontrados em determinado tecido da planta, com as relações médias correspondentes às normas preestabelecidas a partir de uma população de referência.

O método DRIS considera o equilíbrio nutricional da planta e a relação entre os nutrientes, permitindo a fácil e rápida visualização e interpretação dos resultados analíticos por intermédio da sequência nutricional em ordem decrescente de requerimento, de deficiência a excesso (AMARAL et al. 2011).

Esse método permite identificar casos em que desequilíbrios nutricionais limitam a produtividade, mesmo quando nenhum dos nutrientes avaliados se encontram abaixo de seu nível crítico. O método fornece a dimensão do balanço nutricional nas plantas, bem como quais os nutrientes estão em excesso e em carência, em relação aos demais elementos (MARTINEZ et al. 2008).

O índice DRIS consiste no somatório das funções normais reduzidas diretas (o nutriente aparece no numerador) subtraídas das funções normais reduzidas inversas (o nutriente aparece no denominador) – dividido pelo número de funções envolvidas no cálculo. O que representa a média aritmética de todos os valores das funções normais reduzidas envolvendo um determinado nutriente (ALVAREZ V. e LEITE, 1992).

Valores positivos do índice DRIS indicam que o nutriente em análise está em excesso em relação aos demais, e os valores negativos indicam insuficiência do elemento (BALDOCK e SCHULTE, 1996). Quanto mais próximos de zero forem os índices DRIS, tanto mais equilibrado estará o balanço nutricional da cultura, independente do sinal.

Pelo DRIS é possível obter o índice de balanço nutricional (IBN), o qual permite comparar o equilíbrio nutricional de diversas lavouras entre si (MARTINEZ et al. 2008; AMARAL et al. 2011). O IBN é calculado pelo somatório dos valores modulares (absolutos) dos índices DRIS obtidos para cada nutriente.

2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura convencional ignora as variações naturais e as induzidas nas propriedades do solo, dentro de cada gleba da lavoura, resultando em superdosagens ou em áreas mal corrigidas, o que impacta econômica e ecologicamente (MOLIN, 2010). Estudos têm revelado que, pela própria natureza dos fatores responsáveis pela sua formação, o solo apresenta heterogeneidade de suas características físicas e químicas, tanto vertical como horizontalmente (ZANÃO JUNIOR et al. 2010; MATTIONI; SCHUCH; VILLELA, 2013).

O termo “Agricultura de Precisão” (AP) refere-se a uma tecnologia cujo objetivo é utilizar estratégias para resolver os problemas da desuniformidade das lavouras e se possível tirar proveito dessa heterogeneidade (BRASIL, 2013). A AP tem por princípio básico o manejo da variabilidade dos solos e das culturas no espaço e no tempo, e suas práticas podem ser desenvolvidas em diferentes níveis de complexidade e diferentes objetivos (BERNARDI; INAMASU; RABELLO, 2009); pode ser dividida em três grandes etapas: a coleta de dados, cujo objetivo é mapear a variabilidade espacial e temporal da produtividade e dos fatores que influenciam nela; a análise de dados e tomada de decisão; e a aplicação localizada de insumos agrícolas (UMEZU e CAPPELLI, 2006).

O gerenciamento localizado das culturas envolve conceitos sobre a variabilidade de propriedades locais e climáticas de uma área, visando aumento da produtividade, otimização no uso dos recursos e redução do impacto da agricultura ao meio ambiente (CORÁ et al. 2004). A AP tem crescido no Brasil, modernizando o modo de gerenciamento das propriedades rurais e desenvolvendo pesquisas relevantes para culturas de interesse comercial.

Vieira et al. (2010) encontraram dependência espacial para os teores foliares de alguns nutrientes e para a produtividade de grãos de soja, adubada de maneira homogênea. Pellin et al.

(2015) encontraram variabilidade espacial nos atributos da cana-de-açúcar, nos atributos físicos de um latossolo vermelho e na correlação entre estes. Berner et al. (2007) afirmaram que o cultivo contínuo aumenta a estabilidade da variabilidade espacial de atributos relacionados à porosidade do solo, em estudo de atributos de solo, em áreas sob colheita mecanizada de cana de açúcar.

Zonta et al. (2014) indicaram que as variações espaciais devem ser consideradas no planejamento de coleta de amostras de solo e nas práticas de manejo do solo, para a cultura do algodão. LIMA et al. (2014) mostraram que a análise quantitativa utilizando mapas permite a observação de que os níveis de produtividade mostram regiões de perda e ganho de forma a alternar entre as diferentes colheitas de cafeeiro canephora,

A utilização da AP no cultivo do mamoeiro é recente no Brasil e mais voltados para características físicas e químicas dos solos cultivados. Lima et al. (2006) e Vitória et al. (2014) analisaram a variabilidade espacial das características físicas de solos cultivados com mamão. Lima et al. (2012) aplicaram agricultura de precisão para quantificar a distribuição espacial de atributos de solo e de plantas na cultura do mamoeiro. Mendes et al. (2007) avaliaram a variabilidade espacial de atributos químicos de um solo, sob cultivo de mamão.

2.3 GEOESTATÍSTICA

O objetivo da geoestatística na agricultura de precisão é modelar a dependência espacial dos atributos que influenciam na produtividade, fazer estimativas e identificar inter-relações destes atributos no espaço, permitindo o estudo de padrões de amostragem adequada, fundamentados na Teoria das Variáveis Regionalizadas. A geoestatística propicia o processamento e a integração de dados, de forma a ajustar por meio do semivariograma, as variáveis que melhor explicam a produtividade (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA, 2000).

A geoestatística surgiu quando Krige (1951), trabalhando com dados referentes à concentração de ouro, não encontrou sentido nas variâncias calculadas sem levar em consideração a distância entre as amostras, ou seja, sua dependência espacial. Baseando-se nestas observações, Matheron (1971), desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas (TVR), que define a

geoestatística como uma função espacial numérica que varia de um local para outro, com uma continuidade espacial aparente e cuja variação não pode ser representada por uma função matemática simples, sendo essa continuidade estimada pelo semivariograma.

A TVR determina que os valores medidos em um determinado local estão de alguma forma em concordância com a sua distribuição espacial, logo, as observações tomadas a curtas distâncias devem ser mais semelhantes do que aquelas tomadas a distâncias maiores (VIEIRA et al. 2002). Pode-se, então, reconhecer ou predizer o comportamento de fenômenos naturais, e que a diferença dos valores de uma dada variável determinada em dois locais dentro de um campo depende da distância entre elas (MATHERON, 1963).

Para aplicação da geoestatística é necessário à introdução de uma restrição de que a variável regionalizada seja estacionária estatisticamente, que significa que os momentos estatísticos da variável aleatória $Z(x_i+h)$ são os mesmos para qualquer vetor h (VIEIRA, 2000). A hipótese de estacionaridade de primeira ordem é definida por Tringmar et al. (1985) como sendo a hipótese de que o momento de primeira ordem da distribuição da função aleatória $Z(x_i)$ é constante em toda a área; já a estacionaridade de segunda ordem é definida quando, além de atender a estacionaridade de primeira ordem, a função aleatória apresenta a característica de, para cada par de valores $[Z(x_i) - Z(x_i+h)]$, a covariância existir e depender apenas da distância de separação h .

A variável aleatória é uma família de valores possíveis, cada valor associado a uma dada probabilidade correspondente à diferença entre dois pontos e, a função aleatória é o conjunto infinito das variáveis aleatórias. O valor médio do quadrado das diferenças entre todos os pares de pontos presentes na área estudada, tomados a uma distância h uns dos outros, e não dependendo dos pontos de apoio, mas dos espaçamentos entre eles, determina o semivariograma.

Souza et al. (2014), analisando diferentes intensidades de amostragem do solo com relação à precisão na análise geoestatística e interpolação de mapas, concluíram que é possível viabilizar a aplicação da agricultura de precisão quando se faz uma recomendação mínima de pontos de amostragem utilizando a geoestatística e a krigagem na elaboração de mapas temáticos.

2.3.1 Semivariograma

O semivariograma é utilizado para determinar a variabilidade espacial dos atributos avaliados, expressando o grau de dependência espacial entre amostras, por meio de seus parâmetros, disponibilizando informações que permitem a estimativa de valores para locais não amostrados, por meio de interpolação por krigagem (VIEIRA, 2000), ou seja, um “medidor” da dependência espacial (VIEIRA et al. 1983)

O semivariograma é o passo mais importante devido o modelo escolhido ser utilizado em todo o processo de krigagem, influenciando em todos os resultados e conclusões, assim, a construção do semivariograma experimental deve ser um passo tão sistemático para avaliação de uma área, como a construção de um histograma o é em estatística clássica (GUERRA, 1988). O semivariograma pode ser: - observado, ou experimental, obtido a partir do conjunto de amostras derivadas da amostragem realizada, portanto o único conhecido; - verdadeiro, que é o semivariograma real das amostras, e é sempre desconhecido; - teórico de referência, ajustado ao modelo experimental por meio de uma função contínua.

O semivariograma é representado pelo gráfico (Figura 1) de semivariância de $\gamma^*(h)$ (semivariância estimada) versus os valores correspondentes de h (distância entre as amostras), que é uma função do vetor h e, portanto, dependem da magnitude e da direção de h . A semivariância é calculado a partir da soma dos quadrados da diferença entre os valores amostrados separados por uma distância h , divididos por duas vezes o número de pares, conforme Equação 1:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \cdot \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i+h) - Z(x_i)]^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

em que: $\gamma^*(h)$ = semivariância estimada; $N(h)$ = número de pares do atributo; $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$ = valores dos atributos medidos na posição x_i e x_i+h , separados por um vetor h (distância entre amostras).

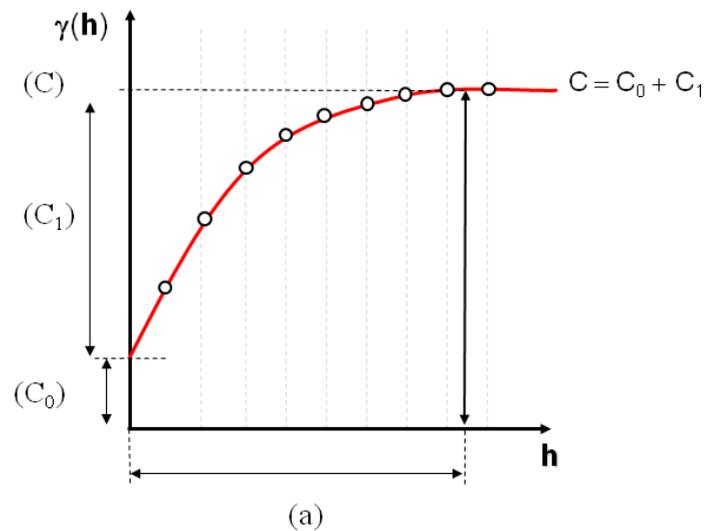


Figura 1 – Modelo de semivariograma e seus componentes. C : componente estrutural; C_0 : efeito pepita; C_0+C_1 : patamar; a : alcance de dependência espacial.

Os somatórios necessários para o cálculo da semivariância devem ser constituídos por um número suficiente de pares de dados para que o resultado seja consistente. Na prática, recomenda-se um mínimo de 30,0 pares, o que pode ser conseguido se for definido como maior h a metade da maior distância existente entre os pontos (LANDIM, 2003).

Analisa-se o comportamento do semivariograma pelos parâmetros da variação do seu campo estrutural entre o efeito pepita (C_0), do patamar (C_0+C_1) e do alcance (a) (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1988). O C_0 é o primeiro ponto e representa a menor distância entre as unidades amostrais, evidenciando o início de uma variabilidade de um ponto em relação a outro. Este parâmetro reflete o erro analítico do experimento, sendo que, valores abaixo do C_0 representam uma variabilidade desconhecida (VIEIRA, 2000).

O patamar (C_0+C_1) corresponde ao ponto em que os valores se estabilizam, ele é atingido quando a variância dos dados se torna constante com a distância entre as amostras; caso o semivariograma apresente constância para qualquer valor de h , tem-se o efeito pepita puro (EEP), que corresponde à ausência total de dependência espacial. A distância na qual (h) o semivariograma atinge o patamar é chamada de alcance (a) e representa a zona de influência de uma observação que separa o campo estruturado (amostras correlacionadas) do campo aleatório (amostras independentes). O alcance indica o limite para a aplicação da geoestatística ou estatística clássica, e o semivariograma é utilizado para determinação da dependência espacial

dos dados de campo, o que pode estar relacionado com a menor distância adotada entre as amostras.

Semivariograma sem patamar definido indica a presença de fenômeno com capacidade infinita de dispersão, e para o qual a covariância, não pode ser definida. Este comportamento se deve a dois fatos principais: não foram obtidos elementos amostrais suficientes afastados para que o patamar fosse detectado; ou ser uma indicação de que a hipótese de estacionaridade não é válida (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989).

A determinação do semivariograma é o passo mais importante de estimativa geoestatística porque o modelo escolhido será utilizado através de todo o processo de interpolação e influenciará todos os resultados e conclusões (LANDIM, 2003). Dentre os diversos métodos de ajuste dos modelos teóricos aos experimentais, o mais utilizado é o método dos mínimos quadrados: i) o coeficiente de determinação (R^2), que mede a variação dos dados devido ao modelo ajustado em relação à variação total dos dados e quanto mais próximo da unidade estiver o valor de R^2 melhor será o modelo ajustado; e ii) soma de quadrados de resíduos (SQR) – quanto menor for este valor, melhor será o modelo de semivariograma.

Para que uma função se torne modelo válido de variabilidade espacial da função aleatória Z , é necessário que ela satisfaça as seguintes condições: $\gamma(0) = 0$; $\gamma(h) \geq 0$; e $-\gamma(h)$ é positiva. Os modelos básicos mais comuns se classificam segundo as seguintes categorias:

- Modelo esférico: $\gamma(h) = \begin{cases} c \left[1,5 \left(\frac{h}{a}\right) - 0,5 \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right], & \text{se } 0 < h \leq a \\ c, & \text{se } h > a \end{cases}$ (Eq. 2)

em que: c = patamar; a = alcance.

É obtido selecionando-se os valores do efeito pepita (C_0) e do patamar ($C_0 + C_1$), depois passando uma reta que intercepte o eixo y em C_0 e seja tangente aos primeiros pontos próximos de $h = 0$. Essa reta cruzará o patamar à distância $a' = 2/3 a$. Assim, o alcance será $a = 3a'/2$.

- Modelo exponencial: $\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right]$ $0 < h < d$ (Eq. 3)

em que: C = patamar (assintótico); a= alcance prático, onde o semivariograma atinge 95% da altura do patamar.

Diferentemente do modelo esférico, o modelo exponencial atinge o patamar apenas assintoticamente.

- Modelo gaussiano: $\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-3 \left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right] 0 < h < d$ (Eq. 4)

em que: C = patamar (assintótico); a= alcance prático, onde o semivariograma atinge 95% da altura do patamar.

- Modelo efeito pepita puro: $\gamma(h) = \begin{cases} 0, & \text{se } h = 0 \\ \sigma^2, & \text{se } h > 0 \end{cases}$ (Eq. 5)

Descreve fenômenos sem qualquer continuidade espacial, isto é, duas amostras a qualquer distância, por menor que seja não são correlacionadas.

Os modelos com patamar normalmente são ajustes que representam a estacionaridade de segunda ordem, onde a variância aumenta com o aumento da distância entre amostras, até atingir o patamar onde se estabiliza. Já os modelos sem patamar satisfazem apenas a hipótese intrínseca e os semivariogramas podem ser definidos, mas não se estabilizam em nenhum patamar.

Quando o semivariograma é idêntico para qualquer direção de h ele é chamado isotrópico e representa uma situação bem mais simples do que quando é anisotrópico (VIEIRA, 2000). A anisotropia de uma variável regionalizada é reconhecida quando o alcance ou o patamar do semivariograma, ou ambos os parâmetros, variam com a direção.

Se apenas os alcances variam, mantendo-se o patamar, diz-se que anisotropia é geométrica. Se apenas o patamar varia com a direção, a anisotropia é zonal. Modelar a anisotropia consiste em (1) decompor a semivariância em componentes isotrópicos ou com anisotropia geométrica e (2) transformar o conjunto obtido em uma soma de modelos isotrópicos de alcance unitário (BETTINI, 2007).

A relação do efeito pepita pelo patamar para mensurar a dependência espacial, denominado de Grau de Dependência Espacial (GDE), foi sugerido por Trangmar et al (1985). Cambardella et al (1994) classificaram em intervalos da relação entre efeito pepita e patamar (Equação 2), assumindo os seguintes critérios: $GDE < 25\%$, forte dependência espacial; GDE entre 25 e 75%, moderada dependência espacial; e $GDE \geq 75\%$, fraca dependência espacial.

$$GDE = \frac{C_0}{C_0 + C_1} \quad (\text{Eq. 6})$$

2.3.2 Krigagem

A krigagem é o método de interpolação da geoestatística, que consiste da estimativa de valores em pontos não amostrados, permitindo a obtenção de mapas de isolinhas ou de superfície (ZIMBACK, 2003). Dentre os métodos tradicionais de interpolação espacial, como a triangulação, média local das amostras, método da distância inversa e do vizinho mais próximo, por exemplo, a krigagem é o único que fornece o algoritmo dos erros associados aos resultados obtidos, considerando a anisotropia e a continuidade do fenômeno (OLIVEIRA, 2007).

A krigagem pode fornecer uma estimativa maior ou menor que o valor das amostras, usa a distância e a geometria entre as amostras e leva em conta a minimização da variância do erro esperado, por meio de um modelo empírico da continuidade espacial existente ou do grau de dependência espacial com a distância ou direção, expresso pelo semivariograma (ROSSI; DUNGAN; BECK, 1994). De acordo com Zimback (2003) a krigagem é um interpolador exato, não tendencioso, desta forma, se o ponto a ser estimado coincidir com um dos pontos amostrados, o valor estimado deverá ser igual ao valor amostrado.

Vieira (2000) aponta que a krigagem é o método de interpolação geoestatística que usa a dependência espacial expressa no semivariograma, de forma variável, entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima. A krigagem ordinária tem como objetivo minimizar a variância dos erros, em que as distâncias consideradas não são somente as distâncias entre o ponto a ser predito e os vizinhos, mas também as distâncias entre os vizinhos (SILVA JÚNIOR, 2001).

O processo de interpolação de krigagem ordinária segue praticamente o mesmo procedimento que os outros métodos, mas difere destes, por atribuir pesos às variáveis de acordo com a variabilidade espacial expressa pelo semivariograma. A krigagem ordinária é a variação mais utilizada da krigagem simples, descrita por Trangmar et al. (1985), onde estima-se valores $Z(x_0)$ para qualquer local x_0 , onde não se tem valores medidos, e que a estimativa segue uma combinação linear dos valores conhecidos, segundo ISAACS e SRIVASTAWA (1989), calcula-se:

$$Z_{(x_0)} = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_{(x_i)} \quad (\text{Eq. 7})$$

em que:

N = é o número de valores medidos; $Z(x_0)$ = valor estimado para local x não amostrado;

$Z(x_i)$ = valor obtido por amostragem no campo; e λ_i = peso associado ao valor medido na posição x_i .

A obtenção dos mapas, dos diversos atributos relacionados à produção agrícola, gerados por meio da krigagem, permite ao produtor agrícola um planejamento e gerenciamento eficaz da área amostrada, pois a relação espacial, quando existente numa determinada área de estudo, indica que a mesma pode ser dividida em zonas de manejo permitindo definir classes de comportamento destes na área (GUEDES FILHO, 2009).

2.4 LÓGICA FUZZY

Mencionada pela primeira vez em 1965, por Zadeh, a lógica *fuzzy* trabalha com a incerteza e a verdade parcial entre os fenômenos naturais. Seu conceito possibilita estudar um indivíduo que compartilha similaridade com vários grupos através da possibilidade de um algoritmo associar cada indivíduo parcialmente a todos os grupos (MARÇAL; SUSIN, 2005).

Enquanto que na teoria tradicional dos conjuntos da lógica clássica, um elemento pertence ou não pertence a um conjunto, na teoria dos conjuntos *fuzzy* um elemento do universo de discurso pode ser definido matematicamente por um valor que represente o seu grau de pertinência ao

conjunto. Este valor de pertinência pertence a uma faixa de 0 (elemento não pertencente ao conjunto) até 1 (elemento totalmente pertencente ao conjunto) (CAMPOS FILHO, 2004). Ou seja, a lógica *fuzzy* é uma forma de gerenciamento de incertezas, através da expressão de termos com grau de certeza, num intervalo numérico $[0,1]$, onde a certeza absoluta, é representada pelo valor 1.

Na ciência do solo, a teoria dos conjuntos *fuzzy* vem sendo bastante utilizada. Na construção de sistemas de informação de solos, a classificação contínua possibilita o armazenamento de dados imprecisos e a recuperação de informações por meio de uma linguagem natural (MEIRELLES et al. 2007).

A lógica *fuzzy* vem sendo aplicada na agricultura para dar suporte às tomadas de decisão: Kavdir e Guyer (2003) utilizaram para classificar a qualidade de maçãs; Peixoto et al. (2004), elaboraram um modelo do tipo presa-predador que descreve a interação de pulgões (presas) e joaninhas (predador) na citricultura, em que os pulgões são considerados agentes transmissores da morte súbita de citros; Yang et al. (2003) associaram dados de cobertura foliar, obtidos por imagens fotografadas em campo, em três níveis de aplicação localizada de herbicida; Bressan et al. (2006) inferiram o risco de infestação por plantas daninhas, usando krigagem e análise de imagens.

Rodrigues Junior et al. (2011), por meio do teor de clorofila e de análise foliar, geraram zonas de manejo para cultura do café. Bonisch et al. (2004) aplicaram a lógica *fuzzy* na representação acompanhada de medida espacial de incerteza de atributos do solo.

A aplicação de técnicas como a lógica *fuzzy* é bastante promissora em casos de fertilidade do solo, nos quais, apenas o limite inferior ou o superior de uma classe é um limitador de importância prática podendo inviabilizar os cultivos, sendo as classes intermediárias de limitação secundária (ZADEH, 1965). Em particular, as fronteiras entre classes não são claramente definidas, e os sistemas de classificação *fuzzy* podem tratar dessa questão (CHIANG; HSU, 2002).

De acordo com Klir e Yuan (1995) a lógica *fuzzy* é utilizada principalmente de duas formas: representar a extensão da lógica clássica para uma mais flexível, com objetivo de formalizar conceitos imprecisos, e; processar informações imprecisas de forma que sua aplicação facilite

nas tomadas de decisões. Segundo Meirelles; Moreira; Camara (2007), por meio da geração de um mapa de fertilidade utilizando a lógica *fuzzy*, pode ser observada variação gradual dos níveis de fertilidade de uma determinada região, representando assim fronteiras não rígidas entre áreas férteis e não férteis.

O método foi utilizado por Silva et al. (2009), avaliando a fertilidade do solo e demarcaram áreas com baixa possibilidade de produção para cultura do café; por Silva et al. (2010) avaliaram a fertilidade do solo e a produtividade de café conilon; e por Souza et al. (2009), utilizaram a lógica *fuzzy* na classificação dos atributos químicos do solo, concluindo que os mapas são mais representativos do comportamento real, que naturalmente apresentam uma variação gradativa ao longo do terreno.

3. SISTEMATIZAÇÃO DO ESTUDO

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes de uma lavoura comercial, localizada no município de São Mateus, ES. O local possui altitude média de 40m, e tem como coordenadas aproximadas da área E = 407241m e N = 7905948m, fuso 24. A área possui 17,8 hectares cultivados com mamoeiro da variedade Golden THB do grupo Solo, espaçados em fileiras duplas de 3,3 x 2,0 x 1,90 (1986 plantas ha⁻¹).

O solo da área é típico da região dos tabuleiros costeiros da costa litorânea brasileira, caracterizado como Argissolo Amarelo distrocoeso de argila de baixa atividade, conforme SANTOS et al. (2013). Aplicou-se na adubação de plantio: 0,060 kg de P₂O₅ por metro linear, na forma de superfosfato simples, conforme recomendado por Prezotti et al. (2007), e 1,5 kg de cama de frango, com a seguinte composição: umidade de 28,6%, pH de 7,8; matéria orgânica total de 52%; matéria orgânica morta de 33,8%; carbono de 18,8%; relação C/N de 7; N de 2,5%; P de 8,1%; K de 3,5%; Ca de 10,9% e MO de 0,8%.

O transplântio foi realizado em junho de 2010, a partir de mudas de aproximadamente 12,0 cm de altura, provenientes de propagação sexuada produzidas na propriedade pelo próprio produtor, colocando-se três mudas por cova, devido a necessidade de seleção das plantas hermafroditas, que são as desejáveis comercialmente no processo denominado “sexagem”, ou desbaste, ocorrido quatro meses após.

Na adubação de cobertura foram aplicados 0,030 kg planta⁻¹ de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄) dois meses após o transplântio, sendo as demais adubações realizadas em via foliar. As pulverizações com adubos foliares foram realizadas aos 47, 58, 71, 95 e 105 dias após o transplântio, principalmente de N, P, Ca, B, Cu e S.

As atividades de controle fitossanitário foram realizadas preventiva e curativamente para as principais pragas e doenças identificadas na cultura. O controle de plantas daninhas foi realizado com aplicações de herbicida na linha de plantio, que permaneceu sem cobertura vegetal, e através de roçagem mecânica nas entrelinhas. O manejo hídrico na área foi feito por microaspersão localizada com turno de rega variado, de acordo com as condições climáticas diárias e as condições recomendadas para a cultura.

3.1 COLETA DOS DADOS

A sexagem foi realizada cinco meses após o transplante, devido à possibilidade de identificação do sexo do mamoeiro, após esse período iniciou-se um novo manejo da lavoura com adubações diferenciadas (PREZOTTI et al. 2007). Antes do início da nova fase de manejo, foi selecionada a gleba com características morfológicas e de manejo mais homogêneo possível da lavoura para demarcação dos pontos amostrais.

Os dados para obtenção dos teores foliares e o número de botões florais foram coletados quatro meses antes da colheita (Out/2010), em uma grade regular de aproximadamente 1,20 ha, cujas dimensões foram 110,0 m de comprimento por 114,0 m de largura, totalizando 129,0 pontos amostrais, devidamente georreferenciados, conforme Sturião (2012).

Foram coletados os pecíolos das folhas recém-maduras, caracterizada por apresentar uma flor recém-aberta em sua axila. Posteriormente, as folhas foram acondicionadas em envelope de papel, secas em estufa a 70°C até massa constante, moídas e enviadas para análise foliar, no laboratório do Centro de Ciências Agrárias, onde obteve-se as concentrações dos macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S; e dos micronutrientes: Zn e Mn.

As colheitas, para o conhecimento da produção, iniciaram no nono mês de idade (Mar/2011), onde foram registradas a altura da colheita do primeiro fruto, o número e a massa de todos os frutos maduros da planta central georreferenciada e as duas plantas adjacentes no sentido da linha de plantio (MARINHO et al. 2002). Foram colhidos frutos uma vez por semana, ou a cada quinze dias, de acordo com a maturação dos frutos. O período de avaliação compreendeu o período da primeira colheita, em março de 2011 – quatro meses após a sexagem, até julho de 2011, aos 12 meses de idade da lavoura, totalizando onze avaliações em três meses, conforme Sturião (2012).

Ao final da avaliação, obteve-se a produção média, massa de frutos de mamão por planta (kg planta⁻¹) e o número médio de frutos por planta em cada ponto amostral. Os frutos foram colhidos no estágio 2 de maturação, como realizado comercialmente, sendo então pesados em uma balança digital, para determinação de sua massa.

As avaliações do estado nutricional foram realizadas pelo método DRIS (Capítulo I) e pela classificação fuzzy (Capítulo II) e comparadas com o número de botões florais, a massa de fruto por planta e a produtividade.

REFERÊNCIAS

ALBA, José Maria Filippini. Modelagem SIG em agricultura de precisão: conceitos, revisão e aplicações. In: BERNARDI, Alberto Carlos de Campos; et al (Eds.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF : Embrapa. 2014.

ALMEIDA, F. T. et al. Teores de nutrientes do mamoeiro ‘Improved Sunrise Solo 72/12’ sob diferentes lâminas de irrigação, no norte fluminense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 547-551, 2002.

ALVAREZ V., V. H.; LEITE, R.A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices dos nutrientes no sistema integrado de diagnose e recomendação - DRIS. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 20, 1992, Piracicaba. **Resumos expandidos...** Piracicaba, Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1992. p.186-187. CD-Rom

AMARAL, J. A. T. et al. Alguns atributos do DRIS para a interpretação da análise foliar do cafeeiro. In: ANDRADE, F.V. et al. (Eds.). **Tópicos em Produção Vegetal**. Alegre - ES, 2011, v. 1, p. 125-140.

AMARAL, J. A. T. et al. Interpretação da Análise Foliar dos Cafeeiros Arábica (*Coffea arabica* L.) e Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner). In: PRATISSOLI, D. et al. (Eds.), **Tópicos em Produção Vegetal**. Alegre - ES, 2012, v. 3, p. 519-542.

AWADA, M. Relation of nitrogen and phosphorus, and potassium fertilization to nutrient composition of the petiole and growth of papaya. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 102, p. 413-418, 1977.

BERNARDI, A. C.; INAMASU, R. Y.; RABELLO, L. M. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada em sistema de integração lavoura-pecuária: um estudo de caso. EMBRAPA (São Carlos, SP). Centro de pesquisa em pecuária do sudeste. **Comunicado técnico 93**. São Carlos, SP. 1ª edição online, 2009.

BALDOCK, J. O.; SCHULTE, E. E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, v. 88, p. 448-456, 1996.

BEAUFILS, E. R. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): a general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. **Soil Science Bulletin**, v.1, University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, 1973.

BERNER, P.G.M.; VIEIRA, S.R.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C. Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Cambissolo sob dois sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.31. p 387 – 844, 2007.

BETTINI, C. Conceitos básicos de geoestatística. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. (Ed.). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa, cap. 4, p. 193-234, 2007.

BÖNISCH, S. et al. Representação e propagação de incertezas em dados de solo. II - Atributos numéricos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 01, p. 33-47, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de precisão**/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília:Mapa/ACS, p. 36, 2013.

BRESSAN, G. M. et al. Sistema de classificação fuzzy para o risco de infestação por plantas daninhas considerando a sua variabilidade espacial. **Planta daninha**, vol.24 no.2 Viçosa Apr./June 2006.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, 1501-1511. 1994.

CAMPOS FILHO, P. **Método para apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando lógica Fuzzy**. 2004. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CHIANG, J.; HSU, J. Fuzzy classification trees for data analysis. **Fuzzy Sets System**, v. 130, n. 01, p. 87-99, 2002.

CORA, J. E. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. vol.28, n.6, p. 1013-1021, 2004.

COSTA, A. N. **Uso do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), na avaliação do estado nutricional do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no Estado do Espírito Santo**. Viçosa, 1995. 93f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S. Diagnóstico e recomendação de adubação (DRIS) na cultura do mamoeiro. In: **Simpósio Brasileiro de mamão papaya**. Porto Seguro, BA. 2011.

CRESTE, J. E. Perspectivas do DRIS em culturas de alta produtividade. In: PRADO, R. M., et al. **Nutrição de plantas aplicada a sistemas de alta produtividade**. Jaboticabal: Capes/Fundunesp, p. 83-104, 2008.

CRUZ, J. L. et al. Crescimento e partição de matéria seca e de carbono no mamoeiro em resposta à nutrição nitrogenada. **Bragantia** [online]. vol.63, n.3, p. 351-361, 2004.

DAINESE, R. C. **Análise e tratamento de informações espaciais de produtividade do milho e fertilidade do solo para uso em Agricultura de Precisão**. 2002. 67f. Monografia (Introdução ao Geoprocessamento) – Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais, São Paulo.

GUEDES FILHO, O. **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. 2009. 97f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical). Campinas: Instituto Agrônomo, SP.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. (2014) Online. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?t=5&z=t&o=10&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1>. Acesso em 01/07/2016.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York, Oxford University Press, p. 561, 1989.

KAVDIR, I.; GUYER, D. E. Apple Grading Using Fuzzy Logic. **Turkish Journal of Agriculture and Forest**, v. 27, p. 375-382, 2003.

KLIR, G. J.; YUAN, B. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, p. 324, 1995.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa, Johannesburg**, v. 52, p. 151-163, 1951.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2.ed. São Paulo: UNESP, p. 253, 2003.

LIMA, J. A. G. et al. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do RN. **Caatinga** (Mossoró, Brasil), v.19, n.2, p.192-199, abril/junho 2006.

LIMA, J. S. S. et al. Agricultura de precisão no cultivo do mamoeiro: Um potencial. (2012). In: PRATISSOLI, D. et al. (Orgs.). **Tópicos Especiais em Produção Vegetal**. Alegre - ES, ed. 3, p.810-837, 2012.

LIMA, F. N.; SOUSA, A. M.; CAVALCANTE, L. F. Estado nutricional do mamoeiro Formosa (cv. Caliman 01) em função de adubação com NK e espaçamento de plantio. **Comunicata Scientiae**, Lavras – MG, v.5, n. 3, 229-240, 2014.

LIMA, J. S. S. et al. Spatial and temporal variability of the productivity of coffee canephora. **Coffee Science**, Lavras-MG, v. 9, n. 3, p. 400-407, jul./set, 2014

MARÇAL, R. F. M.; SUSIN, A. A. Detectando falhas incipientes em máquinas rotativas. **Revista Gestão industrial**, v. 01, n. 2, p. 228-236, 2005.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. de. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. (Eds.) **Avaliação do estado nutricional da plantas: princípios e aplicações**. 2.ed., Piracicaba, POTAFOS, p.115-230, 1997.

MARINHO, C. S. et al. Análise química do pecíolo e limbo foliar como indicadora do estado nutricional dos mamoeiros ‘solo’ e ‘formosa’. **ScientiaAgricola**, v. 59, n. 2, 373-381, 2002.

- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Econ. Geol.**, v.58, p.1246-1266, 1963.
- MARTINEZ, H. E. P. et al. Diagnose foliar em cafeeiro. In: TOMAZ, M. A., et al. (Eds.) **Seminário para a Sustentabilidade da Cafeicultura**, Alegre, UFES, p.139-166, 2008.
- MATTIONE, N. M.; SCHUCH, L. O. B.; VILLELA, F.A. Variabilidade espacial e efeito de atributos químicos de um latossolo na população de plantas e produtividade da cultura da soja. **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v.19, n.1, p.20-32, 2013.
- MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CAMARA, G. Técnicas de Inferência espacial. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G. ALMEIDA, C. M. (Eds). **Geomática: modelos e aplicações ambientais**. Brasília-DF: Embrapa informações tecnológicas, p. 105-189, 2007.
- MENDES, A. M. S. et al. Variabilidade espacial de características químicas de um Cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do Rio Grande do Norte. **Revista de biologia e ciências da terra**, v. 7, n. 2, 2007.
- MESQUITA, E. F. et al. Teores foliares e exportação de nutrientes do mamoeiro Baixinho de Santa Amália tratado com biofertilizantes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia-GO, v. 40, n. 1, 66-76, 2010.
- MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. **Aplicação com taxa variável: tratamento localizado**. Cultivar Máquinas, Pelotas, v.3, n.44, p. 22-26, 2005.
- MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: ESALQ/USP, p. 83, 2010.
- OLIVEIRA, A. M. G. et al. Nutrição, calagem e adubação do mamoeiro irrigado. EMBRAPA (Cruz das Almas, BA). Centro de pesquisa em mandioca e fruticultura. **Circular técnica 69**. Cruz das Almas, BA. 2004.
- OLIVEIRA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. 129f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.
- PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **An introduction to fuzzy sets: analysis and design**. Bradford. Imprinta Cambridge, 1998. 465p.
- PEIXOTO M. S.; BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. Um modelo Fuzzy Presa-Predador em citros: pulgões e joaninhas. **Biomatemática**, v. 14, p. 29-38, 2004.
- PELLIN, D. M. P. et al. Variabilidade de atributos físicos de um latossolo vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 28 – 38, jan. – mar., 2015.
- PREZZOTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5ª aproximação. Vitória, ES, SEES/INCAPER/CEDAGRO, p. 305, 2007.

REIS JUNIOR, R. A., et al. Diagnose nutricional de cafeeiros da região sul de Minas Gerais: Normas DRIS e teores foliares adequados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, 801-808, 2002.

RODRIGUES JUNIOR, F. A. et al. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.15, n.8, p.778–787, 2011.

ROSSI, R. E; DUNGAN, J. L.; BECK, L. R. Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing. **Remot sens. Environ**, v. 49, p. 32-40, 1994.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3º ed. ver. Ampli. 353 p. Brasília, DF: Embrapa, 2013

SILVA JUNIOR, R.L. **Variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com mapas de produtividade**. 2001. 132f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- USP, Piracicaba.

SILVA, S. A. et al. Lógica fuzzy na avaliação da fertilidade do solo e produtividade do café conilon. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, 9-17, 2010.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; QUEIROZ, D. M. Spatial variability in nutritional status of arabic coffee based on DRIS index. **Revista Ceres**, 58(02), 256-261, 2011.

SILVEIRA, J. et al. **Hortifruti Brasil**, (2011). Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/103/mat_capa.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2016.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 1- 10, 1997.

SOUZA, G. S. et al. Aplicação de lógica fuzzy e geoestatística na análise da fertilidade de um solo sob pastagem. **Revista Ciência Agronômica** (UFC. Impresso), v. 40, p. 323-330, 2009

STURIAÑO, W. P. (2012). **Distribuição espacial de atributos de solo e de plantas na cultura do mamoeiro no norte capixaba**. 2012. 106f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, p. 819, 2009.

TRANGMAR, B. B. et al. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, Madison, v.38, n.1, p.45-94, 1985.

UMEZU, C. K.; CAPPELLI, N. L. Desenvolvimento e avaliação de um controlador eletrônico para equipamentos de aplicação de insumos. **Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental** [online], v.10, n.1, p. 225-230, 2006.

VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Org). **Tópicos em Ciências do Solo**. Viçosa: Sociedade de Ciência do Solo, v.1, p. 1-54. 2000.

VIEIRA, S. R. et al. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: Alvarez, V. V. H. et al. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, p.1-45, 2002

VIEIRA, S. R. et al. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 34, 1503-1514, 2010.

VITÓRIA, E. L. et al. Variabilidade espacial dos atributos físicos em áreas cultivadas com mamão sob diferentes preparos do solo. **Engenharia na agricultura**, Viçosa-MG, v.22, n.2, Março/Abril, 2014.

YANG, C. C. et al. Development of a herbicide application map using artificial neural networks and fuzzy logic. **Agric. Syst.**, v. 76, n. 2, p. 561-574, 2003

ZADEH, L. A. **Fuzzy sets. Information and control**, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

ZIMBACK, C.R.L. **Geoestatística**. Apostila didática. Botucatu: FCA/UNESP, p. 25, 2003.

ZONTA, J. H. et al. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no Cerrado do Brasil. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.6, p.595-602, 2014.

CAPÍTULO I – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ÍNDICE DE BALANÇO NUTRICIONAL DE MAMOEIRO

RESUMO

Por meio da espacialização do índice de balanço nutricional (IBN) é possível realizar o monitoramento espacial dos nutrientes na lavoura, considerando as relações existentes entre eles. Desta forma, objetivou-se analisar a variabilidade espacial do IBN do mamoeiro, em lavoura comercial no norte capixaba. Os dados foram obtidos de 129 pontos georeferenciados. Na fase de sexagem contou-se o número de botões florais e coletaram-se amostras de folhas recém-maduras, para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Mn. Após cinco meses foi determinada a massa de frutos por planta e a produtividade da área. Fez-se a análise geoestatística dos atributos da planta e do balanço nutricional (IBN). Com base nos modelos e parâmetros dos semivariogramas, os dados foram interpolados para a confecção dos mapas. Houve dependência espacial para IBN, produtividade, massa de fruto e número de botões florais. Os valores de alcance da dependência espacial encontrados foram: 88,6, 28,1, 23,4 e 14,7m, para MF, IBN, PRD e NBF, respectivamente. A lavoura apresenta desequilíbrio nutricional, justificado pelos elevados valores do IBN, pela deficiência do Mn e excesso do P. O IBN não apresentou correlação com a produtividade.

PALAVRAS CHAVE: *Carica papaya* L. Índice DRIS. Geoestatística. Análise foliar.

ABSTRACT

Through the spacialization of nutritional balance index (NBI) is possible perform spatial monitoring of the nutrients in crop, considering the relationship between them. Thus, this study aimed to analyze the spatial variability of NBI of papaya in commercial farming in Espírito Santo northern. Data were obtained from 129 georeferenced points. In the sexing phase counted the number of flower buds and collected up newly mature leaves, to determine the level of

nutrients: N, P, K, Ca, Mg, S, Zn and Mn. After five months was determined the mass of fruit per plant and the productivity of the area. It was made geostatistical analysis of the attributes of the plant and the nutritional balance index (NBI). Based on the models and parameters of the semivariograms, the data were interpolated for the confection of maps. There was spatial dependence for NBI, productivity, fruit weight and number of flower buds. The range values of spatial dependence were: 88.6, 28.1, 23.4 and 14.7m for MF, NBI, PRD and NBF, respectively. The crop presents nutritional imbalance, justified by the high values of the NBI, the deficiency of Mn and excess P. The NBI showed no correlation with productivity.

KEY WORDS: DRIS index. Geoestatistics. Leaf analysis. *Carica papaya* L.

1. INTRODUÇÃO

O mamoeiro é uma cultura exigente em insumos agrícolas devido à quantidade de elementos extraídos e exportados na marcha de absorção dos nutrientes, durante o ciclo da planta (MESQUITA et al. 2010). Seu estado nutricional é um dos fatores que mais contribuem para o aumento da produtividade e da qualidade do mamão.

Para atender a demanda nutricional da cultura se faz necessária a adição de fertilizantes em dosagens adequadas e balanceadas ao longo de todo seu ciclo (MARINHO et al. 2010). Dentre as metodologias para se diagnosticar o estado nutricional do mamoeiro, a determinação dos teores de macro e micronutrientes na matéria seca foliar tem sido a mais eficiente (MENEZES JUNIOR et al. 2014).

O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), idealizado por Beaufils (1973), destaca-se entre os métodos de avaliação do estado nutricional das culturas por possibilitar melhor interpretação de desordem nutricional. O método considera a relação dois a dois dos teores dos nutrientes da lavoura diagnosticada, e compara com as médias das respectivas razões entre os teores dos nutrientes das lavouras de altas produtividades ou de referência, por intermédio de funções estabelecidas com base na curva normal reduzida.

O índice DRIS permite à fácil e rápida visualização e interpretação dos resultados analíticos por intermédio da sequência nutricional em ordem decrescente de requerimento (AMARAL et al. 2012). Pela soma dos valores absolutos dos índices DRIS, obtidos para cada nutriente, é obtido o índice de balanço nutricional (IBN), que permite determinar o equilíbrio nutricional da lavoura. Além de determinar o equilíbrio nutricional da lavoura, por meio do IBN, o DRIS possibilita conhecer a ordem de limitação dos nutrientes, tanto por deficiência quanto por excesso.

Trabalhos sobre a variabilidade espacial do estado nutricional das plantas são escassos, principalmente para o mamoeiro, e na maioria das vezes é estudada apenas a variabilidade espacial dos teores foliares (SILVA; LIMA; TEIXEIRA, 2009; SILVA e LIMA, 2012; LIMA et al. 2016), sem considerar a relação entre os nutrientes. De acordo com Vieira et al. (2010) a caracterização e a descrição da variabilidade espacial de teores foliares podem auxiliar o manejo de adubação, sobretudo no que se refere à aplicação localizada e em taxas variáveis de fertilizantes.

As técnicas de agricultura de precisão têm buscado a redução de perdas decorrentes de manejos inadequados, considerando o estado nutricional de uma lavoura, a utilização de valores médios pode subestimar a avaliação em determinada área e superestimar em outra. Estudos recentes da variabilidade espacial do IBN em café apontam para recomendações de adubações mais equilibradas e economicamente mais ajustadas, permitindo o monitoramento espacial do balanço nutricional (SILVA; LIMA; QUEIROZ, 2011; FONSECA et al. 2015).

Neste contexto, objetivou-se estudar a variabilidade espacial do estado nutricional do mamoeiro em uma lavoura comercial no norte capixaba, com base no Sistema Integrado de Diagnose e Interpretação (DRIS).

2. MATERIAL E MÉTODOS

A interpretação dos teores foliares, coletados conforme descrito no Tópico 3.1 da sistematização do estudo, foi realizada com base no Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS). As normas DRIS utilizadas para a análise dos dados são as

recomendadas por Costa (1995) para lavouras comerciais localizada no norte do Estado do Espírito Santo (Tabela 1).

Tabela 1 – Teores foliares de macro e micronutrientes considerados adequados para pecíolo de mamoeiro.

Teor foliar	Costa (1995)
N	11-26,4 g kg ⁻¹
P	1,6-1,7 g kg ⁻¹
K	24,9-28,10 g kg ⁻¹
Ca	16,5-18,4 g kg ⁻¹
Mg	5,3-5,7 g kg ⁻¹
S	2,6-3,2 g kg ⁻¹
Mn	41,7-42,9 mg kg ⁻¹
Zn	10,5-15,3 mg kg ⁻¹

2.1 SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO

Inicialmente foram calculadas as funções das razões entre dois nutrientes, conforme a Equação 1 proposta por JONES (1981):

$$f(A/B) = \left[\frac{A}{B} - \frac{a}{b} \right] \frac{k}{\sigma} \quad (\text{Eq. 1})$$

em que: $f(A/B)$ é a função normal reduzida da relação entre os teores de dois nutrientes A e B da amostra a ser diagnosticada; A/B é o quociente da razão entre os teores de dois nutrientes A e B da amostra a ser diagnosticada; a/b é o quociente da razão média entre os teores de dois nutrientes A e B da população de plantas de referência, fornecido pelas normas do DRIS; σ é o desvio padrão médio dos quocientes das razões a/b fornecido pelas normas do DRIS; k é a constante de sensibilidade, que neste trabalho foi = 1.

Para cálculo da função normal reduzida utilizou-se a razão média entre os dois nutrientes (a/b) e o desvio padrão médios dos quocientes das razões (a/b) segundo valores referenciados por Costa (1995) (ANEXO A). Após os cálculos das funções normais reduzidas, foram

quantificados os índices DRIS (ID) para cada nutriente mineral, seguindo as recomendações de Alvarez V. e Leite (1999):

$$\text{Índice A} = \frac{\{[f(\frac{A}{B}) + \dots + f(\frac{A}{Z})] - [f(\frac{B}{A}) + \dots + f(\frac{Z}{A})]\}}{2(n-1)} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que: $f(A/B) \dots f(A/Z)$ é a função normal reduzida da relação direta entre os teores de dois nutrientes A e B ... A e Z; $f(B/A) \dots f(Z/A)$ é a função normal reduzida da relação inversa entre os teores de dois nutrientes B e A ... Z e A; e n é o número de nutrientes em estudo.

Os IDs foram organizados em ordem crescente de requerimento (APÊNDICE B), de modo a facilitar a rápida visualização e interpretação das análises, conforme sugerido por Amaral et al. (2011). Pelo ID foram calculados os índices de balanço nutricional (IBN) de cada ponto, conforme equação:

$$\text{IBN} = |\text{Índice A}| + |\text{Índice B}| + \dots + |\text{Índice Z}| \quad (\text{Eq. 3})$$

em que: índice A, índice B e índice Z são os índices DRIS dos nutrientes A, B e Z.

Para interpretação dos valores dos IDs utilizou-se o índice de balanço nutricional médio (IBNm), que foi calculado dividindo o valor do IBN pelo número total de nutrientes (n) (WADT et al. 1998):

$$\text{IBNm} = \frac{\text{IBN}}{n} \quad (\text{Eq. 4})$$

Este método compara o módulo do ID absoluto de cada nutriente com o valor do índice de balanço nutricional médio (IBNm), para verificar se o desequilíbrio atribuído a determinado nutriente é maior ou menor que o desequilíbrio atribuído à média de todos os nutrientes. Os nutrientes foram classificados de acordo com o potencial de resposta à adubação (PRA) (WADT, 2005), conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Critério para classificação da resposta de adubação de acordo com o índice DRIS.

Classes de probabilidade de resposta à adubação	Critérios
Classe I	ID<0
	ID >IBN
P	Menor ID
Classe II	ID<0
	ID >IBN
Classe III	ID ≥IBN
Classe IV	ID>0
	ID >IBN
Classe V	ID>0
	ID >IBN
N	Maior ID

P: resposta positiva; PZ: resposta positiva ou nula; Z: resposta nula; NZ: resposta negativa ou nula; e N: resposta negativa.

As classes de potencial de resposta positiva (P) e positiva ou nula (PZ) e, também, negativa (N) e negativa ou nula (NZ) foram agrupadas e denominadas de limitantes por falta (LF) ou por excesso (LE). E a classe de resposta nula (z) foi denominada como não limitante (NL), conforme Silva et al. (2005).

2.2 CORRELAÇÃO DE PEARSON E REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

A análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre os índices DRIS, IBN e atributos da planta (número de botões florais, massa do fruto e produtividade) foi realizada considerando a classificação adotada por Kitamura et al. (2007), para os valores positivos e negativos, como: extra alta: se $0,8 \leq r < 1,0$; alta: se $0,6 \leq r < 0,8$; moderada: se $0,4 \leq r < 0,6$; baixa: se $0,2 \leq r < 0,4$; e nula: se $0,0 \leq r < 0,2$. Determinou-se o coeficiente de determinação (r^2) das correlações classificadas como ‘extra alta’ e ‘alta’.

Foram calculadas as equações de regressão linear múltipla da correlação entre o IBN e os teores foliares. Testando assim as dependências cumulativas do IBN (variável dependente) em relação aos teores foliares (variáveis independentes), possibilitando saber quais teores foliares explicam melhor o IBN, pela equação da regressão linear múltipla:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots b_kx_k \quad (\text{Eq. 5})$$

em que: y = variável dependente; $x_1, x_2 \dots x_k$ = variáveis independentes; a = intercepto com o eixo y ; e b_1, b_2 e b_k = coeficientes das variáveis independentes, que definem o aumento (ou diminuição) da variável Y por unidade de variação da variável x_i .

Foi feito teste de significância de regressão ($p < 0,05$) para determinar a existência de relação linear entre a variável de resposta y e os regressores $x_1, x_2 \dots x_k$.

2.3 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Primeiramente foi realizada uma análise exploratória dos dados, para averiguar a presença de pontos discrepantes (*outliers*). Os critérios que indicam os *outliers*, são baseados nos limites inferior e superior da distribuição normal (HOAGLIN et al. 1983), conforme as equações:

$$L_i = Q_1 - 1,5.(Q_3 - Q_1) \quad (\text{Eq. 6})$$

$$L_s = Q_3 + 1,5.(Q_3 - Q_1) \quad (\text{Eq. 7})$$

em que: L_i = limite inferior; L_s = limite superior; Q_1 = 1º quartil de dados inferiores; Q_3 = 3º quartil de dados superiores.

Posteriormente, foi feita análise estatística descritiva com a finalidade de avaliar a distribuição das variáveis, determinando medidas de posição e de dispersão: a média; a mediana; o valor máximo e o mínimo; o desvio-padrão; e os coeficientes de variação, de assimetria e de curtose. A hipótese de normalidade dos dados foi analisada pelo teste de Shapiro-Wilk (W) ($p < 0,05$).

Os dados foram submetidos à análise geoestatística no intuito de verificar a ocorrência da dependência espacial. Confirmada a dependência espacial, quantificou-se a dependência por

meio do ajuste do semivariograma clássico de Matheron, definido na Equação 8, com o auxílio do software GS+ (ROBERTSON, 1998).

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i+h) - Z(x_i)]^2 \quad (\text{Eq. 8})$$

em que: $\gamma^*(h)$ = semivariância estimada; $N(h)$ = número de pares do atributo; $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$ = valores dos atributos medidos na posição x_i e x_i+h , separados por um vetor h (distância entre amostras).

Foram testados os modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano, sendo escolhido o melhor ajuste de acordo com os critérios: soma dos quadrados dos resíduos (SQR), coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de regressão da validação cruzada entre os valores estimados e os observados. Com o ajuste foram determinados: efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C_1), variância estrutural (C_1) e alcance (a).

Para análise da dependência espacial foi calculado o grau de dependência espacial (GDE), conforme a relação $[C_0/(C_0+C_1)]*100$. Interpretados de acordo com Cambardella et al. (1994), que considera a dependência espacial como forte ($GDE < 25\%$), moderada ($25\% \leq GDE \leq 75\%$) e baixa ($GDE > 75\%$). Foram elaborados mapas de variabilidade espacial utilizando o método de interpolação por krigagem ordinária.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA E DESCRITIVA

A análise exploratória dos dados demonstrou a presença de um ponto discrepante para IBN, que foi eliminado. A presença de *outliers* pode causar distorções na construção dos mapas, alterando a dependência espacial (BORSSOI et al. 2011), e comprometer os valores estimados na krigagem. A análise descritiva dos teores de nutrientes no pecíolo foliar e dos atributos relativos a planta, consta na Tabela 3.

Tabela 3 – Estatística descritiva do IBN; da produtividade; da massa do fruto; e do número de botões florais.

	Máx	Mín	MD	M	S	CV (%)	Cs	Ck	W	p-valor
IBN	73,62	15,15	31,98	35,15	12,08	33,21	0,66	-0,32	0,95	0,00
PRD	24,95	2,31	12,94	13,64	5,46	40,04	0,19	-0,66	0,98	0,08
MF	0,51	0,29	0,39	0,38	0,04	11,24	0,34	-0,07	0,98	0,06
NBF	18,00	3,00	9,00	9,35	3,86	41,31	0,21	-0,88	0,96	0,00

Max: valor máximo; Min: valor mínimo; MD: mediana; M: média; s: desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; p-valor = 5%; PRD = produtividade em Mg.ha⁻¹; MF = massa de fruto em kg fruto⁻¹; NBF = número de botões florais; e IBN = índice de balanço nutricional; p < 0,05.

Todos os atributos avaliados apresentaram valores de tendência central próximos (média e mediana). Os valores positivos e próximos de zero de Cs indicam, respectivamente, uma distribuição assimétrica à direita e que os dados se aproximam de uma distribuição normal. Os valores obtidos para PRD e MF apresentaram normalidade de distribuição dos dados, indicando que seus valores se aproximam da média, o que não ocorre para os valores de IBN e NBF. Fonseca et al. (2015), em estudo da variabilidade espacial do estado nutricional do cafeeiro conilon, também não encontraram distribuição normal para os valores do IBN.

A distribuição normal dos dados não é uma exigência para técnicas geoestatísticas, mas deve ser avaliada a ocorrência ou não do efeito proporcional, em que a média e a variabilidade dos dados são constantes na área de estudo, não apresentando caudas muito alongadas, uma vez que pode comprometer a estacionaridade mínima necessária ao uso da geoestatística (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989; CRESSIE, 1991).

Analisando a variabilidade dos dados pelo coeficiente de variação (CV), obteve-se: baixo para massa de fruto (MF) ($CV \leq 12\%$); e médio ($12\% < CV < 60\%$) para os demais atributos (WARRICK e NIELSEN, 1980). De acordo com Pimentel-Gomes e Garcia (2002) a variabilidade de um atributo pode ser classificada de acordo com a magnitude do seu coeficiente de variação; porém o CV não informa sobre a variabilidade espacial (SOUZA, 1999).

De acordo com Marin et al. (1995) a massa média do fruto (0,38kg) está dentro do ideal para o mercado interno. O resultado foi semelhante (0,24 a 0,423kg) ao encontrado por Oliveira e Caldas (2004), avaliando a adubação do mamoeiro Sunrise Solo em função da adubação nitrogenada em Cruz das Almas-BA. Rodolfo Junior et al. (2007), em estudo sobre o mamoeiro

comercializada na EMPASA de Campina Grande-Paraíba, encontraram peso médio de fruto igual a 0,443 kg, e Fagundes e Yamanishi (2001), encontraram valores médios de fruto variando entre 0,372 a 0,537kg, comercializados em Brasília-DF. Ambos caracterizados como adequados para as exigências do mercado interno.

O valor médio de IBN elevado (Tabela 3) indica que os nutrientes não estão balanceados, ou seja, apresentam deficiência e/ou excesso de concentração no pecíolo das folhas do mamoeiro. A lavoura apresentou produtividade média baixa ($13,64 \text{ Mg ha}^{-1}$). De acordo com Costa (1995) lavouras com valor de IBN elevado não têm como responder com alta produtividade.

Conforme mostra a Figura 1, os valores da maioria dos nutrientes apontam para um desequilíbrio nutricional: com N ($11,4\text{-}26,4 \text{ g kg}^{-1}$), K ($24,9\text{-}28,1 \text{ g kg}^{-1}$), Ca ($16,5\text{-}18,4 \text{ g kg}^{-1}$) e Mg ($5,3\text{-}5,7 \text{ g kg}^{-1}$) com teores abaixo do requerido e P ($1,6\text{-}1,7 \text{ g kg}^{-1}$), S ($2,6\text{-}3,2 \text{ g kg}^{-1}$) e Zn ($10,5\text{-}15,3 \text{ mg kg}^{-1}$) acima (COSTA, 1995); o desequilíbrio nutricional foi comprovado pelos elevados valores do IBN.

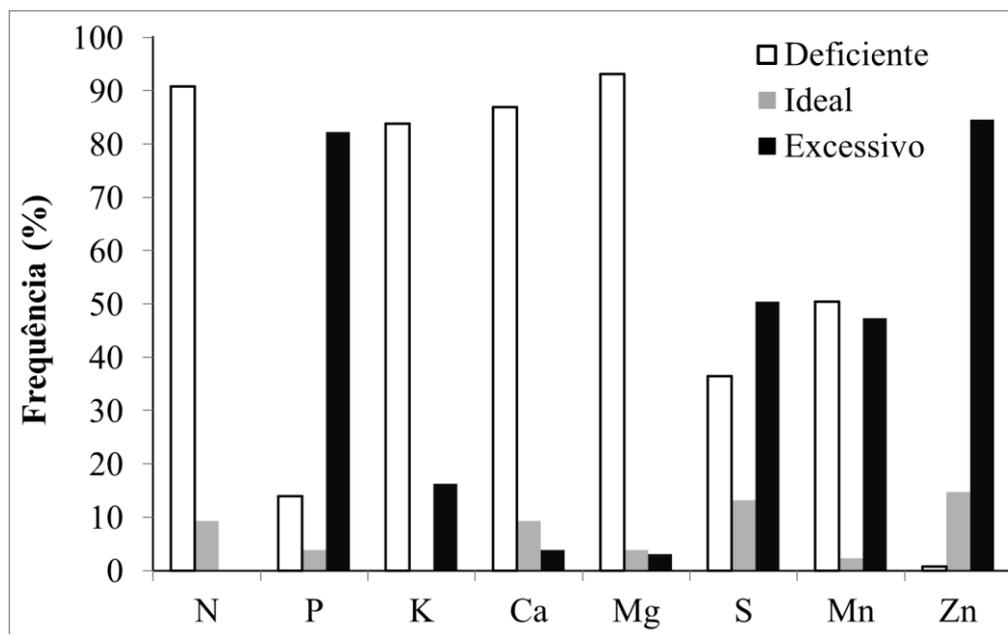


Figura 1 – Frequência (%) das classes de resposta para os macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S, e micronutrientes: Mn e Zn, em amostras de folhas de mamoeiro do grupo Solo.

3.2 SISTEMA INTEGRADO DE DIAGNOSE E RECOMENDAÇÃO

O IBN é resultado do somatório dos valores modulares absolutos dos índices DRIS obtidos para cada nutriente. Os resultados das correlações entre índices DRIS, teores foliares e atributos da planta são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Análise de correlação de Pearson, significativa ao nível de 5% de probabilidade, entre os índices DRIS (ID) de cada nutriente com os teores foliares, índice de balanço nutricional e os atributos relativos à planta.

Nutrientes	IDN	IDP	IDK	IDCa	IDMg	IDS	IDMn	IDZn
N(g kg⁻¹)	0,21	0,23	-	-0,24	-0,23	0,35	-0,37	-
P(g kg⁻¹)	-0,57	0,84	0,23	-0,50	-0,27	0,56	-0,66	-
K(g kg⁻¹)	-0,51	0,45	0,77	-0,48	-	0,48	-0,52	-
Ca(g kg⁻¹)	-	-0,23	-0,32	0,84	-	-	-	-
Mg(g kg⁻¹)	-0,28	-	-	-	0,76	-	-	-
S(g kg⁻¹)	-0,56	0,62	0,29	-0,45	-0,26	0,94	-0,72	-
Mn(mg kg⁻¹)	-	-0,41	-0,42	-	-0,18	-0,46	0,75	-
Zn (mg kg⁻¹)	-0,31	0,47	-	-0,47	-0,41	0,40	-0,48	0,30
PRD	-	-	0,21	-	-	-	-	-
MF	-	0,24	-	-	-	0,21	-0,32	-
NBF	0,21	-0,40	-0,18	0,33	0,24	-0,47	0,49	-
IBN	-0,60	0,83	0,43	-0,28	-	0,77	-0,90	-0,20

PRD = produtividade em Mg ha⁻¹; MF = massa de fruto em kg fruto⁻¹; NBF = número de botões florais; IBN = índice de balanço nutricional; IDN, IDP, IDK, IDCa, IDMg, IDS, IDMn, IDZn = índices DRIS para N, P, K, Ca, Mg, S, Mn e Zn, respectivamente.

Partelli, Viera e Martins (2006) confirmaram a eficiência de índices DRIS em café conilon pela sua elevada correlação com os teores de nutrientes nas folhas e sua correlação negativa com a produtividade. No presente trabalho, apenas o IDK apresentou correlação significativa com a produtividade ($r = 0,21$). O K é o nutriente requerido em maior quantidade pelo mamoeiro, seguido do N (BISHT, SOLANANKI e SINGH, 2010), e seus teores estão abaixo do recomendado pela literatura em 83,7% das amostras (Figura 1).

O K não foi um nutriente limitante pelo método DRIS, devido os valores de IDK serem próximo a de zero e abaixo dos valores do IBN médio (IBNm). Os teores de K influenciaram positivamente nos índices do P, K e S. O teor de K explica 59,3% da variação do IDK ($r =$

0,77), que por sua vez afeta os valores do IBN, já que o IDK apresenta correlação positiva moderada com o IBN. Já os índices DRIS do N, Ca e Mn tiveram correlação negativa moderada com os teores de K.

As interações entre nutrientes devem ser bem entendidas para melhorar a interpretação de resultados de análises foliares e definir seu efeito na produtividade. De acordo com Cantarella (2007), a não adição de N necessária para suprir a necessidade da cultura leva ao decréscimo na resposta do K, tanto na produção quanto em acúmulo de nutriente.

Oliveira et al. (2009) afirmam que a relação K e N é considerada a mais importante para a cultura do mamoeiro. De acordo com Jones Junior et al. (1991), pode-se encontrar forte inter-relação entre esses dois elementos em um número variado de espécies vegetais, principalmente quanto às respostas de aplicação, em que se observa que um é frequentemente dependente da suficiência do outro.

Os teores de N apresentaram correlação baixa positiva com os índices DRIS do N, P e S, e correlação baixa negativa com os índices do Ca e do Mg. Os índices para o nitrogênio foram negativos para todos os pontos, indicando déficit deste nutriente em relação aos demais nutrientes. O N foi o terceiro nutriente com ID mais negativo (APÊNDICE B) e apresentou um comportamento variável em função da produtividade, não sendo verificada correlação entre ambos.

A alta correlação negativa do IDN com IBN indica que, à medida que este aumenta, os valores do IBN diminuem, e vice-versa. Os valores do coeficiente de determinação (r^2) para IBN, mostra que 36% da variação observada no IBN, em mamoeiro, são explicados pela variação do IDN (APÊNDICE C). Os valores do IDN foram influenciados negativamente (correlação moderada) pelos os teores de P, K e S, esses nutrientes tiveram seus teores foram da classe ideal para a maioria das amostras coletadas (Figura 1).

Apesar da baixa correlação positiva do IDN com o teor de nitrogênio, os baixos teores de nitrogênio encontrados, em 90,7% das amostras (Figura 1), justificam os baixos valores dos índices DRIS do N. A adubação nitrogenada de cobertura (6 g planta^{-1}) abaixo do recomendado para a cultura ($10 \text{ e } 15 \text{ g planta}^{-1}$) (PREZOTTI et al. 2007), justifica a deficiência do nutriente nas plantas. Marinho et al. (2002) também encontraram teores de N abaixo do recomendado na

fase de sexagem do mamoeiro, avaliando os teores de nutrientes no pecíolo e no limbo foliar como indicadores do estado nutricional do mamoeiro.

Apesar da deficiência de Ca em 86,8% das amostras, ele não exerceu influência no balanço nutricional da lavoura, apresentado correlação negativa baixa com os valores do IDP e IDK ($r = -0,23$ e $-0,32$, respectivamente) e correlação positiva extra alta com IDCa ($r^2 = 70,6\%$). Costa (1995) identificou o Ca e o Mg como, primeiro e segundo, macronutrientes mais limitante em mamão no norte do Espírito Santo; o que não foi observado neste estudo.

O P é o quarto nutriente mais requerido pelo mamoeiro e apresentou teores elevados para a cultura ($1,6 - 1,7 \text{ g kg}^{-1}$) em 86,0% das amostras (Figura 1). A correlação dos teores de P foi moderada com os índices DRIS do N, Ca, S e Mn, dentre os quais os índices do S e do Mn apresentaram maiores correlações com o IBN ($r = 0,77$ e $-0,90$, respectivamente). Lima et al. (2016), avaliando a variabilidade espacial dos teores foliares do mamoeiro, encontraram correlação alta para P x S, e correlação baixa para P x N e P x Mn, indicando que o teor de um nutriente influencia na concentração do outro.

De acordo com Alvarez V. et al. (2007), a adição conjunta de P e S apresenta elevada resposta positiva no desenvolvimento e crescimento das culturas, porém deve-se ter equilíbrio nas dosagens, pois elevados teores de P ou N podem provocar desbalanceamento nutricional, assim como os baixos teores. Os IDP foram todos positivos, indicando uma limitação por excesso na lavoura (APÊNDICE C).

O valor do r da correlação entre o IDP e o teor de P na folha mostra que, 70,6% da variação do IDP é explicada pela variação do teor de P na folha, assim como 69% da variação observada no IDP explica a variação do IBN ($r = 0,83$). Não houve correlação significativa entre IDP e produtividade, e pela análise de regressão linear múltipla há alta dependência de P na variação do IBN (Tabela 5).

Tabela 5. Dependência cumulativa do IBN em relação a sequência de entrada dos respectivos atributos foliares para cada modelo de regressão.

Atributos a entrar	Modelo (Y = IBN)	r ² (%)
P	$Y = 15,86 + 6,25P$	64,6
Mn	$Y = 37,79 + 5,42P - 0,46Mn$	83,6
S	$Y = 32,35 + 3,78P - 0,42Mn + 2,68S$	88,9
Zn	$Y = 37,21 + 4,21P - 0,43Mn + 3,15S - 0,34Zn$	91,3
K	$Y = 33,92 + 3,96P - 0,41Mn + 2,67S - 0,38Zn + 0,28K$	93,2
Ca	$Y = 27,43 + 4,05P - 0,41Mn + 2,53S - 0,37Zn + 0,33K + 0,41Ca$	94,2
Mg	$Y = 24,47 + 4,02P - 0,42Mn + 2,47S - 0,35Zn + 0,33K + 0,42Ca + 0,75Mg$	94,5
N	$Y = 29,17 + 3,97P - 0,42Mn + 2,64S - 0,31Zn + 0,32K + 0,42Ca + 0,70Mg - 0,58N$	94,8

O teor de P explica 64,6% do IBN (Tabela 5), e o teor de manganês (Mn) ao ser acrescentado explica mais 19,07%, ou seja, um modelo final com os dois nutrientes explica 83,65% das variações do IBN. As diferenças existentes entre os valores dos atributos independentes incluídos no modelo têm maior influência nas variações do IBN, do que o resíduo, em nível de 5% de probabilidade. A Figura 2, de superfície de resposta, mostra o comportamento do IBN em função do P e do Mn.

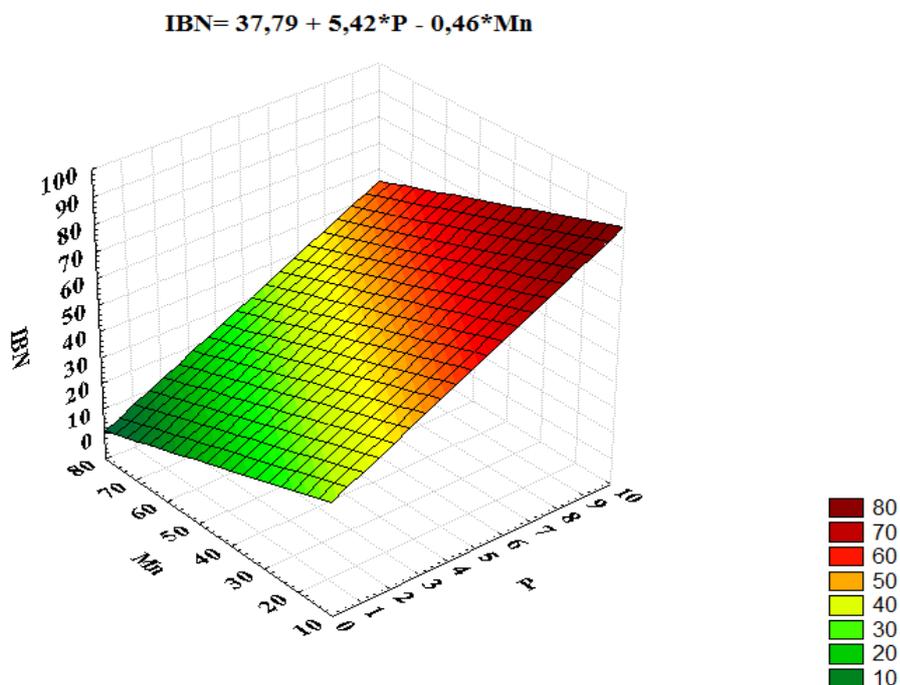


Figura 2. Superfície de resposta do IBN em função do P e do Mn foliar.

O IDMn apresentou correlação muito alta com o IBN ($r = -0,90$); alta correlação com teores de Mn, P e S; média correlação com teores de K e de Zn e com NBF; baixa correlação com teor de N e MF. A correlação do IDMn com o teor de Mn resultou em um $r = 0,75$, indicando que 56,2% das variáveis observadas nos índices são explicados pelo teor de Mn, e vice-versa. O IDZn apresentou correlação significativa (baixa) apenas com teor de Zn e com IBN.

O Mn e o Zn foram os nutrientes mais negativos, indicando uma deficiência dos mesmos em relação aos outros nutrientes. Os teores de Mn foram classificados como abaixo do ideal (47,3%) e ideal (50,4%) (Figura 1); no caso do Zn, seus teores foliares foram excessivos em 84,5% das amostras. Dias et al. (2013), avaliando normas DRIS para avaliação do estado nutricional de laranjeira, encontraram baixo grau de concordância para a maioria dos nutrientes quando comparou diagnóstico DRIS em relação a faixa de suficiência.

Guindani et al. (2009) encontraram a mesma incoerência entre a classificação do método DRIS e a faixa recomendada para teores de micronutrientes na cultura do arroz do Rio Grande do Sul. De acordo com os autores, a deficiência estimada pelo DRIS pode não significar que esteja ocorrendo deficiência de micronutrientes de forma geral nas lavouras de arroz, pois essa deficiência pode estar sendo superestimada.

O teor de S não apresentou correlação significativa apenas com o IDZn. O enxofre está em excesso em 65% das amostras foliares coletadas (Figura 1). A variação do teor de S explica 88% da variação do IDS ($r = 0,94$), que por sua vez teve correlação positiva alta com o IBN ($r = 0,77$). Lima et al. (2016) encontraram correlação significativa do S com os teores de N, P, K e Zn.

O IDMg apresentou alta correlação com teor de Mg, com valor de $r^2 = 57,8\%$; média correlação com o teor de Zn; baixa correlação com os teores de N, P, S e NBF; e correlação muito baixa com teor de Mn. O magnésio foi classificado como deficiente em 93% das amostras coletadas (Figura 1).

A massa de fruto teve correlação significativa com os índices DRIS do P, S e Mn, enquanto o número de botões florais teve correlação com todos os índices, com exceção do Zn. De acordo com a marcha de absorção de nutrientes do mamoeiro, no primeiro de cultivo a planta apresenta a quantidade total de acumulados nas flores e frutos de: 25% de K (27 kg ha^{-1}), 24% de N (25

kg ha⁻¹), 13,51% de Ca (5 kg ha⁻¹), 30% de P (3 kg ha⁻¹), 25% de S (3 kg ha⁻¹) e 12,5% de Mg (2 kg ha⁻¹), 13,74% de Mn (29 g ha⁻¹) e 20,18% de Zn (22 g ha⁻¹) (COELHO FILHO et al. 2007). Sendo que, a exportação de nutrientes pelos frutos ocorre apenas no terceiro ao quarto mês de colheita.

3.3 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Os semivariogramas escalonados pela variância dos dados ajustados, utilizados para avaliar a dependência espacial do IBN e das variáveis da planta estão apresentados na Figura 3.

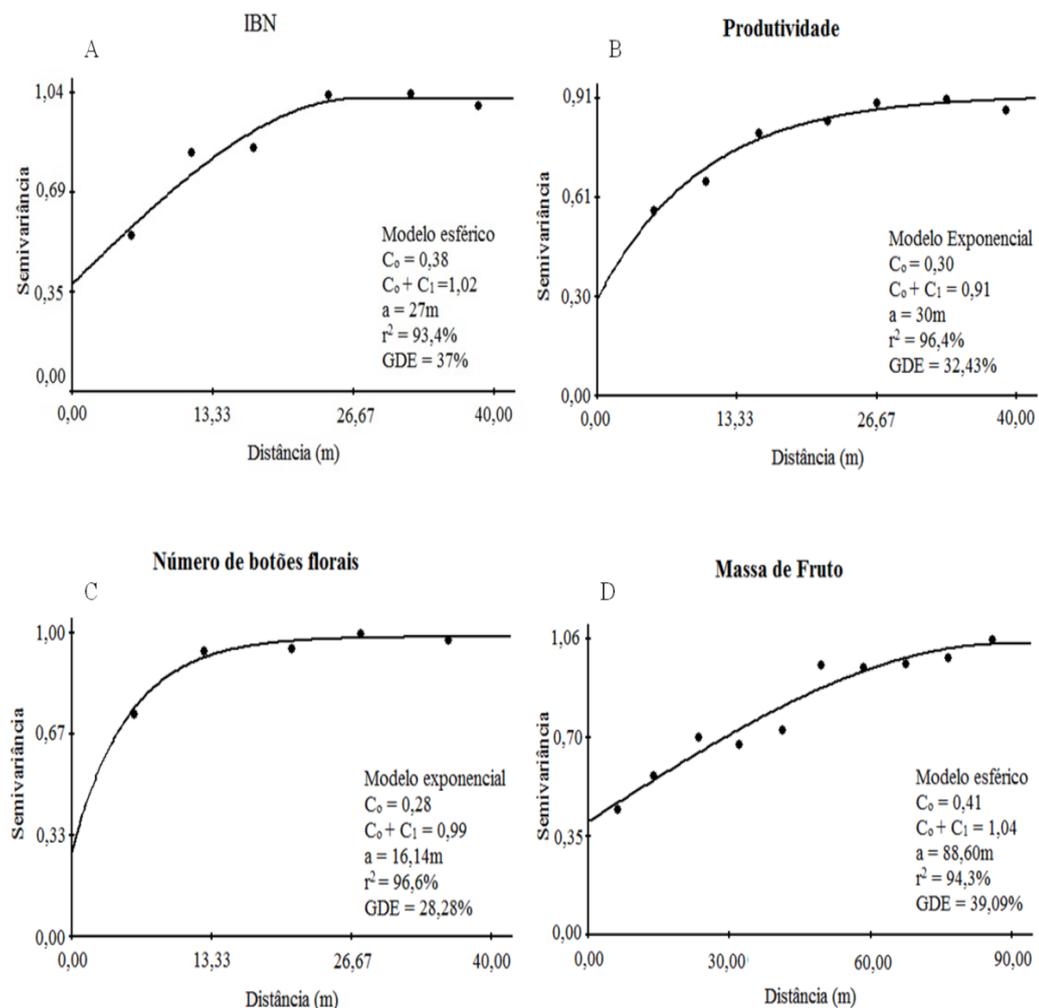


Figura 3 – Semivariogramas ajustados aos valores observados do IBN (A), produtividade (Mg ha⁻¹) (B), número de botões florais (C) e massa de fruto (kg fruto⁻¹).

O alcance é um parâmetro que define a região em que as amostras são mais similares. A distância de amostragem para se caracterizar a dependência espacial deve considerar como a metade do alcance. Desta forma, o número de amostras para caracterizar a dependência espacial será distinto, tendo como referência o alcance de cada atributo. Por exemplo, para MF é necessário coletar um número menor de amostras do que para o NBF, devido o valor do alcance ser maior ($a' = 88,6\text{m}$). Os valores de alcance seguem a ordem: MF > PRD > IBN > NBF.

Silva, Lima e Queiroz (2011), avaliaram a variabilidade espacial do estado nutricional de duas variedades de café arábica, por meio do IBN, e perceberam que o balanço nutricional variou com a distância entre as amostras, com alcances de 25 e 73 m, influenciando a resposta espacial dos rendimentos. Enquanto Fonseca et al. (2015) encontraram valor de 15 m para alcance do IBN no café conilon.

A razão entre o efeito pepita e o patamar $[C_0/(C_0 + C_1)]*100$, permitem a classificação da dependência espacial de acordo com Cambardela et al. (1994). Os graus de dependência espacial (GDE) foram classificados como 'alto' ($GDE < 25\%$) para número de botões florais e, 'moderado' ($25\% > GDE > 75\%$) para produtividade, IBN e MF. O valor baixo do grau de dependência espacial indica que a maior porcentagem da variância é influenciada pela posição das amostras e da relação de dependência entre elas até o valor de alcance.

A partir do semivariogramas ajustados (Figura 3), foram elaborados mapas temáticos, por meio da interpolação pelo método da krigagem. O mapa temático do IBN (Figura 4) mostra sua variabilidade dentro da lavoura, onde as cores mais claras representam a área onde o desequilíbrio nutricional é maior. O ponto com menor valor de IBN, representado por cores mais escuras, foi de 18.

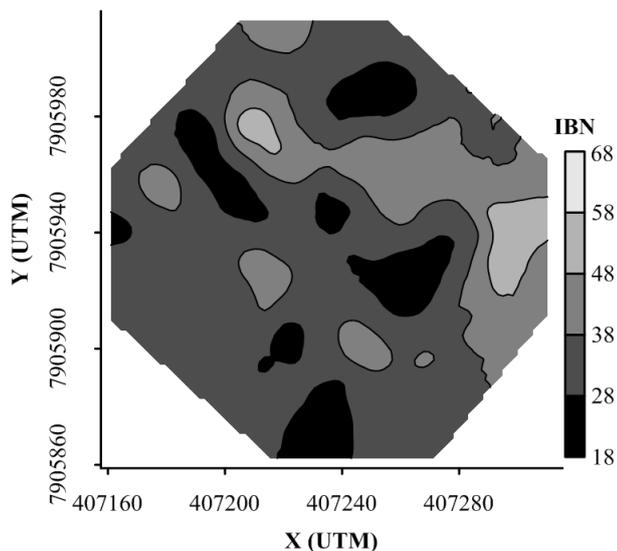


Figura 4 – Mapa de distribuição espacial do IBN do mamoeiro.

De acordo com Dias et al. (2013), a ausência de adubações equilibradas pode causar uma situação generalizada de deficiência, refletindo nas normas DRIS. Queiroz et al. (2014), trabalharam com tubérculos de batata e concluíram que o emprego do método DRIS permite conhecer a ordem de limitação dos nutrientes possibilitando a adequação das relações destes ao longo do ciclo de cultivo, o que otimiza o manejo de adubação.

Considerando a importância do DRIS na interpretação do estado nutricional de uma lavoura, é importante salientar que a coleta das amostras foliares é realizada, geralmente de forma aleatória, não sendo observada a variabilidade espacial presente, o que pode subestimar ou superestimar os resultados. A Figura 4 mostra que, em maior parte da área, o IBN apresenta valores entre 28 a 38, valores próximos à média, 35,15 (Tabela 3). Porém valores elevados e baixos (53,51 e 17,05, respectivamente) encontrados na lavoura, nas regiões leste e sul do mapa, mostram que a utilização da média não fornece uma interpretação exata da população a partir da qual se pretende compreender o balanço nutricional (Figura 4).

Lima et al. (2016), avaliando a variabilidade espacial dos teores foliares de amostras de mamoeiro, encontraram forte dependência espacial para os atributos estudados, o que possibilitou dividir a região em classes para utilização de um manejo diferenciado. Oliveira et al. (2009), avaliando a variabilidade espacial da concentração de macronutrientes em laranja, também encontraram dependência espacial nos atributos estudados. A utilização da

geoestatística na interpretação da análise foliar pelo método DRIS pode trazer resultados satisfatórios, conforme discutido por SILVA; LIMA; QUEIROZ (2011).

Com base na análise de correlação de Pearson dos índices DRIS, os valores de IDN, IDP, IDS e IDMn (APÊNDICE C) indicam o desequilíbrio nutricional da lavoura ($r = -0,60, 0,83, 0,77$ e $-0,90$, respectivamente), elevando os valores de IBN. Considerando os limites propostos por Silva et al. (2005), a interpretação dos índices DRIS pelos valores médios do IBNm (APÊNDICE G) mostrou 100% de limitação por falta para Mn e 89,14% de limitação por excesso para P (Tabela 6) na maioria dos pontos coletados.

Tabela 6 – Frequência em que os pontos avaliados apresentaram-se como limitantes, por falta ou deficiência (LF), não limitante (NL), e limitante por excesso (LE)) para a cultura do mamoeiro.

Nutriente	Frequência		
	LF (%)	NL (%)	LE (%)
IDN	7,75	92,25	0
IDP	0	10,86	89,14
IDK	0	95,34	4,66
IDCa	0	79,07	20,93
IDMg	0	98,45	1,55
IDS	0	58,91	41,08
IDMn	100	0	0
IDZn	29,46	70,54	0

IDN, IDP, IDK, IDCa, IDMg, IDS, IDMn, IDZn = índices DRIS para N, P, K, Ca, Mg, S, Mn e Zn, respectivamente.

De acordo com alguns autores o agrupamento de classes de potencial de resposta à adubação resulta no agrupamento em uma única classe de estado nutricional, de nutrientes com alta (LF) e baixa (LE) probabilidade de resposta à adubação (URANO et al. 2006; SERRA et al. 2010).

Por ser o IDMn o mais limitante por falta, e apesar de estar na Classe I para resposta de adubação (APÊNDICE H) é importante considerar que os teores de N, P, K e S influenciaram negativamente nos seus valores (Tabela 4). De acordo com Cantaruttiet al. (2007), quando o nutriente pertence à Classe I, existe alta probabilidade de que essa lavoura responda a adubação.

A deficiência de Mn, observada pelo método DRIS, pode ser corrigida por meio de adubação em taxas variáveis, variando as concentrações na área em que o IBN foi mais elevado e nas

áreas que ele foi mais baixo (Figura 4), devido à elevada correlação negativa entre ambos (Tabela 4).

Além da adubação mangânica, deve-se evitar aplicação de adubos que sejam fontes de P ou S, pois o excesso destes influenciou negativamente nos índices DRIS do Mn ($r = -0,57$, respectivamente) e no aumento nos valores do IBN. O S e o P encontram-se na Classe V, o que significa que a adubação com estes tem alta probabilidade de reduzir a produção (CANTARUTTI et al. 2007).

Observa-se no mapa (Figura 5) que a massa de fruto (kg fruto^{-1}) é maior na região leste, mesma região onde os valores do IBN são mais elevados; e a parte central do mapa apresenta menor massa por fruto, principalmente nos pontos com menores valores de IBN. Na análise de correlação, obteve-se baixa correlação positiva ($r = 0,32$) entre IBN e a MF, que pode ser justificada pela migração dos nutrientes para o fruto.

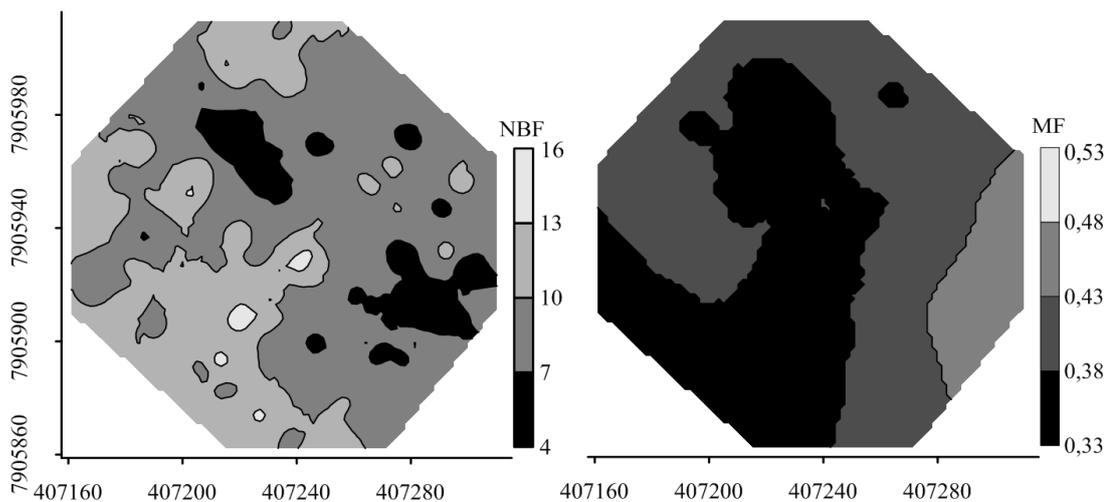


Figura 5. Mapas de número de botões florais (NBT) e massa de fruto (MF).

Houve correlação média entre PRD e MF ($r = 0,50$) e entre IBN e NBF ($r = -0,48$); e correlação negativa muito baixa para MF e NBF ($-0,19$). Não houve correlação linear significativa entre produtividade e IBN. Costa (1996) e Fonseca et al. (2015) também não encontraram correlação linear entre IBN e produtividade.

Fonseca et al. (2015), avaliando a variabilidade espacial da produtividade e do estado nutricional do cafeeiro conilon, não indicaram o IBN como ferramenta para o estabelecimento

de um padrão nutricional para o café conilon quando a lavoura apresenta elevado desequilíbrio nutricional, devido a falta de correlação linear e espacial entre IBN e produtividade.

A correlação espacial entre produtividade e IBN foi significativa positiva, porém o semivariograma apresentou um alcance indeterminado para a malha amostral, não permitindo a obtenção das estruturas elementares da dependência espacial. Silva; Lima e Queiroz (2011) obtiveram correlação espacial significativa entre a produtividade e o IBN, avaliando a variabilidade espacial do estado nutricional de duas variedades de café arábica. No caso do mamoeiro, no entanto, obteve-se correlação negativa do IBN com o número de botões florais (NBF), o que indica que nessa fase de desenvolvimento da planta a lavoura se encontrava mais equilibrada.

4. CONCLUSÕES

A lavoura apresenta desequilíbrio nutricional, conforme indicado pelo índice de balanço nutricional (IBN). O Mn e o P foram os nutrientes que mais influenciaram na variação do IBN. A lavoura responderá positivamente a adubação mangânica devido este ter sido o mais limitante por falta.

O IBN não apresentou correlação linear com a produtividade, mas apresentou correlação negativa com o número de botões florais e positiva com a massa de fruto. O IBN apresentou dependência espacial, com ajuste no modelo esférico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALVAREZ V. V. H.; LEITE, R. A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para caçulo dos índices DRIS. B. Inf. SBCS, 24:20-25, 1999.

AMARAL, José Augusto Teixeira do et al. Alguns atributos do DRIS para a interpretação da análise foliar do cafeeiro. In: ANDRADE, F.V. et al. (Eds). **Tópicos em Produção Vegetal**. Alegre: UFES, v. 1, p. 125-140, 2011.

AMARAL, José Augusto Teixeira do, et al. Interpretação da Análise Foliar dos Cafeeiros Arábica (*Coffea arabica* L.) e Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner). In: PRATISSOLI, D. et al. (Eds.). **Tópicos em Produção Vegetal**. v. 3, p. 519-542. Alegre – ES, 2012.

BEAUFILS, E. R. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS): a general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. **Soil Science Bulletin**, 1. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa, 1973.

BORSSOI, J. A. et al. Local influence of explanatory variables in Gaussian spatial linear models. **Chilean Journal of Statistics**, v. 2, n. 2, p. 29-38, 2011.

BISHT, C. P.; SOLANANKI, R. B.; SINGH, A. Effect of NPK and FYM on quality and leaf nutrient status for obtaining yield of papaya. **Annals of Horticulture**, v. 3, p. 109-111, 2010.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al (Eds.). **Fertilidade do solo**. 1nd ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

CANTARUTTI, R. B. et al. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. et al (Eds.). **Fertilidade do solo**. 1nd ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

CAVALCANTE, E. G. S. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, p. 1329-1339, 2007.

COELHO FILHO, M. A. et al. Marcha de absorção de macro e micronutrientes do mamoeiro sunrise solo. In: MARTINS, D. S.; COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S. (Eds). **Papaya Brasil: manejo, qualidade e mercado do mamão**. Incaper, 2007.

COSTA, A. N. **Uso do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), na avaliação do estado nutricional do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no Estado do Espírito Santo**. Viçosa, 1995. 93f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

COSTA, A. N. (1996). Uso do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) no Mamoeiro. In: MENDES, L. G.; DANTAS, J. L. L.; MORALES, C. F. G. (Org.). **Mamão no Brasil**. Cruz das Almas-BA: EMBRAPA, v. 1.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, p. 900, 1991.

DIAS, J. R. M. et al. Normas DRIS multivariadas para avaliação do estado nutricional de laranja 'Pera' no estado do Amazonas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 251-259, 2013.

FAGUNDES, G. R.; YAMANISHI, O. K. Características físicas e químicas em frutas de mamoeiro do grupo Solo comercializado em 4 estabelecimentos de Brasília – DF. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 3, p. 541-545, 2001.

FONSECA, A. S. et al. Spatial variability of the productivity and the nutritional condition of *Coffea canephora*. **Coffee Science**, Lavras-MG, v. 10, n. 4, p. 420-428, 2015.

GUINDANI, R. H. P.; ANGHINONI, I.; NACHTIGALL, G. R. DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p.109-118, 2009.

HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TYKEY, J. W. **Análise exploratória de dados: técnicas robustas, um guia**. Lisboa: Salamandra, p. 446, 1983.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Na introduction to applied geostatistics**. New York, Oxford University Press, p. 561, 1989.

JONES, C. A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for interpreting plant analyses. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 12, p. 785-794, 1981.

LEÃO M. G. A. et al. O relevo na interpretação da variabilidade espacial dos teores de nutrientes em folha de citros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande-PB, v. 14, n. 11, p. 1152-1159, 2010.

LIMA, J. S. S. et al. Agricultura de precisão no cultivo do mamoeiro: Um potencial. (2012). In: PRATISSOLI, D. et al. (Orgs.). **Tópicos Especiais em Produção Vegetal**, v. 3, p. 810-837). Alegre - ES: UFES.

LIMA, J. S. S. et al. Spatial variability in the diagnosis of nutritional status in the papaya. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 2, p. 264-274, abr-jun, 2016.

KITAMURA, A. E.; CARVALHO, M. P.; LIMA, C. G. R. Relação entre a variabilidade espacial das frações granulométricas do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-Mg, v. 31, p. 361-369, 2007.

MARIN, S. L. D. et al. Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos 'Solo' e "Formosa" no Estado do Espírito Santo. **Circular técnica 3**, 4.ed. Vitória: EMCAPA, p. 57, 1995. 57p.

MARINHO, C. S. et al. Fontes e doses de nitrogênio e a qualidade dos frutos do mamoeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 58, n. 2, p. 345-348, 2001.

MARINHO, C. S. et al. Análise química do pecíolo e limbo foliar como indicadora do estado nutricional dos mamoeiros 'solo' e 'formosa'. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 59, n. 2, p. 373-381, 2002.

MARINHO, A. B. et al. Produtividade e qualidade do fruto do mamoeiro híbrido UENF/ Caliman 01 sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio. **Agropecuária Técnica**, v. 31, p. 22-28, 2010

MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 01, p. 19-27, 2008.

MENEZES JUNIOR, J. C.; MESQUITA, E. F.; CAVALCANTE, L. F. Teores foliares de macronutrientes em mamoeiro cultivado em solo adubado com biofertilizante. **Magistra**, v. 26, n. 02, p. 169-177, 2014.

MESQUITA, E. F. et al. Teores foliares e exportação de nutrientes do mamoeiro Baixinho de Santa Amália tratado com biofertilizantes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia-GO, v. 40, n. 1, p. 66-76, 2010.

OLIVEIRA, A. M. G.; CALDAS, R. C. Produção do mamoeiro em função de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 01, p. 160-163, 2004.

OLIVEIRA, P. C. G. et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo e da produtividade de citros na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 13, n. 6, p. 708-715, 2009.

OLIVEIRA, A. M. G. et al. Mamão. In: BORGES, A. L.; GOMES, E. F. (Ed). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. (118-130). Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2009.

OLIVEIRA, R. B. et al. Spatial variability of the nutritional condition of canephora coffee aiming specific management. **Coffee Science**, Lavras-MG, v. 5, n. 03, p. 190-196, 2010.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; MARTINS, M. A. Nutritional diagnosis of the organic Conilon coffee trees (*Coffea canephora* Pierre ex Froehn): sufficiency range approach for leaves and soil. **Coffee Science**, Lavras-MG, v.01, p.43 - 49, 2006.

PIMENTEL-GOMEZ, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba, FEALQ, p. 309, 2002.

PREZZOTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5ª aproximação. Vitória, ES, SEES/INCAPER/CEDAGRO, p. 305, 2007.

QUEIROZ, A. A. et al. Productivity and establishment of DRIS indices for tuber of the potato cultivar 'Agata'. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 45, n. 2, p. 351-360, 2014.

ROBERTSON, G.P. GS+: geostatistics for the environmental sciences. **Plainwell**: Gamma Design Software, 2008.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3º ed. ver. Ampli. 353 p. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SANTOS, E. D. et al. Estado nutricional do mamoeiro Formosa (cv. Caliman 01) em função de adubação com NK e espaçamento de plantio. **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 3, p. 229-240, 2014.

SERRA, A. P. et al. Estabelecimento de normas DRIS para algodoeiro com diferentes critérios de seleção da população de referência. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.48, n.11, p.1472-1480, nov. 2013.

SILVA, G. G. C. et al. Avaliação da universalidade das normas DRIS, m-DRIS e CND. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.755-761, 2005.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial da produtividade e teores de macronutrientes nas folhas de duas variedades de café arábica. **Engenharia na Agricultura**, v. 17, n. 5, p. 337-354, 2009.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Avaliação da variabilidade do estado nutricional e produtividade de café por meio da análise de componentes principais e geoestatística. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p. 271-277, 2012.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; QUEIROZ, D. M. Spatial variability in nutritional status of arabic coffee based on DRIS index. **Revista Ceres**, v. 58, n. 2, p. 256-261, 2011.

SOUZA, L. C. **Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido paraibano**. Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 1999. 77f. (Dissertação de Mestrado).

URANO, E. O. M. et al. Avaliação do estado nutricional da soja. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.9, p.1421-1428, set. 2006.

VIEIRA, S. R. et al. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1503-1514, 2010.

WADT, P. G. S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee crops. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 29, p. 227-234, 2005.

WADT, P. G. S. et al. Modelagem de funções no cálculo dos índices DRIS. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 42, n. 1, p. 57-64, 2007.

WADT, P. G. S. et al. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvores de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 661-666, 1998.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. ed. **Applications of soil physics** (319-344). New York, Academic Press, 1980.

CAPÍTULO II—APLICAÇÃO DA LÓGICA *FUZZY* NA ANÁLISE ESPACIAL DO ESTADO NUTRICIONAL DO MAMOEIRO

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho mapear o estado nutricional do mamoeiro considerando a variabilidade espacial de cada nutriente avaliado, utilizando lógica *fuzzy*. O estudo foi realizado em lavoura comercial de mamão, no norte do Espírito Santo, onde foram coletadas folhas recém-maduras em 129 pontos georreferenciados. Foram determinados os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Mn e Zn. Avaliou-se a produtividade no nono mês de idade. Fez-se a análise geoestatística dos teores foliares e da produtividade. Definida a dependência espacial, onde foram confeccionados mapas temáticos por meio da krigagem. À partir dos mapas, determinou-se o universo de discurso de cada nutriente, seguido da construção dos conjuntos *fuzzy* de entrada, por meio da função trapezoidal. Com os mapas dos teores foliares realizou-se a classificação *fuzzy*. Após a obtenção dos graus de pertinência de cada nutriente, fez-se a combinação dos mapas, utilizando-se a função de álgebra de mapas, por meio do operador *fuzzy* soma convexa. Os graus de pertinência para N, K, Ca e Mg representam os teores foliares abaixo do recomendado pela literatura, enquanto os do P e Zn, acima. O nutriente que mais influenciou positivamente o estado nutricional da lavoura foi o Ca. A lavoura apresentou grau de pertinência máximo igual a 0,6 para o estado nutricional, classificada no grupo de estado nutricional ruim.

PALAVRAS CHAVE: Lógica difusa, variabilidade espacial, nutrição de plantas

ABSTRACT

The aim of this study was to use fuzzy logic to map the nutritional status of papaya, considering the spatial variability of each nutrient evaluated. The study was conducted in commercial farming of papaya in the Espírito Santo north, where were collected newly mature leaves in 129 georeferenced points. Were determined foliar N, P, K, Ca, Mg, S, Mn and Zn. The productivity was assessed in the ninth month of age. Geoestatistical analysis was made of the nutrient content

foliar and productivity. Defined spatial dependence, were made thematic maps through kriging ordinary. From the maps, was determined the universe of discourse for each nutrient, followed by the construction of the fuzzy sets of input, through the trapezoidal function. With maps of nutrient content it was held fuzzy classification. After obtaining the degrees of membership of each nutrient, did the combination of maps, using the map algebra function by the fuzzy operator convex sum. The degrees of relevance for N, K, Ca and Mg represent the leaf levels below recommended in the literature, while the P and Zn above. The nutrient that most positively influenced the nutritional status of the crop was Ca. The crop presented poor nutritional status, with note 0.6, classifying it in poor nutritional status group.

KEY WORDS: Fuzzy logic. Spatial variability. Plants nutrition.

1. INTRODUÇÃO

A análise do estado nutricional do mamoeiro pelos teores foliares dos nutrientes permite melhor identificação da deficiência nutricional, uma vez que nas folhas ocorrem as principais reações metabólicas e as alterações fisiológicas decorrentes de distúrbios nutricionais (TAIZ e ZEIGER, 2009) A análise foliar possibilita correções, reduzindo impactos sobre a produtividade por meio da aplicação de fertilizantes que contenham os minerais necessários ao restabelecimento do equilíbrio (MENENEZ JUNIOR et al. 2014).

A análise da distribuição espacial dos nutrientes foliares possibilita identificar na lavoura a presença de regiões distintas, mostrando com mais precisão o estado nutricional da cultura (LIMA et al. 2006). Para esta análise utiliza-se das ferramentas da geoestatística, com definição do semivariograma que melhor representa a variabilidade espacial dos teores foliares, o que possibilita a construção por krigagem ordinária dos mapas temáticos com variância mínima (DELALIBERA et al. 2012).

Outra ferramenta que vem sendo utilizada juntamente com a análise espacial engloba a utilização do método *fuzzy*, definindo, de forma menos rígida, os limites de suficiência dos atributos estudados. Estas análises aparecem nos estudos de Silva et al. (2010), avaliando a fertilidade do solo e sua correlação com a produtividade do café conilon e de Souza et al. (2009)

que perceberam que uma suavização dos limites de variação dos atributos químicos do solo oferece uma interpretação mais próxima ao comportamento real de um determinado atributo.

De acordo com Klir e Yuan (1995) a lógica *fuzzy* é utilizada principalmente de duas formas: representar a extensão da lógica clássica para uma mais flexível, com objetivo de formalizar conceitos imprecisos; e processar informações imprecisas de forma que sua aplicação facilite nas tomadas de decisões. Sendo assim, espera-se encontrar limites suavizados na classificação dos teores dos nutrientes nas folhas do mamoeiro e representar em mapas temáticos com mínima variância. Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho utilizar lógica *fuzzy* para mapear o estado nutricional do mamoeiro considerando a variabilidade espacial de cada nutriente avaliado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Com os mesmos dados utilizados no Capítulo I realizou-se análise exploratória, para averiguar a presença de pontos discrepantes, e análise descritiva, para determinar: a média; a mediana; o coeficiente de variação; e a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk (W) ($p < 0,05$).

Os dados foram submetidos à análise geoestatística para verificar e quantificar a dependência por meio do ajuste do semivariograma clássico de Matheron (Equação 1).

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i+h) - Z(x_i)]^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

em que: $\gamma^*(h)$ = semivariância estimada; $N(h)$ = número de pares do atributo; $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$ = valores dos atributos medidos na posição x_i e x_i+h , separados por um vetor h (distância entre amostras).

Foram testados os modelos de semivariograma esférico, exponencial e gaussiano, foi escolhido o que resultou na menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR), maior coeficiente de determinação (R^2) e maior coeficiente de regressão obtido pelo método de validação cruzada. Foram determinados: efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C_1), variância estrutural (C_1) e alcance (a_0). Para análise da dependência espacial foi calculado o grau de dependência espacial (GDE)

por meio da relação $[C_0/(C_0+C_1)]*100$, onde C_0 representa o efeito pepita e C_0+C_1 representa o patamar (CAMBARDELLA et al. 1994).

A partir dos semivariogramas ajustados construiu-se, por krigagem ordinária, os mapas para cada atributo. Em seguida fez-se a transformação dos valores dos mapas segundo o método fuzzy; o que permitiu a obtenção de uma superfície contínua representativa das transições graduais entre os graus de pertinência.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS CONJUNTOS FUZZY DE ENTRADA

Para a utilização do sistema de lógica *fuzzy* (SLF), primeiro foram determinados os Universos do Discurso (UD) de cada nutriente, que é composto pelos limites máximos e mínimos que tem significado para a análise. Esses limites foram determinados de acordo com o valor máximo e mínimo dos teores foliares, de cada nutriente, encontrados na literatura (MARINHO et al. 2002; ALMEIDA et al. 2002; BARRETO et al. 2002).

Após a determinação do UD para cada nutriente, foram construídos os conjuntos *fuzzy* de entrada para os teores foliares, com o auxílio da caixa de ferramentas *Fuzzy Logic Toolbox*TM, do programa MATLAB[®] (R2012a). Para confecção do mapa do estado nutricional, foram considerados apenas os valores pertencentes ao conjunto dos teores ideais, determinado pela função de pertinência trapezoidal, conforme Equação 2:

$$f(x;a,b,c,d)=\left\{\begin{array}{l} 0, x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, a \leq x < b \\ 1, b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, c \leq x < d \\ 0, d \leq x \end{array}\right\} \quad (\text{Eq. 2})$$

A função de pertinência (FP) trapezoidal é caracterizada por quatro parâmetros (a, b, c e d), onde a e d determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, b e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e igual a 1. As FPs foram estabelecidas tendo como base as faixas de nutrientes consideradas

ideais para o estado nutricional do mamoeiro produzido no Espírito Santo (COSTA, 1995; PREZOTTI et al. 2007).

Para os teores abaixo e acima do recomendado foram utilizadas as funções de pertinência Z e S. Essas funções recebem esse nome devido sua forma, onde Z é a curva polinomial assimétrica aberta para esquerda (teores abaixo do recomendado) e S, aberta para direita (teores acima do recomendado) (Equações 3 e 4, respectivamente):

$$f(x,a,b)=\left\{\begin{array}{l} 1, x \leq a \\ 1-2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0, x \geq b \end{array}\right\} \quad \text{Eq. 3}$$

$$f(x,a,b)=\left\{\begin{array}{l} 0, x \leq a \\ 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^2, a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1-2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, x \geq b \end{array}\right\} \quad \text{(Eq. 4)}$$

Os parâmetros a e b delimitam os valores, ou seja, localizam os extremos da parte inclinada da curva, dos grupos que representam os teores que estão abaixo (Equação 3) e acima (Equação 4) do ideal para a cultura do mamão.

A Figura 1 mostra os conjuntos *Fuzzy* (CF) de entrada onde os graus de pertinência (GP), para cada nutriente, encontram-se no eixo y e os valores da variável que se quer estudar (UD) no eixo x. Quando determinado valor possui um grau de pertinência igual a 1, significa que este valor não provoca dúvidas para especificar que o teor do nutriente encontrado pertence a uma faixa de teor ideal, deficitário ou excessivo, requerido pela cultura. Os valores de pertinência 0,5 é denominado momento de incerteza, onde o valor encontrado pode pertencer a dois grupos simultaneamente.

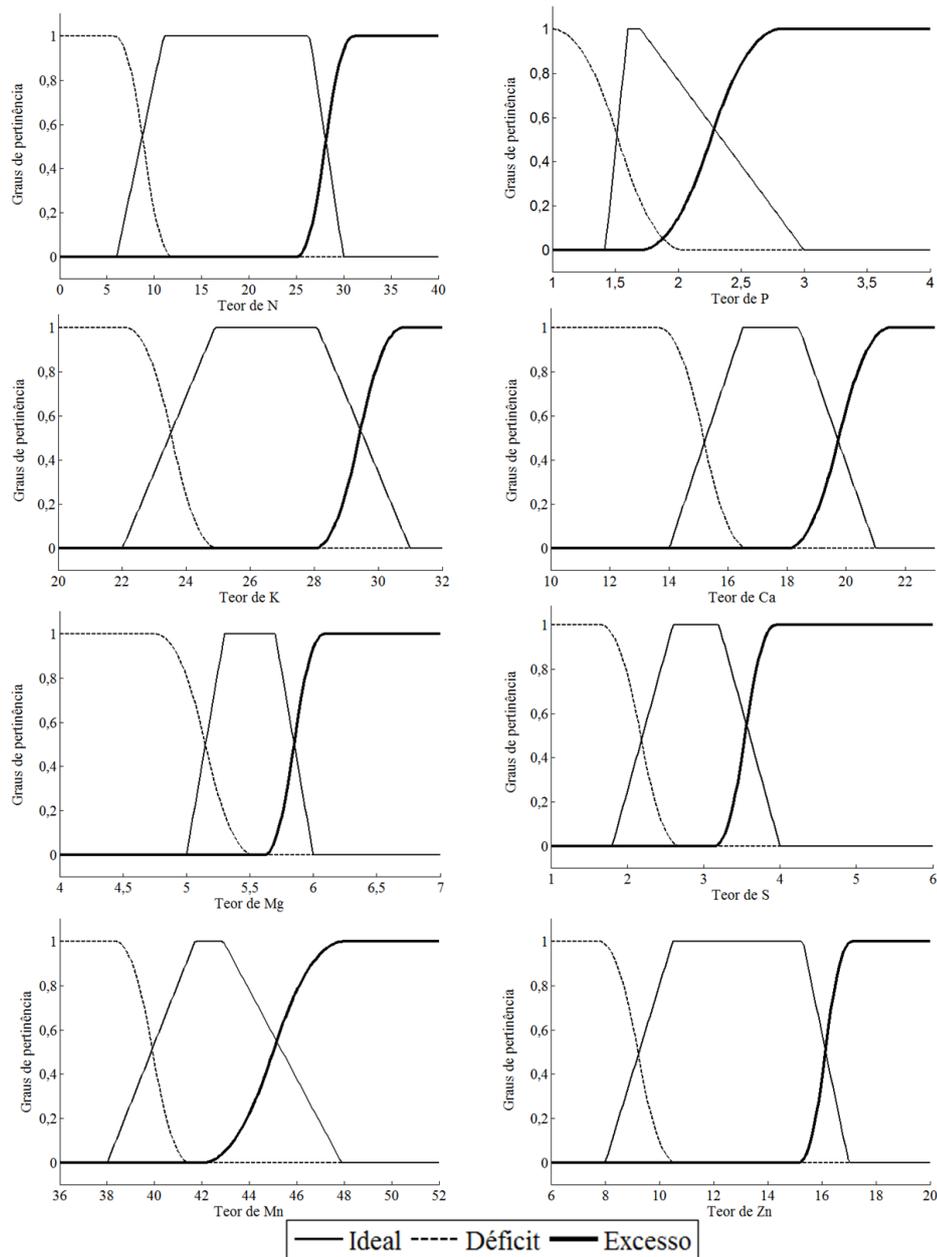


Figura 1 – Conjuntos *fuzzy* para a variável de entrada do estado nutricional do mamoeiro.

Em um SLF as informações são normalmente processadas por meio de operações básicas sobre os conjuntos, que são: união (\cup), interseção (\cap), complemento e produto. Existem ainda operações derivadas destas operações básicas (ZADEH, 1968), como soma, diferença e combinação convexa.

Com os mapas gerados, de cada nutriente foliar, fez-se a classificação de acordo com a concentração ideal para cada nutriente foliar (Equação 2). Plotou-se gráfico da relação grau de

pertinência *versus* teor foliar, afim de averiguar o comportamento dos teores foliares em relação ao seu respectivo grau de pertinência. Para os mapas que em que os valores não pertenciam ao conjunto dos teores ideais, a classificação foi feita utilizando as funções de pertinência em Z e em S, afim de verificar o quanto os valores pertencem ao conjunto de teores abaixo e acima do teor ideal (Equação 3 e 4, respectivamente).

Fez-se a combinação dos mapas dos teores ideais, utilizando-se a função de álgebra de mapas, por meio do operador *fuzzy* soma convexa (Equação 5). Foram atribuídos pesos a cada nutriente de acordo com o nível de importância para a cultura do mamoeiro ($K > N > Ca > P = Mg > S > Mn > Zn$) (COELHO FILHO et al. 2007) de forma que o somatório dos pesos seja igual a 1.

$$\text{Mapa final} = 0,2K + 0,18N + 0,16Ca + 0,13P + 0,13Mg + 0,1S + 0,07Mn + 0,03Zn \quad (\text{Eq. 5})$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise exploratória dos dados demonstrou a presença de pontos discrepantes para N (6), P (3), K (3), Ca (1), Mg (2), S (1) e Zn (1), que foram eliminados para não apresentarem caudas muito alongadas em sua distribuição, uma vez que pode comprometer a análise geoestatística (ISAAKS e SRIVASTAVA, 1989; CRESSIE, 1991). A análise descritiva dos teores de nutrientes no pecíolo foliar e dos atributos de planta, após tratar os dados discrepantes, encontra-se na Tabela 1.

Todos os atributos avaliados apresentaram valores de tendência central próximos (média e mediana) apontando que os dados se aproximam de uma distribuição normal. A distribuição normal dos dados foi comprovada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) para a produtividade, massa de fruto e para os teores Ca e do Mg. Analisando a variabilidade dos dados pelo coeficiente de variação (CV), foi: baixa para nitrogênio ($CV < 12\%$); e média para os demais atributos ($12\% < CV < 60\%$) (WARRICK e NIELSEN, 1980).

Tabela 1 – Estatística descritiva dos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Mn, da produtividade (PRD); da massa do fruto (MF); e do número de botões florais (NBF).

Atributo	Max	Mín	MD	M	S	CV (%)	Cs	Ck	W
N (g kg⁻¹)	11,55	6,65	8,75	9,03	1,04	11,47	0,48	-0,25	0,96*
P (g kg⁻¹)	6,75	1,08	2,65	2,96	1,34	45,24	0,78	-0,27	0,92*
K (g kg⁻¹)	38,10	8,10	19,70	21,03	6,70	31,89	0,54	-0,17	0,97*
Ca (g kg⁻¹)	20,84	6,52	12,61	12,86	3,03	23,53	0,27	-0,40	0,98
Mg (g kg⁻¹)	5,80	1,66	3,69	3,78	0,83	21,98	0,30	-0,20	0,98
S (g kg⁻¹)	6,83	0,75	3,29	3,34	1,44	43,15	0,28	-0,65	0,98*
Zn (mg kg⁻¹)	72,90	21,68	41,51	42,22	11,81	27,98	0,38	-0,60	0,97*
Mn (mg kg⁻¹)	37,53	8,95	20,56	21,96	6,29	28,65	0,48	-0,42	0,97*
PRD	24,95	2,31	12,94	13,64	5,46	40,04	0,19	-0,66	0,98

Max: valor máximo; Min: valor mínimo; MD: mediana; M: média; s: desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria; Cc: coeficiente de curtose; p-valor = 5%; PRD = produtividade em Mg ha⁻¹; MF = massa de fruto em kg fruto⁻¹; NBF = número de botões florais; e * significativo pelo teste de Shapiro-Wilk (p < 0,05).

As mesmas classificações para CV foram encontradas no estudo da variabilidade espacial do teor de N em folhas de café (SILVA e LIMA, 2012; OLIVEIRA et al. 2010), de citros (LEÃO et al. 2010) e de soja (VIEIRA et al. 2010). Vieira et al. (2010) apontam que valores baixos de CV indicam que os teores foliares de nutrientes para uma mesma espécie vegetal ou cultivar tendem a se manter dentro de uma determinada faixa de variação.

A lavoura apresentou produtividade média baixa segundo Costa (1995). O peso médio do fruto foi semelhante aos encontrado por Brito Neto et al. (2011), avaliando a produtividade e a qualidade de frutos de mamoeiro ‘sunrise solo’ em função de doses de nitrogênio e boro no município de Areia-PB e, por Oliveira e Caldas (2004), avaliando a produção do mamoeiro em função de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio em Cruz das Almas-BA.

Os valores médios dos teores foliares apontam para um desequilíbrio nutricional na lavoura: com N, K, Ca e Mg com teores abaixo do requerido e P, S e Zn acima (COSTA, 1995). Fator determinante na elaboração dos mapas pelo método *fuzzy*, uma vez que os valores que não pertencem à classe dos teores ideais recebem graus de pertinência mais próximos de ‘zero’, gerando mapas de difícil visualização.

Resultados semelhantes para os teores de N e Mg foram obtidos por Marinho et al. (2002), avaliando limbo e pecíolo foliar como indicadores do estado nutricional do mamoeiro; de acordo com os autores, mesmo seguindo as recomendações de adubação nitrogenada para mamoeiro, as plantas apresentaram sintomas de deficiência de nitrogênio no período da sexagem.

O valor médio de P ($2,96 \text{ g kg}^{-1}$) está acima dos valores obtidos por Almeida et al. (2002), avaliando teores de nutrientes de Sunrise Solo irrigado no norte fluminense, e semelhantes ao encontrado por Lima (2009) ($1,42$ a $2,22 \text{ g kg}^{-1}$). Não consta na literatura efeitos de excesso de S na produção de mamão, mas de acordo com Oliveira et al. (2009), o S participa na composição química da papaína e desempenha funções que determinam aumentos na produção e qualidade do fruto. Menezes Junior et al. (2014) e Mesquita et al (2010), também encontraram valores médios elevados de S ($6,5$ e $7,1 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente), no cultivo do mamoeiro Baixinho de Santa Amália, avaliando adubação com biofertilizante no Remígio-PB.

O valor médio de Zn apresentou-se acima do ideal. Concentrações elevadas de zinco na folha podem ser justificadas pelo seu elevado teor no solo ou por adubação elevada. De acordo com Corrêa et al. (2005), elevadas doses de Zn promovem aumento na absorção e no acúmulo desse nutriente em mudas de mamoeiro, e influencia no acúmulo de P, K e S. O cálcio e o manganês apresentaram valores médios dentro do recomendado. O valor adequado de Mn assemelha-se aos teores obtidos por Marinho et al. (2002).

1.3 ANÁLISE GEOESTATÍSTICA

Na análise espacial, os semivariogramas mostraram que todos os atributos estudados apresentaram dependência espacial, com valores de R^2 maiores que 75%, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Modelos e Parâmetros dos semivariogramas para os atributos que caracterizam o estado nutricional e a produtividade do mamoeiro.

Atributo	Modelo	C ₀	C ₀ +C	a (m)	GDE(%)	R ² (%)
N (g kg⁻¹)	EXP	0,01	1,04	18,0	0,96	93,0
P (g kg⁻¹)	EXP	0,01	1,58	24,0	0,63	90,0
K (g kg⁻¹)	EXP	5,20	39,0	19,0	13,33	91,0
Ca (g kg⁻¹)	ESF	0,01	9,00	20,0	0,11	98,0
Mg (g kg⁻¹)	ESF	0,01	0,55	13,0	1,82	90,0
S (g kg⁻¹)	EXP	0,46	2,23	20,0	20,63	93,0
Zn (mg kg⁻¹)	ESF	12,0	30,0	12,0	40,0	79,0
Mn (mg kg⁻¹)	EXP	0,10	145,0	32,0	0,07	93,0
PRD	EXP	0,30	0,91	30,0	32,43	96,4

EXP: modelo exponencial; ESF: modelo esférico; C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; a: alcance de dependência espacial; GDE: grau de dependência espacial; R²: coeficiente de determinação múltipla do ajuste; PRD = produtividade em Mg ha⁻¹; MF = massa de fruto em Kg fruto⁻¹; e NBF = número de botões florais.

Os valores diferentes dos alcances encontrados, para cada atributo estudado, mostraram que o número de amostras será distinto para cada atributo, sendo que, para teor de Mn é necessário coletar um número menor de amostras do que para o teor de Zn; os valores de alcance seguem a ordem: Mn > P > PRD > Ca = S > K > N > Mg > Zn.

Os teores de N e K, assim como os de Mg e Zn, tiveram alcances próximos e se ajustaram ao mesmo modelo teórico, apresentando o mesmo padrão de distribuição espacial. Os graus de dependência espacial (GDE) foram classificados como forte (GDE < 25%) para a maioria dos atributos estudados, apenas o teor de Mn e a PRD, tiveram GDE classificado como ‘moderado’ (25% > GDE > 75%).

A razão entre o efeito pepita e o patamar $[C_0/(C_0 + C_1)]*100$, permitem a classificação da dependência espacial de acordo com Cambardela et al. (1994). O valor baixo do grau de dependência espacial demonstra que a variância espacial contribui muito na variância dos dados e que os semivariogramas ajustados explicam os fenômenos de forma satisfatória.

1.4 LÓGICA FUZZY NA ANÁLISE DOS DADOS

Ao aplicar o SLF nos mapas dos teores foliares, obteve-se os gráficos trapezoidais que mostra a relação entre os valores observados em campo e seus respectivos graus de pertinência dos macro e micronutrientes. Os graus de pertinência para N, K, Ca e Mg representam, na sua totalidade, os teores foliares abaixo do recomendado pela literatura, conforme mostra a Figura 2. Já os graus de pertinência do P e do Zn, estão com suas concentrações acima do que recomenda a literatura.

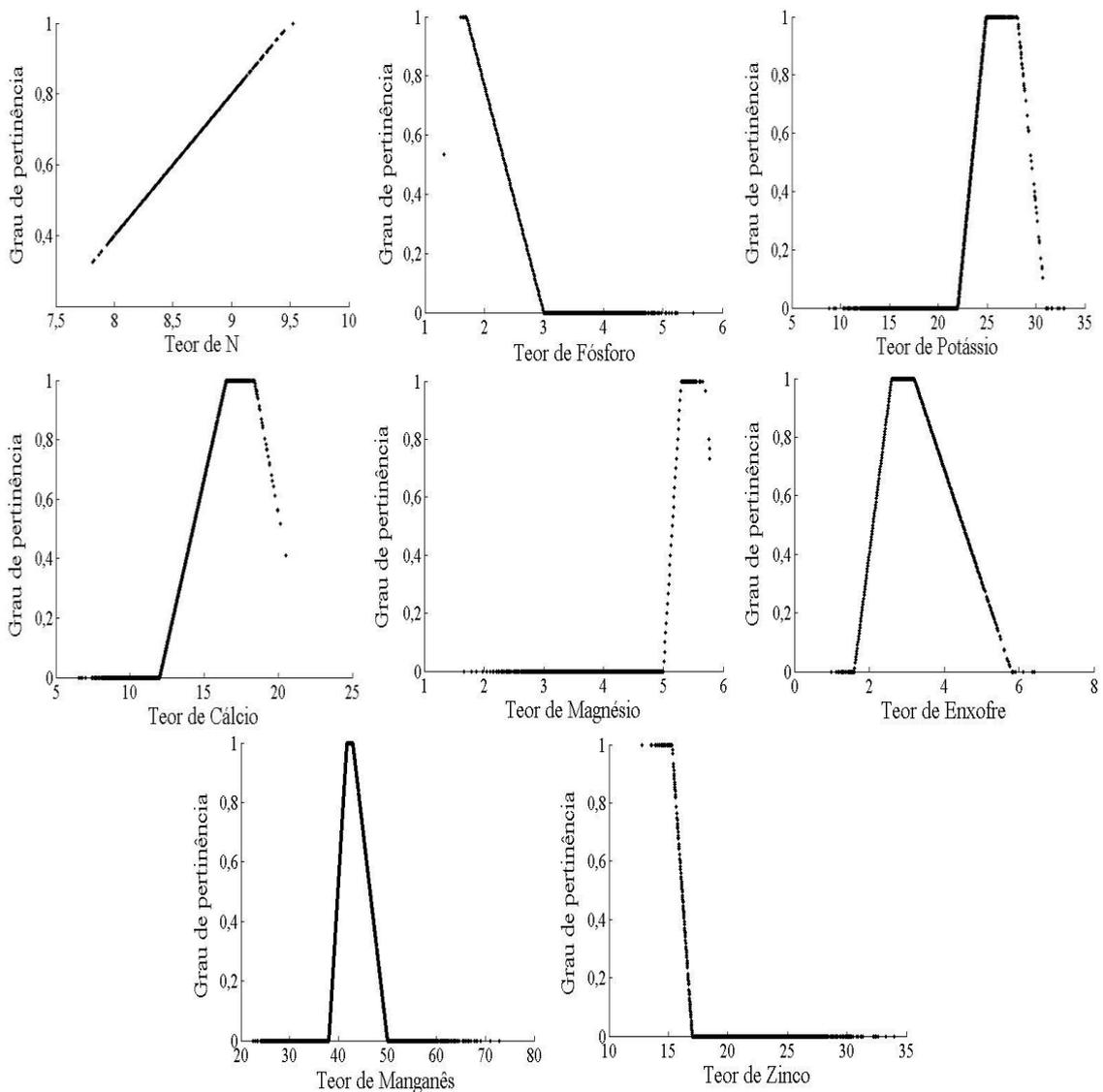


Figura 2 – Conjuntos fuzzy para a variável de saída dos teores foliares dentro da faixa ideal.

Por meio da função trapezoidal, observou-se a escala em que os dados se encaixam dentro da classe ideal, possibilitando a definição dos nutrientes que mais afetam negativamente e/ou positivamente no estado nutricional do mamoeiro. Os gráficos de K, Ca, Mg, S e Mn (Figura 2) mostra que estes nutrientes apresentaram valores pertencentes aos três grupos: abaixo, ideal e acima da faixa ideal recomendada na literatura. Nota-se, ainda na Figura 2, que os graus de pertinência abaixo de 0,5 dos teores de K, Ca e Mg, representa para a maioria dos pontos teores abaixo do ideal, o que possibilitou aplicar a função de pertinência em Z. Já no S e o Mn, em que os gráficos mostram pontos acima e abaixo do teor ideal, foram aplicadas as funções em Z e S.

No mapa do grau de pertinência do N (Figura 3A) nota-se que a lavoura apresenta graus de pertinência entre 0,5 e 0,8 para o grupo de teores ideais, demonstrando que as concentrações de N encontradas estão abaixo dos teores ideais. O mapa dos graus de pertinência de K para os teores ideais (Figura 3B) apresenta graus de pertinência ‘zero’ na maior parte da área e na região leste da área verificam-se níveis ideais de K nas folhas do mamoeiro, com graus de pertinência iguais a um.

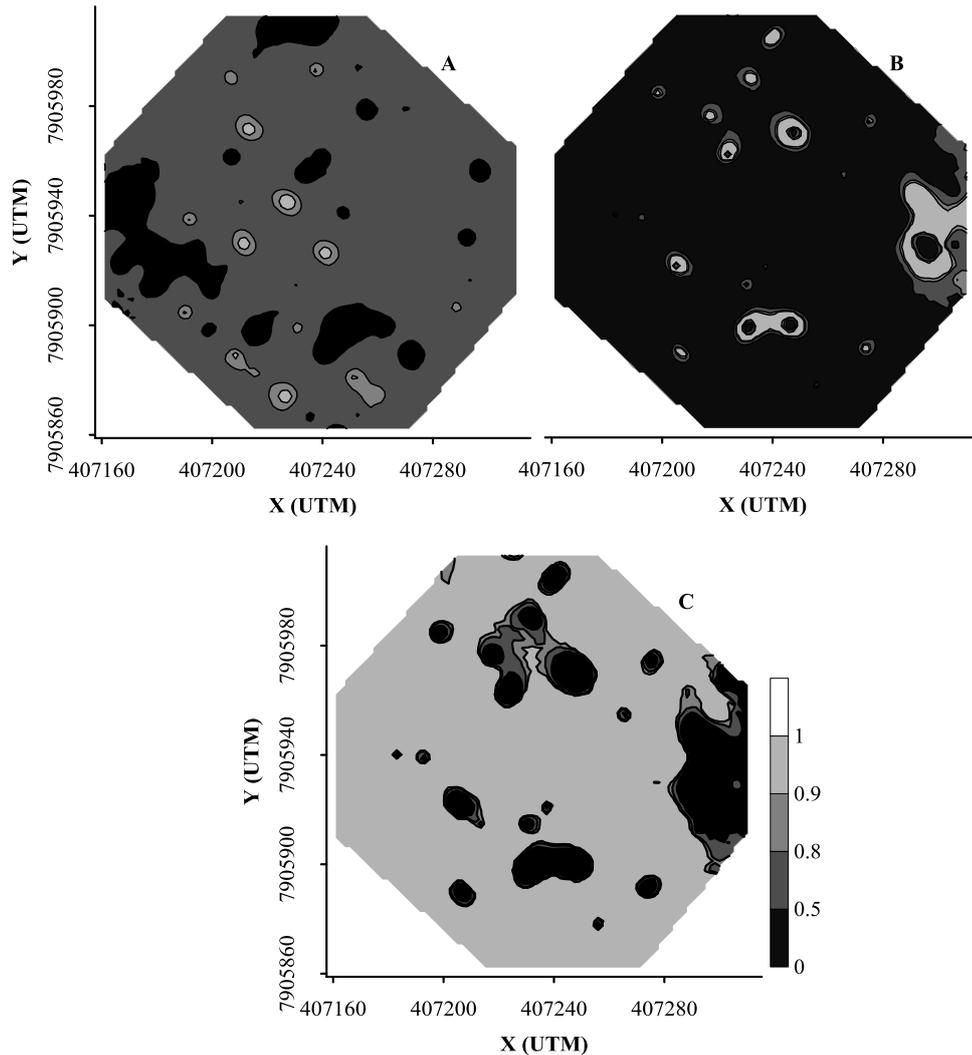


Figura 3 – Mapas temáticos dos graus de pertinências para o conjunto dos teores ideais para N e K (A e B, respectivamente) e para conjunto dos teores abaixo do ideal para K (C).

O N e K são os nutrientes mais requeridos pelo mamoeiro, pois contribuem com o fomento do crescimento vegetativo e do estágio de florescimento, o que tende a exercer efeito na absorção de outros nutrientes, influenciando no equilíbrio nutricional da lavoura (OLIVEIRA et al. 2009). De acordo com Oliveira et al. (2009), a relação N e K é a mais importante para a cultura do mamoeiro, sendo que, a não adição de um desses pode levar ao decréscimo na resposta do outro, tanto na produção quanto em acúmulo de nutriente (CANTARELLA, 2007).

Os mapas temáticos referentes ao déficit de potássio foliar (Figura 3C) permitem uma melhor visualização da deficiência, podendo proporcionar uma adubação diferenciada nas regiões de acordo com a escala adotada.

Os graus de pertinência referentes aos teores de Ca mostram ilhas de teores ideais (cor branca) em partes distintas do mapa (Figura 4A). O Cálcio é o terceiro nutriente mais requerido pelo mamoeiro, ele promove o crescimento e a multiplicação das raízes e, é normalmente suprido pela calagem. A área leste do mapa do Mg (Figura 4C), assim como as áreas no mapa do Ca (Figura 4A) com graus de pertinência abaixo de 0,5, não necessitam de adubação.

No mapa de grau de pertinência do Mg (Figura 4C), apenas parte leste do mapa apresenta valores dentro da faixa ideal, com graus de pertinência iguais a 'um', mostrando deficiência nutricional em quase toda área estudada (Figura 4D). Para manejo de adubação em taxas variáveis, visando aumento da produtividade com menor custo, as áreas dos mapas que representam o déficit (C e D das Figuras 3 e 4), com graus de pertinência variando de 0,9-1,0 responderá a uma adubação foliar mais pesada comparando com os pontos de 0,5-0,9.

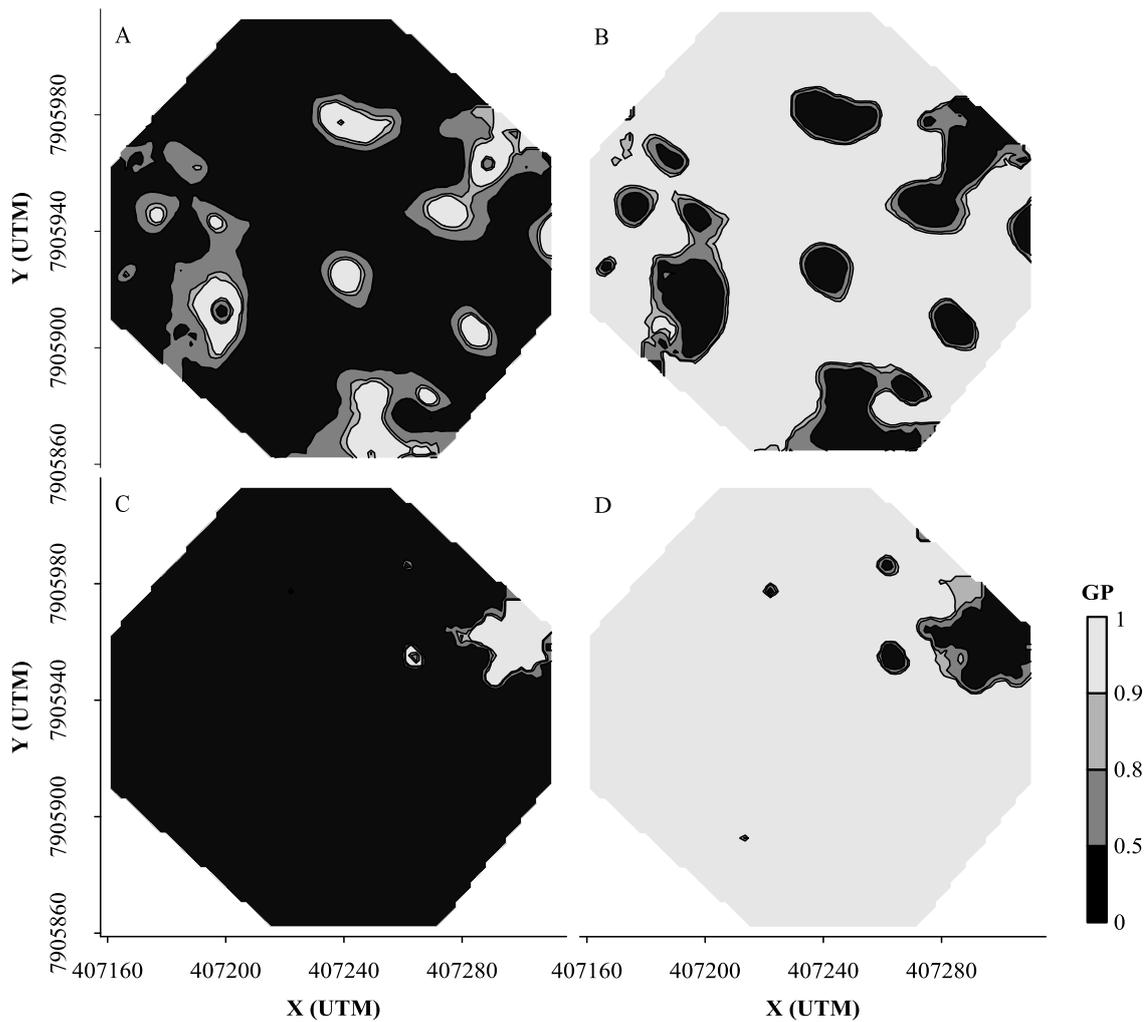


Figura 4. Mapas temáticos dos graus de pertinências para o conjunto dos teores ideais para Ca e Mg (A e C, respectivamente) e para conjunto dos teores abaixo do ideal para Ca e Mg (B e D, respectivamente).

A Figura 5 mostra que maior parte da área, apresenta teores elevados de P e Zn. De acordo com Malavolta et al. (1993) o excesso de fósforo diminui a absorção ou o transporte de Cu, Fe, Mn e Zn para a parte aérea. Quando suprido na concentração necessária, o Zn tem sua absorção elevada pelo o excesso de P (FERNANDES, 2006).

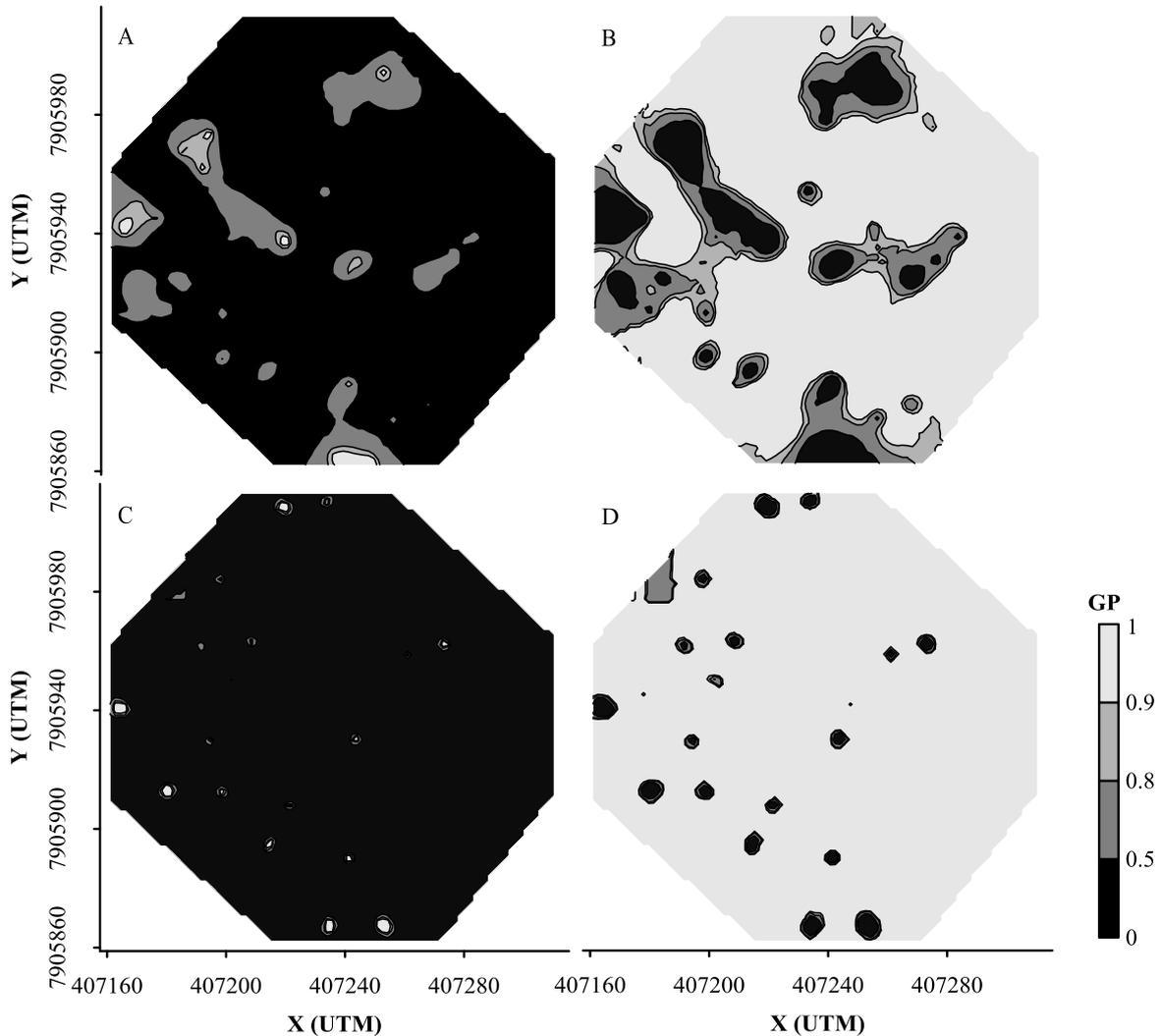


Figura 5. Mapas temáticos dos graus de pertinências para o conjunto dos teores ideais para P e Zn (A e C, respectivamente) e para conjunto dos teores acima do ideal para P e Zn (B e D, respectivamente).

Segundo Silva e Trevizam (2015) conhecer as interações entre os nutrientes é de fundamental importância para a compreensão da dinâmica dos nutrientes no solo e na planta e, conseqüentemente, para o aumento da produtividade das culturas.

A Figura 6 mostra os teores ideais para S e Mn. O S foi o macronutriente que mais pertence ao grupo de teores ideais na área (Figura 6A). A maior parte escura do mapa, representada por graus de pertinência abaixo de 0,5 representam valores acima do recomendado pela literatura (Figura 6C). O Mn também apresentou teores foliares abaixo e acima do recomendado pela literatura.

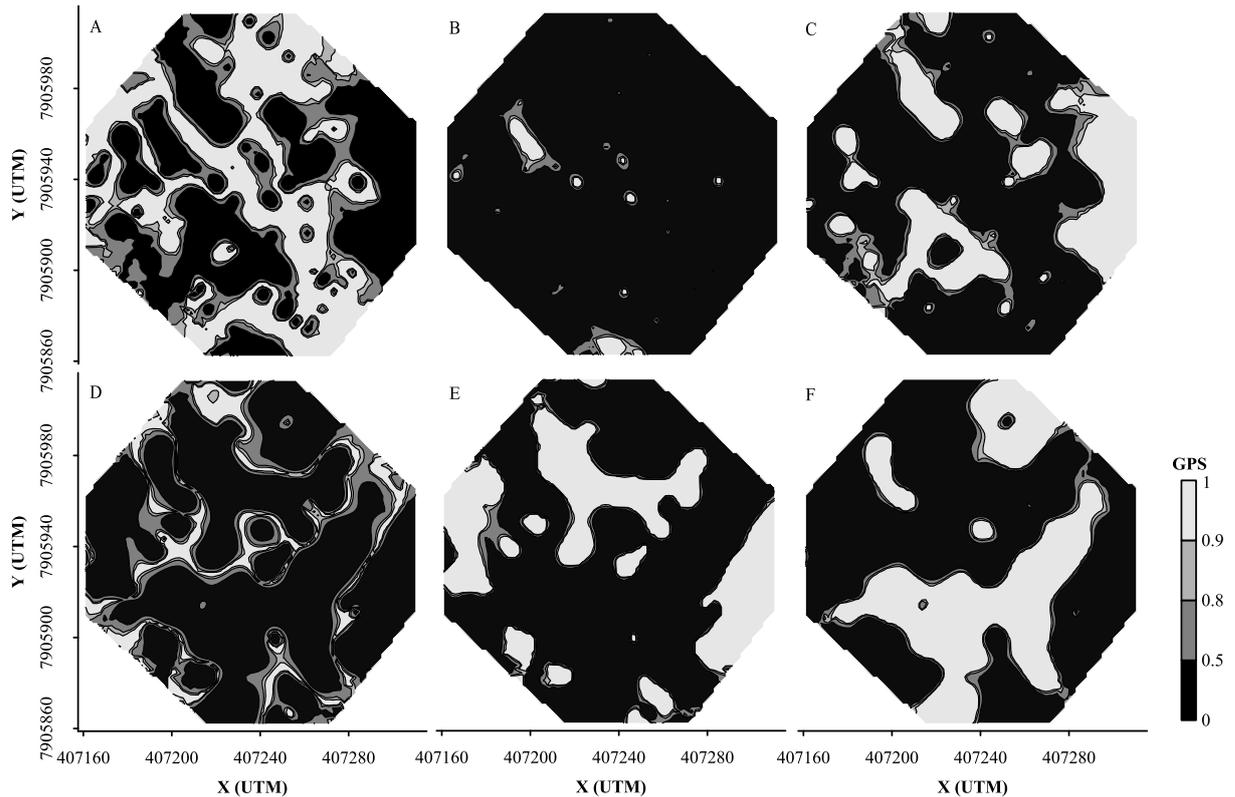


Figura 6. Mapas temáticos dos graus de pertinências para o conjunto dos teores ideais para S e Mn (A e D, respectivamente), para conjunto dos teores abaixo do ideal para S e Mn (B e E, respectivamente) e para conjunto dos teores acima do ideal para S e Mn (C e F, respectivamente).

O grau de pertinência máximo encontrado no mapa final foi 0,6 (Figura 7), porém a maior parte da área apresentou valores abaixo de 0,5, o que confirma as discussões anteriores de que a lavoura encontra-se com elevado desequilíbrio nutricional. O valor do atributo com grau de pertinência 0,5 é chamado ponto de cruzamento; os graus de pertinência acima dele representam valores de atributos dentro do conjunto ideal ('um') ou mais próximos do conceito central; já os valores abaixo dele, indicam valores que estejam completamente fora do conjunto ('zero') ou que estejam mais distantes do conceito central. O mapa final apresentou maiores valores de graus de pertinência (GP) na região leste, onde os nutrientes K, Ca e Mg apresentaram GP iguais a 'um' e o S apresentou excessos.

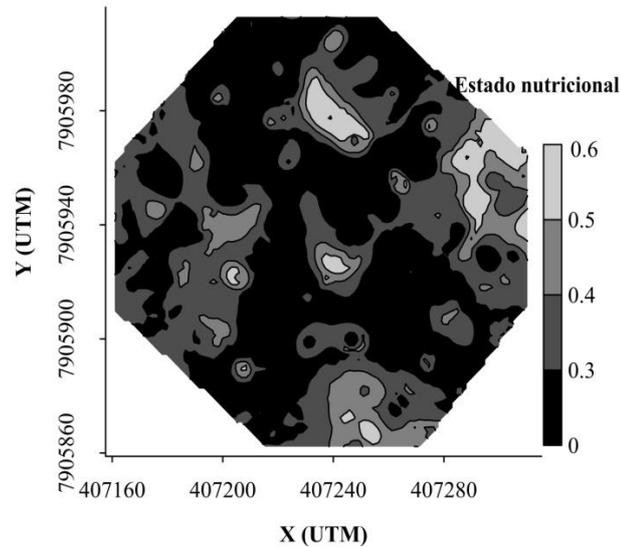


Figura 7. Mapa *Fuzzy* do estado nutricional do mamoeiro.

O estado nutricional variando de 0,4 a 0,5 pode ter sido influenciado positivamente pelos macronutrientes K, Ca e Mg (Figuras 3C, 4A e 4C, respectivamente), que se encontram dentro da faixa ideal nas áreas correspondentes no mapa da Figura 7. Lima et al. (2016), estudando a variabilidade espacial na diagnose do estado nutricional do mamoeiro, encontraram correlação positiva entre a produtividade e o teor de Ca.

O desequilíbrio nutricional da lavoura influenciou na produtividade da cultura (Figura 8), onde variaram de 3 a 23 Mg ha⁻¹. De acordo com Costa (1995) lavouras de alta produtividade no Espírito Santo deve apresentar produtividade maior/igual a 50 Mg ha⁻¹.

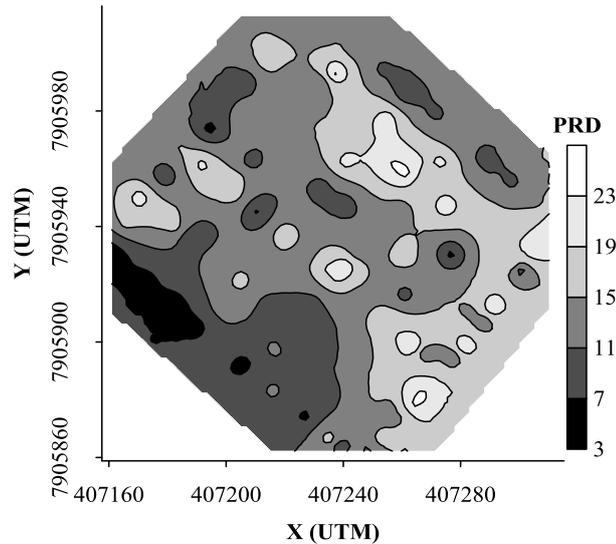


Figura 8. Mapa de produtividade (PRD), em Mg ha⁻¹.

Souza et al. (2009) adotaram lógica fuzzy para analisar a fertilidade de um solo sob pastagem utilizando propagação da incerteza e puderam visualizar restrições para o desenvolvimento vegetal. O mesmo método foi utilizado por Silva e Lima (2009), no mapeamento de variáveis indicadoras de fertilidade do solo, para definir zonas de transição gradual ao invés de classificar as informações em classes definidas de forma exata.

A escolha das funções de pertinência é o passo mais importante na aplicação da lógica fuzzy. De acordo com Meirelles, Moreira e Camara (2007) a mesma metodologia utilizada na aplicação da lógica fuzzy na análise de fertilidade do solo pode ser aplicada a outras análises relativas a diversos fenômenos ambientais que visem planejamento regional ou de recursos naturais, pois fornece um modelo mais próximo da realidade. Porém essa metodologia pode não ser adequada quando se deseja trabalhar com áreas que correspondam mais fielmente aos seus ideais, como no caso da nutrição de plantas.

Considerando ainda que, as propriedades avaliadas para determinação da fertilidade do solo (Saturação de bases, CTC, soma de bases, Al, CaMg, P e K) se comportam de maneira crescente, ou decrescente no caso do alumínio e do sódio, a classificação linear destes permite determinar o potencial do solo para desenvolvimento das culturas (SILVA et al. 2010). No caso dos teores foliares, o excesso de determinado nutriente na folha vai acarretar no desbalanço nutricional que, afetará na absorção e translocação de outros nutrientes, reduzindo assim a produtividade.

Por meio da função trapezoidal, observou-se a escala em que os dados se encaixam dentro da classe ideal, possibilitando a definição dos nutrientes que mais afetam negativamente e/ou positivamente no estado nutricional do mamoeiro. O afastamento dos teores observados dos teores ideais pode auxiliar no manejo de adubação, uma vez que determina áreas nas quais a planta apresenta excesso e déficit nutricional.

Considerando que não existe uma regra para o uso das funções de pertinência, a função de pertinência S permitiu identificar áreas com maior necessidade de adubação para N, K, Ca e Mg (Figuras 3B, 3D, 4B e 4B, respectivamente).

4. CONCLUSÕES

Os nutrientes avaliados e a produtividade apresentaram variabilidade espacial, ajustando-se aos modelos exponencial e esférico. A utilização do método fuzzy permitiu visualização das mudanças graduais de classe para cada nutriente, facilitando a interpretação do estado nutricional da lavoura, considerando todos os nutrientes. Os nutrientes deficientes, N, K, Ca e Mg, mapeados pela função de pertinência, possibilita a visualização de áreas que necessitam aplicações diferenciadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ALMEIDA, F. T. et al. Teores de nutrientes do mamoeiro 'Improved Sunrise Solo 72/12' sob diferentes lâminas de irrigação, no norte fluminense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 547-551, 2002.
- BARRETO, P. D. et al. Variabilidade quanto à absorção de nutrientes em mamão. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 33, n. 2, p. 48-54, 2002.
- BRITO NETO, J. F. et al. Produtividade e qualidade de frutos de mamoeiro 'sunrise solo' em função de doses de nitrogênio e boro. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 69-80, jan./mar, 2011.
- CAVALCANTE, E. G. S. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, n. 31, p. 1329-1339, 2007.
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al (Eds.). **Fertilidade do solo**. 1nd ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- COELHO FILHO, M. A. et al. Marcha de absorção de macro e micronutrientes do mamoeiro sunrise solo. In: MARTINS, D. S.; COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S. (Eds). **Papaya Brasil: manejo, qualidade e mercado do mamão**. Incaper, 2007.
- CORRÊA, M. C. M. et al. Adubação com zinco na formação de mudas de mamoeiro. **Caatinga**, Mossoró, v. 18, n. 4, p. 245-250, out./dez, 2005.
- COSTA, A. N. **Uso do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS), na avaliação do estado nutricional do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no Estado do Espírito Santo**. Viçosa, 1995. 93f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
- COSTA, A. N. Uso do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) no Mamoeiro. In: MENDES, L. G., DANTAS, J. L. L., MORALES, C. F. G. (Org.). **Mamão no Brasil**. Cruz das Almas-BA: EMBRAPA, v. 1, 1996.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, p. 900, 1991.
- DELALIBERA, H. C.; WEIRICH NETO, P. H.; NAGATA, N. Management zones in agriculture according to the soil and landscape variables. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.6, p.1197-1204, nov./dez. 2012.
- FERNANDES, M. S. (Eds). **Nutrição mineral de plantas**. 1nd ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 432, 2006.

KLIR, G. J.; YUAN, B. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall; 1995.

LEÃO M. G. A. et al. O relevo na interpretação da variabilidade espacial dos teores de nutrientes em folha de citros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 14, n. 11, p. 1152-1159, 2010.

LIMA, J. A. G. et al. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do RN. **Caatinga** (Mossoró, Brasil), v.19, n.2, p.192-199, abril/junho 2006.

LIMA, F. F. **Interação fósforo e zinco no mamoeiro “Tainung 01”, em Neossolo Quartzarênico**. 2009. 46 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE.

LIMA, J. S. S. et al. Spatial variability in the diagnosis of nutritional status in the papaya. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 2, p. 264-274, abr-jun, 2016.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1993. 210p.

MARINHO, C. S. et al. Análise química do pecíolo e limbo foliar como indicadora do estado nutricional dos mamoeiros ‘solo’ e ‘formosa’. **ScientiaAgricola**, v. 59, n. 2, p. 373-381, 2002.

MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CAMARA, G. Técnicas de Inferência espacial. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G. & ALMEIDA, C. M. (Eds). **Geomática: modelos e aplicações ambientais** (105-189). Brasília-DF: Embrapa informações tecnológicas. 2007.

MENEZES JUNIOR, J. C.; MESQUITA, E. F.; CAVALCANTE, L. F. Teores foliares de macronutrientes em mamoeiro cultivado em solo adubado com biofertilizante. **Magistra**, v. 26, n. 2, p.169-177, 2014.

MESQUITA, E. F. et al. Teores foliares e exportação de nutrientes do mamoeiro Baixinho de Santa Amália tratado com biofertilizantes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia-GO, v. 40, n. 1, 66-76, 2010.

OLIVEIRA, A. M. G.; CALDAS, R. C. Produção do mamoeiro em função de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 26, n. 1, p. 160-163, Abril, 2004.

OLIVEIRA, A. M. G. et al. Mamão. In: BORGES, A. L.; GOMES, E. F. (Ed). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, p. 118-130, 2009.

OLIVEIRA, R. B. et al. Spatial variability of the nutritional condition of *Canephora coffee* aiming specific management. **Coffee Science**, Lavras-MG, v. 5, n. 3, p. 190-196, 2010.

PREZZOTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5ª aproximação. Vitória, ES, SEES/INCAPER/CEDAGRO, p. 305, 2007.

RODOLFO JUNIOR, F. et al. Caracterização físico-química de frutos de mamoeiro comercializados na EMPASA de Campina Grande. **Revista brasileira de produtos agroindustriais**, v. 9, n.1, p. 53-58, 2007.

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

SILVA, S. A. et al. Lógica fuzzy na avaliação da fertilidade do solo e produtividade do café conilon. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 9-17, 2010.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Avaliação da variabilidade do estado nutricional e produtividade de café por meio da análise de componentes principais e geoestatística. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 59, n. 2, p. 271-277, 2012.

SILVA, M. L. S.; TREVIZAM, A. R. **Interações iônicas e seus efeitos na nutrição das plantas**. Informações agronômicas N° 149 – março/ 2015.

SOUZA, G. S. et al. Aplicação de lógica fuzzy e geoestatística na análise da fertilidade de um solo sob pastagem. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 323-330, 2009.

STURIÃO, W. P. (2012). **Distribuição espacial de atributos de solo e de plantas na cultura do mamoeiro no norte capixaba**. 2012. 106f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo.

VIEIRA, S. R. et al. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1503-1514, 2010.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, p. 319-344, 1980.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, p. 819, 2009.

ANEXO A.

Normas DRIS para o mamoeiro do grupo Solo no estado do Espírito Santo (COSTA, 1995).

Relação A/B	Média	Desvio Padrão	Relação A/B	Média	Desvio Padrão	Relação A/B	Média	Desvio Padrão
N/P	17,3	3,99	Ca/N	0,62	0,12	Mn/N	16,2	5,06
N/K	1,15	0,34	Ca/P	10,88	3,57	Mn/P	279,47	105,44
N/Ca	1,66	0,31	Ca/K	0,73	0,31	Mn/K	19,19	11,08
N/Mg	5,02	1,61	Ca/Mg	3,03	0,75	Mn/Ca	26,76	8,92
N/S	8,82	2,26	Ca/S	5,56	2,03	Mn/Mg	80,88	35,63
N/Zn	0,29	0,11	Ca/Zn	0,18	0,08	Mn/S	139,41	46,62
N/Mn	0,07	0,02	Ca/Mn	0,04	0,02	Mn/Zn	4,52	2,29
P/N	0,06	0,01	Mg/N	0,22	0,06	Zn/N	3,94	1,29
P/K	0,07	0,02	Mg/P	3,84	1,57	Zn/P	66,2	19,51
P/Ca	0,1	0,03	Mg/K	0,26	0,14	Zn/K	4,45	1,9
P/Mg	0,31	0,15	Mg/Ca	0,35	0,08	Zn/Ca	6,64	2,75
P/S	0,52	0,12	Mg/S	1,94	0,84	Zn/Mg	20,05	10,22
P/Zn	0,02	0,01	Mg/Zn	0,06	0,03	Zn/S	33,74	10,42
P/Mn	0,004	0,002	Mg/Mn	0,01	0,006	Zn/Mn	0,26	0,1
K/N	0,94	0,26	S/N	0,12	0,03			
K/P	15,9	4,53	S/P	2,03	0,53			
K/Ca	1,61	0,65	S/K	0,14	0,05			
K/Mg	5,00	2,73	S/Ca	0,2	0,06			
K/S	8,1	2,24	S/Mg	0,61	0,26			
K/Zn	0,26	0,13	S/Zn	0,03	0,01			
K/Mn	0,07	0,03	S/Mn	0,01	0,003			

APÊNDICE A.

Índices DRIS, índice de balanço nutricional (IBN), índice de balanço nutricional médio (IBNm) e produtividade (PRD) da lavoura em estudo.

Ponto	Índice DRIS									IBN	IBNm
	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Prod		
1	-4,00	8,06	3,43	2,88	1,56	5,62	-14,36	-3,37	15,65	43,27	5,41
2	-2,91	7,66	0,85	2,60	2,66	1,20	-8,03	-4,28	11,1	30,19	3,77
3	-4,59	4,96	3,25	1,90	0,41	3,68	-7,50	-2,86	14,93	29,15	3,64
4	-6,45	4,50	0,00	0,19	0,10	2,29	-13,53	12,73	11,92	39,79	4,97
5	-1,39	3,46	1,41	0,09	1,85	2,16	-6,14	-1,59	10,1	18,09	2,26
6	-3,22	3,07	0,87	1,40	2,28	3,82	-4,90	-3,42	6,5	22,99	2,87
7	-2,98	6,97	1,72	2,53	2,79	3,78	-11,60	-3,68	10,02	36,05	4,51
8	-3,01	4,96	3,34	3,86	2,20	8,11	-15,90	-3,89	11,28	45,25	5,66
9	-2,37	8,17	1,23	1,60	1,42	3,59	-11,19	-3,16	11,37	32,74	4,09
10	-5,44	8,48	1,19	3,27	1,92	3,29	-10,85	-2,27	8,13	36,71	4,59
11	-4,43	6,49	1,66	1,62	2,80	5,80	-9,61	-4,65	9,49	37,06	4,63
12	-4,14	13,26	1,89	1,35	2,66	6,00	-17,24	-4,42	13,97	50,95	6,37
13	-3,98	14,08	2,79	4,18	2,21	9,50	-25,55	-3,59	19,94	65,89	8,24
14	-3,58	5,05	3,65	4,71	2,89	3,67	-12,13	-4,30	23,99	39,97	5,00
15	-5,50	13,24	1,18	2,08	2,02	6,81	-11,90	-8,43	13,63	51,15	6,39
16	-1,48	5,07	1,94	1,67	2,33	2,60	-8,02	-4,82	24,92	27,94	3,49
17	-3,41	5,11	1,41	3,45	0,85	2,06	-6,13	-3,64	21,71	26,04	3,25
18	-4,11	15,99	5,09	0,46	3,23	1,63	-15,11	-7,85	20,82	53,46	6,68
19	-8,19	21,57	1,65	0,60	1,74	4,97	-17,06	-5,93	15,63	61,71	7,71
20	-5,16	11,25	1,61	2,74	0,63	4,79	-14,00	-2,37	22,98	42,55	5,32
21	-2,77	4,62	3,36	1,72	1,32	3,38	-8,78	-3,21	11,33	29,16	3,64
22	-3,67	14,64	1,52	1,86	1,10	4,34	-15,29	-4,91	16,13	47,33	5,92
23	-3,65	9,24	2,43	1,58	1,32	7,38	-15,12	-3,77	19,32	44,51	5,56
24	-2,74	6,48	1,54	1,48	1,64	2,28	-7,97	-3,13	20,02	27,26	3,41
25	-3,11	6,27	2,22	2,88	1,01	3,45	-9,32	-3,66	13,33	31,93	3,99
26	-3,92	12,04	5,01	-0,84	-0,01	5,31	-14,99	-3,47	14,88	45,60	5,70
27	-2,13	4,85	2,04	2,59	0,71	2,03	-8,07	-2,20	11,13	24,63	3,08
28	-2,62	3,10	2,50	4,53	0,53	1,09	-7,15	-2,20	16,47	23,72	2,96
29	-4,92	10,13	2,89	2,26	1,35	7,39	-16,04	-3,77	18,32	48,75	6,09
30	-1,05	13,66	6,88	-0,52	-0,81	5,86	-22,42	-2,33	23,73	53,53	6,69
31	-2,55	3,58	5,41	0,68	3,24	2,56	-7,76	-5,15	24,95	30,93	3,87
32	-5,18	10,17	1,70	1,41	2,45	4,83	-12,08	-3,96	16,6	41,78	5,22
33	-3,40	5,54	0,08	3,47	1,57	3,42	-7,33	-3,47	22,15	28,29	3,54
34	-1,85	3,55	1,73	3,37	1,60	-1,38	-4,40	-3,04	15,93	20,91	2,61
35	-5,52	17,44	3,96	1,68	2,12	3,66	-17,99	-6,03	18,74	58,41	7,30
36	-6,33	21,34	3,86	0,18	0,47	7,32	-21,31	-6,14	18,47	66,95	8,37
37	-2,80	8,29	3,52	2,38	0,70	6,06	-16,89	-1,81	8,39	42,44	5,31
38	-2,13	8,43	2,27	0,40	2,15	6,99	-15,96	-2,65	7,83	40,99	5,12

Continua...

Ponto	Índice DRIS									IBN	IBNm
	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Prod		
39	-2,32	7,52	2,64	1,30	3,33	3,52	-12,00	-4,21	15,03	36,84	4,61
40	-3,98	10,55	2,23	1,01	5,23	2,88	-13,92	-4,53	20,7	44,33	5,54
41	-2,16	10,73	3,82	2,14	1,67	9,45	-22,75	-3,42	12,58	56,14	7,02
42	-3,26	3,31	1,81	1,06	3,16	3,53	-7,13	-2,89	4,95	26,14	3,27
43	-2,02	6,18	5,38	1,38	1,22	7,69	-20,77	0,24	18,91	44,88	5,61
44	-3,70	10,55	2,69	2,20	0,93	7,46	-15,95	-4,25	12,68	47,73	5,97
45	-1,60	3,38	1,41	1,33	1,90	4,25	-7,71	-3,44	14,27	25,02	3,13
46	-3,50	13,05	2,78	0,55	1,89	7,13	-18,33	-4,18	23,17	51,42	6,43
47	-3,16	6,20	2,91	1,97	0,35	3,86	-7,03	-5,12	9,1	30,60	3,82
48	-4,36	19,75	6,79	-0,23	0,92	8,92	-26,00	-6,66	15,83	73,62	9,20
49	-1,09	10,05	1,74	1,75	1,24	8,27	-19,42	-3,02	10,88	46,58	5,82
50	-4,27	19,26	0,59	0,77	0,13	7,52	-21,51	-3,05	12,27	57,09	7,14
51	-4,51	14,08	2,94	0,22	0,71	8,34	-18,84	-3,39	12,72	53,02	6,63
52	-1,67	3,60	0,06	2,97	1,31	1,88	-5,72	-2,50	9,15	19,70	2,46
53	-2,34	7,04	0,27	2,28	0,88	-0,18	-5,74	-2,78	8,13	21,50	2,69
54	-3,47	10,65	0,80	0,41	2,04	2,64	-8,65	-4,91	11,46	33,56	4,20
55	-3,66	6,53	4,63	0,98	0,58	7,12	-14,01	-2,81	10,82	40,30	5,04
56	-2,48	5,58	0,02	1,93	2,45	1,02	-4,88	-3,69	17,48	22,05	2,76
57	-2,51	2,53	1,76	0,60	2,41	3,32	-5,48	-3,33	14,66	21,95	2,74
58	-2,48	12,39	0,84	1,94	-0,56	6,66	-16,84	-2,50	15,13	44,20	5,53
59	-2,83	3,91	0,61	3,51	-0,18	4,60	-6,94	-2,77	14,26	25,35	3,17
60	-1,97	9,23	1,92	4,82	0,37	8,97	-19,66	-4,10	11,94	51,04	6,38
61	-0,84	2,39	0,40	1,25	2,01	1,22	-4,04	-3,01	4,81	15,15	1,89
62	-2,92	5,51	1,66	0,32	1,62	3,51	-5,75	-4,41	9,62	25,69	3,21
63	-1,82	8,34	0,86	1,57	1,30	3,71	-11,48	-3,04	12,04	32,10	4,01
64	-1,05	4,41	0,44	5,00	3,04	-0,94	-8,04	-2,80	12,94	25,71	3,21
65	-2,12	4,88	1,29	1,22	0,95	0,77	-6,05	-2,00	8,72	19,27	2,41
66	-3,23	10,06	1,24	2,95	1,16	0,77	-10,55	-2,64	23,45	32,62	4,08
67	-2,88	6,85	0,20	-0,09	1,78	2,24	-6,58	-2,22	16,17	22,85	2,86
68	-1,05	3,85	0,84	4,70	0,26	4,61	-9,86	-3,15	22,73	28,33	3,54
69	-2,31	10,44	2,94	-0,90	0,42	6,14	-15,99	-1,94	10,38	41,07	5,13
70	-1,38	4,28	-0,27	4,90	1,74	3,11	-9,82	-2,35	15,48	27,85	3,48
71	-0,77	3,94	1,21	4,56	1,66	-2,17	-5,63	-3,11	20,91	23,06	2,88
72	-1,56	6,36	2,53	2,15	1,73	-1,84	-6,74	-3,45	18,07	26,37	3,30
73	-0,70	5,12	1,80	2,82	0,86	1,35	-8,98	-2,71	17,39	24,33	3,04
74	-1,55	3,83	1,94	2,85	2,55	0,78	-7,42	-3,28	5,67	24,18	3,02
75	-0,59	3,00	2,77	2,52	2,94	-0,85	-7,99	-2,42	18,58	23,09	2,89
76	-4,43	7,23	4,98	1,16	1,03	4,68	-11,20	-3,95	13,23	38,67	4,83
77	-2,01	5,91	0,45	3,37	0,85	3,69	-6,56	-5,43	19,24	28,27	3,53
78	-2,91	4,97	2,25	3,17	0,55	1,53	-7,37	-3,20	19,88	25,95	3,24
79	-3,96	11,58	-0,66	2,01	-0,26	3,83	-9,11	-3,94	12,47	35,34	4,42
80	-4,48	10,87	0,84	1,88	-0,07	2,01	-8,13	-3,43	19,69	31,72	3,97

Continua...

Ponto	Índice DRIS										IBNm
	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn	Prod	IBN	
81	-3,54	7,95	0,70	1,97	1,20	1,21	-5,55	-4,18	23,27	26,31	3,29
82	-4,01	14,70	3,96	1,57	0,04	7,24	-20,03	-4,24	11,57	55,79	6,97
83	-3,73	6,70	3,08	1,37	0,37	1,37	-7,64	-2,03	17,78	26,30	3,29
84	-6,86	13,06	3,96	0,95	0,46	8,81	-16,79	-4,01	6,69	54,90	6,86
85	-3,00	6,49	2,05	3,81	1,49	0,13	-7,92	-3,12	12,22	28,01	3,50
86	-5,27	16,74	2,71	0,21	-0,27	7,65	-18,15	-4,53	12,89	55,53	6,94
87	-4,64	12,78	1,32	-1,48	0,31	5,23	-10,26	-3,79	9,33	39,81	4,98
88	-8,24	14,75	4,00	1,01	1,33	7,97	-17,14	-4,03	13,35	58,47	7,31
89	-2,23	4,25	0,93	4,59	-1,61	2,01	-4,88	-2,93	24,19	23,43	2,93
90	-2,18	7,22	2,58	2,06	1,26	6,32	-14,58	-3,65	8,42	39,85	4,98
91	-3,48	7,40	1,36	1,47	1,16	1,60	-6,66	-3,25	7,96	26,38	3,30
92	-2,56	7,01	2,26	0,59	0,22	4,42	-8,54	-3,91	24,08	29,51	3,69
93	-1,81	5,23	2,69	4,79	2,65	3,00	-9,88	-6,10	21,87	36,14	4,52
94	-2,65	2,86	1,28	4,32	1,92	4,69	-8,59	-4,76	17,08	31,08	3,88
95	-3,09	10,77	1,76	0,46	0,30	7,58	-14,19	-4,63	16,94	42,77	5,35
96	-2,81	10,43	0,50	1,89	-0,99	3,15	-10,18	-2,45	7,87	32,39	4,05
97	-3,68	5,81	2,30	3,14	2,26	3,80	-8,45	-5,06	12,17	34,49	4,31
98	-3,71	5,12	3,17	2,78	-0,66	3,09	-5,84	-4,56	17,01	28,94	3,62
99	-5,42	14,83	1,10	-0,15	0,80	6,19	-14,32	-3,99	9,8	46,80	5,85
100	-2,01	3,63	1,14	2,66	0,48	2,63	-4,69	-3,71	7,76	20,95	2,62
101	-2,65	5,10	0,94	1,03	1,17	2,98	-5,35	-3,99	6,9	23,22	2,90
102	-3,86	6,54	2,60	-0,49	0,01	6,66	-7,52	-4,51	7,06	32,18	4,02
103	-2,05	2,70	0,98	4,42	1,64	0,17	-4,67	-2,96	12,78	19,58	2,45
104	-2,84	8,21	0,81	3,66	0,24	6,60	-13,39	-4,13	16,13	39,88	4,98
105	-2,52	4,64	3,60	3,59	1,70	-0,14	-8,49	-2,84	13,11	27,52	3,44
106	-1,83	8,92	0,45	2,94	1,25	6,17	-14,43	-3,97	14,8	39,95	4,99
107	-1,22	4,20	1,14	3,41	1,47	0,31	-6,23	-3,31	16,62	21,28	2,66
108	-2,71	4,48	-0,99	6,77	0,66	1,01	-6,72	-2,68	9,84	26,01	3,25
109	-2,96	4,01	-0,73	5,33	0,75	2,57	-4,77	-4,38	13,96	25,51	3,19
110	-3,86	5,26	0,34	1,58	1,38	5,80	-6,07	-5,52	12,56	29,82	3,73
111	-2,60	4,74	1,42	2,16	2,49	2,52	-8,12	-3,22	8,4	27,28	3,41
112	-1,89	5,84	0,04	4,31	1,50	3,67	-8,19	-5,07	16,68	30,52	3,81
113	-1,86	7,33	1,56	2,68	1,58	7,91	-16,43	-3,94	9,75	43,31	5,41
114	-1,82	3,22	1,55	1,42	3,24	1,05	-5,34	-3,63	8,02	21,26	2,66
115	-1,52	3,73	1,09	6,71	2,84	0,87	-11,91	-2,04	9,66	30,70	3,84
116	-2,93	3,72	1,43	3,36	0,41	1,98	-4,76	-3,63	3,95	22,22	2,78
117	-3,58	11,26	1,66	0,64	0,94	5,85	-15,02	-2,77	3,45	41,71	5,21
118	-2,91	3,90	1,17	4,78	2,48	4,27	-10,40	-3,12	6,51	33,03	4,13
119	-2,56	4,94	1,84	-0,17	2,56	5,83	-9,61	-3,81	3,15	31,33	3,92
120	-3,51	4,28	2,35	2,53	1,79	4,30	-6,49	-5,11	2,31	30,37	3,80
121	-2,96	11,89	-0,19	2,17	-0,62	4,95	-13,58	-2,71	5,17	39,07	4,88
122	-2,47	3,33	1,33	5,09	3,75	6,17	-11,08	-5,56	11,14	38,76	4,85

Continua...

Ponto	Índice DRIS								Prod	IBN	IBNm
	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Zn			
123	-2,31	8,63	1,85	-0,69	0,78	6,89	-12,35	-4,33	4,43	37,81	4,73
124	-0,85	4,28	3,17	-0,11	2,09	0,91	-8,02	-1,91	8,91	21,33	2,67
125	-2,89	13,53	2,06	1,05	1,12	6,25	-17,58	-3,87	11,94	48,36	6,04
126	-1,90	5,83	0,77	1,73	-0,24	0,15	-5,17	-1,65	5,61	17,43	2,18
127	-1,96	4,89	1,94	4,15	0,83	-1,30	-5,01	-3,33	17,83	23,41	2,93
128	-2,11	3,13	1,73	3,91	0,54	0,92	-5,83	-2,99	7,91	21,17	2,65
129	-2,81	4,08	3,44	3,87	-0,13	3,58	-7,54	-4,68	15,54	30,13	3,77

Conclusão.

APÊNDICE B.

Nutrientes organizados em ordem crescente, da esquerda para a direita, de acordo com os índices DRIS encontrados.

Ponto	Sequência de deficiência a excesso →							
1	Mn	N	Zn	Mg	Ca	K	S	P
2	Mn	Zn	N	K	S	Ca	Mg	P
3	Mn	N	Z	Mg	Ca	K	S	P
4	Mn	Zn	N	K	Mg	Ca	S	P
5	Mn	Zn	N	Ca	K	Mg	S	P
6	Mn	Zn	N	K	Ca	Mg	P	S
7	Mn	Zn	N	K	Ca	Mg	S	P
8	Mn	Zn	N	Mg	K	Ca	P	S
9	Mn	Zn	N	K	Mg	Ca	S	P
10	Mn	N	Z	K	Mg	Ca	S	P
11	Mn	Zn	N	Ca	K	Mg	S	P
12	Mn	Zn	N	Ca	K	Mg	S	P
13	Mn	N	Zn	Mg	K	Ca	S	P
14	Mn	Zn	N	Mg	K	S	Ca	P
15	Mn	Zn	N	K	Mg	Ca	S	P
16	Mn	Zn	N	Ca	K	Mg	S	P
17	Mn	Zn	N	Mg	K	S	Ca	P
18	Mn	Zn	N	Ca	S	Mg	K	P
19	Mn	N	Zn	Ca	K	Mg	S	P
20	Mn	N	Zn	Mg	K	Ca	S	P
21	Mn	Zn	N	Mg	Ca	K	S	P
22	Mn	Zn	N	Mg	K	Ca	S	P
23	Mn	Zn	N	Mg	Ca	K	S	P
24	Mn	Zn	N	Ca	K	Mg	S	P
25	Mn	Zn	N	Mg	K	Ca	S	P
26	Mn	N	Zn	Ca	Mg	K	S	P
27	Mn	Zn	N	Mg	S	K	Ca	P
28	Mn	N	Zn	Mg	S	K	P	Ca

Continua...

Ponto	Sequência de deficiência a excesso →							
29	Mn	N	Zn	Mg	Ca	K	S	P
30	Mn	Zn	N	Mg	Ca	S	K	P
31	Mn	Zn	N	Ca	S	Mg	P	K
32	Mn	N	Zn	Ca	K	Mg	S	P
33	Mn	Zn	N	K	Mg	S	Ca	P
34	Mn	Zn	N	S	Mg	K	Ca	P
35	Mn	Zn	N	Ca	Mg	S	K	P
36	Mn	N	Zn	Ca	Mg	K	S	P
37	Mn	N	Zn	Mg	Ca	K	S	P
38	Mn	Zn	N	Ca	Mg	K	S	P
39	Mn	Zn	N	Ca	K	Mg	S	P
40	Mn	Zn	N	Ca	K	S	Mg	P
41	Mn	Zn	N	Mg	Ca	K	S	P
42	Mn	N	Zn	Ca	K	Mg	P	S
43	Mn	N	Zn	Mg	Ca	K	P	S
44	Mn	Zn	N	Mg	Ca	K	S	P
45	Mn	Zn	N	Ca	K	Mg	P	S
46	Mn	Zn	N	Ca	Mg	K	S	P
47	Mn	Zn	N	Mg	Ca	K	S	P
48	Mn	Zn	N	Ca	Mg	K	S	P
49	Mn	Zn	N	Mg	K	Ca	S	P
50	Mn	N	Zn	Mg	K	Ca	S	P
51	Mn	N	Zn	Ca	Mg	K	S	P
52	Mn	Zn	N	K	Mg	S	Ca	P
53	Mn	Zn	N	S	K	Mg	Ca	P
54	Mn	Zn	N	Ca	K	Mg	S	P
55	Mn	N	Zn	Mg	Ca	K	P	S
56	Mn	Zn	N	K	S	Ca	Mg	P
57	Mn	Zn	N	Ca	K	Mg	P	S
58	Mn	N	Zn	Mg	K	Ca	S	P
59	Mn	N	Zn	Mg	K	Ca	P	S
60	Mn	Zn	N	Mg	K	Ca	S	P
61	Mn	Zn	N	K	S	Ca	Mg	P
62	Mn	Zn	N	Ca	Mg	K	S	P
63	Mn	Zn	N	K	Mg	Ca	S	P
64	Mn	Zn	N	S	K	Mg	P	Ca
65	Mn	N	Zn	S	Mg	Ca	K	P
66	Mn	N	Zn	S	Mg	K	Ca	P
67	Mn	N	Zn	Ca	K	Mg	S	P
68	Mn	Zn	N	Mg	K	P	S	Ca
69	Mn	N	Zn	Ca	Mg	K	S	P
70	Mn	Zn	N	K	Mg	S	P	Ca
71	Mn	Zn	S	N	K	Mg	P	Ca

Continua...

Ponto	Sequência de deficiência a excesso →							
72	Mn	Zn	S	N	Mg	Ca	K	P
73	Mn	Zn	N	Mg	S	K	Ca	P
74	Mn	Zn	N	S	K	Mg	Ca	P
75	Mn	Zn	S	N	Ca	K	Mg	P
76	Mn	N	Zn	Mg	Ca	S	K	P
77	Mn	Zn	N	K	Mg	Ca	S	P
78	Mn	Zn	N	Mg	S	K	Ca	P
79	Mn	N	Zn	K	Mg	Ca	S	P
80	Mn	N	Zn	Mg	K	Ca	S	P
81	Mn	Zn	N	K	Mg	S	Ca	P
82	Mn	Zn	N	Mg	Ca	K	S	P
83	Mn	N	Zn	Mg	Ca	S	K	P
84	Mn	N	Zn	Mg	Ca	K	S	P
85	Mn	Zn	N	S	Mg	K	Ca	P
86	Mn	N	Zn	Mg	Ca	K	S	P
87	Mn	N	Zn	Ca	Mg	K	S	P
88	Mn	N	Zn	Ca	Mg	K	S	P
89	Mn	Zn	N	Mg	K	S	P	Ca
90	Mn	Zn	N	Mg	Ca	K	S	P
91	Mn	N	Zn	Mg	K	Ca	S	P
92	Mn	Zn	N	Mg	K	Ca	S	P
93	Mn	Zn	N	Mg	K	S	Ca	P
94	Mn	Zn	N	K	Mg	P	Ca	S
95	Mn	Zn	N	Mg	Ca	K	S	P
96	Mn	N	Zn	Mg	K	Ca	S	P
97	Mn	Zn	N	Mg	K	Ca	S	P
98	Mn	Zn	N	Mg	Ca	S	K	P
99	Mn	N	Zn	Ca	Mg	K	S	P
100	Mn	Zn	N	Mg	K	S	Ca	P
101	Mn	Zn	N	K	Ca	Mg	S	P
102	Mn	Zn	N	Ca	Mg	K	P	S
103	Mn	Zn	N	S	K	Mg	P	Ca
104	Mn	Zn	N	Mg	K	Ca	S	P
105	Mn	Zn	N	S	Mg	Ca	K	P
106	Mn	Zn	N	K	Mg	Ca	S	P
107	Mn	Zn	N	S	K	Mg	Ca	P
108	Mn	N	Zn	K	Mg	S	P	Ca
109	Mn	Zn	N	K	Mg	S	P	Ca
110	Mn	Zn	N	K	Mg	Ca	P	S
111	Mn	Zn	N	K	Ca	Mg	S	P
112	Mn	Zn	N	K	Mg	S	Ca	P
113	Mn	Zn	N	K	Mg	Ca	P	S
114	Mn	Zn	N	S	Ca	K	Mg	P

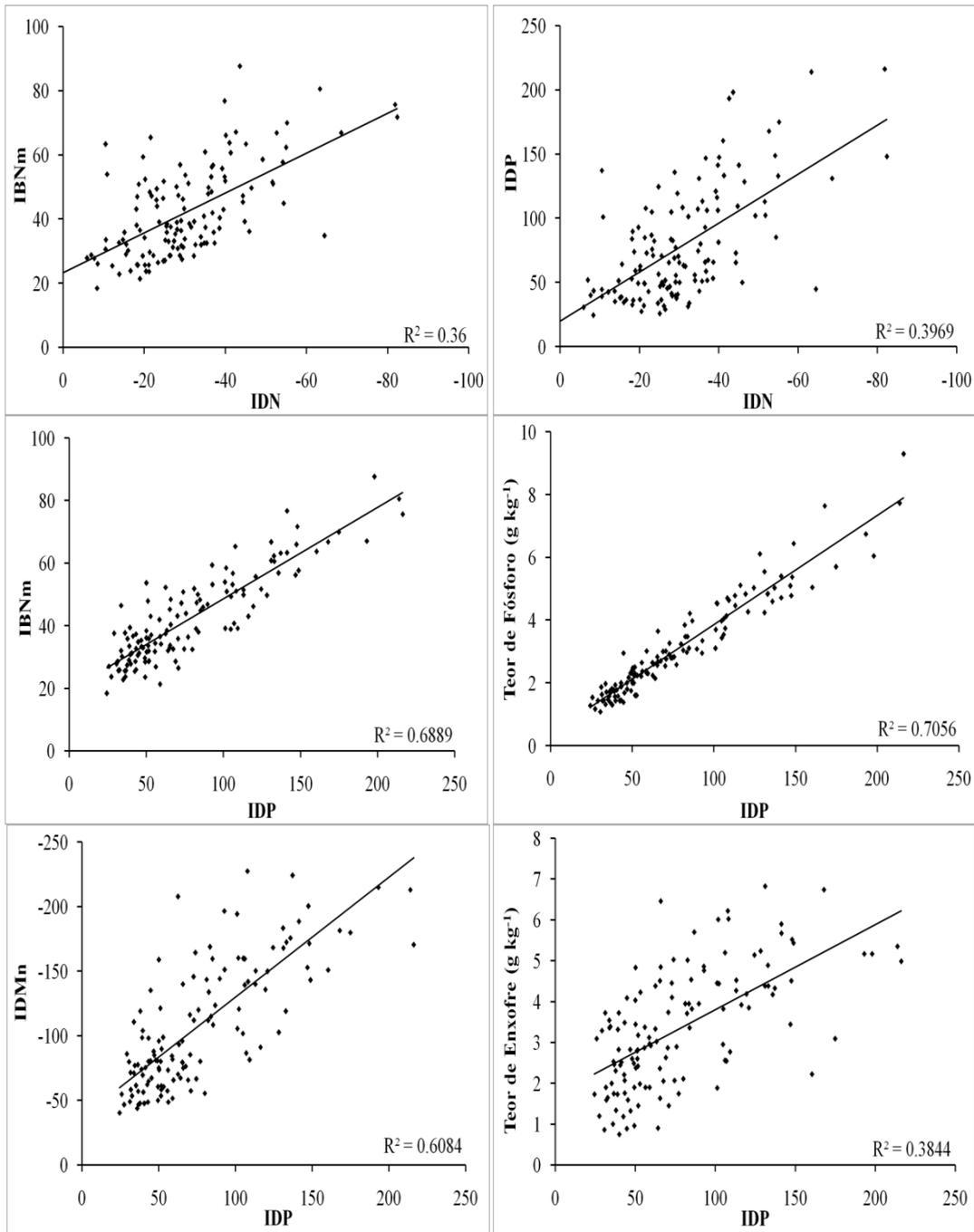
Continuação...

Ponto	Sequência de deficiência a excesso →							
115	Mn	Zn	N	S	K	Mg	P	Ca
116	Mn	Zn	N	Mg	K	S	Ca	P
117	Mn	N	Zn	Ca	Mg	K	S	P
118	Mn	Zn	N	K	Mg	P	S	Ca
119	Mn	Zn	N	Ca	K	Mg	P	S
120	Mn	Zn	N	Mg	K	Ca	S	P
121	Mn	N	Zn	Mg	K	Ca	S	P
122	Mn	Zn	N	K	P	Mg	Ca	S
123	Mn	Zn	N	Ca	Mg	K	S	P
124	Mn	Zn	N	Ca	S	Mg	K	P
125	Mn	Zn	N	Ca	Mg	K	S	P
126	Mn	N	Zn	Mg	S	K	Ca	P
127	Mn	Zn	N	S	Mg	K	Ca	P
128	Mn	Zn	N	Mg	S	K	P	Ca
129	Mn	Zn	N	Mg	K	S	Ca	P

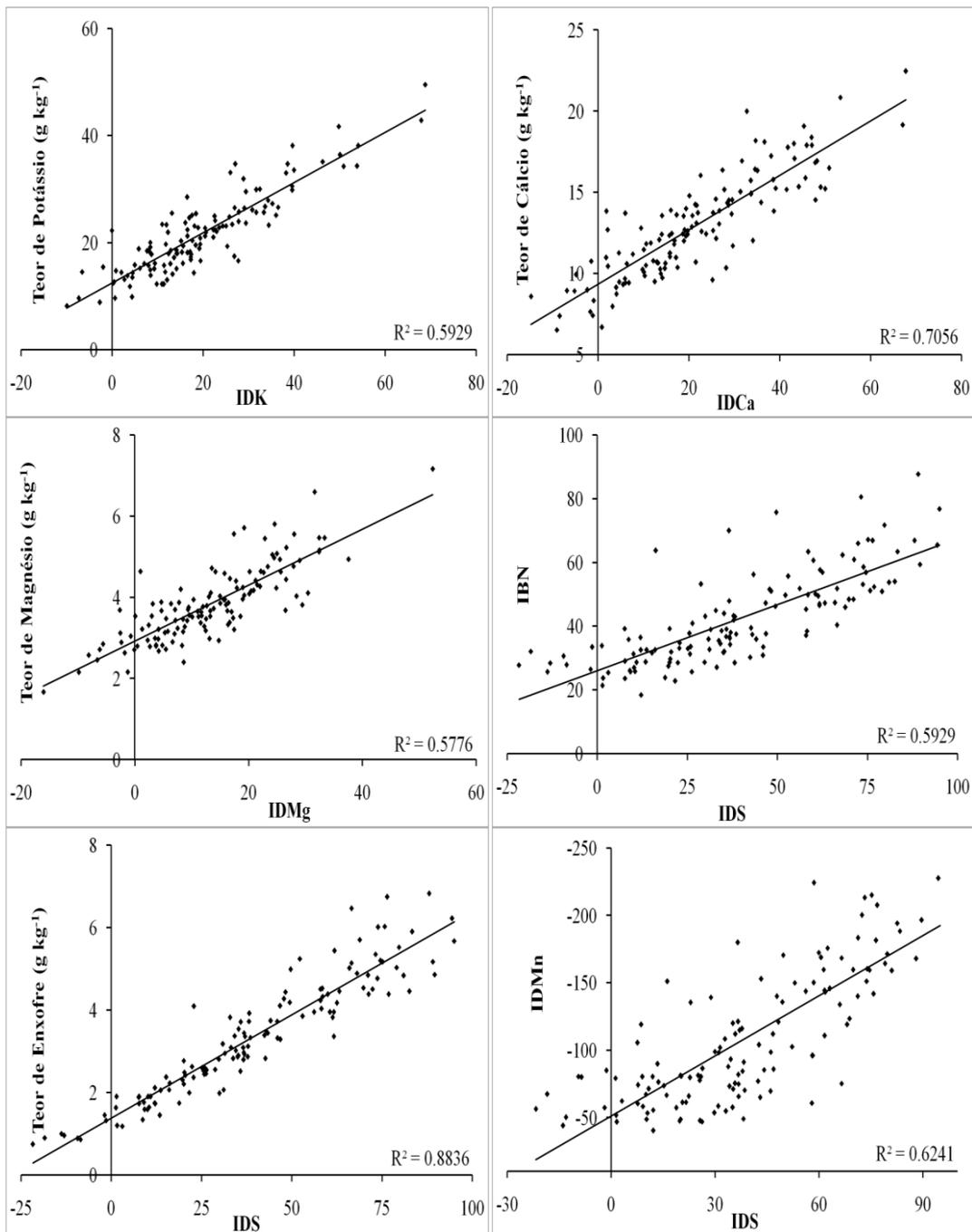
Conclusão.

APÊNDICE C.

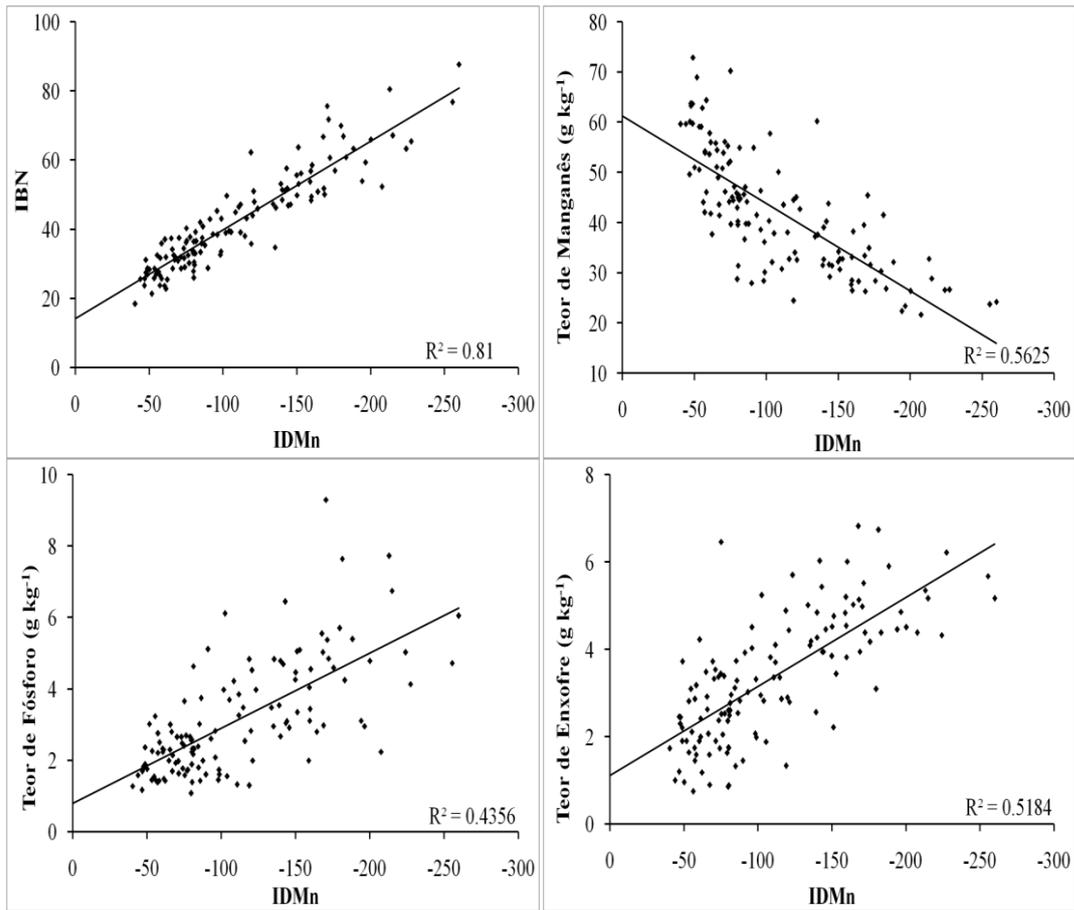
Gráficos de dispersão das correlações classificadas como 'extra-alta' e 'alta'.



Continuação...

Gráficos de dispersão das correlações classificadas como ‘extra-alta’ e ‘alta’.

Continuação...

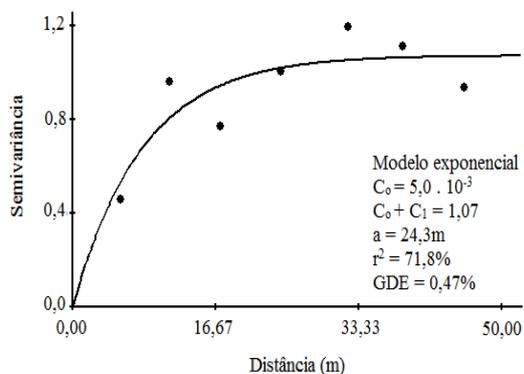
Gráficos de dispersão das correlações classificadas como ‘extra-alta’ e ‘alta’.

Conclusão.

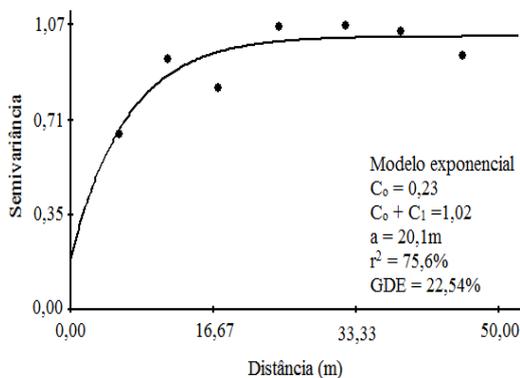
APÊNDICE D.

Semivariogramas ajustados para cada índice DRIS avaliado.

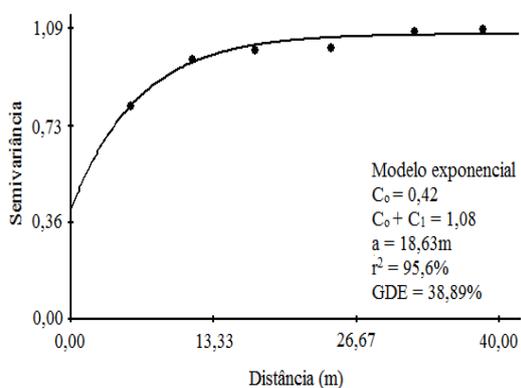
Índices Dris do Nitrogênio



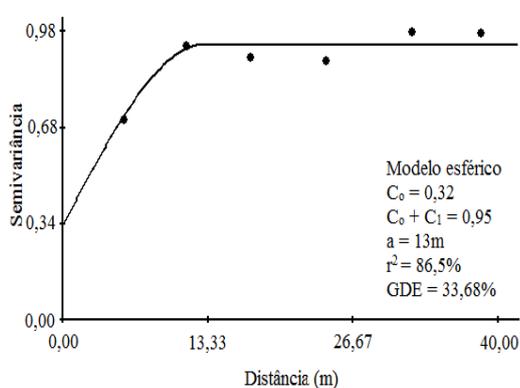
Índice Dris do Fósforo



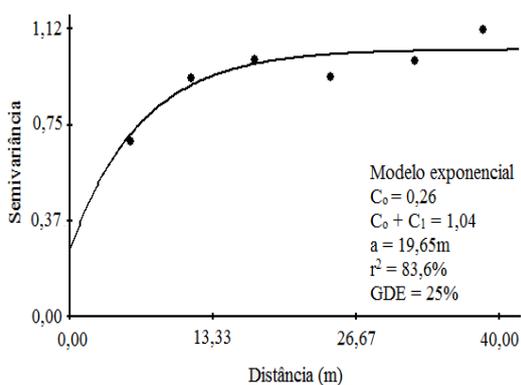
Índice Dris do Potássio



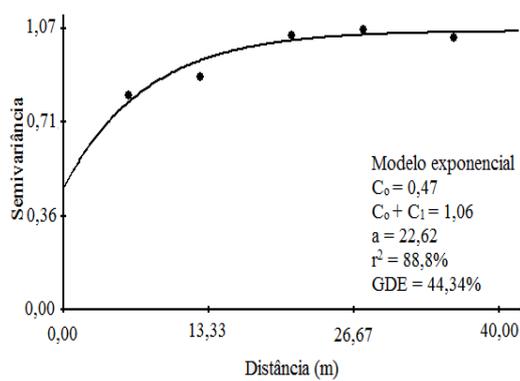
Índice Dris do Cálcio



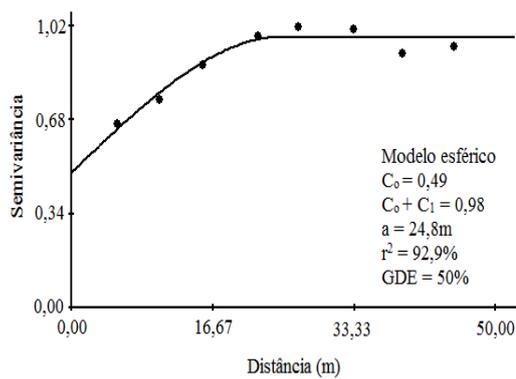
Índice Dris do Magnésio



Índice Dris do Enxofre

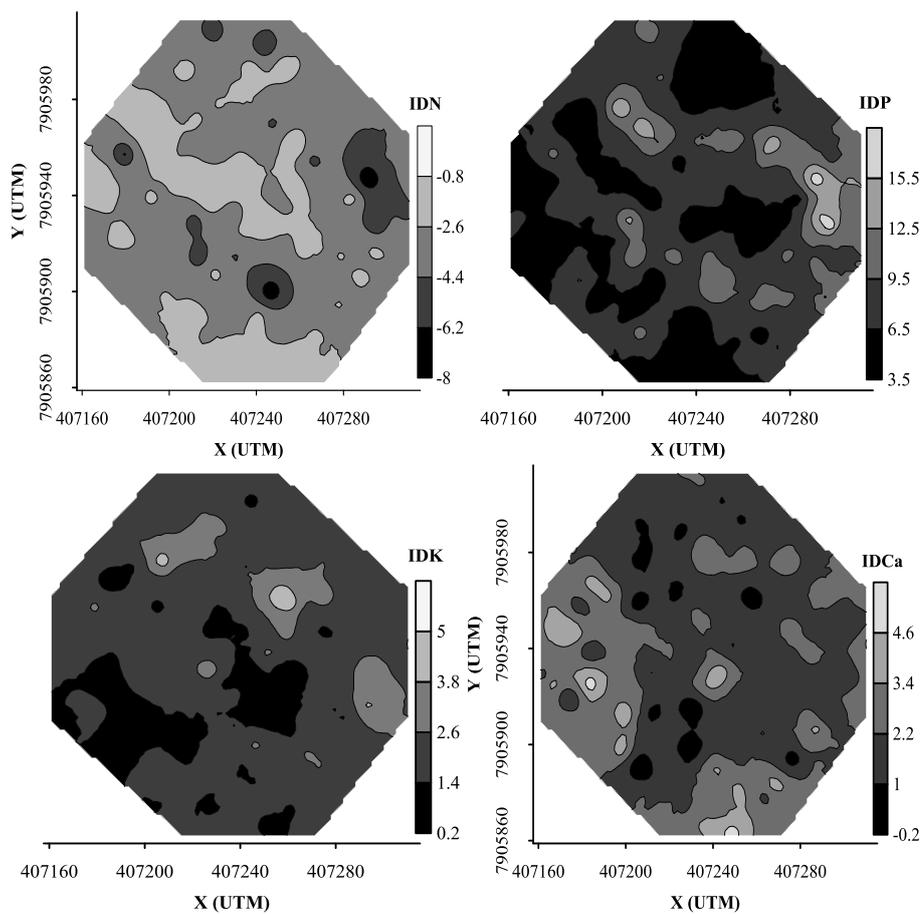


Índice Dris do manganês

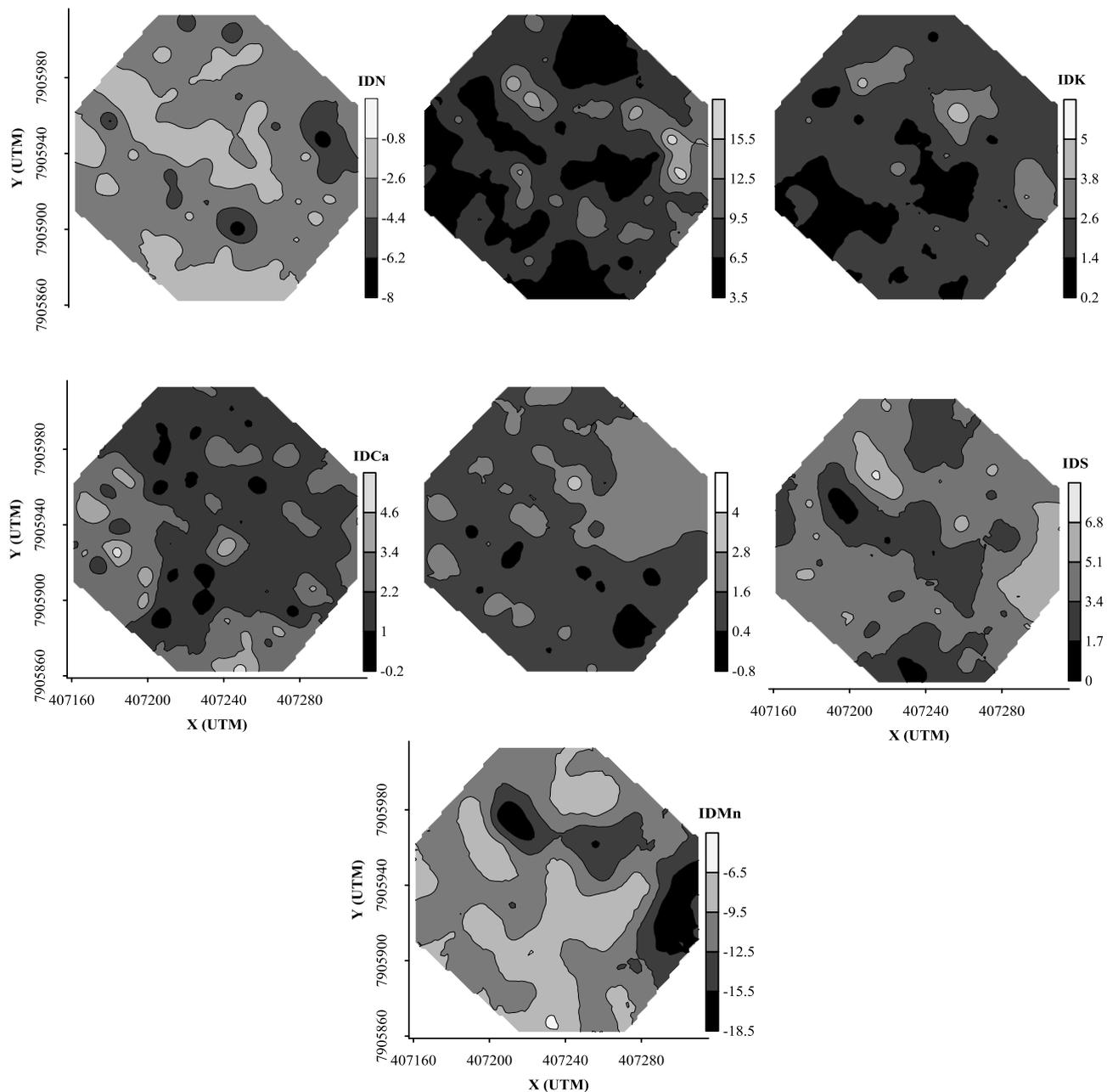


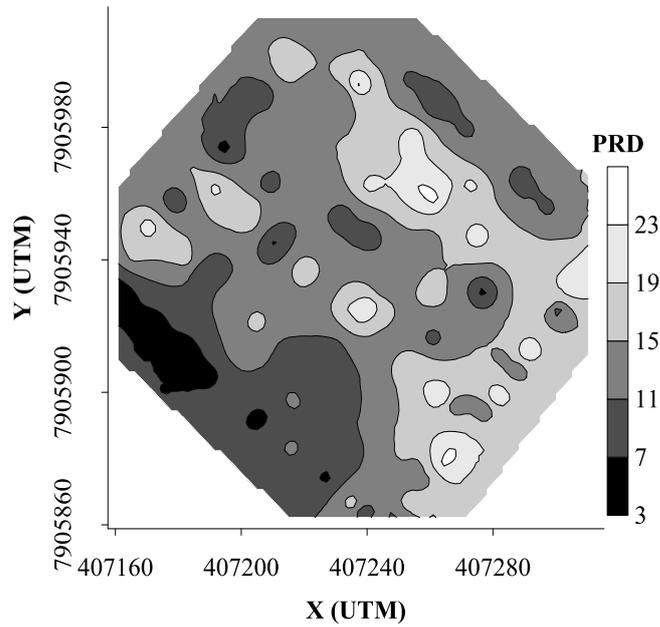
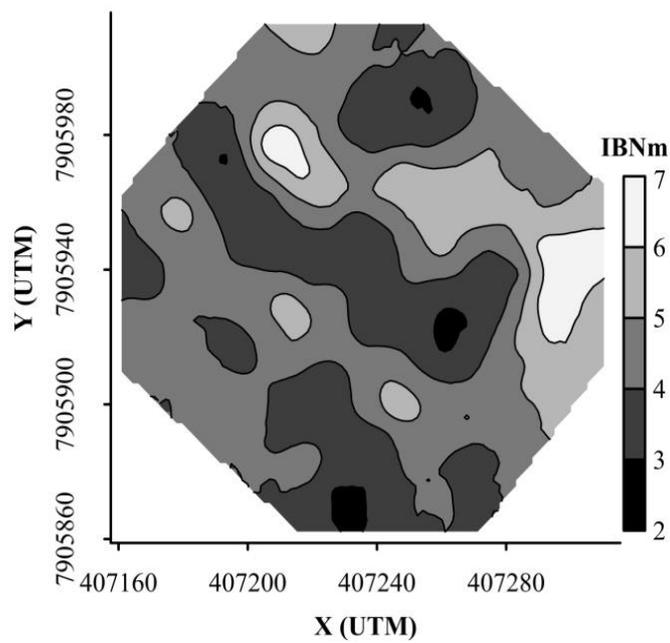
APÊNDICE E.

Mapas das distribuições espaciais dos índices DRIS de cada nutriente avaliado.



Continuação...

Mapas das distribuições espaciais dos índices DRIS de cada nutriente avaliado.

APÊNDICE F.**Mapa da distribuição espacial da produtividade.****APÊNDICE G.****Mapa da distribuição espacial do IBN médio.**

APÊNDICE H.

Frequência em que os pontos avaliados foram classificados nas classes I, II, III, IV e V para a cultura do mamoeiro.

Nutrientes	Frequência				
	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V
N	-	7,75	92,25	-	-
P	-	-	10,86	10,85	78,29
K	-	-	95,34	3,88	0,78
Ca	-	-	79,07	12,4	8,53
Mg	-	-	98,45	1,55	-
S	-	-	58,91	30,23	10,85
Mn	100	-	-	-	-
Zn	-	29,46	70,54	-	-

APÊNDICE I.

Mapas das distribuições espaciais dos teores foliares avaliados.

