

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

WALAS PERMANHANE STURIÃO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E DE PLANTAS NA
CULTURA DO MAMOEIRO NO NORTE CAPIXABA**

**ALEGRE, ES
2012**

WALAS PERMANHANE STURIÃO

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E DE PLANTAS NA
CULTURA DO MAMOEIRO NO NORTE CAPIXABA**

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 de título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima

ALEGRE, ES
2012

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

S935d Sturião, Walas Permanhane, 1987-
Distribuição espacial de atributos de solo e de plantas na cultura do mamoeiro no norte capixaba / Walas Permanhane Sturião. – 2012.
106 f. : il.

Orientador: Julião Soares de Souza Lima.

Coorientador: Ivoney Gontijo.

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

1. Mamão – Cultivo. 2. Análise espacial (Estatística). 3. Agricultura de precisão. 4. Argissolo. 5. Tabuleiros costeiros. I. Lima, Julião Soares de Souza. II. Gontijo, Ivoney. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 63


WALAS PERMANHANE STURIÃO


**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLO E DE PLANTAS NA
CULTURA DO MAMOEIRO NO NORTE CAPIXABA**

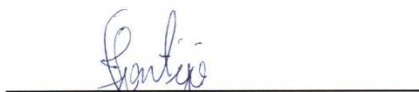
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção de título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 24 de fevereiro de 2012

COMISSÃO EXAMINADORA:


Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador


Prof. Dr. Diego Lang Burak
UFES – CCA
Membro Interno


Prof. Dr. Ivoney Gontijo
UFES – CEUNES
Coorientador - Membro Externo

AGRADECIMENTOS

Em especial a Jesus Cristo, meu Deus e Senhor, por ser o principal motivo de minhas realizações. Obrigado, Senhor, eu confio em Vós!

Aos meus amados pais, minha irmã e toda família Permanhane e Sturião, pelo apoio, compreensão e acolhida nas minhas idas e vindas. E por me ensinarem constantemente o valor do trabalho e da dedicação diária aos nossos sonhos.

Aos amigos, que apesar de longe, sempre estão perto e me motivam a construir as fases da minha vida. Em especial àqueles “cultivados” nos férteis e profundos solos de Minas Gerais. Um Estado de graça, que não esquecerei jamais. Valeu Alfenas!!!!!!

Ao grandioso Prof. Julião Soares de Souza Lima, pela orientação à construção deste título, que também se deve a coorientação do Prof. Ivoney Gontijo. Sempre disponíveis e prestativos. Verdadeiros orientadores.

Ao saudoso Fábio Ribeiro Pires, por toda contribuição neste treinamento. Também a todos os professores, colaboradores e laboratoristas do CCA e do CEUNES - UFES.

Aos companheiros pós-graduandos que juntos aprendemos as artimanhas da ciência, da pesquisa, que nos exigiu muita dedicação. Não haveria resultados sem a presença de vocês nas coletas de campo, nos laboratórios, nos estudos pelas madrugadas e aos fins de semana. Na divertida convivência. Também aos colegas da graduação em Agronomia e Engenharia Florestal que com desprendimento e dedicação me ajudaram em vários momentos. Muito obrigado!!!

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto Corrêa Landgraf, pela orientação nos tempos de graduação e pelo impulso a esta realização. A todos os docentes do Instituto de Ciências Agrárias da UNIFENAS, que contribuíram para o meu crescimento.

Ao Prof. Diego Lang Burak, pelas contribuições como examinador desta defesa.

Ao batalhador povo brasileiro que financiou este treinamento, por intermédio da CAPES e da UFES.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente estiveram comigo até aqui. Tenho certeza que minha formação profissional deve-se à importante contribuição de cada um de vocês, a quem devo todo o agradecimento e disponibilidade. Muito Obrigado!!!

“Aleluia!

Povos todos, louvai o Senhor,
nações todas, dai-Lhe glória;
porque **forte é o Seu amor** para conosco
e **a fidelidade do Senhor** dura para sempre”(SALMO 117).
Pois quem colocando a sua **confiança no Senhor** ficara
desamparado? (SALMO 37, 25).

“Ao final de nossos trabalhos, não devemos nos preocupar com as publicações que encherão nossos currículos, mas sim o quanto estes trabalhos foram úteis em ajudar a melhorar a vida das pessoas. Devemos ter em mente o objetivo de ajudar as pessoas.”

Dennis Gonsalves (PBARC/USDA), em 01/11/2011 no V Simpósio do Papaya Brasileiro em Porto Seguro/BA.

RESUMO

No Brasil, as lavouras de mamoeiro das planícies dos tabuleiros costeiros são as que melhor desenvolvem e aplicam tecnologias para a produção de mamão no mundo. O objetivo foi aplicar a estatística clássica e a geoestatística no mapeamento e na correlação da variabilidade espacial de atributos químicos e físicos de solo e de plantas de mamoeiro (*Carica papaya* L.) de uma lavoura comercial do norte capixaba cultivada em um Argissolo típico dos tabuleiros costeiros. O solo de textura arenosa de caráter coeso foi preparado convencionalmente e cultivado com mamoeiro variedade Golden THB. Após a sexagem, procederam-se as amostragens de solo, amostrado na projeção da copa (0-0,20 e 0,20-0,40 m) para a determinação dos atributos químicos e físicos, e de atributos biométricos das plantas em uma área de 1,2 ha (114 x 110 m) totalizando 129 pontos amostrais georreferenciados. Ao nono mês após o transplântio, registrou-se a altura da colheita dos primeiros frutos, o número e a massa dos frutos colhidos para estimativa da produtividade, amostrando três plantas por ponto amostral durante três meses. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e à correlação de Pearson. A dependência espacial das variáveis foi analisada através da ferramenta geoestatística, com obtenção de semivariograma e os mapas de distribuição das variáveis. A maior parte dos atributos de solo e de plantas de mamoeiro apresenta dependência espacial e é mapeada adequadamente. Há correlação de dependência vertical para densidade do solo, argila, silte, resistência do solo à penetração na linha de plantio e na rua e volume total de poros. Dos atributos químicos não ocorre este comportamento apenas para K, Al e Sat K. As frações areia e argila foram os principais atributos a constituírem correlação com os demais. Há poucas correlações dos atributos do solo com os atributos biométricos e a produtividade do mamoeiro. Ocorre correlação positiva entre a produtividade inicial do mamoeiro com características biométricas ideais para as plantas de mamoeiro. A fertilidade e o preparo do solo são expressivos para o desenvolvimento do mamoeiro e para a variabilidade espacial dos atributos avaliados.

Palavras-chave: *Carica papaya* L. Argissolo. Tabuleiros costeiros. Geoestatística. Agricultura de precisão.

ABSTRACT

In Brazil, farm work of papaya cultivated in coastal tablelands are the ones that best develop and apply technology to the production of papaya in the world. The objective of this research was to apply classic statistics and geostatistics in mapping and correlation of spatial variability of chemical and physical attributes of soil and papaya plants (*Carica papaya* L.) of a commercial farm work of the northern part of Espírito Santo cultivated in an Argisol typical the coastal tablelands. The soil with a sandy texture and cohesive character was conventionally prepared and cultivated with papaya variety Golden THB. After the completion of sexing, the samples were proceeded of soil sampled in the projection of the canopy (0-0.20 and 0.20-0.40m) to determine chemical and physical attributes and biometric attributes of plants in an area of 1.2 ha (114 x 110 m) totalizing 129 georeferenced points of sample. On the ninth month after the transplanting, it was registered the height of the harvest from the first fruits, number and weight of all fruits harvested to estimate the productivity, sampling three plants for sample point during three months. The results obtained were submitted to a descriptive statistics analysis and correlation of Pearson. The spatial dependence of variables was analyzed through the geostatistics tool, obtaining semivariogram and maps of distribution of variables. For most of the attributes of soil and of papaya plants presented a spatial dependency and were adequately mapped. There was a correlation of vertical spatial dependence for soil density, clay, silt, penetration resistance of crop rows, and penetration resistance between crop rows, and total volume of pores. In the chemical attributes this behavior didn't occur, only for K, Al and Sat K. The sand and clay fractions were the main attributes that constitute correlation with each other. There were few correlation of attributes of soil with the biometric attribute and production of papaya. There was a positive correlation between the initial productions of papaya with biometric characteristics ideal for papaya plants. The fertility and the preparation of soil were expressive for the development of papaya and for the spatial variability of the evaluated attributes.

Keywords: *Carica papaya* L., Argisol, Coastal tablelands, Geostatistics, Precision Agriculture.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 PRODUÇÃO DE FRUTAS NO BRASIL	12
2.1.1 A cultura do mamoeiro	12
2.1.2 O cultivo do mamoeiro nos tabuleiros costeiros	16
2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO E A VARIABILIDADE ESPACIAL	19
2.3 GEOESTATÍSTICA	25
2.3.1 Hipóteses e características importantes	27
2.3.2 Semivariograma	29
2.3.2.1 Os modelos de semivariogramas teóricos.....	33
2.3.2.2 Escalonamento do semivariograma	35
2.3.3 Índice de dependência espacial (IDE)	35
2.3.4 Interpolação de dados para confecção de mapas	36
3 MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1 LOCALIZAÇÃO E INFORMAÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS.....	38
3.2 VARIEDADE CULTIVADA.....	39
3.3 IMPLANTAÇÃO E MANEJO DA CULTURA.....	40
3.4 GRADE AMOSTRAL	43
3.4.1 Amostragem e determinação dos atributos do solo	44
3.4.1.1 Atributos Químicos do solo.....	45
3.4.1.2 Atributos Físicos do solo	46
3.4.2 Amostragem de atributos das plantas do mamoeiro	47
3.4.2.1 Colheita e produtividade.....	48
3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS	49
3.5.1 Análise exploratória e descritiva	49
3.5.2 Análise geoespacial	50
3.5.3 Interpretação da fertilidade do solo	51

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DESCRITIVA	52
4.1.1 Atributos físicos do solo	52
4.1.2 Atributos Químicos do solo	56
4.1.3 Análise de correlação de atributos do solo	61
4.1.3.1 Atributos físicos do solo.....	61
4.1.3.2 Atributos químicos do solo	63
4.1.3.3 Correlações entre os atributos físicos e químicos do solo.....	65
4.1.4 Atributos biométricos e produtividade do mamoeiro	67
4.1.4.1 Correlações entre os atributos de plantas do mamoeiro	70
4.2 ANÁLISE GEOESPACIAL	73
4.2.1 Atributos físicos e químicos do solo	73
4.2.2 Atributos das plantas do mamoeiro	78
4.2.3 Mapas temáticos dos atributos de solo e de plantas	79
4.2.3.1 Mapas de atributos físicos do solo	79
4.2.3.2 Mapas de atributos químicos do solo	84
4.2.3.3 Mapas de atributos de plantas de mamoeiro.....	90
5 CONCLUSÕES	95
6 REFERÊNCIAS	96

1 INTRODUÇÃO

O mamoeiro é cultivado predominantemente na região norte do Estado do Espírito Santo, em solos típicos dos tabuleiros costeiros, e é de grande importância econômica, produzido para o mercado interno e externo, contribuindo para a geração de empregos e renda. Essa atividade é realizada com intensivo preparo mecanizado convencional do solo, onde ocorre o revolvimento do solo em toda extensão da área e com tráfego de máquinas nas entrelinhas durante o manejo de condução após o transplante das mudas até as etapas de colheita.

As técnicas da agricultura de precisão (AP) estão sendo empregadas, no Brasil, em várias regiões e em diferentes culturas obtendo sucesso na identificação de zonas de aplicação de corretivos e fertilizantes no solo a taxas variáveis. Esse fato ocorre em virtude da adaptação dos maquinários agrícolas com sensores de posicionamento para a obtenção de pontos georreferenciados e posterior levantamento dos atributos de solo e de plantas, com a construção de mapas temáticos, identificando a real necessidade e orientando na reposição dos nutrientes de solo e de folhas.

Algumas máquinas, quando na colheita mecanizada, são compostas de sensores medidores instantâneo da produtividade. Essa mecanização “inteligente” tem proporcionado para culturas, como a soja, o milho, o trigo, a cana-de-açúcar e o café arábica, aumento na produtividade em virtude da aplicação racional dos insumos na semeadura e nos tratamentos culturais, minimizando os custos de produção e menores impactos ao meio ambiente.

No Estado do Espírito Santo, nos últimos anos, trabalhos de pesquisas foram realizados nas culturas da pimenta-do-reino, da bananeira e do café conilon utilizando as técnicas da AP, encontrando informações de que os atributos químicos e físicos de solo e os relativos às plantas apresentam correlações e dependência espacial apresentando zonas com déficit e excesso de aplicação de insumos. Esse fato acontece por considerar os métodos tradicionais de amostragem de solo para a correção e reposição da sua fertilidade, nos quais a média é utilizada.

Segundo Andrigueto e Kososki (2003), no sistema mercadológico serão cada vez mais valorizados os aspectos qualitativos e o respeito à natureza na produção de

qualquer produto. As potencialidades de aperfeiçoamento dos mercados e da mudança dos hábitos alimentares impulsionam a necessidade dos produtores serem habilidosamente eficientes na adoção das mais modernas tecnologias redutoras de custos para eliminar desperdícios na produção e, com isso, garantir a produção almejada, mantendo a competitividade no mercado, a rentabilidade do negócio e a qualidade ambiental.

Neste contexto, o objetivo geral desta pesquisa foi aplicar a estatística clássica e métodos geoestatísticos, no mapeamento e na correlação da variabilidade espacial de atributos químicos e físicos de solo e de plantas de mamoeiro (*Carica papaya L.*) de uma lavoura comercial do norte capixaba cultivada em um Argissolo típico dos tabuleiros costeiros.

- Objetivos específicos

- 1- Avaliar a dependência espacial de atributos químicos e físicos do solo, nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, da produtividade e de atributos biométricos de plantas de mamoeiro.
- 2- Correlacionar e mapear os atributos físicos e químicos do solo nas duas camadas e os atributos de plantas do mamoeiro.
- 3- Analisar a distribuição espacial horizontal e vertical dos atributos de solo nas duas camadas, em solo preparado mecanicamente para o transplântio.
- 4- Analisar o efeito da fertilidade e do sistema de preparo do solo sobre o desenvolvimento das plantas de mamoeiro e sobre a distribuição espacial dos atributos avaliados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRODUÇÃO DE FRUTAS NO BRASIL

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas frescas, constituindo-se, a fruticultura irrigada, uma importante alternativa econômica, promovendo a geração de empregos e renda. Esse é um dos segmentos mais importantes da agricultura brasileira, que responde por 25,0% do valor da produção agrícola nacional (IBGE, 2011a).

Nos últimos anos, a produtividade brasileira do setor hortifruti cresceu 30,0% e as exportações duplicaram, enquanto que a área plantada reduziu 6,0%, segundo dados da FAO (2011) e do IBGE (2011a). Esse avanço deve-se ao melhoramento tecnológico e gerencial das propriedades e à consolidação de novas regiões produtoras (BOTEON, 2005).

As principais frutas em termos de valor da produção no Brasil, nesta ordem, são: laranja, banana, abacaxi, uva, mamão, coco, maçã e manga, sendo também as principais frutas *in natura* exportadas pelo Brasil, exceto a laranja e o abacaxi (BUAINAIN; BATALHA, 2007).

2.1.1 A cultura do mamoeiro

O mamoeiro (*Carica papaya* L.), uma planta herbácea originária da América tropical de grande precocidade, acompanhada de floração rápida e contínua, paralelamente ao desenvolvimento dos frutos; é uma das fruteiras mais importantes nas regiões tropicais de diversos países, onde há condições edafoclimáticas favoráveis ao seu rápido crescimento (COSTA; PACOVA, 2003).

O Brasil é o segundo maior produtor de mamão, superado pela Índia devido à área plantada, e desde 2005 é o segundo maior exportador de mamão no mundo, por ter apresentado um surpreendente crescimento na produtividade e exportação. A demanda doméstica por mamão cresceu cerca de 40,0% até 1997 e a partir de então a demanda nacional apresentou tendência a estabilidade, ficando em torno de uma média de 1,5 milhão de toneladas por ano (BUAINAIN; BATALHA, 2007).

A produção brasileira cresceu de 50,0 mil toneladas em 1961 para quase 1,8 milhão de toneladas em 2009, passando de 4,0% para aproximadamente 20,0% da produção mundial. No entanto, esse esforço produtivo se deve ao mercado doméstico, porque as exportações não chegam a representar 2,0% do total produzido pelo país (IBGE, 2011b).

Graças ao pacote tecnológico desenvolvido para o cultivo do mamoeiro, há uma evolução de forma significativa de sua produção no país, com possibilidade de cultivo em todas as regiões. A cultura do mamoeiro tem obtido aumento produtivo desde meados dos anos 70 devido às inovações do cultivo e à introdução das cultivares do Grupo Solo e de híbridos do Grupo Formosa notadamente nos Estados da Bahia, Espírito Santo e mais recentemente no Rio Grande do Norte (RUGGIERO et al., 2003; BOTEON, 2005; IBGE, 2011ab)

A região do extremo sul do Estado da Bahia e norte do Espírito Santo é o principal polo de produção de mamão no Brasil, sendo o Estado da Bahia o de maior produção, com 50,0% do total e produtividade de 59,0Mg ha⁻¹ano, correspondendo a 44,0% da área cultivada no país. O Espírito Santo produz 31,0% do total e tem produtividade de 74,0Mg ha⁻¹ ano em 22,0% da área plantada, sendo o segundo maior produtor e o principal exportador do país. O Estado do Rio Grande do Norte tem se destacado com os investimentos feitos nos últimos anos, sendo o terceiro em importância no país, com expectativa crescente em atender o mercado externo. Este estado produz 5,8% do total, tem produtividade de 62,0Mg ha⁻¹ ano e representa 5,0% da área plantada. O Estado do Ceará é o quarto colocado, também produz 5,8% do total, entretanto tem produtividade de 44,0Mg ha⁻¹ ano em 7,0% da área plantada. A produtividade média nacional é de 52,0Mg ha⁻¹ ano (IBGE, 2011b).

Segundo Nishimura e Miguel (2003), a produtividade brasileira é 174,0% superior à média mundial, especialmente devido às lavouras norte capixabas, que apresentam uma exploração agrícola moderna, tecnicada e empresarial no polo de cultivo de mamão e outras frutíferas como coco, maracujá, banana, cacau e abacaxi (INCAPER, 2010).

O mamoeiro é a cultura mais expressiva na fruticultura da região norte do Espírito Santo, gerando uma renda bruta da ordem de R\$ 60,0 milhões por ano e emprega cerca de dez mil pessoas no processo de produção e comercialização. As condições

climáticas favoráveis e a logística de produção possibilitam a exploração como atividade agrícola de grande importância econômica e social para o estado, onde os cultivos continuam sendo renovados há mais de 25 anos sem que haja queda de produtividade e prejuízo da qualidade da produção, quebrando o caráter nômade que possuía em função dos desastres econômicos causados pela ocorrência do vírus do Mosaico em outros estados (ALVES, 2003; BUAINAIN; BATALHA, 2007).

O mamão cultivar Golden, do grupo Solo, também conhecido como mamão Havaí, ou *papaya*, principalmente cultivado no Estado do Espírito Santo, é o que tem mais prestígio junto aos consumidores, especialmente entre os estrangeiros. Destacando nessa região a alta produtividade das lavouras, devido ao alto nível tecnológico e à infraestrutura instalada, o que promoveu o aumento da produção do mamoeiro em 50 vezes, comparando-se os anos de 1950 e 2000 (ALVES, 2003; BUAINAIN; BATALHA, 2007). Os municípios maiores produtores do estado são: Pinheiros - 62,7% do cultivo correspondem ao grupo formosa e 37,3% ao Havaí; e Linhares - 20,9% do cultivo correspondem ao grupo formosa e 79,1% ao Havaí (CEPEA, 2010).

Com a grande exigência do mercado internacional há um crescente desdobramento das medidas restritivas à comercialização mundial do mamão. Essas medidas afetaram diretamente as exportações brasileiras, e fez com que o Brasil desenvolvesse um programa especial de produção de mamão, adotado amplamente no Espírito Santo, denominado *Systems Approach*, que em linhas gerais, contribuiu para a certificação das lavouras de mamão do estado e para que atingisse a supremacia em qualidade de produção, sendo responsável por 50,0% das exportações, transformando-se no estado maior exportador de mamão para os mercados norte americano e europeu, extremamente exigentes (ALVES, 2003; BRAPEX, 2007).

No Brasil, as principais lavouras de mamão estão localizadas em áreas de relevo propício à mecanização, típicas dos tabuleiros costeiros, onde o relevo e as pequenas variações de temperatura favorecem o desenvolvimento da cultura ao longo do ano. Os solos deste sistema natural são, em geral, de textura arenosa argilo-arenosa, ideais para o cultivo do mamoeiro. Em contrapartida apresentam baixa fertilidade e têm como principal peculiaridade a presença de horizontes coesos subsuperficiais, que dificultam a dinâmica da água no solo e o aprofundamento do

pouco desenvolvido sistema radicular do mamoeiro, quando apresentado em menor profundidade (SALGADO; COSTA, 2003). Necessitando, portanto, de condições especiais de manejo para proporcionar-lhe desenvolvimento adequado.

São conhecidos os benefícios da profundidade de corte do solo proporcionados à cultura do mamoeiro, tanto em produção quanto em sanidade (CARVALHO et al., 2004). Por isso, os métodos de preparo do solo para o seu cultivo vão além da aração ou simplesmente da gradagem. Por décadas, os produtores brasileiros têm usado a subsolagem, a construção de camalhões e sistemas de drenagem nos plantios do mamoeiro para proporcionar-lhe meios de desenvolvimento em níveis economicamente “viáveis”, apesar de ecologicamente danosos (COSTA et al., 2003).

Esses autores também mencionam a grande escassez de informações quanto ao método ideal e economicamente viável para o preparo dos solos de tabuleiros costeiros e que, por isso, os métodos tradicionais ainda são os mais utilizados.

Quanto ao equilíbrio nutricional das lavouras de mamoeiro, há um pacote tecnológico desenvolvido para a cultura, por estar associado aos fatores que proporcionam aumentos de produtividade e sua qualidade (Tabela 1).

Tabela 1 – Teores adequados de nutrientes para os solos cultivados com mamoeiro, no Estado do Espírito Santo

Atributos	Unidades	Teores
P	mg dm ⁻³	10,0– 20,0
Ca	cmol _c dm ⁻³	1,6 – 4,0
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,6 – 1,0
K	mg dm ⁻³	30,0– 60,0
pH CaCl ₂	-	5,6 - 6,5
Al	cmol _c dm ⁻³	< 0,3
H+Al	cmol _c dm ⁻³	< 2,5
MO	dag kg ⁻¹	1,6 – 3,0
SB	cmol _c dm ⁻³	2,1 – 5,0
t	cmol _c dm ⁻³	2,6 – 6,0
T	cmol _c dm ⁻³	4,6 - 10,0
m	%	< 20,0
V	%	70,0– 80,0

Fonte: Adaptado de Costa e Costa (2003a) e Prezotti e outros (2007).

Por isso, é necessário que o produtor se atenha a disponibilizar no solo os teores nutricionais exigidos pelas plantas de mamoeiro, principalmente em cultivos irrigados e de alta produtividade.

2.1.2 O cultivo do mamoeiro nos tabuleiros costeiros

Os tabuleiros costeiros apresentam feições geomorfológicas de superfície do tipo tabular, dissecada por vales pouco profundos em forma de “U”, próximas ao oceano Atlântico. Cujas áreas no Brasil é estimada em 20,0 milhões de hectares, que se distribuem desde o Estado do Amapá até o Rio de Janeiro (Figura 1). O relevo em sua maioria é suave ondulado, com altitudes que variam de 20,0 a 220,0 metros, e grande variação climática e vegetativa. É considerada a maior ocorrência de formação de sedimentos do Terciário dentro de um único país (JACOMINE 1996; REZENDE, 2000, NASCIMENTO, 2001).

Nos Estados da Bahia e do Espírito Santo, que são responsáveis por mais de 80,0% do mamão produzido no Brasil, encontram-se as maiores extensões de Tabuleiros Costeiros do País: 3.576,0 e 958,0 ha, respectivamente (JACOMINE, 1996).

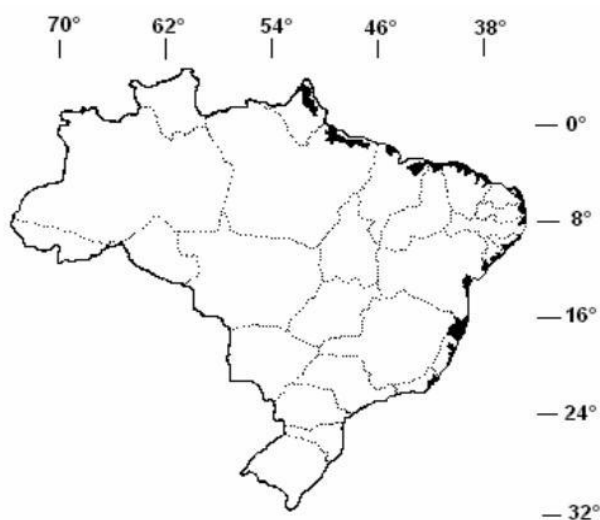


Figura 1 - Disposição dos tabuleiros costeiros no Brasil.
Fonte: Embrapa (1981).

Essas regiões são importantes para a cultura do mamão por apresentarem algumas características desejáveis a este agronegócio, tais como: grandes centros urbanos com redes organizadas e eficientes de processamento, transporte, armazenagem e distribuição; relevo plano a suave ondulado; clima; e localização geográfica favorável. Mas a presença das camadas coesas nos solos dos tabuleiros costeiros atua como contraponto a algumas das principais potencialidades (CINTRA, 2005), significando que para a garantia de longevidade e manutenção de bons índices de produtividade do mamoeiro, depende-se da seleção de áreas mais adequadas e do ajuste das práticas de manejo aos solos com horizontes coesos subsuperficiais (SALGADO; COSTA, 2003).

Os solos próximos ao litoral cultivados com o mamoeiro predominantemente são Argissolos ou Latossolos Amarelos, que representam cerca de 67,5 e 25,0%, respectivamente, de todos os solos nesse domínio morfoclimático (JACOMINE, 1996). Formados a partir de material de origem sedimentar do Terciário-Quaternário, pertencente à Formação Capim Grosso ou Barreiras em relevo suave ondulado, de drenagem imperfeita. São solos caulíníticos, geralmente ácidos, distróficos, com baixos teores de fósforo, bases, matéria orgânica e CTC, apresentando, no entanto, significativas diferenças entre si. As características físicas são muito diversas em função do material de origem e do teor de argila. Possuem, geralmente, o horizonte B coeso muito adensado, devido à presença de maior conteúdo de microargila dispersa (CORRÊA et al., 2008; LIMA NETO et al., 2010), as profundidades variam desde 0,1 até 0,5 m. O gradiente textural entre os horizontes A e B pode chegar a três vezes: 12,0 a 15,0% de argila no A e 30,0 a 36,0% de argila no B (RIBEIRO, 1996; SOUZA, 1997; JACOMINE, 2001; GIAROLA; SILVA, 2002). Moreau e outros (2006) verificaram esse comportamento em duas topossequências no sul da Bahia e evidenciaram a variabilidade de suas características e propriedades.

De acordo com Coelho (2001), essa camada, de natureza genética dos solos dos tabuleiros costeiros, corresponde a uma zona do perfil do solo com maior densidade e dureza em relação às demais camadas. Apresentam expressão máxima entre 0,2 e 1,0 m de profundidade, tendo média de densidade do solo na faixa de 1,5 a 1,8 kg dm⁻³, enquanto nos horizontes superficiais, em condição natural, varia de 1,2 a 1,4 kg dm⁻³.

Reichardt e Timm (2004) afirmam que grande parte dos solos arenosos, por exemplo, os Argissolos, apresentam naturalmente densidade de partículas (D_p) em torno de $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$ e densidade do solo (D_s) de $1,40$ a $1,80 \text{ kg dm}^{-3}$. O caráter coeso das classes de solo desse domínio morfoclimático é muito duro a extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos (EMBRAPA, 2006). Seu efeito atinge diretamente o espaço poroso do solo, prejudicando sensivelmente a dinâmica do ar, da água e dos nutrientes, a temperatura do meio, os microrganismos e o crescimento radicular das culturas.

Com isso, o sistema solo-planta fica vulnerável ao regime climático (CINTRA; LIBARDI, 1998), constituindo fatores que interferem no processo produtivo do mamoeiro, uma vez que essa cultura apresenta os processos de floração, crescimento e maturação de frutos simultaneamente, exigindo um suprimento constante e adequado de água e nutrientes para atingir o potencial de produção, além de ter sistema radicular sensível e pouco desenvolvido para superar a camada coesa.

Devido às características intrínsecas do solo, há a necessidade de um processo intensivo de mecanização para o cultivo do mamoeiro, como a subsolagem e a confecção de camalhões, que visam romper a camada de impedimento ao crescimento radicular e melhorar a drenagem da área. Um dos grandes problemas da cultura do mamão, devido à vulnerabilidade ao apodrecimento das raízes e à incidência de doenças, é a drenagem imperfeita do solo, como relatado por Costa e outros (2003).

Os efeitos limitantes desses solos são agravados pelo emprego usual de técnicas inadequadas, comuns nas regiões de ocorrência desses solos, como já mencionado por Santos (1992), e por Ribeiro (1996), que apontaram a degradabilidade dos solos coesos, seja na cultura do mamão ou em outros cultivos.

Cintra, Portela e Nogueira (2004) e Cintra (2005), mencionam os equívocos comuns entre os proprietários de áreas de tabuleiro, em acreditar no comportamento homogêneo desses solos, e alertam que são necessários cuidados especiais quanto ao uso e manejo dos mesmos, por apresentarem diversidade de classes e sugerem a necessidade de ser adotado manejo diferenciado para cada situação específica ou cultura explorada. Isso, porque na realidade, há grandes diferenças nas

características físico-químicas do solo, mesmo em áreas muito próximas umas das outras ou aparentemente homogêneas.

Essa diferenciação para o caráter coeso dos solos da região dos tabuleiros costeiros deve-se à grande variação dos ambientais deposicionais dos sedimentos que originaram a Formação Barreiras (BIGARELLA, 1975, citado por LIMA et al., 2004), refletindo na variabilidade horizontal e vertical de suas características e propriedades.

É importante destacar que a estrutura do solo é uma propriedade dinâmica e que pode sofrer modificações com o tempo em função do preparo mecanizado, pisoteio de animais, trânsito de máquinas, sistema de cultivo, rotação de culturas, calagem, adubação, teor de matéria orgânica, grau de cobertura vegetal, insolação e erosão hídrica. O manejo agrícola deve priorizar, entre outras práticas, atenção especial à manutenção da integridade da estrutura do solo, porque interfere em toda a dinâmica da relação solo/planta/atmosfera e, conseqüentemente, em seu potencial produtivo (REICHARDT; TIMM, 2004; SOUZA; SOUZA, 2011).

Portanto, é de extrema importância compreender as características e as propriedades edáficas dos horizontes dos solos dessa unidade geoambiental para promover um manejo sustentável para a agricultura dessa região, conforme defendido por Ribeiro (1998) e Fonsêca e outros (2007).

2.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO E A VARIABILIDADE ESPACIAL

Os recursos naturais sempre serviram para a sobrevivência do homem neste planeta, na busca por meios de produzir seus alimentos e sua fixação, promovendo, com isso, as práticas e os progressos da agricultura. A retirada da vegetação natural é o primeiro passo para abertura de áreas para implantação de cultivos. Com o passar dos tempos, o advento da mecanização das atividades agrícolas, o uso de agroquímicos e o melhoramento genético proporcionaram aumento de produção para o consumo interno dos países e excedentes para exportação, levando, em alguns casos, a sérios danos ao meio ambiente.

Com a utilização das técnicas modernistas, os “pacotes tecnológicos”, associadas à ideologia de produzir estrondosa quantidade de alimentos em curto prazo, atenuou-se a escassez crônica de alimentos, mas consequentes desequilíbrios sócio-econômicos e ambientais surgiram e evoluíram juntamente com a intensificação de processos produtivos unilaterais, em sua maioria, sem embasamento ecológico para o sistema agroalimentar (EHLERS, 1996; ROCHA; LAMPARELLI, 1998).

Com o nível de conhecimento e de tecnologia que todos os setores econômicos ao redor do mundo utilizam e buscam no auge do século XXI, gera um grande desafio em revolucionar a agricultura ainda mais profundamente, principalmente nas potenciais regiões tropicais. O objetivo principal é inovar a produção de alimentos para que seja suficiente para toda a população do planeta, cada vez mais exigente quanto à qualidade e segurança alimentar, com o menor impacto ao ambiente, evitando a sua degradação e recuperando áreas já depreciadas (OLIVEIRA, 2009).

Um sistema tecnológico que tem sido muito estudado e tem apresentado resultados muito positivos nesse âmbito é a chamada “Agricultura de Precisão” (AP), que integra um conjunto de informações e ferramentas para manejar eficientemente áreas agrícolas. A agricultura de precisão surge como uma técnica onde as práticas de desenvolvimento agrícola são aplicadas de acordo com as condições de campo, com variação local, sendo para isso necessário conhecer os fatores determinantes de produção que limitam o crescimento e o desenvolvimento vegetal, para uma possível estratégia na abordagem dentro do agroecossistema (MANTOVANI; QUEIROZ; DIAS, 1998; MOLIN, 2000; OLIVEIRA, 2009).

A AP é um conjunto de procedimentos que permite ao produtor manejar com eficiência a propriedade em áreas delimitadamente homogêneas, identificadas como “zonas de manejo específico”, caracterizando sua diferença com a agricultura convencional.

Dessa forma, a AP procura perceber a produtividade potencial e a qualidade da cultura com o incremento do retorno econômico com o mínimo impacto ambiental. Logo, a AP não tem a meta de uniformizar a produtividade em toda a área, mas sim maximizar o potencial de cada sítio específico, por meio de manejo eficiente (DAMPNEY; MOORE, 1999).

A AP considera a real extensão das variáveis abordadas com o uso adequado das etapas básicas do sistema que consistem de: coleta de dados georreferenciados, processamento dos dados para obtenção de informações e, por fim, interpretação e planejamento do manejo por zonas específicas dentro do talhão; que permitem determinar "qual, quando e onde" o insumo deve ser aplicado e "como" fazê-lo em locais específicos com diferentes potenciais de produtividade. Podendo-se assim, determinar ou não, desde que econômica e tecnicamente viáveis, investimentos em insumos ou na correção de fatores limitantes à produção, visando a maximização da produtividade e minimização dos impactos ambientais. A AP é um sistema contínuo e muitas das etapas se repetem a cada ciclo da cultura (MOLIN, 2010), como ilustrado na Figura 2.

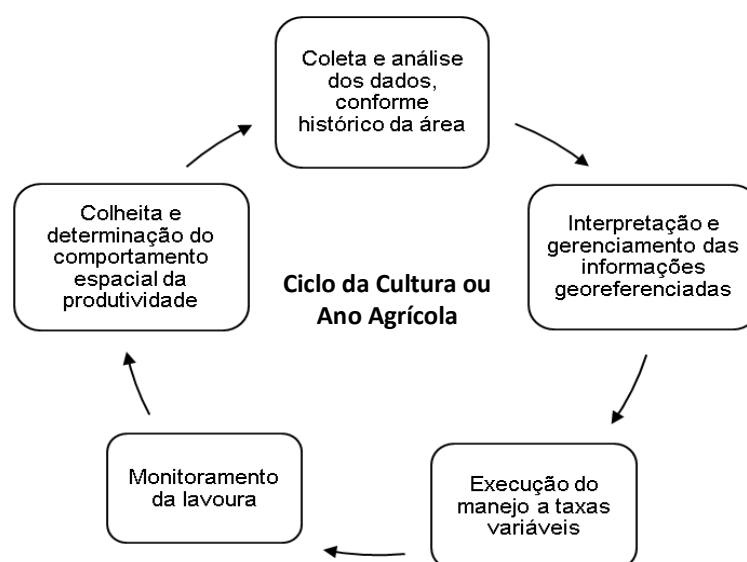


Figura 2 - Ciclo de procedimentos do sistema de Agricultura de Precisão para cada ano agrícola ou ciclo da cultura.

A agricultura convencional baseia-se no monocultivo em extensas áreas considerando a uniformidade das características e propriedades do solo, com emprego da totalidade das práticas de manejo também homogêneas nas unidades produtivas, conhecida como a agricultura "pela média". Tal uniformidade de tratamentos ignora as variações naturais e as induzidas nas propriedades do solo, dentro de cada gleba da lavoura, que pode resultar em superdosagens ou em áreas mal corrigidas, o que é impactante econômica e ecologicamente (MOLIN, 2010).

Avanços importantes no conhecimento e os desafios da agricultura permitiram a aplicação de AP como parte integrante do sistema de Produção Integrada (PI) com ideologia de sustentabilidade, sendo por isso considerada uma nova tecnologia com amplo histórico (COELHO, 2003).

Em países como Estados Unidos, Canadá, Austrália, China e em alguns países da Europa, a AP já é amplamente utilizada em lavouras de várias culturas, já tendo desenvolvido tecnologia específica para suas condições de produção. No Brasil, a AP está sendo adotada gradativamente, inovando o modo de gerenciamento das propriedades rurais, com crescentes aumentos de informações e aplicações desses novos conceitos, que tendem se tornar cada vez mais comuns nas propriedades rurais brasileiras (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002; MOLIN; MENEGATTI, 2005; SILVA; MORAES; MOLIN, 2011; KUTTER et al., 2011).

Da mesma forma que em países desenvolvidos com AP já estabelecida, no Brasil os avanços mais significativos de aplicabilidade ou em nível de estudos, mesmo que incipientes, são encontrados nas lavouras de culturas de interesse comercial, por exemplo: cereais, soja (MOLIN; MASCARIN; VIEIRA JÚNIOR, 2006; SILVA et al., 2009; ZANÃO JÚNIOR et al., 2010), cana-de-açúcar (SILVA; MORAES; MOLIN, 2011), algodão e mais recentemente para café (QUEIROZ, et al., 2004; SILVA; LIMA; TEIXEIRA, 2009; SILVA et al., 2010a) e frutíferas (GOMES et al., 2008, OLIVEIRA; MOLIN, 2011).

Isso ocorre devido à necessidade de investimentos em estudos e na aquisição de equipamentos e maquinário de custo elevado, e ainda para a obtenção e gerência racional de informações processadas a partir desta tecnologia, como suporte de decisão para atingir os objetivos do sistema de AP. A falta de informação é também grande entrave para que a tecnologia seja conhecida entre os produtores (MOLIN; MENEGATTI, 2005; MOLIN, 2010; SILVA; MORAES; MOLIN, 2011).

O termo Agricultura de Precisão é utilizado para descrever o uso de diversas tecnologias avançadas na busca por: maior produtividade potencial das áreas agrícolas; redução dos custos de produção; minimização dos impactos ambientais; e obtenção de informações das unidades de produção para tomada de decisões, monitoramento e planejamentos futuros (ROBERT, 2002; OLIVEIRA, 2009).

Com isso, se busca aumentar a eficiência da agricultura, com base no manejo constante das culturas por zonas específicas, de acordo com a variabilidade espacial e temporal dos fatores de produção, monitorando a atividade agrícola mais precisamente, com menores prejuízos ao meio ambiente, ao mesmo tempo em que se busca a excelência da empresa agrícola (MANTOVANI; QUEIROZ; DIAS, 1998).

O sucesso deste estudo está em parte baseado no conhecimento das variabilidades espacial e temporal dos atributos químicos e físicos do solo, das condições das culturas, da produtividade, da morfologia, do uso e manejo do campo, da pedogênese e do clima, associados a sua localização geográfica. Com essas informações processadas com um conjunto geoestatístico e do Sistema de Informações Geográficas (SIG), gera-se mapas dos atributos da área, que conseqüentemente são utilizados nas tomadas de decisões para cada local característico, de acordo com sua condição, para aplicação de insumos a taxas variadas (ROBERT, 2002).

A AP é, acima de tudo, um sistema de gestão otimizada da produção agrícola, que tem como elemento chave o gerenciamento da variabilidade espacial e temporal da produção e dos fatores a ela relacionados (MOLIN, 2010).

Entre as ferramentas para a identificação de manchas existentes em um talhão, o mapa de colheita é a informação mais completa para a visualização da variabilidade espacial das lavouras, por ser a resposta da cultura a todos os atributos relacionados à produção (MOLIN, 2000; OLIVEIRA, 2009; MOLIN, 2010; SILVA; MORAES; MOLIN, 2011). O mapa de produtividade pode indicar a localização de áreas críticas, enquanto os mapas dos atributos do solo e do relevo podem auxiliar na identificação de fatores que se correlacionam e estejam limitando a produtividade, importantes na tomada de decisões (BARBIERI; MARQUER JÚNIOR; PEREIRA, 2008).

A heterogeneidade é uma propriedade inerente do solo, que caracteriza sua anisotropia, sendo consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação, o que lhe confere variabilidade natural diferenciada ao longo do perfil e horizontalmente. Além disso, as práticas de uso e manejo em áreas agricultáveis exercem influência na distribuição espacial e temporal nas características e propriedades do solo, especialmente nas camadas superficiais,

umentando a sua heterogeneidade como identificado por Schlindwein e Anghinoni (2000), Cavalcante e outros (2007) em sistemas de plantio.

Essa variabilidade ocorre de forma aleatória e interfere no verdadeiro potencial produtivo das classes de solo (MARQUES JÚNIOR; LEPSCH, 2000). Sendo por isso uma das preocupações para a adoção da AP, a definição da intensidade de amostragem do solo para a sua caracterização de dependência espacial e correlação com outros fatores de produção, possibilitando aplicar testes capazes de fornecer informações contundentes para o refinamento das práticas de manejo. Dessa forma, uma amostragem aleatória, que não considera a dependência espacial, é insuficiente e acarreta perda de informações (REICHARDT; TIM, 2004; OLIVEIRA, 2007).

Por isso, é ideal coletar a maior quantidade de dados de campo vinculados à sua localização geográfica para possibilitar a caracterização de uma área de produção para ajudar a identificar a relação de causa e efeito das variáveis envolvidas na produção, que podem variar desde poucos centímetros até vários metros, sendo necessário um manejo específico para solucioná-las, através de amostragens e estimativas acertadas (MOLIN, 2010).

Assim, conhecer a relação da variabilidade espacial/temporal de atributos do solo e de plantas, além dos parâmetros atmosféricos, é fundamental para a implantação e permanência com bons resultados do sistema de AP dentro da propriedade. Isso tem sido motivo de intensificação de estudos para as condições brasileiras (REICHARDT; TIMM, 2004).

Molin, Mascarin e Vieira Júnior (2006), comparando aplicação em taxa fixa com aplicação a taxa variada de fertilizantes e sementes de milho, constatou que o sistema de variação de doses de insumos mostrou-se eficiente, mas com confiabilidade totalmente dependente do operador, e que é necessário trabalhar com a aplicação individualizada dos nutrientes.

Ainda não foram constatados registros que afirmem a utilização da AP em cultivo de mamoeiro no Brasil. Apesar das vantagens e da importância da adoção deste sistema de produção, seu conceito é ainda desconhecido ou pouco estimulante à grande parte dos produtores de mamão no Brasil. A falta de propriedades modelo,

de pesquisas e divulgação são sinais do anonimato do sistema para a cultura, enquanto o alto custo e o considerado baixo retorno econômico são motivos para a rejeição às mudanças tecnológicas requeridas na propriedade, principalmente por parte daqueles que produzem mamão para o mercado interno, menos exigente e que, até então, não pagam por um fruto produzido neste sistema. A atual instabilidade do setor produtivo no Brasil também é fator que dificulta novos investimentos, como discutido no 5º Simpósio do Papaya Brasileiro, realizado em Porto Seguro, em 2011.

Mas, considerando que o Brasil é o país que melhor desenvolve e aplica tecnologias para a produção de mamão no mundo (FAO, 2011) e suas condições são propícias ao cultivo, torna-se evidente sua vocação para a adoção da AP nas lavouras desta fruteira.

2.3 GEOESTATÍSTICA

Para a implementação da Agricultura de Precisão, é necessário inicialmente modelar a dependência espacial das amostras dos atributos utilizados por meio de técnicas geoestatísticas, que têm a capacidade de interagir o aspecto espacial ou topológico com o aspecto aleatório ou probabilístico, fundamentada na Teoria das Variáveis Regionalizadas e utilizando o semivariograma, em substituição das estatísticas clássicas que consideram a independência entre as amostras, baseadas na média e no desvio-padrão para representar o fenômeno (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989; VIEIRA, 2000).

O método clássico de análise estatística de dados, proposto por Fisher, geralmente supõem que as observações das variáveis aleatórias são independentes entre si e apresentam distribuição normal e homogeneidade de variância, em que os dados podem passar por transformações, caso estas duas últimas pressuposições não sejam identificadas, com a finalidade de atendê-las. Nesse sentido, adota-se a repetição e a aleatorização das observações para a sua independência, que em alguns casos não assegura essa suposição devido à forte dependência espacial. Dessa forma, a estatística clássica, por si só, é insuficiente para retratar fielmente os efeitos dos tratamentos, precisando de formas complementares como, por exemplo,

a consideração da distribuição espacial das amostras, obtendo com isso muitas vantagens em nível de informação (ANDRIOTTI, 2003; OLIVEIRA, 2007).

É importante mencionar que a estatística clássica e a geoestatística se completam, o que permite um detalhamento mais completo do fenômeno estudado (REICHARDT; VIEIRA; LIBARDI, 1986). A geoestatística considera a dependência espacial entre as observações (referenciadas na área), faz as interpretações dos dados baseada na sua variabilidade natural e representa a continuidade através do semivariograma (VIEIRA, 2000).

Segundo a teoria das variáveis regionalizadas, que é uma função espacial numérica que varia de um local a outro no espaço com continuidade aparente, pode-se reconhecer ou prever 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. Portanto, os valores dos atributos tomados a distâncias menores apresentam menores diferenças que tomados a maiores distâncias, por ocasião da forte interferência dos valores dos pontos vizinhos, dado a continuidade espacial (MATHERON, 1963; ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989; LANDIM, 2003).

Por isso, ao considerar a distância entre as observações, utilizando a geoestatística, é possível identificar a continuidade espacial dos atributos avaliados e delimitar áreas delimitadamente homogêneas, que serão passíveis de receber manejo específico.

Segundo Vieira (2000), o uso da geoestatística no estudo da dependência espacial dos diversos atributos permite a interpretação e projeção dos resultados com base na análise da estrutura da variabilidade natural e até mesmo definir padrões de amostragem mais adequados. E que isso permite separar os efeitos do manejo ou tratamento daqueles referentes às diferenças naturais de determinada variável entre locais de uma mesma área.

2.3.1 Hipóteses e características importantes

Considerando a teoria das variáveis regionalizadas, $Z(x_i)$ pode ser definida como uma variável aleatória que assume diferentes valores Z em função da localização x_i dentro de uma região S , e referenciada por pares de coordenadas (x_i, y_i) [Figura 3] (OLIVEIRA, 2007).

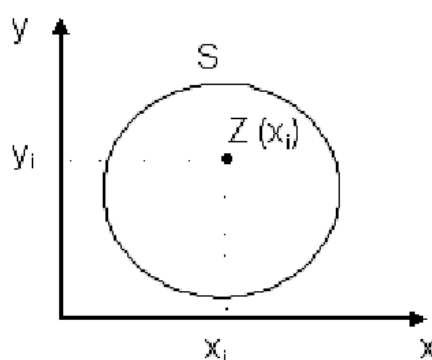


Figura 3 - Variável aleatória regionalizada $Z(x_i)$.

Fonte: Oliveira, 2007.

O conjunto de variáveis $Z(x_i)$ medidas em toda a área S pode ser considerado uma função aleatória regionalizada $Z(x_i)$ por tomar valores diferentes de acordo com o local da observação, mostrando dessa forma uma determinada independência de um lugar a outro e a dependência entre elas é especificada por algum mecanismo probabilístico (GUERRA, 1988; ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

Uma função aleatória $Z(x_i)$ é contínua e apenas uma única realização e o número de pontos é sempre finito. Então, para estimar valores para os locais não amostrados é necessário adotar a restrição às hipóteses de estacionaridade (VIEIRA, 2000).

Um processo (ou uma variável) é estacionário, de ordem k , se o desenvolvimento desse processo no tempo ou no espaço ocorrer de maneira mais ou menos homogênea, com oscilações aleatórias contínuas em torno de um valor médio, em que nem a amplitude média nem as oscilações (a média e a variância) mudam bruscamente no tempo ou no espaço, refletindo alguma forma de equilíbrio estável, uma continuidade. As características de um processo estacionário independem da origem adotada, mas sim da distância entre cada x_i dentro da área S (GUIMARÃES,

2004. REICHARDT; TIMM, 2004). Na prática, são considerados dois tipos básicos de hipótese de estacionaridade de uma função aleatória $Z(x_i)$: a hipótese de estacionaridade de segunda ordem e a hipótese intrínseca. Exige-se no máximo a estacionaridade de segunda ordem, antes de qualquer aplicação geoestatística (VIEIRA, 2000).

Trangmar e outros (1985) definem a hipótese de estacionaridade de primeira ordem 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, sem tendência, ou seja:

$$E[Z(x_i)] = E[Z(x_i + h)] = m \quad (1)$$

em que: m = média dos valores amostrais; h = distância que separa os pontos de amostragem; $E [Z(x_i)]$ = esperança matemática da função aleatória $Z(x_i)$; e $E [Z(x_i+h)]$ = esperança matemática da função aleatória em uma distância $hZ(x_i+ h)$.

Se for tomado um vetor h de separação entre dois pontos, o qual é uma variável aleatória que apresenta módulo e direção, para qualquer h tem-se:

$$E[Z(x_i) - Z(x_i + h)] = 0 \quad (2)$$

A estacionaridade de segunda ordem, conhecida como estacionaridade forte, é definida quando a função aleatória atender a estacionaridade de primeira ordem e o segundo momento (a covariância) existir, para cada par de valores $[Z(x_i) - Z(x_i+h)]$, e depender apenas da distância h , com uma variância finita $[VarZ(x) = Cov(0)]$, definida por:

$$Cov(x_i, x_i + h) = E [Z(x_i) * Z(x_i + h)] - m(x_i) * m(x_i + h) \quad (3)$$

Se a hipótese de estacionaridade de segunda ordem puder ser satisfeita, a covariância e a semivariância (correlograma e o semivariograma $2\gamma(h)$) (Equação 4) são ferramentas equivalentes para caracterizar a dependência espacial. A primeira expressa a similaridade dos valores e a segunda o afastamento relativo destes (VIEIRA, 2000).

$$2\gamma(x_i, x_i + h) = E [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

Em condições em que a aceitação de uma estacionaridade de segunda ordem pode não ser satisfeita, necessita-se então de outro modelo estatístico, menos limitado,

que é baseado na hipótese intrínseca, conhecida como estacionaridade fraca, a qual considera apenas a existência do semivariograma sem exigência da variância finita para $Z(x_i)$. Considera que a média dos valores $Z(x_i)$ e a variância finita dos incrementos $[Z(x_i) - Z(x_i+h)]$ ocorrem independentemente da localização na região, sendo função apenas da distância entre eles (h). (ALMEIDA; RIBEIRO, 1996).

$$\text{Var} [Z(x_i) - Z(x_i + h)] = E [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (5)$$

Substituindo a equação 4 na equação 5, tem-se:

$$2\gamma(h) = E [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (6)$$

A função $\gamma(h)$ é o semivariograma. A razão para o prefixo “semi” é que a equação 6 pode ser escrita assim:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (7)$$

Segundo Vieira (2000), a identificação mais frequentemente usada é $\gamma(h)$ e não $2\gamma(h)$, por simplificação. Segundo esse mesmo autor, uma função aleatória $Z(x_i)$ é estacionária de segunda ordem, então ela será também intrínseca, entretanto, o contrário não é necessariamente verdade.

A hipótese intrínseca é a hipótese mais frequentemente usada em geoestatística, por ser menos restritiva e, portanto, o semivariograma é a ferramenta mais difundida na geoestatística porque exige apenas a hipótese intrínseca (VIEIRA, 2000; GUIMARÃES, 2004).

Os gráficos gerados a partir da semivariância em função de h são chamados de semivariogramas. Quando os dados violam completamente a estacionaridade, o semivariograma manifesta-se sem estrutura (FOLEGATTI, 1996).

2.3.2 Semivariograma

O semivariograma é uma das ferramentas da geoestatística 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. Se provada a correlação espacial, a hipótese de independência ou distribuição espacial aleatória é rejeitada (VIEIRA, 2000).

O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço. Essas definições teóricas são baseadas na teoria das funções aleatórias (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978; BRAGA, 1990), que apresenta a estimativa experimental dessas estatísticas. Supondo que $Z(x_i)$ represente o valor da variável para o local x , onde x é o vetor (x, y) e $Z(x_i+h)$ representa o valor da mesma variável para alguma distância h (ou “lag”), em qualquer direção (WEBSTER, 1985).

A confecção dos semivariogramas experimentais é realizada 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, possíveis, de dados (Equação 8). Os somatórios necessários para o cálculo do $\gamma(h)$, porém, devem ser constituídos por um número suficiente destes pares de dados para que o resultado seja consistente. De prática, adota-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).

A determinação do semivariograma é conhecida como o primeiro passo no procedimento de estimativa geoestatística. É o passo mais importante porque o modelo escolhido será utilizado através de todo o processo de interpolação e influência rá todos os resultados e conclusões (VIEIRA, 2000; LANDIM, 2003).

O semivariograma pode ser estimado através da equação:

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

em que: $N(h)$ = número de pares de valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados por um vetor h .

O gráfico de $\gamma(h)$ versus os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h e, portanto, dependem da magnitude e da direção de h . 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. Neste último caso, o semivariograma deve sofrer transformações antes de ser usado, mas de qualquer maneira, utiliza-se a Equação 8 para o cálculo do semivariograma (VIEIRA, 2000).

A Figura 4 mostra um semivariograma característico, bem próximas do ideal. O seu comportamento representa o que se espera de dados de campo: que as diferenças $[Z(x_i) - Z(x_i+h)]$ e a distância (h) que os separa decresçam paralelamente; as medições localizadas próximas sejam mais parecidas entre si do que aquelas mais distantes; e que $\gamma(h)$ aumente com a distância h . Por definição, $\gamma(0) = 0,0$, como pode ser visto pela Equação 8, quando $h=0$. Entretanto, na prática, à medida que h tende para 0,0 (zero), $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado efeito pepita (*nugget effect*) e recebe o símbolo C_0 .

São três, os tipos de semivariogramas:

- semivariogramas observado, ou experimental: É aquele obtido a partir do conjunto de amostras derivadas da amostragem realizada, portanto o único conhecido.
- semivariograma verdadeiro é o semivariograma real das amostras, e é sempre desconhecido.
- semivariograma teórico de referência.

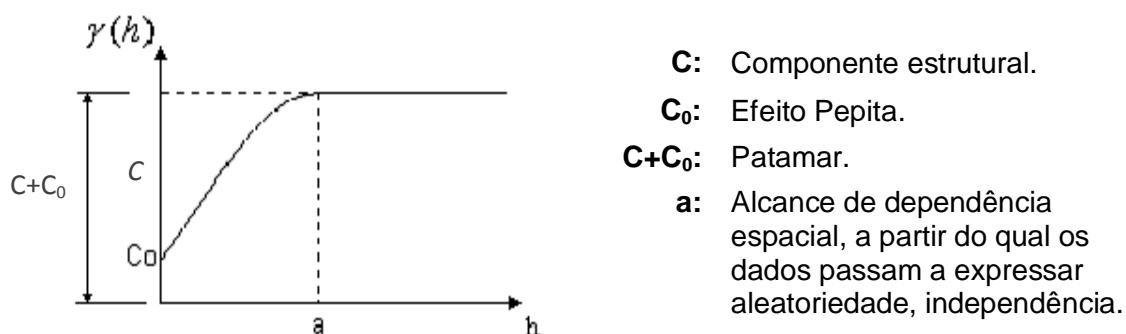


Figura 4 – Modelo de semivariograma teórico típico e seus componentes.

À medida que h aumenta a variância $\gamma(h)$ também aumenta até um valor máximo no qual ele se estabiliza correspondente à distância “a” (Figura 5). O valor no qual (h) se estabiliza chama-se patamar (C_0+C) -sill, obtido pela aditividade do efeito

aleatório C_0 e do componente (variância) estrutural (C), e é aproximadamente igual à variância dos dados, $\text{Var} [Z(x_i)]$.

A distância na qual $\gamma(h)$ atinge o patamar é chamada de alcance (*range*), recebe o símbolo de “a” e é a distância limite de dependência espacial. O “a” é também utilizado para definir o raio de ação máximo dos valores estimados. Medições localizadas a distâncias maiores que o alcance, tem distribuição espacial aleatória e por isto são independentes entre si. Para essas amostras aplica-se a estatística clássica. Por outro lado, amostras separadas por distâncias menores que o alcance são correlacionadas umas às outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores do que os amostrados, assim toda amostra cuja distância do ponto a ser estimado for igual ou menor que o alcance fornece informações sobre o ponto. Dessa maneira, o “a” 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 “a” reflete a distância limite a ser adotada para a coleta de amostras entre os pontos numa dada área (VIEIRA, 2000; LANDIM, 2003).

Dados que apresentarem semivariogramas semelhantes aos da Figura 4, muito provavelmente poderão ser estacionários de ordem 2, porque têm um patamar claro e definido e estarão sob a hipótese intrínseca (LANDIM, 2003).

O patamar (C_0+C) é atingido quando a variância dos dados se torna constante com a distância entre as amostras. Dependendo do comportamento do semivariograma para grandes valores de h , o modelo pode ser classificado em duas categorias de modelos teóricos: modelos com patamar e modelos sem patamar.

O valor de efeito pepita (C_0) pode ser atribuído a erros de medição ou ao fato de que os dados não foram coletados a intervalos suficientemente pequenos, para mostrar o comportamento espacial subjacente do fenômeno em estudo, isto é, não é capturado um fenômeno numa escala maior (CAMBARDELLA et al., 1994; VIEIRA, 2000). Para diminuí-lo é necessário que a amostragem seja realizada a distâncias menores que a utilizada para que assim se possa detectar a estrutura da variância, ou seja, a escala da variabilidade natural do fenômeno (LAMPARELLI et al., 2001).

Se o semivariograma for constante e igual ao patamar para qualquer valor de h e não apresentar valor de alcance tem-se um gráfico mostrando “efeito pepita puro” e, neste caso, tem-se a ausência total de dependência espacial, ou se a dependência espacial existir ela será manifestada à distância menor do que o menor espaçamento entre amostras.

Outro tipo de semivariograma que pode ocorrer é aquele que cresce sem limites para todos os valores de h calculados, ou seja, semivariograma sem patamar definido. Esse semivariograma indica a presença de fenômeno com capacidade infinita de dispersão, o qual não tem variância finita, e para o qual a covariância, não pode ser definida. Ele indica também, que o tamanho do campo amostrado não foi suficiente para exibir toda a variância e é provável que exista uma grande tendência nos dados, numa determinada direção. Se isto for constatado, têm-se duas alternativas distintas: a) remove-se a tendência e trabalha-se com os resíduos para examinar se enquadram nas hipóteses de estacionaridade de ordem 2 ou intrínseca, ou b) trabalha-se com hipótese de tendência nos dados originais com o uso da krigagem universal. Deve-se preferir a primeira alternativa (VIEIRA, 2000).

2.3.2.1 Os modelos de semivariogramas teóricos

De posse do semivariograma experimental, representado por uma série de pontos discretos, é necessário ajustar um modelo teórico, uma função contínua, a estes pontos. Sendo esse um dos aspectos mais importantes da aplicação da teoria das variáveis regionalizadas e pode, se as devidas cautelas não forem tomadas, tornar-se uma das maiores fontes de imprecisão das informações emitidas. Toda estimativa geoestatística depende do modelo variográfico definido. Por isso, se o modelo ajustado estiver errado, todos os cálculos subsequentes também estarão. Quanto mais simples puder ser o modelo ajustado, melhor (VIEIRA, 2000).

Há diversos métodos de ajuste dos modelos teóricos aos experimentais, o programa GS⁺, por exemplo, aplica a metodologia dos mínimos quadrados como critérios para seleção do modelo: 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. Por meio de combinações dos parâmetros do modelo, minimiza-se a soma de quadrados de resíduos. A utilização desse último critério na seleção do modelo é preferido por ser mais sensível e mais robusto quando comparado com o R^2 (GUIMARÃES, 2004).

Para os modelos com patamar são quatro funções teóricas que mais se ajustam aos modelos do semivariograma: a) linear; b) esférico; c) exponencial e d) gaussiano, de acordo com Vieira e outros (1983), os quais são graficamente apresentados na Figura 5.

A grande maioria dos semivariogramas de atributos de solos e plantas tem o modelo esférico e o exponencial como os mais adaptados para sua descrição. Nesses modelos o patamar e o alcance são claramente identificados e geralmente o efeito pepita é pequeno em relação ao patamar (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989; LAMPARELLI; ROCHA; BORGHI, 2001). 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.

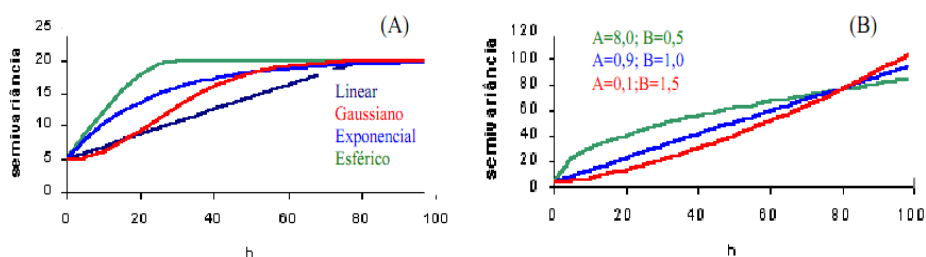


Figura 5 – Modelos teóricos de semivariograma: “A” com patamar e “B” sem patamar.

Fonte: Guimarães, 2004.

2.3.2.2 Escalonamento do semivariograma

O escalonamento do semivariograma é um processo utilizado para promover a padronização, e com isso, facilitar a comparação de semivariogramas de diferentes variáveis, por assumirem valores de uma escala comum entre eles. Quando se escalona um semivariograma pela variância, o efeito torna-se automaticamente uma fração do patamar (VIEIRA; LOMBARDI NETO; BURROWS, 1991; VIEIRA, 1998). Quando se escalonam dois semivariogramas de variáveis diferentes eles podem passar a apresentar variabilidade espacial semelhante, quando os valores de efeito pepita, o alcance e o patamar forem próximos. Com isso, a razão mais provável é que os processos que regulam essas variáveis na área de estudo são semelhantes no espaço ou no tempo (VIEIRA, 1997).

Como a escala de $\gamma(h)$ pode variar muito, é utilizado o escalonamento dos semivariogramas individuais para a uniformização através da equação:

$$\gamma_{\text{esc}}(h) = \frac{\gamma(h)}{\alpha} \quad (9)$$

em que: γ_{esc} é o semivariograma escalonado; $\gamma(h)$ é o semivariograma calculado; e α é o fator de escala e pode ser: valor da S^2 (variância) de cada variável; valor da média ao quadrado; ou o C (efeito estrutural) do semivariograma individual.

Após escalonar os semivariogramas, a soma dos parâmetros $C_0 + C$ deve ser 1,0, já que o fator de escala utilizado são os valores das variâncias. Caso esse valor se exceda e se apresente como 1,1, significa que o patamar está excedendo a variância em 10,0% (VIEIRA, 1997).

2.3.3 Índice de dependência espacial (IDE)

Os semivariogramas expressam o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos e mostram o tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, a variação nas diferentes direções do terreno e também a continuidade da característica estudada (LANDIM, 1998; 2003). A relação do efeito pepita pelo patamar para mensurar a dependência espacial, denominado de Índice de Dependência Espacial (IDE), foi sugerida por Trangmar e outros (1985).

Cambardella e outros (1994) o classificaram em intervalos, que foram modificados por Zimback (2001) como a relação da contribuição do componente estrutural no patamar (Equação 10), assumindo os seguintes intervalos, (%) da variância do efeito pepita: $IDE \leq 25,0\%$ - fraca dependência espacial; entre $25,0\%$ e $75,0\%$ - moderada dependência espacial e $\geq 75,0\%$ - forte dependência espacial (OLIVEIRA, 2007).

$$IDE = \frac{C}{C_0 + C} * 100 \quad (10)$$

2.3.4 Interpolação de dados para confecção de mapas

A partir do semivariograma da variável e havendo dependência espacial entre as amostras, pode-se fazer a interpolação de dados, que consiste da estimativa de valores em pontos não amostrados, o que permite a obtenção de mapas de isolinhas ou de superfície (ZIMBACK, 2003).

Há vários métodos tradicionais de interpolação espacial, como a triangulação, média local das amostras, método da distância inversa e do vizinho mais próximo, por exemplo. Entretanto, esses métodos não fornecem o algoritmo dos erros associados aos resultados obtidos, não consideram a anisotropia e a continuidade do fenômeno, o que ocorre apenas com a metodologia geoestatística da krigagem, segundo um modelo contínuo de variação espacial (OLIVEIRA, 2007).

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 (Equação 11) e com variância mínima (Equação 12). O que torna a krigagem um interpolador ótimo, então, é a maneira como os pesos são distribuídos, como uma média móvel ponderada (VIEIRA, 2000; LANDIM; STURARO, 2002).

Existem diversos tipos de krigagem: simples, ordinária, universal, indicativa, entre outras. De acordo com Silva Júnior (2001), o método de krigagem ordinária se distingue dos demais tipos por seu objetivo de 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.

O procedimento de cálculos da krigagem ordinária dependerá, entre outras coisas, da maneira como foi realizado o procedimento de coleta das amostras, podendo ela ser pontual ou em blocos. Dependendo da escala do fenômeno que se quer modelar, a krigagem pontual é indicada quando a coleta é de amostras simples, isto é, não foram misturadas várias amostras para compor uma amostra composta. Já a krigagem em blocos corresponde às estimativas de valores de uma variável para uma subárea, mais amostrada. Nessa situação, a informação da média é mais útil que o valor exato no ponto (ZIMBACK, 2003). A krigagem ordinária, que é a variação mais utilizada da krigagem simples, descrita por Trangmar e outros, (1985), tem o valor estimado da variável pela equação 13:

$$E\{Z^*(X_0) - Z(X_0)\} = 0,0 \quad (11)$$

$$\text{Var} \{ Z^*(X_0) - Z(X_0) \} = E \{ [Z^*(X_0) - Z(X_0)]^2 \} = \text{mínima} \quad (12)$$

$$\hat{Z}(X_0) = \sum[\lambda_i * Z(X_i)] \quad (13)$$

em que: $\hat{Z}(X_0)$ = valor estimado para local X_0 não amostrado; $Z(x_i)$ = valor obtido por amostragem no campo; e λ_i = peso associado ao valor medido na posição x_i .

Segundo Rossi, Dungan e Beck (1994), três características da krigagem a distinguem dos outros métodos de interpolação: a krigagem pode fornecer uma estimativa maior ou menor que o valor das amostras, sendo as técnicas tradicionais restritas às faixas de variações das amostras; tem a vantagem de usar a distância e a geometria entre as amostras, enquanto que os métodos tradicionais usam distâncias euclidianas para avaliar as amostras; e a krigagem 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.

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. É através da interpretação destas informações que é permitido a implementação da AP na lavoura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E INFORMAÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS

A pesquisa foi desenvolvida em uma lavoura comercial de mamoeiro, cultivada em 17,8 hectares, durante o ano agrícola 2010/2011 na Fazenda Vovô Délio, localizada no município de São Mateus, norte do Estado do Espírito Santo, nas seguintes coordenadas geográficas: E 407.241 m e N 7.905.948 m, fuso 24 e altitude de 40 m.

O solo da área é um Argissolo Amarelo distrocoeso de argila de baixa atividade, de relevo suave ondulado, declividade aproximada a 3,0% e altitude de 40,0 m, típico da região dos tabuleiros costeiros da costa litorânea brasileira (EMBRAPA, 2006).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com estação seca no inverno e verão quente e chuvoso. Os dados climáticos baseados numa série histórica dos últimos 35,0 anos apresentam temperatura média anual de 25,0 °C, do mês mais frio de 19,8 °C e do mês mais quente de 29,8 °C e precipitação média acumulada de 1.290 mm. Para o período no qual foi realizado o estudo, as informações climáticas da região, obtidas da estação meteorológica, pertencente à rede de observação de superfície do INMET, localizada nas coordenadas geográficas: E 410.562 M e N 7.930.616, fuso 24, a 39 m de altitude, estão apresentadas na Figura 6.

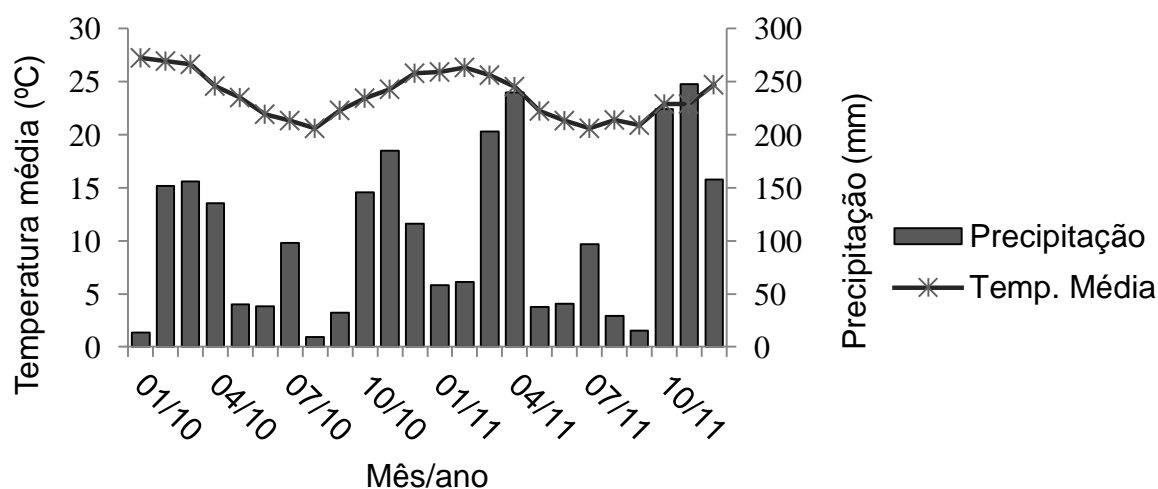


Figura 6 - Dados médios mensais de temperatura do ar e de precipitação pluviométrica acumulada dos anos de 2010 e 2011 em São Mateus/ES.

3.2 VARIEDADE CULTIVADA

A variedade do mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivada na área é o Golden THB, do grupo Solo, uma das mais difundidas na região, devido à maior aceitação tanto no mercado interno como no externo. Cultivar tradicional do segmento solo, altamente produtivo (potencial $\geq 80,0 \text{ Mgha}^{-1} \text{ ano}$) com plantas uniformes e vigorosas. Os frutos são de ótima qualidade, com ótimo padrão comercial, formato piriforme, excelente coloração externa e interna. A polpa apresenta coloração alaranjada e de textura firme. As plantas são de porte mais baixo que outras variedades, o que facilita ao produtor os tratos culturais, a colheita dos frutos, e tem maior longevidade produtiva (MARTINS; COSTA, 2003) (Figura 7).



Figura 7 - Visão parcial da área estudada e características do mamoeiro Golden THB - porte baixo e frutos piriformes provenientes de flores hermafroditas.

As mudas de mamoeiro transplantadas na área de estudo são provenientes de propagação sexuada, com sementes adquiridas de campos de produção certificados onde se utilizam plantas matrizes (hermafroditas) de autopolinização (99%), o que garante redução dos problemas quanto à variabilidade genéticas das plantas de mamoeiro, conforme explicado por Alves, Pacova e Galveas (2003). Por isso, neste estudo não foram considerados problemas quanto a este aspecto influenciando na produtividade das plantas, individualmente.

3.3 IMPLANTAÇÃO E MANEJO DA CULTURA

Antes da implantação da lavoura de mamão estudada, a área era coberta por vegetação típica de “campo sujo” há pelo menos seis anos. O preparo de solo na área, realizado 40 dias antes do transplântio, sucedeu de derrubada da capoeira através de roçagem mecânica, amontoa e queima do material vegetal. Antes da aração foi aplicado calcário a lanço em toda a área, de acordo com os resultados de análises química dos solos e recomendação para atingir a 80,0% da saturação de bases (V%) (Figura 8).

No preparo do solo foi utilizado um trator com 74,0 cv de potência nominal no motor, com tração tipo 4x2 e lastrado com contrapesos metálicos nas rodas e água nos pneus traseiros. A aração foi realizada com um arado fixo de 3,0 discos de 26” x 4,75 mm, montado nos três pontos do sistema de levantamento hidráulico do trator. O espaçamento entre os discos foi de 0,57 m e a massa total do arado de 408,0 kg, regulado para trabalhar a 0,20 m de profundidade.

Após a aração, foram realizadas duas passadas de uma grade destorroadora-niveladora de dupla ação, montada no sistema de levantamento hidráulico do trator. A grade possui uma massa de 460,0 kg, com quatro corpos (tandem) (24,0 discos de 20”), trabalhando a uma profundidade de aproximadamente de 0,15 m.

Na sequência, procedeu-se o sulcamento mecanizado, montado no sistema de levantamento hidráulico do trator, para a uma profundidade de $0,20 \pm 0,10$ m, de acordo com o espaçamento utilizado: 3,3 x 2,0 x 1,90, em fileiras duplas (1986 plantas ha^{-1}). Como adubação de plantio, aplicou-se por arremesso manual nos sulcos: 1,5 kg de cama de frango (Tabela 2) e 60,0g de P_2O_5 por metro linear, na forma de superfosfato simples (composição: 18,0% de P_2O_5 , 25,0% CaO e 12,0% de S), aproximadamente ao recomendado por Costa e Costa (2003a) e Prezotti e outros (2007).

Em seguida à adubação, dentro dos sulcos, procedeu-se a passada de um subsolador com três hastes e chassi tipo tubular, montado no sistema de levantamento hidráulico do trator, trabalhando a $0,55 \pm 0,05$ m de profundidade para a homogeneização da adubação em linha e rompimento de camadas subsuperficiais mais adensadas e fechando o sulco até ao nível do solo, para a realização do

transplântio e para evitar acúmulo de água próximo das plantas. As hastes foram espaçadas a 0,31m e suas ponteiros não possuíam asa.

Tabela 2 - Composição da cama de frango utilizada no sulco de plantio do mamoeiro*

Parâmetro	Unidade	Valor
Umidade a 60-65° C	%	28,64
pH	-	7,8
Matéria Orgânica Total	%	52,01
Materia Orgânica Compostável	%	33,75
Carbono (CO)	%	18,75
Relação C / N	-	7,0
Nitrogênio (N)	%	2,53
Fósforo (P)	%	8,06
Potássio (K)	%	3,46
Cálcio (Ca)	%	10,88
Magnésio (Mg)	%	0,81

*Análise química de fertilizante orgânico sólido. Lab. Fullin®, Linhares, ES.

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 o transplântio.

Como adubação de cobertura, registrou-se aplicação de 30,0 g/planta de sulfato de amônio (composição: 20,0% de N e 24,0% de S) dois meses após o transplântio, sendo as demais adubações ministradas via foliar. As pulverizações contendo objetivamente adubos foliares foram realizadas aos 47, 58, 71, 95 e 105 dias após o transplântio, carregadas principalmente de N, P, Ca, B, Cu e S.

Todos os procedimentos de implantação e manejo da lavoura estão de acordo com o rotineiro e descrito por Martins e Costa (2003).

As atividades de controle fitossanitário, que correspondem a um processo ininterrupto, foram realizadas preventiva e curativamente para as principais pragas e doenças identificadas na cultura. As etapas de aplicação dos produtos agroquímicos

constaram de conjuntos de pulverizações mistas (inseticida, fungicida e acaricida), inclusive com fontes de nutrientes (resíduos ou fertilizantes foliares), orientadas à parte aérea das plantas, realizadas em intervalos de 10 a 15 dias.

A aplicação de fontes de fosfito, via foliar, foi tomado como de primordial importância devido à severa proliferação de *Phytophthora palmivora* (Butler) em solos já contaminados nos cultivos circunvizinhos e pela maior probabilidade de infestação devido ao aumento da precipitação que ocorreu nos meses de setembro/outubro 2010.

O controle de plantas invasoras 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 é feito por microaspersão localizada com turno de rega variado, de acordo com as condições climáticas diárias e as condições recomendadas para a cultura.

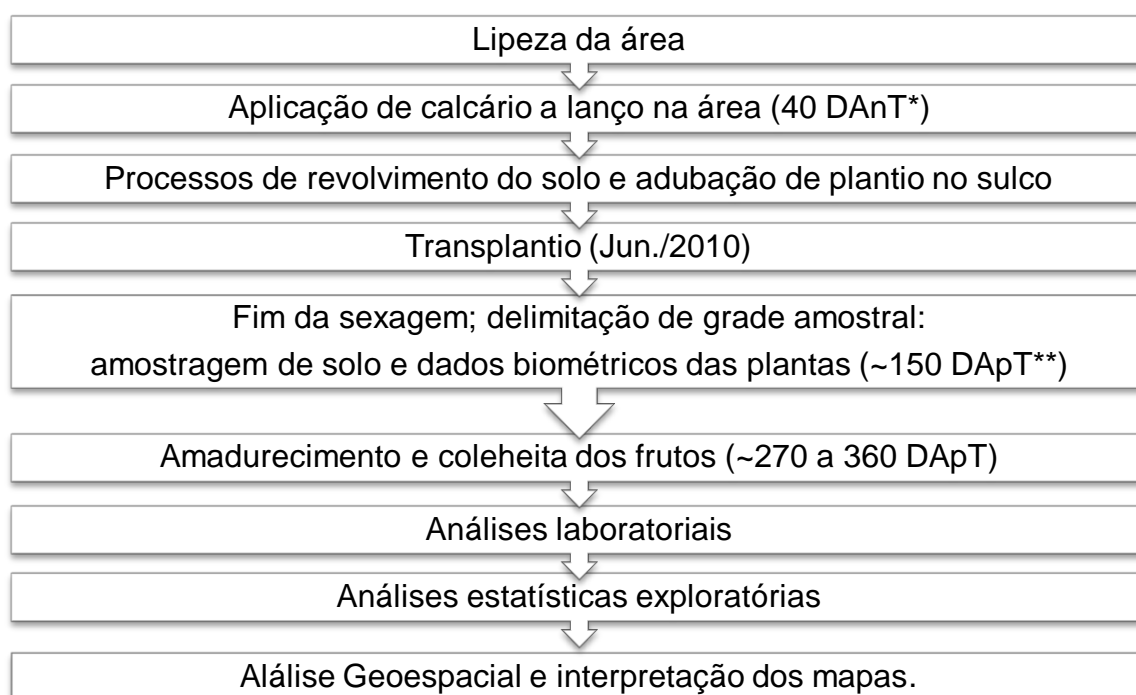


Figura 8 - Fluxograma do resumo das etapas desenvolvidas nesta pesquisa.

*DAnT: Dias Antes do Transplântio;

**DApT: Dias Após o Transplântio.

3.4 GRADE AMOSTRAL

A área experimental foi definida em uma grade regular de aproximadamente 1,2 ha, com 110,0 m de comprimento e 114,0 m de largura, totalizando 129,0 pontos amostrais, para detalhar a dependência espacial dos atributos estudados (Figura 8).

Cada ponto amostral, também definido como célula amostral, representou uma área de 5,04 m², com uma planta cada ponto. As demarcações foram materializadas com estacas de madeira identificadas de forma que a maior distância entre pontos nas células estivessem em torno de 10,6 m e a menor distância em torno de 5,7 m.

O georreferenciamento de cada ponto amostral na área foi realizado utilizando um par de receptores GPS TechGeo[®], modelo GTR G2 geodésico. Os dados após serem processados pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE, apresentam precisão de 10,0 mm + 1,0ppm, em UTM (*Universal Transverso de Mercator*) com Datum WGS-84. A área experimental é alocada entre as seguintes coordenadas geográficas: L = 407157 m a L = 407315 m e N = 7905858 m a N = 7906016 m (Figura 8).

O desbaste de plantas, ou sexagem do mamoeiro, foi realizada no início do florescimento, em torno de 5 meses após o transplante, quando se tornou possível a identificação do sexo do mamoeiro por meio da observação de suas flores, uma vez que o tipo de flor determinará o formato do fruto. O ideal é que permaneça apenas uma planta hermafrodita por cova, devido ao fato de o formato do fruto a ser originado (Figura 7) atender às exigências do mercado consumidor, tanto nacional como internacional (COSTA; PACOVA, 2003).

A partir da realização da sexagem, inicia-se uma nova fase de manejo da lavoura com adubações diferenciadas, aplicação de MO e realização da amontoa (confeção dos “camalhões”), preparando a lavoura para a fase de produção. Foi no período de término da sexagem da lavoura estudada, antes do início da nova fase de manejo (PREZOTTI et al., 2007) em novembro de 2010, que foi selecionada a gleba com características morfológicas e de manejo o mais homogênea possível dentro da lavoura para demarcação dos pontos amostrais.

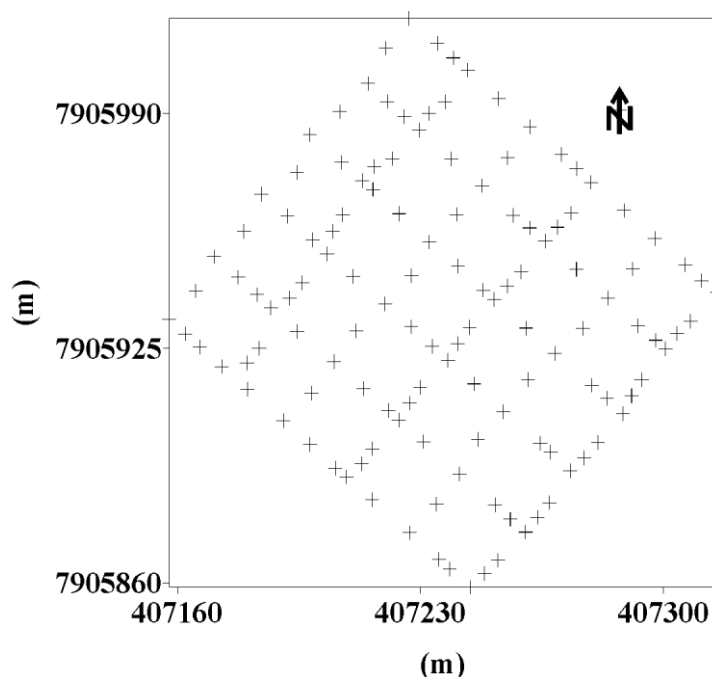


Figura 9 - Malha amostral elaborada para amostragem dos atributos de solo e plantas de mamoeiro.

Com a amostragem dos atributos de solo e dos biométricos de plantas, foi conhecida sua variabilidade espacial no período de 4,0 meses de antecedência da primeira colheita. Logo, o objetivo de fazer a distribuição espacial desses é conhecer sua influência no desenvolvimento inicial das plantas e na correlação com a produtividade, podendo constituir-se meios preditivos de melhor produção na fase de sexagem, otimizando o manejo.

No período logo após a amostragem (sexagem) até a época de colheita, procedeu-se na lavoura as aplicações de MO e fertilizantes de acordo com a recomendação de Prezotti e outros (2007), não tendo sido mensurados seus efeitos no solo da área experimental nesse período.

3.4.1 Amostragem e determinação dos atributos do solo

Após demarcação e georreferenciamento dos pontos amostrais, procedeu-se coleta das amostras compostas de solo, na projeção da copa, no ponto de aplicação de fertilizantes no sentido da linha de plantio em dois pontos equidistantes,

aproximadamente 0,20 m, da região do sulco de plantio. As coletas do solo foram feitas com auxílio de um trado, nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, acondicionando o material amostrado em sacos plásticos, formando uma única amostra por ponto amostral, devidamente identificados e vedados (OLIVEIRA et al., 2004; OLIVEIRA; CALDAS, 2004).

Coletou-se amostras deformadas devido o solo apresentar uma característica com grande quantidade de areia e também pelo recente revolvimento durante o processo de implantação da lavoura, caracterizando ausência de estrutura de agregação do solo, dificultando o uso do anel amostrador.

O solo amostrado, exceto aquele para determinação da umidade, foram expostos em ambiente sombreado e ventilado para perda de umidade. Em seguida, as amostras foram destorroadas e tamisadas em peneira de 2,0 mm, constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA) para as análises.

As análises dos atributos físicos e químicos do solo foram realizadas no Laboratório de Solos do CCA-UFES e no Laboratório Agrônomo do CEUNES-UFES, utilizando as metodologias preconizadas pela Embrapa (1997) e Silva (2009), respectivamente.

3.4.1.1 Atributos Químicos do solo

Os atributos químicos analisados e seus respectivos métodos de determinação foram: pH em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ (na proporção 1:2,5), fósforo (P - mg/dm³) e potássio (K - mg/dm³) extraídos com Mehlich⁻¹; cálcio (Ca - cmol_d/dm³), magnésio (Mg - cmol_d/dm³) e acidez trocável (Al³⁺ - cmol_d/dm³) extraídos com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹, acidez potencial (H+Al - cmol_d/dm³) extraídos com acetato de cálcio Ca(OAc)₂ 0,5mol L⁻¹ a pH 7,0, e Matéria Orgânica (dag kg⁻¹) – com oxidação por dicromato de potássio e H₂SO₄ e utilizando a titulação.

Com base nos resultados das análises químicas de rotina, determinou-se através de cálculos: a Soma de Bases (SB - cmol_cdm⁻³) pelo somatório dos teores de K, Ca e Mg; Capacidade de Troca de Cátions a pH 7,0 (T) (CTC - cmol_c dm⁻³), somando os valores de H+Al e SB; Capacidade de Troca de Cátions efetiva (t) (CTC - cmol_cdm⁻³

³)= $[Al^{3+}+SB]$; Saturação por bases (V%) através da equação $[SB*100/T]$; Saturação por alumínio (m%) pela expressão $[(Al^{3+}/t)*100]$; Saturação por Ca(%) $=[(Ca/T)*100]$; Saturação por Mg(%) $=[(Mg/T)*100]$; e Saturação por K(%) $=[(K/390,98)/T]*100$.

3.4.1.2 Atributos Físicos do solo

Os atributos físicos determinados foram: as frações granulométricas [Areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (Sil) e argila (ARG)], densidade do solo (D_s), densidade de partículas (D_p), volume total de poros (VTP), resistência do solo à penetração (R_p) e umidade do solo (U_m).

As frações granulométricas das amostras ($g\ kg^{-1}$) foram determinadas pelo método da pipeta, com agitação lenta, utilizando o NaOH (0,1M) como dispersante, conforme descrito por Coser e outros (2007).

A densidade de partículas (D_p) foi obtida pelo método do balão volumétrico. Para avaliação da densidade do solo (D_s), adotou-se o método da proveta, um método que utiliza as amostras deformadas de solo. O volume total de poros (VTP) foi obtido indiretamente por meio da relação existente entre a D_s e a D_p , de acordo com Embrapa (1997), obtida pela equação 14:

$$VTP = [1 - (D_s/D_p)] * 100 \quad (14)$$

em que: VTP = volume total de poros (%); D_s = a densidade do solo ($kg\ dm^{-3}$); e D_p a densidade de partículas ($kg\ dm^{-3}$).

A resistência do solo à penetração (R_p) foi medida e registrada com a utilização de um penetrógrafo marca Falker[®], modelo penetroLOG Solo Track PLG 5200, equipado com uma ponta em forma cônica e ângulo de vértice de 30,0° com aquisição de dados a cada 1,0 mm até 0,40 m de profundidade. Realizou-se as leituras da R_p , uma leitura por ponto amostral na projeção da copa da planta a 180,0° do ponto de coleta das amostras de solo com o trado, na linha de plantio (R_{pLP}). Dessa forma, assegurou-se a medida de R_p na região rizosférica.

Também foi realizada a medição da R_p na linha do rodado do pneu (R_{pRua}), perpendicularmente à medição realizada na linha de plantio. Também uma leitura

por ponto. A informação da $R_{p_{Ruá}}$ serve de compreensão do incremento de resistência adicional proporcionada pelo pisoteio e tráfego de máquinas no pomar, e compará-lo com a zona de crescimento radicular na linha de plantio.

Para determinar a R_p , para as duas situações avaliadas, fez-se uma média dos valores das leituras nas camadas 0-0,20 m e 0,20-0,40 m e, posteriormente dividiu-se cada valor médio por 1000, obtendo-se o valor de R_p em MPa, para os dois locais medidos (linha do plantio ($R_{p_{LP}}$) e linha do rodado ($R_{p_{Ruá}}$), conforme apresentado:

$$R_p \text{ (MPa)} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\frac{n}{1000}} \quad (15)$$

A umidade do solo (U_m) foi obtida pelo método padrão de estufa ou termogravimétrico, um método direto e bastante preciso. Para isso, utilizou-se de amostras de solo coletadas, nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, na linha de plantio ($U_{m_{LP}}$) e na entre linha ($U_{m_{Ruá}}$) e armazenadas em sacola plástica devidamente fechada. A equação para determinação da umidade do solo segue:

$$U_m \text{ (\%)} = [Ma / Ms] * 100 \quad (16)$$

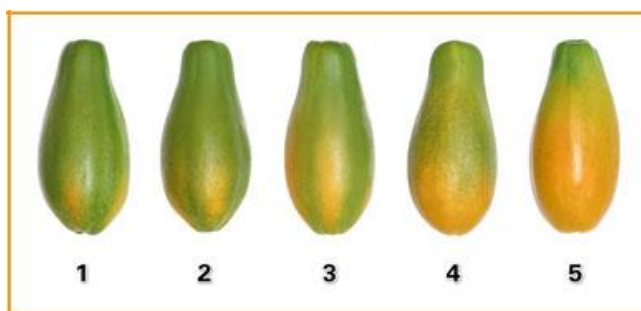
em que: Ma = massa de água da amostra (kg); e Ms = massa de solo seco (kg) em estufa a 105,0°C.

3.4.2 Amostragem de atributos das plantas do mamoeiro

No mesmo dia da amostragem de solo também foram mensurados os seguintes dados biométricos de cada planta-amostral com a finalidade de relacioná-los com os atributos de solo e a produtividade: altura das plantas, do solo até a região meristemática foliar; circunferência do caule a 0,20 m do solo (SOUZA et al, 2007), altura de inserção das primeiras flores; e número de folhas e de botões florais, largura e comprimento da copa, como medida alternativa indireta da área foliar das plantas (ALMEIDA et al., 2003a). Utilizou-se uma fita métrica para as medidas dos atributos mensuráveis.

3.4.2.1 Colheita e produtividade

Para o conhecimento da produção inicial do mamoeiro, ao nono mês de idade, registrou-se com a colheita, 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, ou seja, foram consideradas três plantas para a determinação de produtividade média dos pontos amostrais (MARINHO et al., 2002; SOUZA et al., 2007). Os frutos foram colhidos no estágio 2 de maturação (Figura 10), como realizado comercialmente, sendo então pesados em uma balança digital, Filizola Pluris Top[®], com capacidade para 15,0 kg e precisão de duas gramas.



Estádio 1 - fruto com até 15,0% da superfície amarela; estágio 2 - frutos com até 25,0% da superfície amarela; estágio 3 - frutos com até 50,0% da superfície amarela; estágio 4 - frutos com 50,0 a 75,0% da superfície amarela; e estágio 5 - frutos com 100,0% da superfície amarela.

Figura 10 – Estádios de maturação dos frutos de mamoeiro.

As colheitas foram realizadas 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. 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, através da equação 17:

$$\bar{X} = \sum_{i=0}^n xi/n \quad (17)$$

em que: X = número médio de frutos por planta; e x_i = observações durante o período avaliado (i varia de 1 até $n=11$).

A partir do conhecimento que em um hectare há 1986 plantas de mamão, de acordo com o espaçamento utilizado e que para obter as médias de produção e de número de frutos por planta, utilizou-se amostra de três plantas, estimou-se o potencial de cada ponto amostral: o número de frutos produzidos por hectare [número de frutos por planta*1986]; a produtividade média por hectare ($Mgha^{-1}$) [produção por planta em $kg*1986/1000$]; e a massa média dos frutos produzidos (kg) [(Produtividade ($Mg ha^{-1}$)*1000)/Número de frutos ha^{-1}].

3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS

3.5.1 Análise exploratória e descritiva

A primeira fase da avaliação dos dados de cada atributo estudado restringiu-se à análise exploratória descritiva para averiguação quanto à presença de pontos discrepantes (*outliers*), com a realização de um resumo estatístico com as medidas de posição e dispersão. Utilizou-se o cálculo dos quartis da distribuição dos valores dos atributos levantados na identificação de dados discrepantes, baseado na amplitude interquartilica (A_i), definido limites inferior (L_i) e superior (L_s), conforme utilizado por Oliveira (2007). O limite inferior e o superior foram obtidos pelas equações:

$$A_i = Q_3 - Q_1 \quad (18)$$

$$L_s = Q_3 + (1,5*A_i) \quad (19)$$

$$L_i = Q_1 - (1,5*A_i) \quad (20)$$

em que: A_i = Amplitude interquartilica; L_s = Limite superior; L_i = Limite inferior; Q_3 = terceiro quartil; e Q_1 = primeiro quartil.

Quando da presença de dados discrepantes, fez-se a avaliação para uma possível substituição ou eliminação. Para isso, certificou-se da inexistência de erros

incipientes de procedimento na tomada ou registro das referidas informações. Resolver excluir ou não esses erros do conjunto de dados foi um processo de repetidas tentativas de conhecer sua real influência no resultado obtido, seguindo o rigor em verificar a interferência dos referidos dados sobre a resposta final do ajuste, conforme apresentado por Kerry e Oliver (2007), por exemplo.

Posteriormente, realizou-se a análise descritiva determinando medidas de posição e de dispersão: a média; a mediana; o valor máximo e o mínimo; o quartis superior e o inferior; o desvio-padrão; e os coeficientes de variação, de assimetria e de curtose. A hipótese de normalidade dos dados foi analisada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ($p < 0,05$).

A análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$) entre atributos do solo (das camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m) e de plantas foi realizada considerando a classificação adotada por Kitamura (2004) como: extra-alto: se $80,0\% \leq r \leq 100,0\%$; alto: se $60,0\% \leq r \leq 80,0\%$; moderado: se $40,0\% \leq r \leq 60,0\%$; baixo: se $20,0\% \leq r \leq 40,0\%$; e nulo: se $0,0\% \leq r \leq 20,0\%$. Da mesma forma para os valores de r negativos.

Uma análise qualitativa foi realizada com o teste de média t-Student ($p < 0,05$) para verificar o efeito do preparo do solo e da fertilização do solo para um mesmo atributo do solo nas duas camadas de solo estudadas.

3.5.2 Análise geoespacial

Os dados foram submetidos à análise geoestatística no intuito de verificar a existência e, quando presente, quantificar o grau de dependência espacial, por meio do ajuste do semivariograma clássico de Matheron, definido na equação 8, com o auxílio do *software* GS⁺ (ROBERTSON, 2000).

O *software* GS⁺ aplica a metodologia dos mínimos quadrados para os ajustes dos modelos teóricos aos semivariograma experimentais, tendo como critérios para seleção: i) coeficiente de determinação (R^2), quanto mais próximo da unidade estiver o valor de R^2 melhor será o modelo ajustado; e ii) a menor soma de quadrados dos resíduos (SQR). Outro critério utilizado na escolha do modelo é a técnica conhecida como validação cruzada. Nessa análise, cada valor observado é retirado do domínio

espacial e, com os demais, é estimado um novo valor para esse ponto, obtendo assim uma correlação entre valores observados e os valores estimados em função do semivariograma ajustado.

Assim, obteve-se os parâmetros necessários para o ajuste dos modelos teóricos [esférico (ESF), exponencial (EXP) e gaussiano (GAU)] aos dados, apresentados no GS⁺. Os parâmetros são: C₀: efeito pepita; C: contribuição espacial (componente estrutural); C₀+C: patamar; e “a”: alcance de dependência espacial.

Para efeito de afirmação de que os ajustes tenham sido bem realizados, adotou-se como ideal que os ajustes apresentassem R² superior a 50,0% e que os atributos com dependência espacial apresentassem coeficiente de correlação na Validação Cruzada (r-VC), entre os valores medidos e os estimados, significância a 5,0% de probabilidade, satisfazendo os critérios básicos para aceitação dos ajustes (AZEVEDO, 2004).

Os semivariogramas foram escalonados pela variância dos dados, sendo o C₀ e o C frações do patamar. Com isso, determinou-se o índice de dependência espacial (IDE) que mostra o quanto da variância espacial contribui com a variância dos dados, que é dado pela expressão: $[C/(C_0+C)]*100$, utilizando a classificação proposta por Zimback (2001) que considera dependência espacial fraca ($IDE \leq 25,0\%$), moderada ($25,0\% < IDE \leq 75,0\%$) e forte ($IDE > 75,0\%$). Os parâmetros serão apresentados em tabelas escalonados pela variância dos dados.

Com o ajuste do semivariograma e a escolha do modelo mais adequado, assumiu-se a suposição de estacionaridade intrínseca, definindo os parâmetros para utilização do método de interpolação por krigagem ordinária para estimação de valores em locais não medidos, de forma a construir mapas temáticos (isolinhas) para cada atributo que apresentou a dependência espacial.

3.5.3 Interpretação da fertilidade do solo

Para a interpretação da fertilidade do solo para as camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, baseou-se na interação das escalas de classificação agrônômica (baixo, médio e alto) específicas para a cultura do mamoeiro, propostas por Costa e Costa (2003a) e Prezotti e outros (2007) (Tabela 1).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DESCRITIVA

4.1.1 Atributos físicos do solo

Na análise exploratória detectou-se a presença de pontos discrepantes (*outliers*) para os atributos estudados nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, que foram removidos considerando o limite superior e o inferior, com base na A_i , por suas influências nas medidas de posição e dispersão e, também, quando na análise espacial.

O solo onde foi cultivado o mamoeiro é rico da fração areia nas duas camadas (Tabela 3), sendo classificado como arenoso com base no triângulo textural adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, conforme descrito por Resende e outros (2002) e Embrapa (2006).

Os valores das medidas de tendência central (média e mediana), de todos os atributos, ficaram bem próximos, indicando distribuição assimétrica à direita, com média maior ou igual à mediana e valores do coeficiente de assimetria (C_s) próximos de zero para 64,0% do total dos atributos. A distribuição normal é comprovada pelo teste Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$) para 77,0% dos atributos, com exceção para os atributos Sil_2 , ARG_1 , $RpLP_1$, $UmLP_2$ e Um_{Ru1} .

Quanto ao coeficiente de curtose (C_k), os atributos AG_1 , AF_1 , AF_2 , ARG_2 , Ds_1 , Ds_2 , $RpLP_2$ e VPT_2 correspondem a 36,0% dos atributos com distribuição platicúrtica, com valores distantes da média. Os demais atributos apresentam-se com distribuição leptocúrtica, com valores mais centralizados.

Quanto mais próximo a 0,0 (zero) forem os valores de C_s e C_k ; e mais próximos forem os valores da média e mediana, tanto mais próximo a distribuição estará da normal, de modo confirmado pelo teste KS ($p < 0,05$).

Para a geoestatística, a normalidade dos dados não é uma exigência, mas para que não haja comprometimento no processo analítico, é conveniente que, na distribuição da curva normal, os dados não apresentem extremidades da distribuição muito

alongadas, porque as estimativas da krigagem são baseadas nas médias. Também importante é a ocorrência da estacionaridade dos mesmos na área, portanto, que os semivariogramas apresentem patamares bem definidos (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989; CRESSIE, 1991). Para Stevenson (2001), um conjunto de dados com mais de 30,0 observações diminui a necessidade da normalidade.

Tabela 3 – Estatística descritiva dos atributos físicos do solo nas camadas 0-0,20 m₍₁₎ e 0,20-0,40 m₍₂₎

Atributos	n	Média	Md	S	Min.	Max.	CV	Q1	Q3	Cs	Ck	DN
AG ₁ (g kg ⁻¹)	121	727,4 a	732,4	48,4	607,5	830,1	6,7	693,9	760,2	-0,16	-0,48	ns
AG ₂ (g kg ⁻¹)	112	700,8 b	709,6	59,2	513,2	796,0	8,4	669,2	746,7	-0,96	0,99	ns
AF ₁ (g kg ⁻¹)	124	164,4 a	163,2	35,7	90,1	251,2	21,7	135,9	189,4	0,0	-0,67	ns
AF ₂ (g kg ⁻¹)	104	172,8 a	167,3	32,7	97,1	250,4	18,9	150,8	194,6	0,28	-0,44	ns
Sil ₁ (g kg ⁻¹)	117	15,6 a	14,7	6,4	1,6	33,2	55,5	7,4	14,7	0,83	1,02	ns
Sil ₂ (g kg ⁻¹)	104	16,7 a	11,6	9,0	0,4	46,3	69,8	7,2	16,1	1,50	2,29	*
ARG ₁ (g kg ⁻¹)	112	92,6 b	98,2	27,6	20,6	165,1	29,8	81,2	109,5	-0,69	0,75	*
ARG ₂ (g kg ⁻¹)	103	109,7 a	102,9	30,8	48,8	187,8	28,0	86,2	132,2	0,59	-0,13	ns
Dp ₁ (kg dm ⁻³)	129	2,9 a	3,0	0,2	2,5	3,3	5,7	2,8	3,1	-0,27	0,21	ns
Dp ₂ (kg dm ⁻³)	129	2,9 a	2,9	0,2	2,4	3,4	5,3	2,8	3,0	0,04	1,34	ns
Ds ₁ (kg dm ⁻³)	129	1,5 a	1,5	0,07	1,3	1,6	4,6	1,4	1,5	-0,17	-0,11	ns
Ds ₂ (kg dm ⁻³)	127	1,4 a	1,5	0,1	1,3	1,5	3,6	1,4	1,5	-0,17	-0,43	ns
RpLP ₁ (MPa)	129	0,2 b	0,2	0,2	0,0	0,9	72,4	0,1	0,3	1,74	3,24	*
RpLP ₂ (MPa)	129	1,0 a	0,9	0,7	0,1	3,1	66,8	0,5	1,5	0,47	-0,50	ns
UmLP ₁ (%)	126	7,4 a	7,4	1,5	3,8	11,1	19,8	6,5	8,2	0,08	0,13	ns
UmLP ₂ (%)	125	6,9 b	6,5	1,78	3,3	11,8	25,8	5,8	7,7	4,50	0,81	*
Rp _{Rua1} (MPa)	129	1,5 b	1,5	0,2	0,9	2,1	15,1	1,3	1,6	0,52	0,39	ns
Rp _{Rua2} (MPa)	129	2,0 a	2,0	0,4	0,6	3,0	20,0	1,8	2,3	-0,32	1,23	ns
Um _{Rua1} (%)	123	8,3 a	7,6	2,3	4,1	17,5	27,4	7,0	8,7	1,95	5,10	*
Um _{Rua2} (%)	123	7,8 a	7,5	1,7	3,0	13,0	22,0	6,7	9,1	0,42	0,69	ns
VTP ₁ (%)	129	50,3 a	50,9	3,7	38,5	58,3	7,4	47,7	52,8	-0,61	0,25	ns
VTP ₂ (%)	129	50,0 a	50,4	3,0	42,7	58,4	6,0	47,6	52,0	0,0	-0,26	ns

AG: areia grossa; AF: areia fina; Sil: silte; ARG: argila; Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo; RpLP: resistência do solo à penetração na linha do plantio; UmLP: umidade do solo na linha de plantio; Rp_{Rua}: resistência do solo à penetração na linha do rodado; Um_{Rua}: umidade do solo na linha do rodado; VTP: volume total de poros; n: número de pontos amostrais utilizados nos cálculos após exclusão de *outliers*; médias de um mesmo atributo, em diferentes camadas, seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t-Student ($p < 0,05$); Md: mediana; s: desvio-padrão; Min.: valor mínimo; Max: valor máximo; CV: coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; DN: distribuição normal; ns: não significativo a 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), portanto, distribuição normal dos dados; e *: Distribuição não normal.

Analisando a variabilidade dos dados, considerando os coeficientes de variação (CV) e a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), tem-se baixa ($CV < 12,0\%$) para AG₁, AG₂, Dp₁, Dp₂, Ds₁, Ds₂, VTP₁ e VTP₂; média ($12,0\% \leq CV \leq 60,0\%$) para AF₁, AF₂, Sil₁, ARG₁, ARG₂, UmLP₁, UmLP₂, Rp_{Rua1},

Rp_{Rua2} , Um_{Rua1} e Um_{Rua2} ; e alta ($CV > 60,0\%$) para Sil_2 , $RpLP_1$, e $RpLP_2$, que representam 36,0, 50,0 e 14,0% do total de atributos, respectivamente.

A mesma classificação dos CV's para as frações granulométricas e densidade do solo foram encontrados por Lima, Oliveira e Quartezeni (2007), no cultivo da pimenta-do-reino, e Zucoloto e outros (2011), no cultivo da bananeira prata anã, em solos típicos da região dos tabuleiros costeiros do norte capixaba. Os últimos autores atribuem a alta variação da fração silte à forma de sua determinação, dada pela diferença entre as frações de areia e argila.

A alta variação para a $RpLP$ justifica-se pelo processo de tomada de informações com o penetrógrafo eletrônico, que ocasionalmente interceptou, durante o processo de medição da Rp , uma camada mais adensada do solo ou restos vegetais remanescentes da vegetação natural. O processo seguiu os mesmos procedimentos para a linha de plantio (LP) quanto para a linha do rodado (L_{Rua}), sendo os acontecimentos aleatórios e não identificáveis.

Na análise qualitativa, teste de média (t-Student), para as frações granulométricas nas duas camadas (0-0,20 m e 0,2-0,40 m), observa-se que não há diferença significativa para AF e Sil, enquanto que ocorrem diferenças para a AG e ARG, sendo esta ocorrência uma representação da característica deste solo, um Argissolo Amarelo distrocoeso, adquiridas a partir de variados e complexos fatores de sua gênese, classificados pelo sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2006).

O fato do solo da área ter sido revolvido mecanicamente não se pode afirmar a influência desta prática nos valores médios das frações do solo entre camadas, posto que, o preparo do solo para o transplântio do mamoeiro foi realizado em um período recente ao da coleta das amostras de solo.

A Resistência do solo à Penetração (Rp) na linha de plantio ($RpLP$) entre as duas camadas apresenta diferença significativa, com maior valor na camada de 0,20-0,40 m (1,0 MPa). Esse fato pode ser explicado pelo preparo mecanizado do solo, sendo a camada de 0-0,20m com maior umidade e a que sofreu maior intervenção em todas as etapas levando a apresentar um valor médio de 0,20 MPa. Na linha de tráfego de máquinas (Rp_{Rua}), entre fileiras, o mesmo comportamento da RP é

verificado obtendo maior valor médio na camada de 0,20-0,40 m, sendo este comportamento ocasionado por um preparo do solo apenas superficial nesta região e pelas características do solo, já que a umidade do solo não difere estatisticamente entre as camadas.

Identifica-se aumento da R_p em profundidade, da mesma forma que para os teores de ARG. Apesar de disso, há de se considerar que o aumento da R_p em profundidade é um processo que ocorre naturalmente dentro de certos níveis, ao considerar que as camadas superficiais exercem uma força nas camadas inferiores, sendo um processo mais pronunciado em Argissolos, que apresentam gradiente textural.

A água é um fator que minimiza o caráter coeso (a dureza) do solo, porque reduz as forças de coesão entre as partículas do solo e o atrito interno, o que proporciona menor resistência do solo à penetração. Ao contrário, tal atributo cresce com maior D_s devido ao reduzido espaço poroso, sendo também influência da pelo tipo de solo (CUNHA; VIEIRA; MAGALHÃES, 2002; GOMES et al., 2008; SILVEIRA et al., 2010).

A Densidade do solo (D_s) e o volume total de poros (VTP), que neste caso não apresentam diferenças significativas entre as camadas em estudo, com valores médios de D_s de $1,50 \text{ kg dm}^{-3}$ e VTP de 50,3%. Estes valores estão próximos de $1,45 \text{ kg dm}^{-3}$ e VTP de 45,0% encontrados por Lima, Oliveira e Quartezi (2007) para um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico com $638,5 \text{ g kg}^{-1}$ de areia grossa (AG) no cultivo da pimenta-do-reino no norte do Espírito Santo. Portugal e outros (2007), obtiveram D_s entre $1,07$ e $1,48 \text{ kg dm}^{-3}$ e VTP de 53,0% em um Argissolo sob diferentes usos. KIEHL (1979) mencionou que um VTP de 50,0% é a condição favorável ao desenvolvimento das culturas.

A R_p e a umidade do solo, foram as únicas medidas realizadas na linha do rodado (R_{pRua} ; U_{mRua}) com objetivo de identificar e comparar a atividade deste efeito com a área de desenvolvimento radicular do mamoeiro, na linha de plantio (LP). Com isso, identifica-se que o processo de compactação na linha de rodado proporciona uma R_p sete vezes e meia maior, na camada de 0-0,20m, comparado com a R_{pLP} .

Lima et al., 2005, avaliando o comportamento físico de um Argissolo Acizentado distrófico arênico coeso típico de tabuleiro costeiro, não revolvido, no Estado do

Ceará, confirmaram que os solos coesos desse estado apresentam as mesmas restrições físicas que aquelas encontradas em solos coesos de outros estados, como a R_p da camada coesa ter relação direta com a diminuição do conteúdo de água e com o aumento da D_s . Esses autores observaram D_s de $1,75 \text{ kg dm}^{-3}$ e consideraram esta a principal causa de ocorrência, natural, do horizonte Bt coeso, que apresentara menor VTP e R_p de 3,0 MPa. Eles também reafirmaram a correlação positiva do fenômeno de coesão com as frações finas do solo (silte e argila).

4.1.2 Atributos Químicos do solo

Os atributos químicos do solo, nas duas camadas, apresentam 69,0% deles com distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$). Quanto à simetria, 84,0% apresentam distribuição assimétrica à direita com média maior que mediana dos dados. O coeficiente de curtose (C_k) indica distribuição platicúrtica para 35,0% dos atributos (Tabela 4).

Analisando a variabilidade dos dados pelo coeficiente de variação (CV), tem-se, pela classificação de Warrick e Nielsen (1980): baixo para o pH nas duas camadas ($CV < 12,0\%$), o que é de se esperar por este atributo ser determinado em escala logarítmica; o Al_1 apresenta os mesmos teores em todos os pontos amostrados, portanto CV igual a zero.; e médio CV para 84,0% dos atributos ($12,0\% \leq CV \leq 60,0\%$) e alto para o P_1 e P_2 ($CV > 60,0\%$), que representam 6,0% dos atributos.

Percentualmente, os atributos químicos na área de estudo apresentam variação 6,3% de $CV > 60,0\%$, enquanto que os físicos de 14,0%. Cavalcante et al. (2007) encontraram, em diferentes formas de uso e manejo do solo, maior variabilidade para os atributos químicos do solo em relação aos físicos. Enfatizaram também que CV's mais elevados devem-se aos efeitos residuais de adubações e pela forma como são aplicados, geralmente na linha de semeadura e sem homogeneização completa, ao contrário da calagem.

Tabela 4 – Estatística descritiva dos atributos químicos do solo nas camadas de 0-0,20m₍₁₎ e 0,20-0,40m₍₂₎

Atributo	n	Média	Med	s	Min.	Max.	CV	Q1	Q3	Cs	Ck	DN
P ₁ (mg dm ⁻³)	117	20,53 a	16,00	15,04	4,00	66,00	73,3	9,00	27,00	1,257	0,885	*
P ₂ (mg dm ⁻³)	102	9,72 b	8,00	6,51	1,00	28,00	67,0	5,00	14,00	0,924	-0,074	*
Ca ₁ (cmol _c dm ⁻³)	126	2,00 a	1,90	0,73	0,80	4,60	36,6	1,40	2,40	0,686	0,391	ns
Ca ₂ (cmol _c dm ⁻³)	128	1,40 b	1,30	0,63	0,10	3,20	44,8	1,00	1,85	0,514	-0,230	ns
Mg ₁ (cmol _c dm ⁻³)	123	0,59 a	0,60	0,18	0,20	1,20	30,9	0,50	0,70	0,257	0,042	*
Mg ₂ (cmol _c dm ⁻³)	127	0,35 b	0,30	0,12	0,10	0,70	34,8	0,30	0,40	0,576	0,301	*
K ₁ (mg dm ⁻³)	121	67,56 a	60,00	26,13	20,00	160,00	38,7	50,00	80,00	0,674	0,689	*
K ₂ (mg dm ⁻³)	118	56,78 b	50,00	21,00	10,00	120,00	37,0	40,00	70,00	0,594	0,238	*
pH ₁ (CaCl ₂)	128	5,46 a	5,50	0,37	3,79	6,46	6,7	5,20	5,70	-0,393	2,600	ns
pH ₂ (CaCl ₂)	128	5,26 b	5,25	0,38	4,40	6,40	7,3	5,00	5,50	0,440	0,651	ns
Al ₁ (cmol _c dm ⁻³)	128	0,10 b	0,10	0,00	0,10	0,10	0,0	0,10	0,10	-	-	*
Al ₂ (cmol _c dm ⁻³)	129	0,11 a	0,10	0,03	0,10	0,30	26,6	0,10	0,10	4,398	20,777	*
H+Al ₁ (cmol _c dm ⁻³)	125	1,18 a	1,20	0,46	0,10	2,80	39,0	1,00	1,50	0,354	0,668	*
H+Al ₂ (cmol _c dm ⁻³)	124	1,05 b	1,00	0,43	0,20	2,10	40,7	0,80	1,30	0,344	-0,017	ns
MO ₁ (dag kg ⁻¹)	128	2,83 a	2,86	1,08	0,60	5,90	38,1	2,00	3,39	0,473	0,135	ns
MO ₂ (dag kg ⁻¹)	127	1,69 b	1,61	0,59	0,40	3,37	34,6	1,36	1,94	0,636	0,540	ns
SB ₁ (cmol _c dm ⁻³)	126	2,87 a	2,78	0,89	1,37	5,18	31,2	2,19	3,41	0,483	-0,392	ns
SB ₂ (cmol _c dm ⁻³)	128	1,98 b	1,89	0,74	0,55	4,47	37,2	1,46	2,46	0,571	0,261	ns
t ₁ (cmol _c dm ⁻³)	126	2,97 a	2,88	0,89	1,47	5,28	30,1	2,29	3,51	0,483	-0,392	ns
t ₂ (cmol _c dm ⁻³)	128	2,09 b	2,02	0,74	0,65	4,57	35,3	1,56	2,56	0,576	0,228	ns
T ₁ (cmol _c dm ⁻³)	126	4,10 a	4,03	1,10	1,77	6,98	26,9	3,32	4,74	0,402	-0,039	ns
T ₂ (cmol _c dm ⁻³)	123	2,99 b	3,00	0,84	0,75	4,87	28,2	2,35	3,57	0,034	-0,315	ns
Sat Ca ₁ (%)	127	48,43 a	49,16	9,00	15,32	72,14	18,6	42,45	54,42	-0,309	0,663	ns
Sat Ca ₂ (%)	129	44,53 b	44,03	11,85	13,41	74,92	26,6	36,46	53,58	-0,013	-0,325	ns
Sat Mg ₁ (%)	124	14,09 a	14,22	3,52	5,23	27,01	25,0	11,73	16,41	0,034	0,765	ns
Sat Mg ₂ (%)	125	11,72 b	11,44	3,62	5,65	28,00	30,9	8,98	13,80	0,990	2,433	ns
Sat K ₁ (%)	123	4,44 b	4,03	1,82	1,03	9,59	40,9	3,19	5,42	0,618	-0,190	ns
Sat K ₂ (%)	126	5,09 a	4,59	2,27	0,95	13,72	44,5	3,41	6,29	1,133	1,655	ns
m ₁ (%)	128	3,65 b	3,46	1,17	1,14	6,82	32,0	2,81	4,37	0,606	-0,096	ns
m ₂ (%)	129	5,84 a	5,27	3,02	2,18	25,17	51,7	3,93	6,71	2,960	14,199	*
V ₁ (%)	123	70,99 a	71,36	9,97	46,97	94,71	14,0	64,00	77,72	-0,103	-0,081	ns
V ₂ (%)	129	64,20 b	64,78	12,15	30,47	90,22	18,9	57,11	71,80	-0,216	0,009	ns

n: número de pontos amostrais utilizados nos cálculos após exclusão de *outliers*; médias de um mesmo atributo, em diferentes camadas, seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste t-Student ($p < 0,05$); Md: mediana; s: desvio-padrão; Min.: valor mínimo; Max: valor máximo; CV: coeficiente de variação; Cs; coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; DN: distribuição normal; ns: não significativo a 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), portanto, distribuição normal dos dados; e *: Distribuição não normal.

Na análise qualitativa, teste de média (t-Student), todos os atributos químicos apresentam diferenças significativas entre as duas camadas, mostrando o efeito da deficiência da prática da adubação manual na área, combinada com a prática

mecanizada de homogeneização do produto lançado ao solo. Essas variações apresentam um decréscimo da fertilidade e aumento da concentração de Al no solo à medida que aumenta a profundidade, mostrando a influência do manejo do solo, com a calagem e a fertilização, que caracteriza um alto potencial de bases na solução do solo e um nível de pH pouco ácido. Gomes et al. (2008) encontraram as mesmas disposições da fertilidade de dois Latossolos e um Cambissolo, dos tabuleiros costeiros sergipanos cultivados com coco.

A fertilidade do solo foi analisada com base nas classes médias definidas ideais para a cultura do mamoeiro no Estado do Espírito Santo (Tabela 1). Sendo elas, para P (10,0 a 20,0 mg dm⁻³); K (30,0 a 60,0 mg dm⁻³); Ca (1,6 a 4,0 cmol_c dm⁻³) e Mg (0,6 a 1,0 cmol_c dm⁻³). Com base nessas classes temos valor alto para o P₁ (20,5 mg dm⁻³) e valor baixo para o P₂ (9,7 mg dm⁻³). Na camada de 0-0,20 m o potássio (K₁) apresenta classe alta (67,5 mg dm⁻³) e média (56,8 mg dm⁻³) para K₂. A concentração de Ca na camada de 0-0,20 m (Ca₁) encontra-se na classe média (2,0 cmol_cdm⁻³) e Ca₂ na classe baixa (1,4 cmol_cdm⁻³). O Mg se encontra na classe baixa (<0,60 cmol_c dm⁻³). Cabe lembrar que esta análise foi realizada aproximadamente 150 dias após transplântio, após a sexagem, e que a concentração de nutrientes no solo abaixo do recomendado, principalmente nas camadas estudadas, pode refletir no bom desenvolvimento da cultura.

Neste solo o P possivelmente apresenta maior mobilidade devido ao baixo teor de argila, o predomínio de caulinita e a prática constante de irrigação. Fatores que em interação favorecem sua difusão e disponibilidade à absorção pelas plantas, e aumentam sua variabilidade no campo. Outro fator que favorece a variabilidade do P no solo é o procedimento das coletas serem realizadas na projeção da copa das plantas, local das adubações.

O P é o macronutriente menos absorvido pelo mamoeiro, mas sua deficiência prejudica seriamente o crescimento e a produtividade do mamoeiro, com redução do número de frutos e de sementes (MALAVOLTA et al.,1997).

A baixa saturação de Al e a baixa acidez potencial refletem o efeito da correção do solo pela aplicação de calcário e pelo aporte de fertilizantes na fase do transplântio, o que caracteriza um alto potencial de bases na solução do solo e um nível médio de pH dentro da classe ideal ao bom desenvolvimento do mamoeiro.

A Sat K é maior na camada de 0,20-0,40 m, apesar do nível de K ser maior em superfície. Esse efeito ocorre devido à menor CTC potencial (T) na camada 0,20-0,40 m, proporcionando uma maior percentagem de cargas ocupadas com K.

A baixa saturação de Al (m), principalmente em superfície, é muito positivo devido aos impedimentos que proporciona ao desenvolvimento das plantas, e este comportamento é explicado pela correção do solo por meio de aplicação de calcário e aporte de outras bases, principalmente na camada superficial, em cobertura. Isso dá um efeito bem menos pronunciado em profundidade, que poderá ocorrer com o tempo de manejo do solo ou com o procedimento de outras práticas, como através da aplicação de gesso agrícola, conforme mencionado por Souza, Miranda e Oliveira, 2007.

A calagem realizada em superfície em toda a área foi incorporada a uma profundidade aproximadamente à da aração, pois todo calcário foi aplicado de uma só vez. Portanto, ficando depositado próximo ao fundo do sulco que foi realizado a aproximadamente 0,20 m de profundidade. Sendo a camada corrigida e fertilizada principalmente até 0,20 m de profundidade, aliada à gradagem de nivelamento e ao fornecimento e incorporação de adubação de transplântio em sulco ser heterogênea.

A camada superficial do solo é propositalmente preparada para ser mais fértil devido ao crescimento radicular inicial das plantas de mamoeiro e por ser a zona de maior extração de nutriente. Por isso, estes devem estar o mais próximos das raízes, em condição prontamente disponível e de preferência em concentração necessária.

Costa et al. (2003) citam que o sistema radicular do mamoeiro cultivado no norte capixaba concentra-se em raio inferior a 0,60 m ao redor do caule e a 0,30 m de profundidade, sendo a maior parte das raízes encontradas até 0,35 m de distância do caule. Também evidenciaram que com o aumento do teor de argila e a redução do teor de areia grossa, houve menor desenvolvimento do sistema radicular do mamoeiro, da mesma forma que identificado por Costa e Costa (2003b) e Coelho; Santos e Coelho Filho, 2005.

Com o conhecimento das principais características da cultura do mamoeiro e sua relação com o ambiente onde é cultivado, atribui-se que a fertilidade deste solo está na classe média de manejo, adequado para o desenvolvimento inicial das plantas de

mamoeiro, não tendo sido observados sintomas de deficiência nutricional na lavoura durante o período de avaliações, conforme a verificação das alterações provocadas por deficiências minerais no mamoeiro, descrito por Prado e Natale (2010). A relação Ca:Mg, um importante indicador do balanço de bases no solo, está dentro dos níveis adequados, entre 3 e 4:1 (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007) para as duas camadas, apesar dos menores níveis desses nutrientes em subsuperfície.

Os teores de matéria orgânica (MO) em toda a seção estão dentro dos níveis considerados satisfatórios (Tabela 1) e deve-se quase que exclusivamente pelo aporte de cama de frango realizada no transplante. Uma vez que a incorporação do remanescente vegetativo foi muito pequena em virtude da incineração do material vegetal presente na área no pré-preparo do solo e pela baixa riqueza natural do solo. Moreau et al. (2006) identificaram em solos de tabuleiros costeiros, características eutróficas nos horizontes superficiais devido ao aporte de MO em solos sob mata; devido às adubações em solos cultivados (em que Ca e Mg predominam na soma de bases); ou ainda devido ao processo de arraste e deposição de sedimentos, conforme o relevo. Portugal et al. (2007), em um Argissolo sob diferentes usos, observaram que há uma proteção coloidal da MO proporcionada pela fração argila e que seu teor reduz com a profundidade e em condições de uso antrópico do solo, com o aumento da sua mineralização.

Lima et al. (2011), no estudo da concentração de MO, encontraram em área com seis anos de cultivo de pastagem (*Brachiariasp.*) 2,94 dag kg⁻¹ e em vegetação natural a trinta anos 2,60 dag kg⁻¹.

A mobilidade e a ocasional coleta de material incorporado em maior profundidade são motivos de detecção de teores de nutrientes em camada maior que 0,20 m, mesmo que em níveis baixos. Exemplo disso é a detecção de um nível médio de K em profundidade. Isso porque a movimentação vertical dos nutrientes e da MO ocorrem com maior facilidade em solo arenoso comparado a um solo mais argiloso, conforme suas características, descritas por Ferreira (2010).

Um dos possíveis motivos para os níveis de nutrientes tenderem ao nível médio é o intervalo de tempo das aplicações na fase inicial do desenvolvimento do mamoeiro, até a sexagem. Após isto, é característico o início de uma nova fase de aplicações de fertilizantes e MO na lavoura (adubação de produção), que se torna mais

exigente em nutrientes dada à maior extração pelas raízes, conforme descrito por Oliveira e outros (2004).

4.1.3 Análise de correlação de atributos do solo

4.1.3.1 Atributos físicos do solo

Uma perfeita correlação entre duas variáveis deve possuir um coeficiente de correlação (r) igual a 100,0% (correlação positiva) ou -100,0% (correlação negativa), que na prática é pouco provável de acontecer. Por isso, tal qual realizado por Oliveira (2007), os valores deste coeficiente de correlação de Pearson ($p < 0,05$) foram classificados de acordo como proposto por Kitamura (2004).

De acordo com essa classificação proposta para os limites de r , as correlações entre os atributos físicos do solo na camada de 0-0,20 m (Tabela 5) apresentam-se extra-altas para AGxAF ($r = -80,0\%$) e VTPxDp ($r = 81,0\%$); altas para VTPxDs ($r = -71,0\%$); moderado para AGxARG ($r = -54,0\%$), AGxSil ($r = -46,0\%$), DsxARG ($r = -50,0\%$) e Um_{Rua}xDs ($r = -44,0\%$); e baixas para DpxAG ($r = -21,0\%$), DsxAG ($r = 32,0\%$), VTPxAG ($r = -33,0\%$), AFxSil ($r = 35,0\%$), DpxAF ($r = 22,0\%$), AFxRpLP ($r = -24,0\%$), VTPxARG ($r = 34,0\%$), DpxUmLP ($r = -25,0\%$), UmLPxDs ($r = -30,0\%$), DsxUm_{Rua} ($r = -22,0\%$), UmLPxUm_{Rua} ($r = 29,0\%$) e RpLPxRp_{Rua} ($r = 32,0\%$).

Tabela 5 - Correlação de Pearson ($p < 0,05$), %, entre atributos físicos do solo na camada de 0-0,20 m₍₁₎

	AG	AF	Sil	ARG	Dp	Ds	RpLP	UmLP	Rp _{Rua}	Um _{Rua}	VTP
AG (g kg ⁻¹)	100										
AF (g kg ⁻¹)	-80	100									
Sil (g kg ⁻¹)	-46	35	100								
ARG (g kg ⁻¹)	-54	-	-	100							
Dp (kg dm ⁻³)	-21	22	-	-	100						
Ds (kg dm ⁻³)	32	-	-	-50	-	100					
RpLP (MPa)	-	-24	-	-	-	-	100				
UmLP (%)	-	-	-	-	-25	-30	-	100			
Rp _{Rua} (MPa)	-	-	-	-	-	-22	32	-	100		
Um _{Rua} (%)	-	-	-	-	-	-44	-	29	-	100	
VTP (%)	-33	-	-	34	81	-71	-	-	-	-	100

AG: areia grossa; AF: areia fina; Sil: silte; ARG: argila; Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo; RpLP: resistência do solo à penetração na linha do plantio; UmLP: umidade do solo na linha de plantio; Rp_{Rua}: resistência do solo à penetração na linha do rodado; Um_{Rua}: umidade do solo na linha do rodado; VTP: volume total de poros; e - : correlação não significativa ($p < 0,05$).

A correlação negativa AGxAF ($r = -80,0\%$) deve-se ao efeito inversamente proporcional da constituição da textura do solo, como também verificado para a relação da AG com as demais frações Sil e ARG, que apresentam correlação negativa moderada, $-46,0\%$ e $-54,0\%$, respectivamente.

As correlações entre os atributos físicos na camada 0,20-0,40 m estão na Tabela 6. Nove destas correlações ocorrem entre atributos que também se correlacionaram na camada de 0-0,20 m, sendo que quatro delas apresentam-se dentro da mesma classe de correlação proposta por Kitamura (2004): baixa para UmLPxDp ($r = -26,0$), moderada para DsxARG ($r = -50,0\%$) e Um_{Rua}xDs ($r = -43,0$) e extra-alta para VTPxDp ($r = 84,0$).

Tabela 6 - Correlação de Pearson ($p < 0,05$), %, entre atributos físicos do solo na camada de 0,20-0,40 m₍₂₎

	AG	AF	Sil	ARG	Dp	Ds	RpLP	UmLP	Rp _{Rua}	Um _{Rua}	VTP
AG (g kg ⁻¹)	100										
AF (g kg ⁻¹)	-78	100									
Sil (g kg ⁻¹)	-	-	100								
ARG (g kg ⁻¹)	-73	-	-	100							
Dp (kg dm ⁻³)	-	-	-28	-	100						
Ds (kg dm ⁻³)	-	24	-26	-50	-	100					
RpLP (MPa)	-	-	-	-	-	-30	100				
UmLP (%)	-37	-	-	39	-26	-48	48	100			
Rp _{Rua} (MPa)	-	-	-	-	-	-	-	-	100		
Um _{Rua} (%)	-25	-	-	40	-26	-43	31	68	40	100	
VTP (%)	-	-	-	-	84	-40	-	-	-	-	100

AG: areia grossa; AF: areia fina; Sil: silte; ARG: argila; Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo; RpLP: resistência do solo à penetração na linha do plantio; UmLP: umidade do solo na linha de plantio; Rp_{Rua}: resistência do solo à penetração na linha do rodado; Um_{Rua}: umidade do solo na linha do rodado; VTP: volume total de poros; e - : correlação não significativa ($p < 0,05$).

A correlação negativa entre AGxAF e AGxARG é alta ($-78,0\%$ e $-73,0\%$) na camada de 0,20-0,40 m e indica possibilidade de aumento das frações coloidais na camada, dada as características do solo. Esse comportamento promove uma correlação moderada da ARG com a umidade do solo (UmLP e Um_{Rua}) que por sua vez se correlaciona positivamente com a resistência do solo à penetração (RpLP e Rp_{Rua}).

A alta correlação ($r = 68,0\%$) entre os teores de Umidade (UmLPxUm_{Rua}) é devido às relações proporcionais quanto ao aporte e distribuição de água no solo pelo sistema

de irrigação e a correlação da fração ARG com maior retenção de água ($r= 39,0$ e $40,0\%$, respectivamente para LP e R_{ua}). Essa característica da ARG, em reter mais água promove correlações positivas entre a umidade do solo e a R_p na linha de plantio ($r= 48,0\%$) e na entrelinha ($r= 31,0\%$), ou seja, o maior teor de água em subsuperfície não reduz a R_p desta camada. Da mesma forma, contrário do esperado, há correlação negativa da $D_{sx}R_pLP$ ($r= -30,0\%$). As R_p 's entre a LP e a R_{ua} não se correlacionam, evidenciando os diferentes processos de uso e manejo locais dentro da lavoura.

As correlações negativas da D_s com a R_p podem ser uma resposta causada pelo procedimento de determinação da D_s , ao utilizar amostras deformadas, incapazes de considerar a estrutura e o arranjo das partículas do solo.

O aumento no teor de ARG em subsuperfície apresenta uma correlação negativa com a D_s ($r= -50,0\%$), responsável por correlações também negativas, de fracas a moderadas, com Um_{LP} , $Um_{R_{ua}}$, R_pLP e VPT . A ARG possui naturalmente, uma menor D_p e D_s que a fração areia e possui maior VTP devido ao maior volume de microporos na estrutura do solo, mas essas características variam de acordo com o tipo do solo e as práticas de uso agrícola.

4.1.3.2 Atributos químicos do solo

Neste item, trabalhou-se a correlação de um mesmo atributo químico entre as duas camadas, conforme mostra a Tabela 7. Os atributos químicos Ca, pH, SB, t, T e Sat Ca apresentam alta correlação entre as camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m ($60,0\% \leq r \leq 80,0\%$). No caso do Ca mostra que o sulcamento e a subsolagem do solo fizeram com que o produto da calagem chegasse à camada mais profunda.

Os atributos K, Al e Sat K não apresentam correlações entre as duas camadas, possivelmente devido à sua grande variabilidade no perfil do solo. O K é um elemento muito móvel no solo, especialmente em solo arenoso, possuindo grande variabilidade natural, que também pode ser alterada, devido ser o elemento mais extraído pelas plantas de mamoeiro (OLIVEIRA et al., 2004). Da mesma forma comportara-se a Sat K, devido sua relação direta com o K e com a CTC.

Tabela 7 - Análise de correlação de Pearson ($p < 0,05$), %, entre os atributos químicos do solo nas camadas de 0-0,20 (coluna) e 0,20-0,40 m (linha)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1. P (mg dm^{-3})	40																
2. Ca ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)		74															
3. Mg ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)			47														
4. K (mg dm^{-3})				-													
5. pH (CaCl_2)					66												
6. Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)						-											
7. H+Al ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)							46										
8. MO (dag kg^{-1})								39									
9. SB ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)									69								
10. t ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)										69							
11. T ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$)											61						
12. Sat Ca (%)												68					
13. Sat Mg (%)													48				
14. Sat K (%)														-			
15. m (%)																56	
16. V (%)																	51

A numeração do cabeçalho, na horizontal, corresponde aos atributos apresentados na primeira coluna à esquerda; e - : correlação não significativa ($p < 0,05$).

As principais fontes de Ca aplicadas ao solo foram o calcário e o superfosfato simples (25,0% de CaO). A alta concentração dessa base na solução do solo causa uma remoção dos íons H e Al do complexo sortivo e disponibiliza espaço nos sítios de troca dos colóides do solo para os cátions básicos, dessa forma reduzindo a acidez do solo. O Ca interfere no pH, que posteriormente precipita Al e Mn. A calagem é um dos métodos que mais influenciam na disponibilidade de nutrientes pela alteração do pH e pela redução de efeitos tóxicos às plantas. Por isso, o efeito atribuído ao Ca e Mg é mais fortemente observado e influência diretamente os atributos a eles ligados. Por exemplo, os baixos níveis significativos de Al no solo e de seus correlatos. A característica do solo arenoso e o constante aporte hídrico favorecem a reatividade do calcário e seu efeito em regiões adjacentes, como publicado por Souza, Miranda e Oliveira (2007).

A saturação de alumínio (m) apresenta correlação moderada ($r = 56,0\%$) entre as camadas, devido à CTC efetiva (t) e não ao Al em si, que praticamente foi neutralizado pelo pH atual do solo, sendo o motivo mais evidente por não ter identificado comportamento estrutural vertical para o Al.

A MO apresenta correlação moderada ($r = 39,0\%$) de seus teores entre as camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, estando isso relacionado à sua aplicação manual a lanço nos sulcos de plantio, que associado às características deste solo há maior mineralização. Isso influencia a sua mobilidade, reatividade, sua relação química com os elementos no solo e a absorção pelas plantas. A MO também é um atributo que apresenta grande influência no comportamento químico e estrutural do solo, promovendo principalmente um aporte Ca, em torno de 10,0% (Tabela 2).

4.1.3.3 Correlações entre os atributos físicos e químicos do solo

As correlações entre os atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-0,20 m apresentam r menores que 40,0% (baixas). Algumas correlações existentes neste caso são justificadas, pela grande influência exercida pelo local da coleta das amostras, no ponto de aplicação e homogeneização dos fertilizantes e pela relação quantitativa entre os atributos (Tabela 8).

Tabela 8 – Correlação de Pearson ($p < 0,05$), %, entre atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-0,20m₍₁₎

	AG	AF	Sil	ARG	Dp	Ds	RpLP	UmLP	VTP
P (mg dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-27	-	-	-	-30
Mg (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-35	-	-	-31	-25
K (mg dm ⁻³)	-32	-	-	-	-	-	-	-	-
pH (CaCl ₂)	26	-	-35	-	-	-	-	-	-
Al (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	-31	-	-	-	-	-	-	-	-
MO (dag kg ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SB (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-30	-	-	-	-
t (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-30	-	-	-	-
T (cmol _c dm ⁻³)	-32	-	-	-	-	-	-	-	-
Sat Ca (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-26
Sat Mg (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sat K (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
m (%)	-	-	-	-	26	-	-	-	-
V (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-26

AG: areia grossa; AF: areia fina; Sil: silte; ARG: argila; Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo; RpLP: resistência do solo à penetração na linha do plantio; UmLP: umidade do solo na linha de plantio; VTP: Volume Total de Poros; e - : correlação não significativa ($p < 0,05$).

A areia fina (AF), a argila (ARG), a densidade do solo (D_s), e a RpLP não correlacionam significativamente com nenhum dos atributos químicos. A areia grossa (AG) correlaciona-se com o K ($r = -32,0\%$), mostrando que em regiões de alta concentração de AG há baixa de K. Silva et al. (2010a) encontraram nesta mesma camada em um Latossolo correlação negativa do K com a AG. Segundo os autores, em solos com quantidade considerável de areia, observa-se perdas acentuadas desse nutriente, por causa da lixiviação devido ao maior espaço poroso e sua grande mobilidade.

Castilhos (1999) afirma que a areia é a fração com menor quantidade de potássio, o que pode ser explicado pela sua mineralogia, mais pobre em minerais potássicos, constituída predominantemente pelo mineral quartzo.

O volume total de poros (VTP) correlaciona-se negativamente com o Ca e Mg indicando que em locais com maior porosidade tem-se menor concentração desses elementos.

O Fósforo (P), o alumínio (Al), a matéria orgânica (MO), a Sat Mg e a Sat K não se correlacionam significativamente com nenhum atributo físico do solo. O P tem uma relação especial com o complexo de troca do solo, principalmente com a fração ARG, por ser aquela com maior superfície de carga induzindo a uma expectativa de ocorrência da correlação significativa com o P, dado o maior poder tampão de solos ricos em ARG, conforme descrito por Novais, Smyth e Nunes (2007).

Considerando que a fração areia apresenta naturalmente maior D_p devido à maior massa proporcionada pelo quartzo, principal componente da fração areia, pode-se inferir que as correlações existentes dos diversos atributos com a D_p , devem-se à fração grosseira (AG e AF). O que demonstra um comportamento negativo entre a D_p , as bases Ca e Mg e seus correlatos (SB e t). A fração AG também apresenta correlação negativa com o K e o T ($r = -32,0\%$) (Tabela 8).

A baixa superfície específica de cargas elétricas diminui a retenção e a atividade das bases no solo, aumentando sua disponibilidade na solução do solo, passíveis de ser absorvidos pelas plantas ou perdidos por lixiviação. Solos mais arenosos caracterizam-se pela baixa capacidade tampão e baixo fator capacidade (de

armazenamento de bases), por isso, necessitam de manejo mais eficiente para manter-se produtivo, conforme apresentado por Novais e Mello (2007).

Os resultados da correlação entre os atributos químicos e físicos do solo na camada 0,20-0,40 m estão na Tabela 9. Os atributos AF, SiL e VTP não apresentam correlação com nenhum atributo. O P correlaciona-se negativamente com a argila (ARG) com consideração descrita anteriormente.

A ARG também apresenta correlação baixa com pH, Sat Ca, Sat Mg e V e moderada com o H+Al, negativo e positivo, respectivamente. O teor de MO não se correlaciona com nenhuma das frações granulométricas nessa camada. As correlações dos atributos do solo na camada de 0,20-0,40 m podem refletir resultados influenciados pelos teores de aporte dos elementos químicos na área.

Tabela 9 - Correlação de Pearson ($p < 0,05$), %, entre atributos químicos e físicos do solo na camada de 0,20-0,40 m₍₂₎

	AG	AF	SiL	ARG	Dp	Ds	RpLP	UmLP	VTP
P (mg dm ⁻³)	-	-	-	-28	-	-	-	-	-
Ca (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-	-37	-	-
Mg (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-	-29	-	-
K (mg dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH (CaCl ₂)	-	-	-	-29	-	32	-	-	-
Al (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	-48	-	-	55	-	-	-	38	-
MO (dag kg ⁻¹)	-	-	-	-	-	-	-32	-	-
SB (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-	-37	-34	-
t (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-	-36	-34	-
T (cmol _c dm ⁻³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sat Ca (%)	-	-	-	-35	-	-	-34	-31	-
Sat Mg (%)	33	-	-	-36	-	-	-	-	-
Sat K (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
m (%)	-	-	-	-	-	-	35	-	-
V (%)	39	-	-	-47	-	-	-	-	-

AG: areia grossa; AF: areia fina; SiL: silte; ARG: argila; Dp: densidade de partículas; Ds: densidade do solo; RpLP: resistência do solo à penetração na linha do plantio; UmLP: umidade do solo na linha de plantio; VTP: volume total de poros; e - : correlação não significativa ($p < 0,05$).

4.1.4 Atributos biométricos e produtividade do mamoeiro

O desenvolvimento da planta e a sua a produtividade é a melhor resposta para avaliar os condicionantes de solo e os relativos à planta, quando os demais fatores

são controlados (COELHO; SIMÕES, 2010). Os dados biométricos e de produtividade do mamoeiro estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Estatística descritiva dos atributos das plantas de mamoeiro

Atributo	Média	Med	S	Min	Max	CV	Q1	Q3	Cs	Ck	DN
Altplanta (cm)	103,2	103,0	11,4	70,0	136,0	11,1	96,5	111,0	0,0	0,1	ns
Altflor (cm)	86,7	86,0	11,0	63,0	126,0	12,7	78,0	92,0	0,7	0,9	ns
CircCaule (cm)	21,7	22,0	4,2	12,0	32,0	19,1	19,0	25,0	0,0	-0,4	ns
NbotFlor (un)	9,0	9,0	3,9	3,0	18,0	42,0	6,0	13,0	0,2	-1,0	ns
Nfolhas (un)	20,0	20,0	3,6	11,0	28,0	18,2	17,0	22,0	-0,2	-0,5	ns
CompCopa (cm)	145,7	147,0	20,3	99,0	191,0	13,9	133,0	160,0	-0,1	-0,3	ns
LargCopa (cm)	146,6	147,5	21,3	88,0	192,0	14,5	134,0	160,5	-0,3	0,1	ns
AltFruto (cm)	85,9	84,5	13,5	57,3	125,3	15,7	75,3	96,0	0,2	-0,4	ns
Mg/ha (Mg)	13,6	12,9	5,5	2,3	25,0	40,0	9,6	17,4	0,2	-0,7	ns
kg/fruto (kg)	0,4	0,4	0,044	0,3	0,5	11,2	0,4	0,4	0,3	-0,1	ns
Nfruto(un)	18,0	17,0	6,6	4,0	32,3	37,1	12,7	21,7	0,2	-0,6	ns
Mfruto (kg)	6,9	6,5	2,8	1,2	12,6	40,0	4,8	8,8	0,2	-0,7	ns

Altplanta: altura da planta; Altflor: altura do início da floração; CircCaule: circunferência do caule; NbotFlor: número de botões florais; Nfolhas: número de folhas; CompCopa: comprimento da copa na direção da linha de plantio; LargCopa: largura da copa transversal a linha de plantio; Altfruto: altura de colheita do primeiro fruto; Mg/ha: Megagrama de fruto por ha; kg/fruto: massa do fruto; Nfruto: número de frutos por planta; Mfruto: massa de frutos produzidos por planta. Md: mediana; s: desvio-padrão; Min.: valor mínimo; Max.: valor máximo; CV: coeficiente de variação; Q1: primeiro quartil; Q3: terceiro quartil; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; DN: teste da distribuição normal; ns: não significativo a 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), portanto, distribuição normal dos dados; e *: distribuição não normal. Médias seguidas de mesma letra, em coluna, não diferem significativamente pelo teste t Student ($p < 0,05$).

Os valores da média e mediana apresentam-se muito próximos, com coeficiente de assimetria e de curtose muito próximos de zero, tendo todos os atributos avaliados uma distribuição normal, de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,05$).

De acordo com Warrick e Nielsen (1980), o CV é baixo ($CV < 12,0\%$) para AltPlanta e kg/Fruto; e médio para os demais atributos biométricos e de produtividade do mamoeiro. O maior CV foi de 42,0% para NbotFlor. Quanto à curtose a distribuição apresenta platicúrtica para todos os atributos, com exceção para Altplanta e Altflor.

A altura média das plantas (Altplanta) foi de 103,0 cm e a inserções das primeiras flores (Altflor) a 86,7 cm. É desejável que as primeiras flores sejam emitidas ao mais baixo possível e que as plantas tenham maior área de recobrimento foliar (maior número de folhas), porque representa maior longevidade de colheita. Essas características são importantes ao considerar que a altura da planta é um limitante após a altura de 3,0 m devido às dificuldades de colheita e que, por isso, as lavouras

de mamão têm sido exploradas ao máximo entre 2,5 e 3,0 anos de idade (SILVA et al., 2010b).

Observa-se viçozidade das plantas, com circunferência média do caule (Circcaule) de 21,7 cm, aproximadamente 20,0 folhas (Nfolhas) e 9,0 botões florais (NbotFlor) por planta. O comprimento e largura da copa das plantas são superiores a 145,0 cm, não diferindo consideravelmente entre si, como observado para os valores Min e Max do conjunto de plantas avaliadas nestes quesitos: largura da copa (LargCopa) e comprimento da copa (CompCopa).

A circunferência (ou o diâmetro) do caule do mamoeiro é um indicativo de boa estrutura da planta para suportar o peso do painel de frutos com seu crescimento constante. Oliveira et al. (2007) encontraram uma relação da circunferência do caule e altura das plantas conforme variação nas doses de N e K. Por isso, entre os produtores de mamão é conhecida a qualidade do manejo da lavoura e do potencial das plantas, pela maior circunferência do caule, pelo maior número de folhas e tamanho da copa das plantas e ainda pela menor altura de inserção de botões florais e colheita dos primeiros frutos. Martins e Costa (2003) também apresentam esses e outros parâmetros referentes a uma lavoura de mamoeiro.

Por ocasião do início da maturação dos frutos e, conseqüentemente, da colheita, mediu-se a altura média de colheita dos primeiros frutos (AltFruto), que foi de 86,0 cm, aproximadamente à altura média observada para as primeiras inserções florais. Ocasionalmente registrou-se, ao comparar a altura da colheita dos primeiros frutos com as primeiras flores, colheita de frutos em uma menor altura que a registrada para a inserção floral, na ocasião da sexagem. Isso ocorre pela possibilidade de ter havido lançamento de flores em alturas abaixo das inicialmente registradas com o desenvolvimento das plantas.

Da mesma forma, a colheita de frutos pode ter ocorrido a uma altura maior devido a condicionantes do acaso como, por exemplo, aborto ou perda de botões florais, ou pela eliminação de alguns frutos no processo de desbaste, em caso de excesso de frutos no painel ou ainda pela deformação dos mesmos (ALMEIDA et al., 2003b).

Com a colheita dos frutos, obteve-se produção média (Nfruto) superior a 17,0 frutos por planta, com massa média (kg/fruto) de 0,40 kg cada fruto, que representa uma

produção de 7,0 kg por planta (Mfruto) e, portanto, uma produtividade inicial média (Mg/ha) de 13,6 Mg/ha. Merece esclarecimento que este índice de produtividade corresponde apenas às colheitas avaliadas, não incluindo procedimentos realizados pelo produtor.

Silva e outros (2010b), monitorando plantas de mamoeiro cv. Golden por 12 meses no norte capixaba, em solo arenoso, registraram na época da sexagem plantas com média de 125,0 cm de altura, 30,0 folhas, 37,0 cm de circunferência do caule, inserção das primeiras flores a 70,0 cm de altura. As diferenças encontradas entre estes atributos (Tabela 10) são reflexo de um conjunto de características edafoclimáticas e do manejo executado na lavoura, em sua maioria não mensurado ou controlados. Quanto à colheita estes pesquisadores encontraram frutos com massa de 0,30 a 0,47 kg, próximos aos encontrados na Tabela 10.

4.1.4.1 Correlações entre os atributos de plantas do mamoeiro

A matriz de correlação dos atributos de plantas de mamoeiro (Tabela 11) mostra correlação extra-alta ($80,0\% \leq r \leq 100,0\%$) para 11,0% das correlações existentes: CircCaulexCompCopa, CompCopaxLargCopa, Mg/haxNfrutos, Mg/haxMfruto e para NfrutoxMfruto, de acordo com a classificação de Kitamura (2004). A AltplantaxAltflor, CircCaulexLargCopa e NbotFlorxLargCopa apresentam alta correlação ($60,0 \leq r \leq 80,0$), 7,0% do total. Para as demais correlações significativas (82,0%), sendo elas positivas e/ou negativa, apresentam-se de moderadas a baixas.

As correlações entre o CircCaule com o tamanho da copa (CompCopa e LargCopa) e a correlação entre si, demonstram a boa condição estrutural das plantas, com potencial para produzir com longevidade bons frutos. O que é expresso pela produtividade (Mg/ha) obtida no período avaliado, com correlação positiva extra-alta entre o número de frutos colhidos (Nfrutos) e com sua massa média (kg/fruto). Uma correlação moderada é encontrada entre CircCaulexMg/ha ($r = 52,0\%$), conforme informação dada por Oliveira et al. (2007).

Ao relacionar as informações referentes às plantas de mamoeiro com os atributos químicos na camada de 0-0,20 m, há pouca resposta de correlação significativa

entre eles. Apenas há baixa correlação entre pHxAltPlanta ($r=35,0\%$), pHxAltFlor ($r=25,0\%$), MOxNfolhas ($r=34,0\%$) e MOxAltfruto ($r=24,0\%$).

Tabela 11- Correlação de Pearson ($p<0,05$), %, dos atributos das plantas de mamoeiro

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
1.Altplanta (cm)	100											
2.Altflor (cm)	60	100										
3.CircCaule (cm)	48	-	100									
4.NbotFlor (un)	41	-37	42	100								
5.Nfolhas (un)	27	-	-	51	100							
6.CompCopa (cm)	37	-20	81	57	27	100						
7.LargCopa (cm)	39	-21	73	63	38	82	100					
8.AltFruto (cm)	-	45	-37	-34	-	-37	-39	100				
9.Mg/ha (Mg)	22	-	52	-	-	31	28	-43	100			
10.kg/fruto (kg)	-	-	-	-26	-	-	-	-	47	100		
11.Nfruto(un)	27	-	58	20	-	38	35	-48	97	26	100	
12.Mfruto (kg)	22	-	52	-	-	31	28	-43	100	47	97	100

A numeração do cabeçalho, na horizontal, corresponde aos atributos apresentados na primeira coluna à esquerda; e - : correlação não significativa ($p < 0,05$).

Isso indica que a fertilidade do solo logo após o término da sexagem não influencia diretamente a produtividade dos mamoeiros. Mas é possível afirmar que a condição de nutrição inicial das plantas, com a aplicação de calcário, fertilizantes e MO no solo, é primordial para a obtenção de plantas bem estruturadas e com boas características produtivas.

Sendo os atributos físicos do solo menos vulneráveis a alterações num pequeno espaço de tempo, espera-se uma correlação mais significativa com os atributos de plantas (Tabela 12). Mas, para a fase inicial avaliada, há poucas correlações de moderadas a fracas. Zucoloto et al. (2011) não registraram correlação significativa das frações granulométricas de um Argissolo Amarelo distrófico arênico com a produção inicial de bananeira prata anã, em torno de quatorze meses após o transplante, no norte capixaba.

As principais interações com os atributos físicos na camada de 0-0,20 m indicam o efeito indesejável da fração AG para com Altflor e Nfolhas, ao contrário que ocorre com as frações AF. A grande quantidade da AG nessa seção reflete no efeito

negativo proporcionado pela Ds ($r= 32,0\%$ para $AGxDs^1$), correlações negativas sobre os demais atributos das plantas de mamoeiro.

Isso indica que com aumento da Ds (e da Rp) nesta camada, haverá uma tendência à restrição do crescimento radicular, menor disponibilidade de nutrientes na solução do solo e, conseqüentemente, menor desenvolvimento vegetativo. Provavelmente devido à maior disposição em sofrer compactidade.

Tabela 12 - Correlações de Pearson ($p<0,05$),%, significativas, entre atributos das plantas de mamoeiro e os atributos físicos do solo nas camadas de 0-0,20m₍₁₎e 0,20-0,40m₍₂₎

	AG ₁	AF ₁	ARG ₁	Ds ₁	VTP ₁	Rp _{Rua1}	ARG ₂	Ds ₂	RpLP ₂
Altplanta (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Altflor (cm)	42	-36	-	-	-	-	-	-	-
CircCaule (cm)	-	-	-	-	-	-	38	-41	-31
NbotFlor (un)	-	-	-	-	30	-	-	-30	-
Nfolhas (un)	-33	30	-	-	-	-44	-	-	-32
CompCopa (cm)	-	-	-	-	-	-	34	-45	-
LargCopa (cm)	-	-	40	-36	33	-	36	-42	-
AltFruto (cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg/ha (Mg)	-	-	-	-33	-	-	-	-	-
kg/fruto (kg)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nfruto(un)	-	-	-	-34	-	-	-	-	-
Mfruto (kg)	-	-	-	-33	-	-	-	-	-

- : correlação não significativa ($p<0,05$).

Na camada de 0,20-0,40 m, as correlações entre os atributos de solo e os de plantas, são pronunciadamente positivas para ARG e negativas para Ds. Já quanto a RpLP, há indicação que ao nível atual de compactação em subsuperfície há efeito negativo para Nfolhas ($r= -32,0\%$) e para CircCaule ($r= -31,0\%$).

O aumento do teor de ARG em subsuperfície permite uma maior capacidade de retenção dos íons do solo e, conseqüentemente, maior desenvolvimento vegetativo, mas não implica em correlações com a produção diretamente.

A análise de correlação entre os atributos do solo e os das plantas procura mostrar a associação entre eles e a resposta na produção do mamoeiro. Essas informações também nos permitem interpretar os fenômenos e planejar intervenção para corrigir eventuais deficiências. Mas esse efeito é resultado de interações diversas em diferentes níveis, alguns não controláveis ou medidos, como as condições climáticas.

4.2 ANÁLISEGEOESPACIAL

4.2.1 Atributos físicos e químicos do solo

Nas Tabelas 13 e 14 estão apresentados os modelos e os parâmetros dos semivariogramas escalonados pela variância dos dados ajustados aos atributos químicos e físicos do solo nas camadas de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, respectivamente.

Tabela 13 - Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-0,20m

Atributo	Modelo	C ₀	C ₀ +C	a (m)	IDE	R ²	r-VC
P (mg dm ⁻³)	EXP	0,40	1,05	37	61,5	89	22
Ca (cmol _c dm ⁻³)	EXP	0,11	1,01	29	89	88	58
Mg (cmol _c dm ⁻³)	ESF	0,46	1,05	25	65	82	37
K (mg dm ⁻³)	ESF	0,03	1,06	12	97	92	40
pH (CaCl ₂)	EXP	0,45	0,96	25	53	64	38
Al (cmol _c dm ⁻³)	EPP	-	-	-	-	-	-
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	EXP	0,43	0,99	15	57	61	43
MO(dag kg ⁻¹)	ESF	0,09	1,02	21	93	90	37
SB (cmol _c dm ⁻³)	ESF	0,29	1,01	26	72	90	51
t (cmol _c dm ⁻³)	ESF	0,42	0,98	28	60	87	50
T (cmol _c dm ⁻³)	ESF	0,31	0,99	18,5	68	87	46
Sat Ca (%)	EXP	0,52	1,05	45	50	72	44
Sat Mg (%)	ESF	2,66	1,10	33	51	85	41
Sat K (%)	EPP	-	-	-	-	-	-
m (%)	ESF	0,49	1,04	26	54	84	50
V (%)	ESF	0,21	1,01	20	80	96	50
AG (g kg ⁻¹)	EXP	0,12	1,00	17	89	87	45
AF (g kg ⁻¹)	ESF	0,55	1,10	72	50	90	45
Sil (g kg ⁻¹)	EPP	-	-	-	-	-	-
ARG (g kg ⁻¹)	EPP	-	-	-	-	-	-
Dp (kg dm ⁻³)	EXP	0,38	0,75	30	51	56	35
Ds (kg dm ⁻³)	ESF	0,38	0,94	20	63	88	44
RpLP (MPa)	EXP	0,13	0,58	20	78	70	48
UmLP (%)	EXP	0,52	1,03	63	50	82	38
RpRua (MPa)	EXP	0,25	1,13	17	71	76	40
UmRua (%)	EPP	-	-	-	-	-	-
VTP (%)	EXP	0,50	1,16	29	57	80	39

ESF: modelo teórico esférico; EXP: modelo teórico exponencial; EPP: efeito pepita puro; C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; a: alcance de dependência espacial; IDE: índice de dependência espacial [(C/C₀+C)*100]; R²: coeficiente de determinação múltipla do ajuste do modelo; e R-VC: coeficiente de correlação entre valor observado e estimado pela validação cruzada (significativo p<0,05).

Os ajustes aos semivariogramas obtidos para os atributos de solo explicam a maior parte da variância dos dados. Todos os ajustes apresentam R^2 superior a 50,0%, sendo que dos 44,0 ajustes, 80,0% deles apresentam R^2 maior que 75,0%. Todos os atributos com dependência espacial apresentam coeficiente de correlação na validação cruzada (r-VC), significância a 5,0% de probabilidade.

Os principais modelos teóricos ajustados aos semivariogramas experimentais são esférico (ESF) e o exponencial (EXP), com 50,0% dos atributos ajustados a cada modelo. Na camada de 0-0,20 m o modelo ESF ajusta-se aos dados para: Mg, K, MO, SB, t, T, Sat Mg, m, V, AF e Ds. O EXP para: Ca, pH, H+Al, Sat Ca, AG, Dp, RpLP, UmLP, $RP_{R_{ua}}$ e VTP. O efeito pepita puro (EPP), que retrata a ausência de estrutura de dependência espacial ocorre para: Al, Sat K, ARG e Sil.

Considerando apenas o alcance de dependência espacial, infere-se que atributos com alcances próximos e ajustados ao mesmo modelo teórico, apresentam o mesmo padrão de distribuição espacial. Os atributos, da camada de 0-0,20 m, Ca, pH, Dp e VTP apresentam alcances ajustados ao modelo EXP com 29,0 m, 25,0 m, 30,0 m e 29,0 m, respectivamente. Também ajustados ao modelo EXP, os atributos H+Al, AG, RpLP e $Rp_{R_{ua}}$ têm alcances de 15,0 m, 17,0 m, 20,0 m e 17,0 m, respectivamente.

Com ajuste ao modelo ESF, pode-se observar valores próximos de alcance entre Mg, SB, m e t (25,0m, 26,0m, 26,0m e 28,0m); MO, V, Ds e T (21,0m, 20,0m, 20,0m e 18,5m).

A distribuição espacial dos atributos químicos e físicos do solo difere na camada 0,20-0,40 m (Tabela 14), em comparação com a camada logo acima, apresentando ajustes a outros modelos teóricos (P, Ca, K, pH, H+Al, MO, Sat Ca, AG e AF) ou não apresentam dependência espacial (Dp, UMLP e PT), ou ainda passam a tê-la (ARG e Sil). Sendo que 73,0% dos atributos ajustam-se ao modelo ESF, 27,0% ao EXP e 5,0 atributos apresentam EPP (Sat K, Dp, UmLP, $Um_{R_{ua}}$ e VTP). Lima, Oliveira e Quarezani (2007), em camada de 0-0,20 m, conseguiram ajuste com dependência espacial somente para AF, ao modelo exponencial. As outras frações, a Ds e o VTP tiveram EPP, indicando número insuficiente de amostras para a determinação da estrutura de dependência espacial.

Pelo alcance dos ajustes dos atributos da camada subsuperficial, há um mesmo padrão de distribuição espacial para P, SB, t e Sil (17,0 m, 18,0 m, 18,0 m e 20,0 m); Ca, Mg, Al, H+Al, T, Sat Ca, Sat Mg, m, V e Ds (22,0 m, 25,0 m, 22,0 m, 25,0 m, 30,0m, 25,0m, 23,0m, 23,0m, 25,0m e 25,0m); K, MO e RpLP (17,0 m, 16,0m e 16,5 m); e ARG e Rp_{Rua} (23,0 m e 23,0 m). Isso pode ser confirmado pelas correlações existentes entre alguns destes atributos, já apresentados.

Tabela 14- Parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados para os atributos químicos e físicos do solo na camada de 0,20-0,40 m

Atributo	Modelo	C ₀	C ₀ +C	a (m)	IDE	R ²	R-VC
P (mg dm ⁻³)	ESF	0,00	1,06	17	98	96	40
Ca (cmol _c dm ⁻³)	ESF	0,33	1,03	22	68	86	40
Mg (cmol _c dm ⁻³)	ESF	0,49	1,11	25	55	89	37
K (mg dm ⁻³)	EXP	0,05	1,03	17	95	93	39
pH (CaCl ₂)	ESF	0,21	1,04	30	79	91	63
Al (cmol _c dm ⁻³)	ESF	0,19	0,89	22	80	98	40
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	ESF	0,32	1,08	25	70	83	38
MO (dag kg ⁻¹)	EXP	0,06	0,98	16	93	73	40
SB (cmol _c dm ⁻³)	ESF	0,20	1,00	18	80	88	35
t (cmol _c dm ⁻³)	ESF	0,16	1,00	18	84	88	35
T (cmol _c dm ⁻³)	ESF	0,50	1,02	30	52	82	40
Sat Ca (%)	ESF	0,18	1,02	25	82	92	60
Sat Mg (%)	ESF	0,08	1,11	23	93	89	40
Sat K (%)	EPP	-	-	-	-	-	-
m (%)	ESF	0,27	1,17	23	77	69	30
V (%)	ESF	0,01	1,12	25	99	92	45
AG (g kg ⁻¹)	ESF	0,20	0,90	10	81	72	35
AF (g kg ⁻¹)	EXP	0,50	1,10	100	53	90	45
Sil (g kg ⁻¹)	ESF	0,20	0,90	20	75	82	35
ARG (g kg ⁻¹)	EXP	0,10	0,90	23	94	84	40
Dp (kg dm ⁻³)	EPP	-	-	-	-	-	-
Ds (kg dm ⁻³)	ESF	0,00	1,00	25	95	90	58
RpLP (MPa)	EXP	0,00	0,90	16,5	92	85	40
UmLP (%)	EPP	-	-	-	-	-	-
Rp _{Rua} (MPa)	EXP	0,16	1,00	23	84	84	38
Um _{Rua} (%)	EPP	-	-	-	-	-	-
VTP (%)	EPP	-	-	-	-	-	-

ESF: modelo teórico esférico; EXP: modelo teórico exponencial; EPP: efeito pepita puro; C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; a: alcance de dependência espacial; IDE: índice de dependência espacial [(C/C₀+C)*100]; R²: coeficiente de determinação múltipla do ajuste do modelo; e R-VC: coeficiente de correlação entre valor observado e estimado pela validação cruzada (significativo p<0,05).

Comparando a variabilidade espacial para um mesmo atributo nas duas camadas com ajuste aos modelos ESF e EXP e alcances próximos tem-se: para o ESF um

mesmo padrão de distribuição espacial para Mg, m, V e Ds e para o EXP para RpLp e RpRua. Enquanto que a Sat K é o único atributo que apresenta EPP nas duas camadas.

Muitos pesquisadores afirmam que o modelo esférico tem sido o mais adaptado para descrever o comportamento do semivariograma de atributos de solo e de plantas. Havendo também muitos ajustes significativos ao modelo exponencial (TRANGMAR et al., 1987; VIEIRA, 1997; LANDIM, 2003; CAVALCANTE et al., 2007; GOMES et al., 2008; LIMA et al., 2010; ZUCOLOTO et al., 2011).

O EPP indica falta de dependência espacial para distâncias maiores que a menor distância de amostragem adotada (5,7m), com isso os dados possuem uma distribuição aleatória e com o uso da média pode-se ter a estimativa do atributo e a estatística clássica explica esta variação na área.

O alcance reflete a continuidade espacial de um determinado atributo no solo, assim observa-se os menores alcances (a) para K (12,0 m) e AG (17,0 m) na camada de 0-0,20 m, e os maiores para Sat Ca (45,0 m) e AF (72,0 m), tendo, portanto, um alcance médio entre todos os atributos químicos de 25,8 m e para os físicos de 33,5 m. No norte do Estado do Espírito Santo, Lima, Oliveira e Quartezeni (2007) encontraram alcance de 45,0 m para AF e Zucoloto et al. (2011), alcance de 14,0 m para AG.

Na camada de 0,20-0,40 m (Tabela 14) têm-se os menores alcances para MO (16,0 m) e AG (10,0 m) e os maiores para pH e T (30,0 m) e AF (100,0 m). Considerando todos os atributos tem-se um alcance médio de 22,4 m para os atributos químicos e 31,1 m para os físicos.

Analisando cada atributo em função dos ajustes com relação aos alcances obtidos nas duas camadas tem-se os maiores alcances na camada de 0-0,20 m para o P, Ca, MO, SB, t, Sat Ca, Sat Mg, m, AG, RpLP; e na camada de 0,20-0,40 m para os atributos K, H+Al, T, V, AF e Ds. Essa quantificação de atributos mostra melhor o efeito do manejo da área na distribuição espacial dos atributos do que a análise pelo alcance médio. Conforme discutido por Corá et al. (2004), o manejo do solo com a aplicação de calcário, fertilizantes, de matéria orgânica e preparo convencional, como aração e gradagem, pode contribuir para maior homogeneização da camada

superficial, tendo como consequência o aumento do alcance de dependência espacial dos atributos do solo, o que condiciona maior continuidade na distribuição espacial dos mesmos nesta camada (0-0,20 m) em relação à camada mais profunda (0,20-0,40 m).

O alcance representado nos semivariogramas é importante para a delimitação da dependência espacial, sendo que em distâncias maiores que o alcance, o comportamento do atributo é aleatório. Por isso, é desejável o maior alcance possível, por representar a maior continuidade espacial do atributo e proporcionar maior precisão à interpolação dos valores para locais não medidos e para a adoção de metodologia de manejo da área e das amostragens subsequentes de monitoramento da variabilidade (CARVALHO; SILVEIRA; VIEIRA, 2002; GRECO; VIEIRA, 2005).

A informação atribuída ao alcance é mais significativa, quanto maior for o Índice de dependência espacial (IDE), que traduz a contribuição da variância espacial na variância total em função da distância de amostragem entre os pares de dados. Segundo a classificação de Zimback (2001), os atributos químicos e físicos das duas camadas do solo, apresentam 52,3% com forte dependência espacial ($IDE \geq 75,0\%$), 47,7% com moderada ($25,0\% \leq IDE < 75,0\%$) e nenhum com fraca dependência espacial ($IDE < 25,0\%$). Isso indica que, dentro do raio de alcance de ajuste para cada atributo, a homogeneidade ocorre de acordo com o IDE, conforme preconizado pela Teoria das Variáveis Regionalizadas.

A partir dos semivariogramas ajustados, fez-se a interpolação pelo método da krigagem ordinária para determinar valores em locais não amostrados para a construção dos mapas temáticos. Os mapas permitem a interpretação visual do comportamento espacial de cada atributo na área, definindo regiões que apresentam características idênticas ou muito próximas. Dessa forma, elaborar uma tática de manejo diferenciado para cada uma delas, de acordo com suas necessidades específicas.

4.2.2 Atributos das plantas do mamoeiro

Dos atributos aferidos nos mamoeiros amostrados, nove ajustam-se aos modelos teóricos dos semivariogramas nas proporções de 55,6% ao exponencial, 33,3% ao esférico e 11,1% ao gaussiano. Três atributos apresentam ausência de dependência espacial, são eles: Altflor, LargCopa e Altfruto (Tabela 15).

O alcance mínimo é de 15,0 m para Nbotões e CompCopa e os maiores são de 100,0 m para Nfolhas e 88,0 m para kg/fruto. Estes dados não permitem concluir que a existência de uma correlação espacial entre todos os dados biométricos e os de produção e a produtividade do mamoeiro, a não ser para produtividade (Mg/ha) com o número de frutos produzidos por planta (Nfruto), com os mesmo modelo (EXP) e alcances de 22,0 e 23,0 m, respectivamente, confirmando a extra-alta correlação ($r=97,0\%$) como mostrado na Tabela 11.

Uma inferência que pode ser feita é que a massa do mamão na área (kg/fruto) tem valores bem similares. Segundo Trangmar et al. (1985), o alcance define o raio máximo para o qual amostras vizinhas são usadas para interpolação por técnicas de krigagem. Assim, baixos valores de alcance podem influir na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação.

Tabela 15 - Parâmetros dos semivariogramas ajustados aos atributos das plantas do mamoeiro

Atributo	Modelo	C ₀	C ₀ +C	a (m)	IDE	R ²	r-VC
Altplanta (cm)	ESF	0,122	1,04	24	88	83	38
Altflor (cm)	EPP	-	-	-	-	-	-
CircCaule (cm)	EXP	0,064	1,02	43,5	94	90	50
NbotFlor (un)	EXP	0,362	1,02	15	65	77	32
Nfolhas (un)	GAU	0,694	1,16	100	40	96	50
CompCopa (cm)	ESF	0,079	0,95	15	92	91	35
LargCopa (cm)	EPP	-	-	-	-	-	-
AltFruto (cm)	EPP	-	-	-	-	-	-
Mg/ha (Mg)	EXP	0,205	0,91	22	98	91	46
kg/fruto (kg)	ESF	0,413	1,03	88	61	94	66
Nfruto (un)	EXP	0,071	0,96	23	93	93	40
Mfruto (kg)	EXP	0,179	0,92	31,5	81	83	46

ESF: modelo teórico esférico; EXP: modelo teórico exponencial; GAU: modelo teórico gaussiano; EPP: efeito pepita puro; C₀: efeito pepita; C₀+C: patamar; a: alcance de dependência espacial; IDE: índice de dependência espacial $[(C/C_0+C)*100]$; R²: coeficiente de determinação múltipla do ajuste do modelo; e r-VC: coeficiente de correlação entre valor observado e estimado pela validação cruzada (significativo $p<0,05$).

Dos atributos, 66,7% apresentam forte índice de dependência espacial ($IDE \geq 75,0\%$), enquanto os outros 33,0%, moderado ($25,0\% \leq IDE < 75,0\%$). Alto também são os R^2 dos modelos ajustados (de 77,0 a 96,0%). O coeficiente de correlação (r-VC) entre os valores observados e os estimados pela validação cruzada em função da escolha do modelo apresentam significativo a 5,0% de probabilidade, indicando que o coeficiente angular da reta entre eles difere de zero.

4.2.3 Mapas temáticos dos atributos de solo e de plantas

4.2.3.1 Mapas de atributos físicos do solo

A partir dos semivariogramas ajustados, fez-se a interpolação pelo método da krigagem ordinária por pontos e confecção de mapas temáticos para os atributos que apresentam dependência espacial (Figuras de 11 a 18).

Os mapas permitiram a interpretação visual do comportamento espacial de cada atributo na área, definindo regiões que apresentam características semelhantes e, com isso, possibilitando elaborar uma tática de manejo diferenciado (taxa variável), para cada uma delas, de acordo com suas necessidades específicas.

Para os atributos físicos da camada de 0-0,20 m (Figura 11) há uma distribuição espacial, inversamente proporcional, da AG com a AF confirmando a correlação negativa entre eles ($r = -80,0\%$). De mesma maneira, quanto à forma, ocorre com a representatividade espacial da Ds e do VTP ($r = -71,0\%$). Enquanto que há similaridade entre os mapas de Dp e VTP ($r = 81,0\%$). Lima et al. (2006) observaram maior teor de água disponível no solo coincidindo com as áreas de maior Ds e menor VTP, dada a redução da macroporosidade pelo processo de compactação, por acarretar alteração no arranjo das partículas do solo, tornando-o mais denso, como descrito por Trindade et al. (2008).

A área com maior UmLP, à esquerda do mapa, coincide com uma área de menor RpLP, demonstrando o efeito de redução da dureza do solo proporcionado pelas propriedades da água presente no solo.

A área com maior resistência do solo à penetração na linha do rodado ($R_{p_{Rua}}$) situa-se na parte superior direita do mapa (acima de 1,6 MPa), por ser um local de maior influência do tráfego de maquinário. Sendo esta região coincidente com aquela que apresenta maior compacidade no mapa de R_{pLP} . No restante de área do mapa de $R_{p_{Rua}}$, a maior parte, há predomínio de R_p entre 1,3 e 1,6 MPa. E na linha de plantio a R_{pLP} varia de 0,04 a 0,44 MPa. Lima et al. (2008) identificaram aumento de resistência do solo à penetração com o tráfego de tratores florestais em área cultivada com eucalipto.

De modo geral, os atributos apresentam-se em duas faixas de valores mais representativas na área, o que beneficia a delimitação de zonas para manejo específico. Esse procedimento é ainda mais eficiente, se houver no campo uma correlação da variabilidade espacial dos atributos do solo em profundidade. Ao observar os mapas dos atributos físicos do solo das camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, identifica-se que, apesar de na camada de 0,20-0,40 m haver dependência espacial da ARG e do Sil, ocorre mesmo padrão de distribuição espacial nas duas camadas para AF, Ds, R_{pLP} e $R_{p_{Rua}}$ (Figuras 11 e 12).

Há em subsuperfície (0,20-0,40 m) uma retratação inversa dos mapas de AG com ARG e, da mesma forma que em 0-0,20 m, entre AG e AF. Isso significa que, nas áreas com maior concentração de AG há uma menor de ARG e AF, confirmando as correlações negativas, já apresentadas.

O mapa da $D_{s(2)}$ apresenta distribuição espacial similar aos mapas de AG, AF e mais discretamente com o Sil, apesar de não verificar-se correlação $D_{s \times AG}$ nesta camada (Tabela 6). Mas essa correlação ocorre na camada de 0-0,20 m (Tabela 5). Com essas observações e o exame nos mapas de Ds, das duas camadas, identifica-se um aumento desta propriedade nas regiões com maiores teores da fração areia (AG e AF). Mesmo porque a metodologia da determinação da Ds desconsidera o efeito estrutural do solo e por a fração areia apresentar naturalmente maior Ds que as frações coloidais, conforme apresentado em Ferreira (2010).

A Ds, que não apresenta diferença estatística entre as camadas avaliadas, é representado nos mapas com valores predominantes entre 1,42 e 1,56 $kg\ dm^{-3}$.

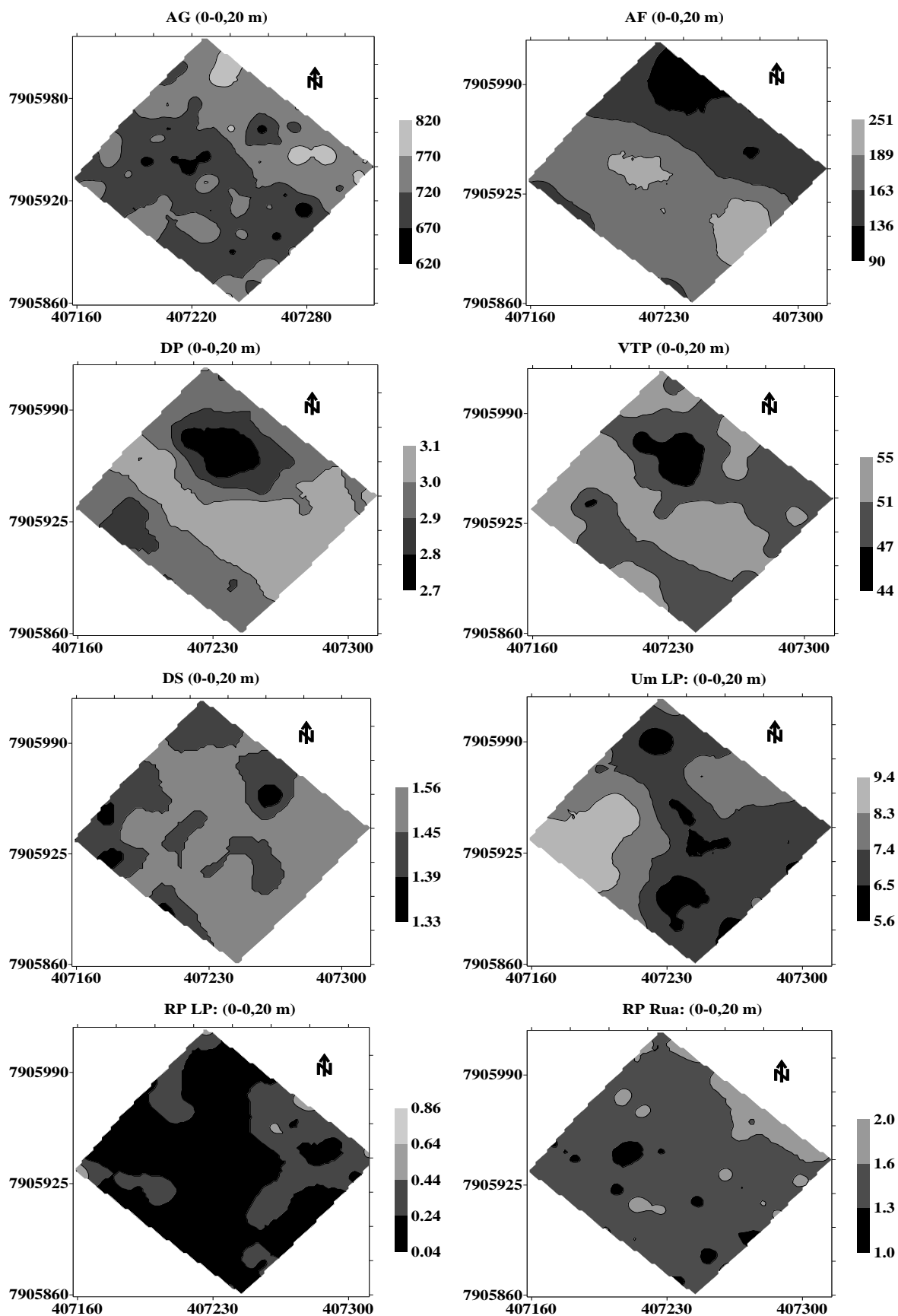


Figura 11 - Mapas temáticos dos atributos físicos do solo da camada de 0-0,20m₍₁₎: AG, AF (g kg^{-1}); Dp, Ds (kg dm^{-3}); RpLP, Rp_{Rua} (MPa); e UmLP, VTP (%).

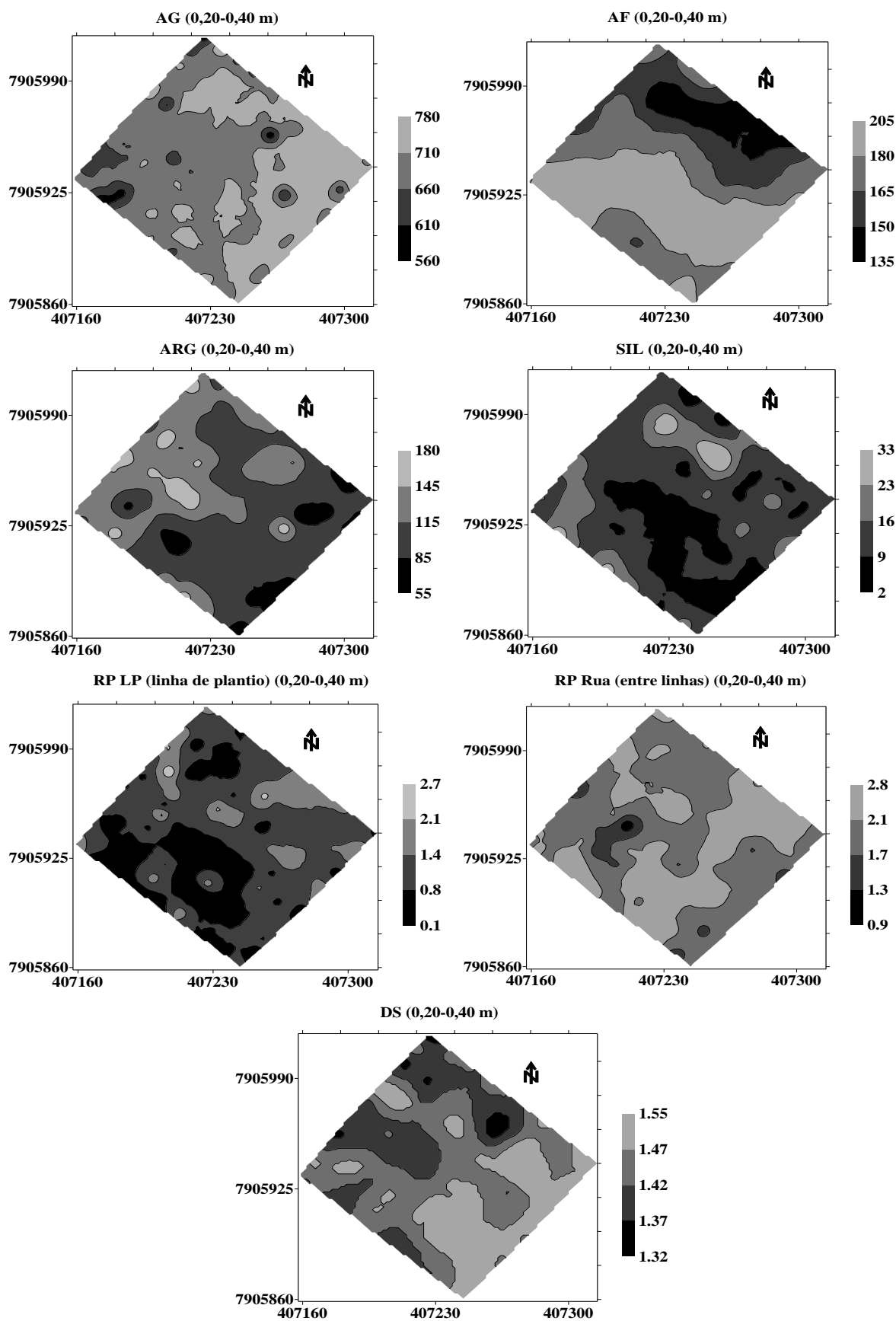


Figura 12 - Mapas temáticos dos atributos físicos do solo da camada de 0,20-0,40 m₂: AG, AF, Sil, ARG (g kg⁻¹); Ds (kg dm⁻³); e RpLP, RpRua (MPa).

Melo Filho et al. (2006) encontraram valores de D_s de 1,44 a 1,73 kg dm⁻³ no perfil de um Latossolo Amarelo coeso, em profundidade de 0,0 até maior que 0,40 m, com valores crescentes em camadas ricas em areia e que possuíram, conseqüentemente, maior R_p .

Os mapas da $R_{p_{Rua1}}$ e $R_{p_{Rua2}}$ apresentam a mesma região com os maiores valores de classe de compactação. A $R_{p_{Rua2}}$ apresenta aumento em valor e em área em relação à $R_{p_{Rua1}}$ (Figuras 11 e 12). Em subsuperfície com predomínio de R_p entre 1,7 a 2,1 Mpa, enquanto que na camada 0-0,20 m a maior área está entre 1,3 a 1,6 Mpa. A região apresentar maior compactação entre as camadas pode ser devido a uma região com caráter coeso mais pronunciado. A diferença dos valores de R_p entre a LP e a R_{ua} justifica-se pela realização da subsolagem apenas na LP e a permanência de trânsito de máquinas nas entrelinhas.

A resistência oferecida por este solo às raízes, na linha de plantio, não oferecem impedimento ao crescimento radicular do mamoeiro, sendo que a maioria dos autores tem publicado valores bem maiores que os identificados na área de estudo, para causar a redução da penetração das raízes, suprimento de água e nutrientes às plantas.

Miller (1988), Giarola e Silva (2002), citando Mullins (1997), e Dedeczek (2005) indicaram 3,0 MPa como o índice de resistência do solo à penetração capaz de causar dano ao crescimento radicular e limitar a emergência de sementes; Silva et al (1994) propuseram o valor de 2,0 MPa como limite crítico para as principais culturas. Já Canarache (1990), citado por Assis (2000), classifica como média a R_p entre 2,6-5,0 MPa, com algumas limitações para o crescimento radicular das culturas, sendo crítico maior que este intervalo. Silveira et al. (2010) utilizaram o valor de 2,5 MPa de R_p como sendo o limite crítico ao crescimento radicular. E em um Argissolo Amarelo distrocoeso cultivado com laranja no Recôncavo Baiano encontraram R_p maior que esse limite para a área, mesmo com o teor de umidade na capacidade de campo.

4.2.3.2 Mapas de atributos químicos do solo

Os mapas dos atributos químicos do solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m estão apresentados nas Figuras 13 a 16, em que se observa grande similaridade na distribuição espacial horizontal, em cada camada, e vertical, entre as camadas, para a maioria destes atributos, especialmente aqueles que apresentam alta correlação (Ca, pH, SB, t, T e Sat Ca). Evidenciando que o Ca é o atributo que influencia fortemente a distribuição espacial dos demais atributos a ele relacionados, por constituir-se elemento intrínseco de sua determinação, seja através de equações ou da sua reatividade e solubilidade no solo.

Os mapas dos atributos nas diferentes camadas refletem a característica do solo, os processos de seu preparo para o cultivo, os métodos de aplicação e homogeneização do calcário e dos fertilizantes, bem como a dinâmica da absorção pelo sistema radicular das plantas de mamoeiro. Isso é representado, por exemplo, por regiões que apresentam baixos teores de determinado atributo químico na camada 0-0,20 m e que tende a apresentá-lo também com baixos teores na camada 0,20-0,40 m. Mesmo que não seja identificada a contribuição de cada um desses fatores que interferem na distribuição espacial dos atributos químicos deste solo, é certo que eles ocorrem.

Portanto, como se sabe que a calagem é o principal aporte de Ca no sistema e que foi aplicado a lanço antes da aração, é possível afirmar que as etapas de preparo do solo, principalmente a subsolagem que rompe o solo a mais de 0,20 m de profundidade, permite que quantidades deste insumo atingissem a camada subsuperficial e influencia sem a química do solo nesta camada (0,20-0,40 m), refletindo na distribuição espacial dos demais atributos correlatos. O efeito dos cátions básicos no solo (Ca, Mg e K) sobre os cátions ácidos (Al e H), promove uma distribuição espacial parecida, mas inversa. Por isso, as áreas com baixos níveis de cátions básicos, principalmente Ca, há maior concentração dos teores de H+Al e da saturação de Al (m); e menores valores de pH. A saturação de Ca (Sat Ca) na CTC está em torno de 50% na área, nas duas camadas, e sua distribuição interfere na variabilidade do pH do solo, demonstrando sua importância.

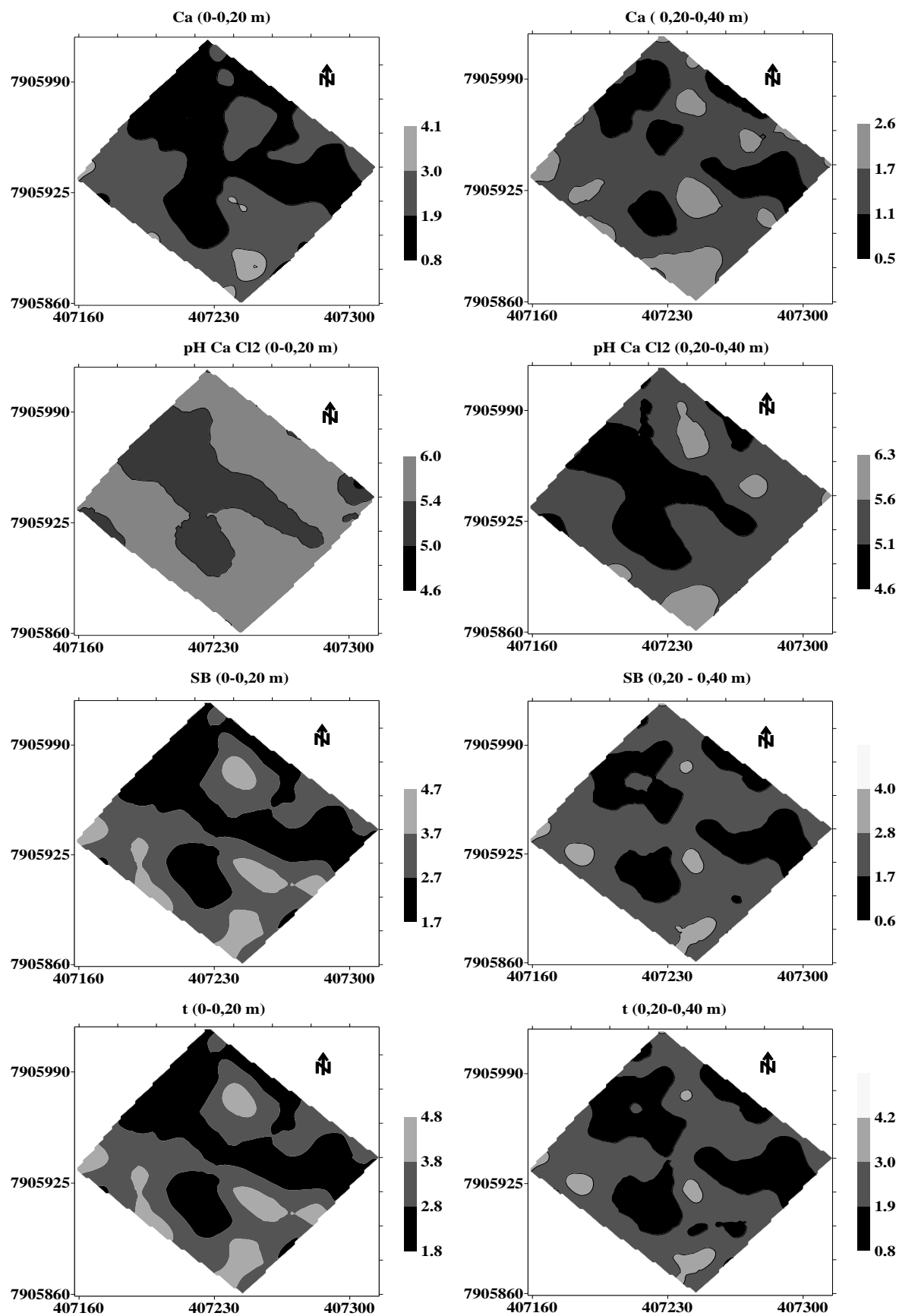


Figura 13 - Mapas temáticos dos atributos químicos do solo das camadas 0-0,20 m₍₁₎ e 0,20-0,40 m₍₂₎: Ca, SB, t (cmol_cdm⁻³) e pH (CaCl₂).

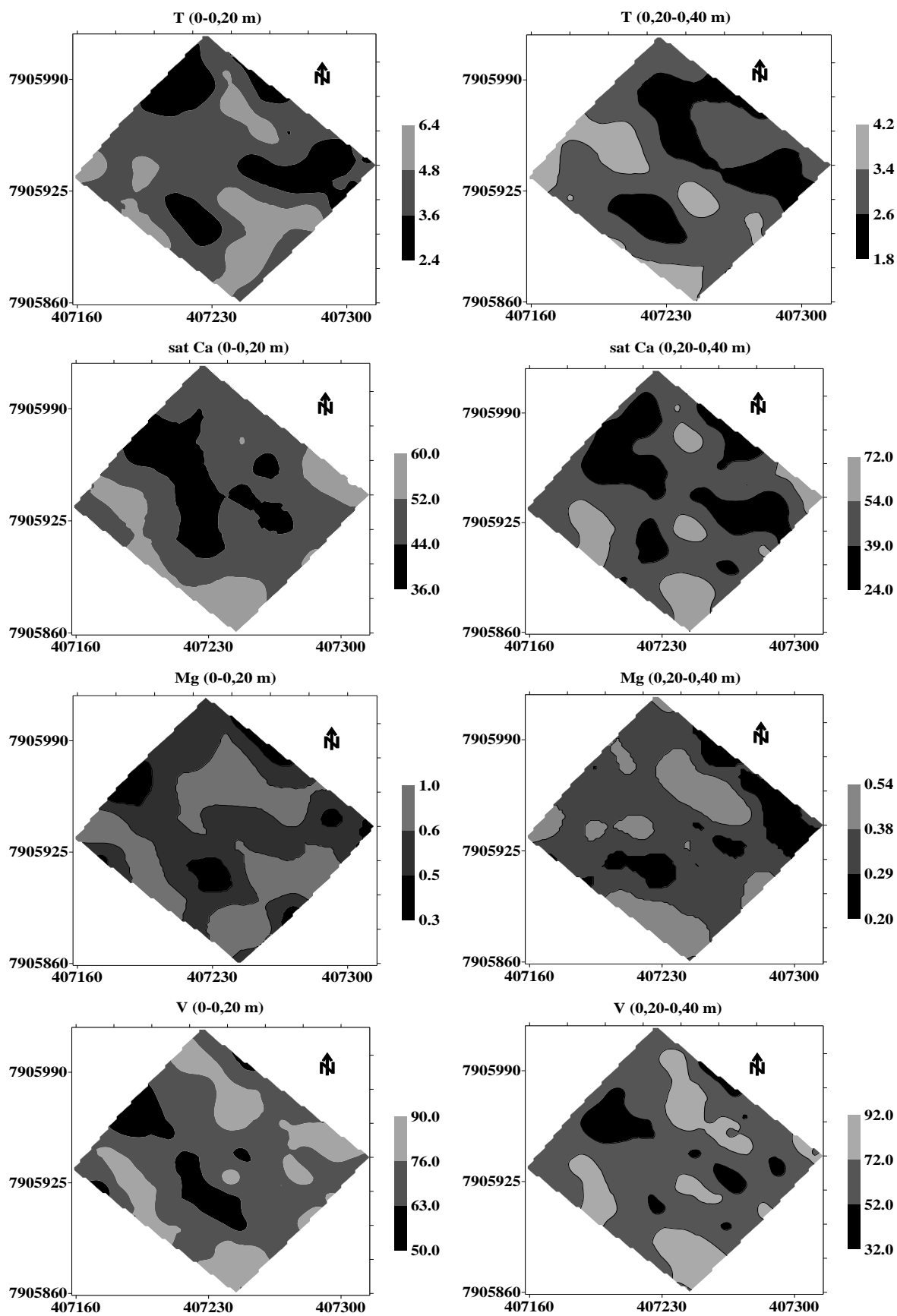


Figura 14 - Mapas temáticos dos atributos químicos do solo das camadas 0-0,20 m₍₁₎ e 0,20-0,40 m₍₂₎: T, Mg (cmol_c dm⁻³); e Sat Ca e V (%).

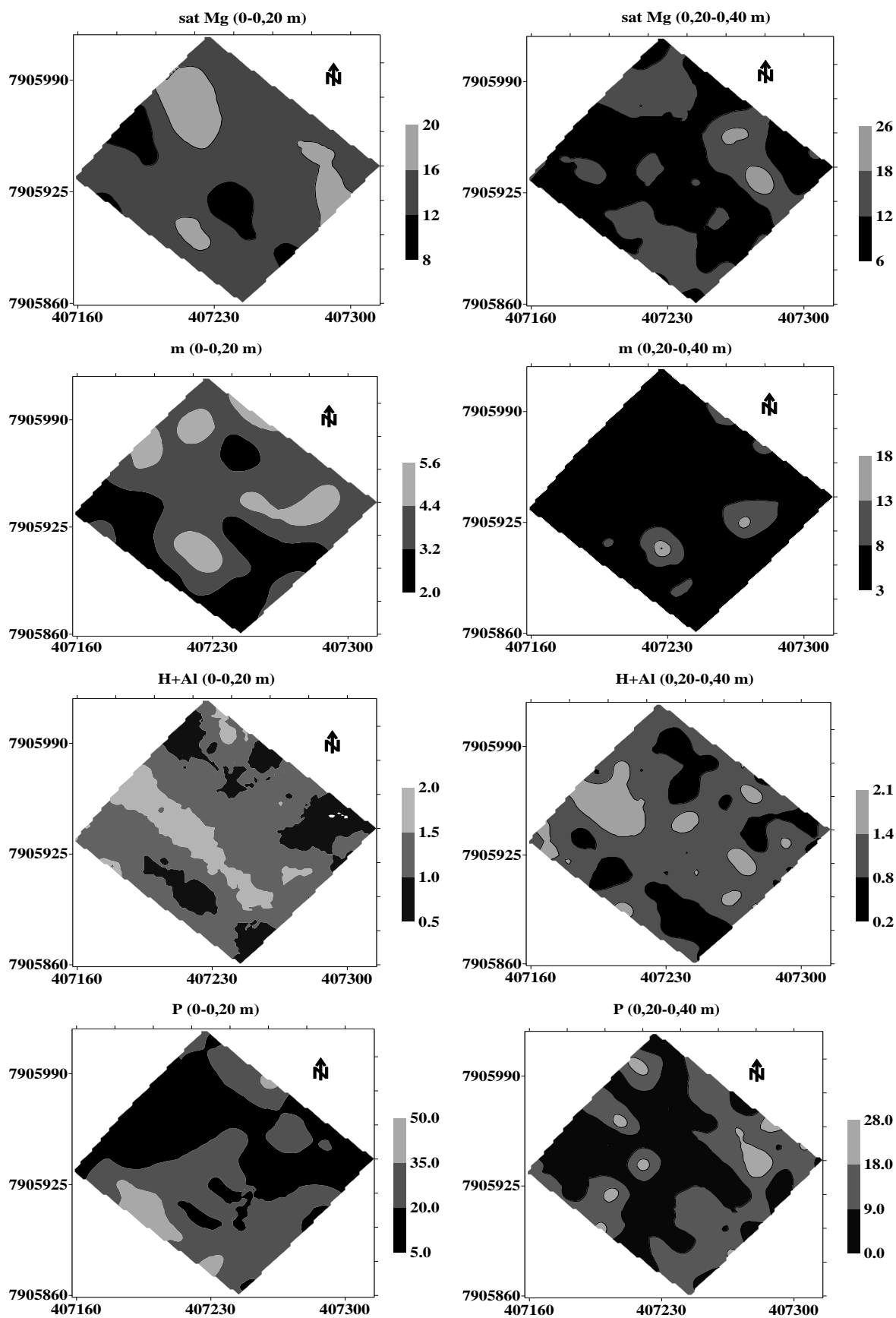


Figura 15 - Mapas temáticos dos atributos químicos do solo das camadas 0-0,20 m₍₁₎ e 0,20-0,40 m₍₂₎: Sat Mg, m (%); e H+Al (cmol_c dm⁻³) e P (mg dm⁻³).

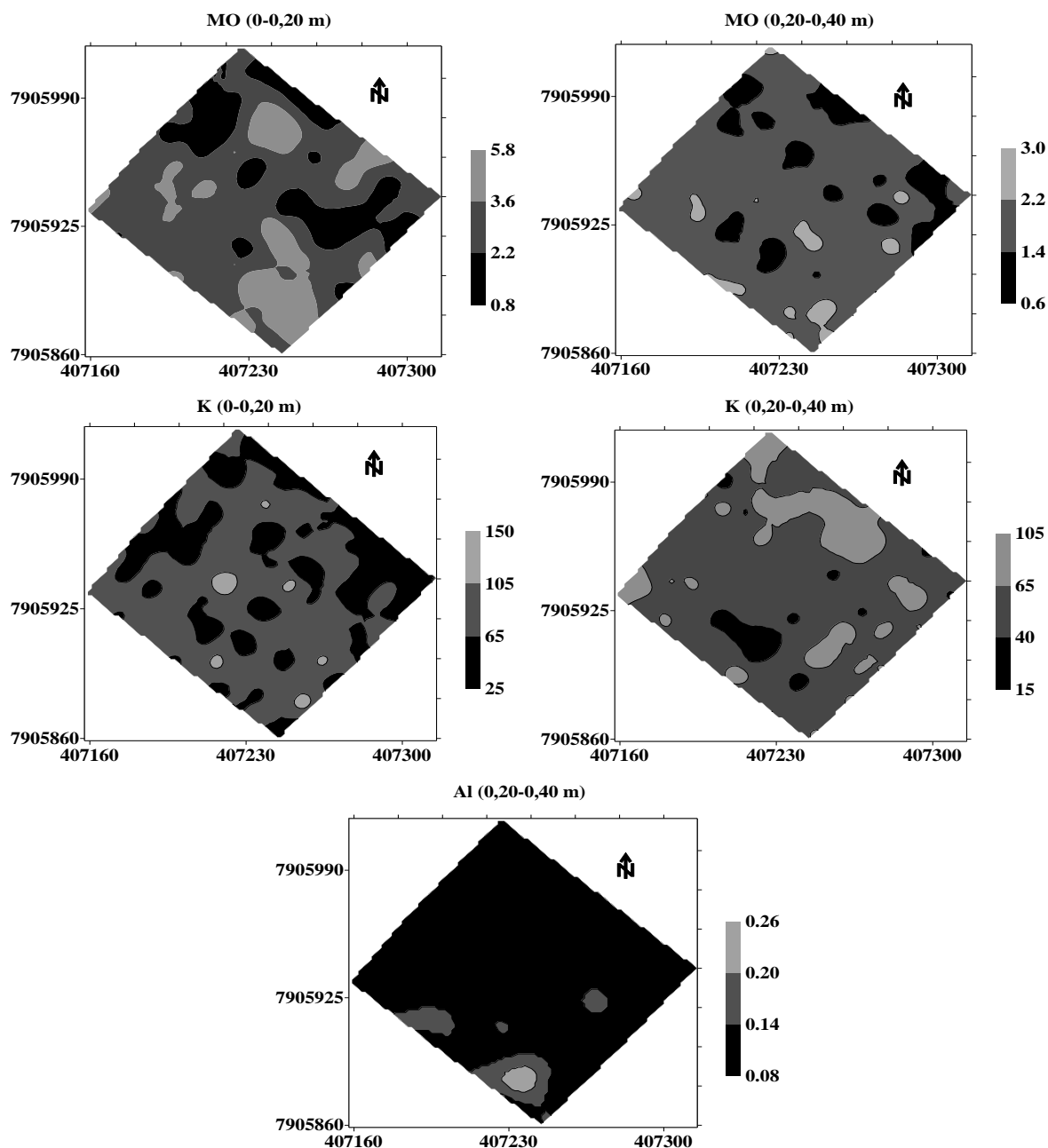


Figura16 - Mapas temáticos dos atributos químicos do solo das camadas 0-0,20 $m_{(1)}$ e 0,20-0,40 $m_{(2)}$: MO ($dag\ kg^{-1}$); e K ($mg\ dm^{-3}$) e Al ($cmol_c\ dm^{-3}$).

Os mapas dos atributos químicos do solo na camada 0,20-0,40 m são classificados em um menor nível de fertilidade do que na camada 0-0,20 m, com exceção do Al e sua saturação (m%), que apresentam aumento com a profundidade, conforme apresentado na Tabela 3. Portanto, há um nível de menor fertilidade em subsuperfície, podendo ser devido à menor influência do manejo.

O mapa do Ca na camada 0-0,20 (Figura 13) apresenta classe de valores de 0,8 a 3,0 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ em maior parte da área, enquanto em subsuperfície este valor varia de 0,5 a 1,7 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. No mesmo sentido, os mapas de Mg (Figura 14) apresentam regiões, predominantemente, com 0,5 a 1,0 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ (0-0,20 m) e 0,29 a 0,54 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ (0,20-0,40 m). Já os mapas de pH e H+Al (Figuras 13 e 15) apresentam classificação de teores mais próximos entre as camadas do solo. O pH varia, predominantemente, de 5,0 a 6,0 na camada de 0-0,20 m e de 5,1 a 6,3 em subsuperfície. O H+Al varia de 1,0 a 1,5 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ (0-0,20 m) e de 0,8 a 1,4 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ (0,20-0,40 m).

Carvalho, Silveira e Vieira (2002) encontraram grande variação quanto à dependência espacial das propriedades químicas no solo conforme o método e a profundidade de preparo. Os autores evidenciaram a importância de considerar a profundidade no estudo da dependência espacial.

Os mapas de P e K (Figuras 15 e 16) confirmam que estes são os atributos que apresentam maior variabilidade na área. Principalmente o K, que não apresenta correlação entre as camadas do solo, devido à grande variabilidade dos teores em cada região dentro da área de estudo. Na camada de 0-0,20 m, os teores predominantes na área variam de 65,0 a 105,0 mg dm^{-3} e na camada de 0,20-0,40 m de 40,0 a 65,0 mg dm^{-3} . O P, apesar da variabilidade, apresenta correlação vertical, predominando teores de 5,0 a 35,0 mg dm^{-3} (0-0,20 m) e 0,0 a 18,0 mg dm^{-3} (0,20-0,40 m). Portanto, em condição de recomendações de adubações para esta área haveria maior influência por parte do P e K, que do Ca e Mg. Schindwein e Anghinoni (2000) observaram o mesmo comportamento da variabilidade dos elementos químicos do solo entre diferentes camadas até 0,40 m, em oito áreas de plantio direto.

Lima et al. (2010) identificaram maior continuidade espacial para o P, ao contrário para o K, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico do norte capixaba. Enquanto que não obtiveram ajustes de dependência espacial para Ca e Mg, e atribuíram o acontecido aos métodos de aplicação realizados e à mobilidade desses elementos no solo. Zanão Júnior et al. (2010) tiveram grande variabilidade horizontal para os teores de P e K, demonstrando que principalmente o K não apresenta

padrão uniforme de comportamento no solo, ao mesmo tempo que o Ca e Mg apresentam mapas mais homogêneos.

4.2.3.3 Mapas de atributos de plantas de mamoeiro

Os mapas dos atributos das plantas de mamoeiro estão apresentados nas Figuras 17 e 18, em que se observa grande similaridade na representatividade espacial dos mapas de produtividade (Mg/ha), do número de frutos produzidos por planta (Nfrutos) e da massa de frutos produzidos por planta (Mfruto) ($r \geq 97,0\%$), condizente com os procedimentos de tomada da produção da lavoura, em que considera para a produtividade o número e a massa dos frutos produzidos por planta.

Em geral todos os atributos das plantas de mamoeiro se relacionam e influenciam, direta ou indiretamente, a produtividade (Tabela 11). A área que apresenta a menor produtividade, à esquerda do mapa, é a área onde produziu menor número de frutos por planta e com menor massa. Também é a área que apresentou plantas mais altas, com maior número de folhas e de botões florais, com menor diâmetro de copa (Comprimento da Copa) e menor circunferência do caule. Isso quer dizer que plantas menos estruturadas, ou com sintomas de estiolamentos, na fase inicial de desenvolvimento, são menos produtivas, ao menos na fase inicial.

Esse fato confirma que o produtor está correto ao adotar como sinônimo de plantas potencialmente produtivas, aquelas bem enfolhadas, não estioladas, com copa viçosa e expandida (CompCopa), plantas mais baixas (Altplanta), sem excesso de floração (NbotFlor), maior circunferência do caule (CircCaule), neste caso maior que 23,0 cm e que produzam maior número de frutos (Nfruto) com massa em torno de 0,40 kg (kg/fruto) (Figuras 17 e 18). A região à direita do mapa apresentou, além de melhor produtividade, plantas com características mais interessantes economicamente, o que pode estar diretamente relacionado aos efeitos dos vários atributos que o influenciam, tanto os medidos (físicos e químicos do solo), quanto àqueles relativos não medidos e muito variáveis, como o clima. Observa-se, com isso, uma resposta ao processo produtivo: uma área que indica duas regiões com

características predominantes para grande parte dos atributos. Uma do centro em direção à direita, e outra em direção oposta do mapa.

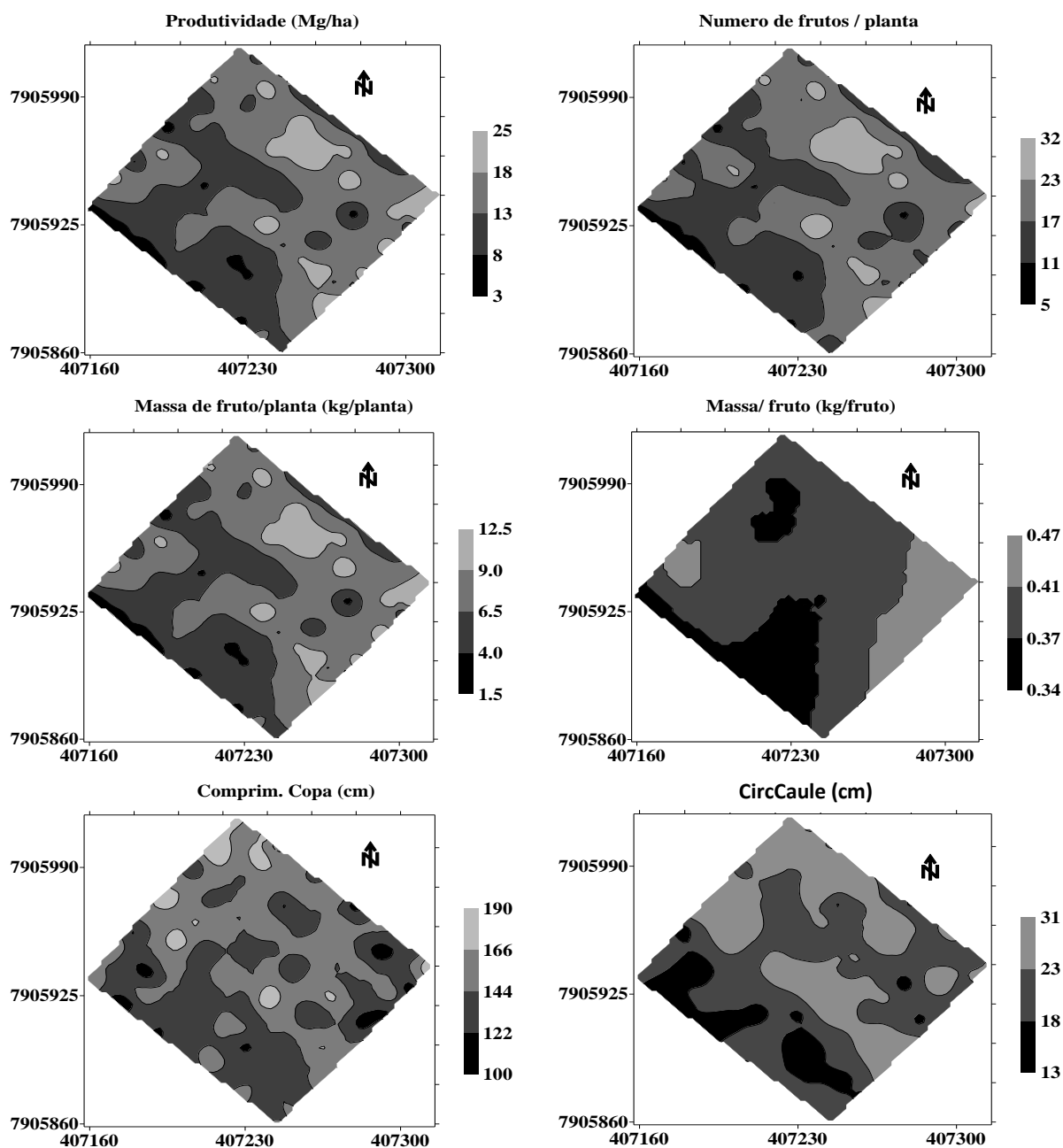


Figura 17 - Mapas temáticos dos atributos de plantas de mamoeiro: produtividade (Mg ha^{-1}); número de frutos por planta; Massa de frutos por planta (kg); massa médio dos frutos (kg); e comprimento da copa (cm) e circunferência do caule (cm).

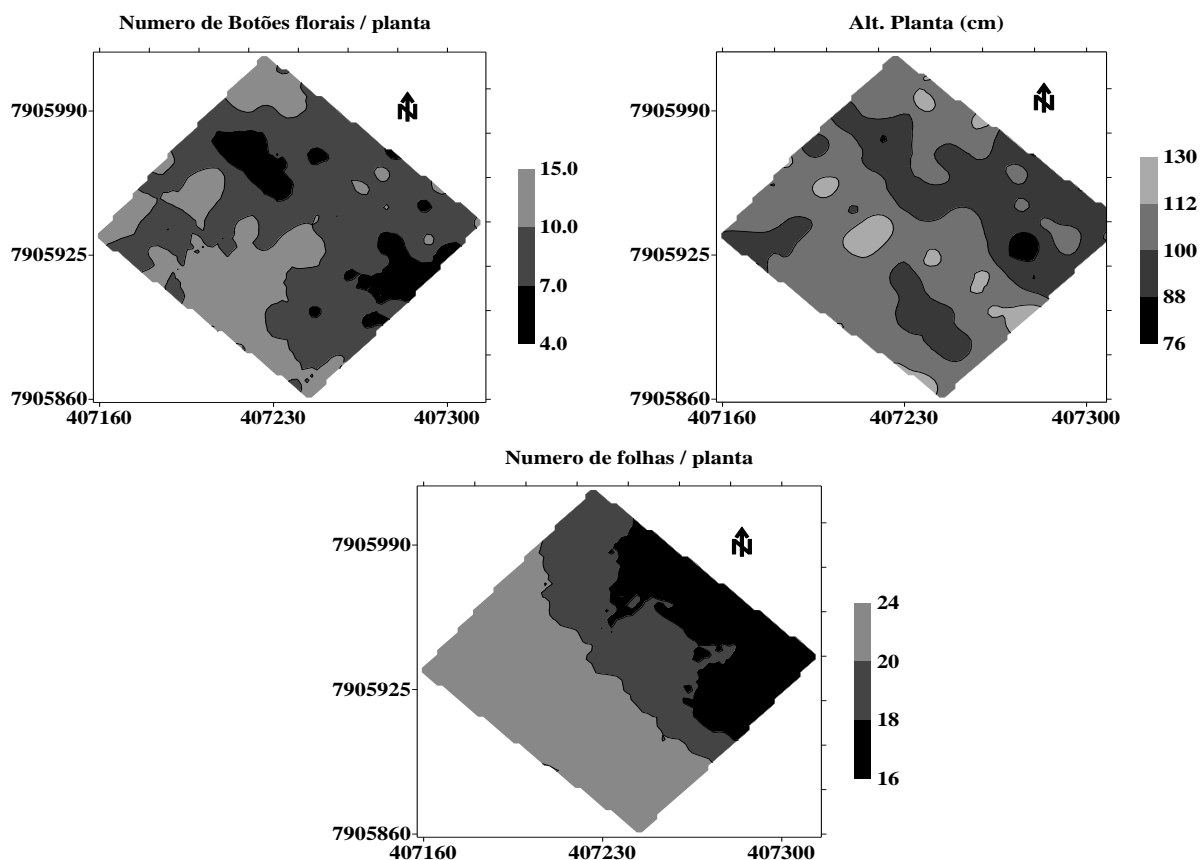


Figura 18- Mapas temáticos dos atributos de plantas de mamoeiro: número de botões florais por planta; altura média das plantas (cm); e número de folhas por planta.

Observa-se que o número de folhas por planta (Nfolhas), dentro da escala de 16 a 24 unidades, não influencia diretamente a produtividade. Já o número de botões florais por planta (NbotFlor) na fase de sexagem influencia diretamente a massa dos frutos (kg/fruto) (Figuras 17 e 18). Observa-se que a região sul apresenta maior NbotFlor que proporcionam frutos com menor massa, que por sua vez interfere negativamente na produtividade desta região.

Ao comparar os atributos de plantas de mamoeiro com os mapas dos atributos físicos do solo, observa-se o comportamento espacial da produtividade (Mg/ha) com baixa correlação negativa com a $Ds_{(1)}$ (Tabela 12), que por sua vez tem correlação positiva com AG (Tabela 5). Mas, de modo geral, a região que teve a maior produtividade, é justamente a região que apresenta o maior teor da fração AG e os menores teores dos atributos químicos do solo, principalmente na camada 0-0,20 m. Pode-se inferir que o sistema radicular das plantas da região com maior

produtividade absorve mais água e nutrientes do solo, como já mencionado anteriormente, podendo constituir-se efeito de correlações negativas entre os demais atributos de solo com a produtividade. Lima et al. (2010) identificaram em cultivo de pimenta-do-reino, no norte capixaba, ajustes parecidos para produtividade, pH e H+Al, indicando a associação com a disponibilidade de H e Al na solução do solo. Solos arenosos apresentam menor capacidade tampão, maior fator Intensidade que o fator quantidade, proporcionando maior disponibilidade e atividade dos íons nutrientes na solução do solo, facilitados pelos constantes turnos de rega, e que consequentemente favorecem sua absorção pelo sistema radicular das plantas (NOVAIS; MELLO, 2007). Importante exemplo desse processo ocorre com o P (VILLANI et al., 1993). Demonstrando o potencial produtivo de solos arenosos quando submetidos a manejo nutricional adequado (SANTOS et al., 2008).

Os mamoeiros absorvem altas quantidades de nutrientes, principalmente K, N, Ca e P (em menor quantidade), atingindo o máximo aos 12 meses de idade (OLIVEIRA et al., 2004), e demonstram as respostas positivas quanto a altura das plantas, ao diâmetro do caule, área foliar e produtividade, de acordo com os métodos avançados de manejo (SOUZA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2007; SOUZA et al., 2007).

Na camada de 0,20-0,40 m (Figura 12), observa-se maior relação da $Ds_{(2)}$ e da $RpLP_{(2)}$ com os mapas de alguns atributos biométricos das plantas de mamoeiro, em que o mapa de $Ds_{(2)}$ correlaciona-se negativamente com CircCaule, NbotFlor, CompCopa e LargCopa. Da mesma forma o mapa de $RpLP_{(2)}$ com CircCaule e Nfolhas. Apesar de predominar na área $RpLP_{(2)}$ de 1,4 MPa, não considerado prejudicial ao crescimento radicular das principais culturas, observa-se que há um indicativo de que a cultura do mamoeiro responde, negativamente, em condições que lhe dificulta o crescimento radicular, em condições de adensamento ou compactidade. Efeito semelhante ao encontrado para outras culturas muito mais estudadas. Por exemplo, Roque et al. (2008), apesar de identificarem baixa correlação da Rp com a produtividade de feijoeiro em sistema de plantio direto, observaram menor produtividade em áreas com maior Rp em duas safras consecutivas (2,79 a 5,32 MPa). Molin e Silva Júnior (2003) também observaram o mesmo efeito para a produtividade de milho e soja no Paraná, tendo os maiores índices de Rp com o decréscimo no teor de areia, que variaram de 1,5 a 2,5 MPa.

Logo, é importante que o solo seja essencialmente profundo e bem estruturado, evitando solos muito argilosos. Argissolos, como é o caso, necessitam de passar por procedimentos de adequação ao cultivo do mamoeiro, como os procedimentos de subsolagem, confecção de camalhões (amontoa após sexagem) e drenagem da área, conforme descrito por Salgado e Costa (2003). Afinal, lavouras de mamoeiro do grupo Solo, irrigadas e de média a alta produtividade (>60t/ha/ano), exigem cuidados mais específicos com o manejo.

Mas há de se destacar que o sucesso da produtividade também é uma variável das condições edafoclimáticas, que dificultam a definição exata dos fatores associados à resposta produtiva das culturas (MOLIN; SILVA JÚNIOR, 2003). Por isso é importante conhecer a variabilidade espacial das propriedades e características do solo, que são passíveis de ajuste ao manejo e proporciona a maximização da atividade agrícola. Demonstrando que a heterogeneidade do solo apresenta diferentes potenciais dentro de um mesmo campo (GOMES et al., 2008).

5 CONCLUSÕES

A maior parte dos atributos de solo e de plantas de mamoeiro apresentam dependência espacial, ajustados principalmente aos modelos esférico e exponencial. Apenas não há estrutura de dependências espacial para Al^1 , $Sat K^{1e2}$, Sil^1 , ARG^1 , $UmRua^{1e2}$, Dp^2 , $UmLP^2$, VTP^2 , $Altflor$, $LargCopa$ e $Altfruto$.

Os mapas de distribuição espacial dos atributos de solo e de plantas de mamoeiro permitem interpretação visual de seu comportamento na área e correspondem às correlações existentes entre os atributos, indicando condições aptas à adoção de um sistema de AP neste tipo de cultivo na área.

Há de baixas a altas correlações de dependência vertical, no perfil do solo, para os seguintes atributos físicos do solo: Ds , ARG , $RpLP$, $RpRua$, Sil e VTP . Para os atributos químicos não há este comportamento apenas para K , Al e $Sat K$.

As frações granulométricas do solo, areia e argila, são os atributos que mais constituem correlação com os demais atributos e demonstram ser a principal influência da dinâmica físico-química deste Argissolo Amarelo distrocoeso.

Há poucas correlações dos atributos do solo com os atributos biométricos e a produtividade do mamoeiro para o estágio avaliado.

Há correlação positiva entre a produtividade inicial do mamoeiro com características biométricas ideais para as plantas de mamoeiro: maior circunferência dos caules, bom recobrimento foliar, reduzida altura de colheita dos primeiros frutos, maior número e massa dos frutos produzidos por planta.

A camada de 0-0,20 m apresenta condições de fertilidade do solo satisfatórias ao desenvolvimento do mamoeiro, até a fase de sexagem, é importante para a constituição de plantas com características biométricas com maior potencial produtivo.

O sistema de preparo de solo adotado para o cultivo do mamoeiro permite um bom desenvolvimento para a cultura e interfere no comportamento vertical dos atributos do solo, mais expressivamente até a camada de 0,20 m.

6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C.F.P.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J. **Estimativa da distribuição espacial de retenção de água em um solo utilizando Krigagem indicatriz**. Curitiba: UFPR, 1996. 37p.
- ALMEIDA, F.T.; BERNARDO, S.; SOUZA, E.F.; MARIN, S.L.D.; GRIPPA, S. Growth and yield of papaya under irrigation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.3, p.419-424, 2003a.
- ALMEIDA, F.T.; MARINHO, C.S.; SOUZA, E.F.; GRIPPA, S. Expressão sexual do mamoeiro sob diferentes lâminas de irrigação na região norte fluminense. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p.383-385, 2003b.
- ANDRIGUETO, J. R.; KOSOSKI, A. R. Desenvolvimento e conquistas da produção integrada de frutas no Brasil. In: MARTINS, D. S. (Ed). **Papaya Brasil: qualidade do mamão para o mercado interno**. Vitória: INCAPER, 2003. p. 95-128.
- ANDRIOTTI, J.L.S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Ed.Unisinos, 2003. 165p.
- ALVES. F. L. A cultura do mamão *Carica papaya* L. no mundo, no Brasil e no Espírito Santo. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F. S. (Eds). **A cultura do mamoeiro: Tecnologias de Produção**. Vitória: INCAPER, 2003. p.13-33.
- ALVES. F.L.; PACOVA, B.E.V.; GALVEAS, P.A.O. Seleção de plantas matrizes de mamão, grupo solo, para produção de sementes. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F. S. (Eds). **A cultura do mamoeiro: Tecnologias de Produção**. Vitória: INCAPER, 2003. p.105-115.
- ASSIS, R. L. Conhecimentos básicos em física do Oslo e suas aplicações. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 17., 2000, Cascavel. Apostila.
- AZEVEDO, E. C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico de degradação de um Argissolo sob pastagem no estado do Mato Grosso**. 2004. 158f. Tese de Doutorado. Faculdade de engenharia agrícola de Campinas, Campinas. 2004.
- BARBIERI, D. M.; MARQUER JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p.645-653, 2008.
- BOTEON, M. Desafios da fruticultura e o mercado de mamão. In: MARTINS, D. S. (Ed). **Papaya Brasil: Mercado e inovações tecnológicas para o mamão**. Vitória: INCAPER, 2005. p.15-21.
- BRAGA, L. P. V. Geoestatística e aplicações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 9., 1990, São Paulo. **Apostila....**São Paulo: Universidade de São Paulo, 1990. 36p.
- BRAPEX. **Exportação de mamão: O Brasil em destaque em 2007**. Disponível em 2007: <http://www.brapex.net/index_1024.asp>. Acesso em: 21 set. 2011

BUAINAIN, A.M.; BATALHA, M.O. (Coord.). **Cadeia Produtiva de frutas**. Série agronegócios, v.7. Brasília: IICA/MAPA/SPA. 2007, 102p.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Fieldscale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 37, n. 8, p.1151-1159, 2002.

CARVALHO, J. E. B. de; LOPES, L. C.; ARAUJO, A. M. de A.; SOUZA, L. da S.; CALDAS, R. C.; DALTRO JUNIOR, C. A.; CARVALHO, L. L. de; OLIVEIRA, A. A. R.; SANTOS, R. C. dos. Leguminosas e seus efeitos sobre propriedades físicas do solo e produtividade do mamoeiro "Tainung 1". **R. Bras. de Frutic.**, Jaboticabal, v. 26, n.2, p.335-338. 2004.

CARVALHO, L.A.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C.A.; CAVALIERI, K.M.V.; SANTOS, C.F.B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.9, p.940-949, 2011.

CASTILHOS, R. M. V. **Suprimento de potássio em solos cultivados com arroz irrigado e sua relação com mineralogia: formas e cinética de liberação**. 1999. 175f. Tese de Doutorado. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1999.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 31, p.1329-1339, 2007.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Revista Hortifruti Brasil**. Disponível em <www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil>. Acesso em 30 jul. 10.

CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do tabuleiro costeiro. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v.55, n.3, p.367-378, 1998.

CINTRA, F. L. D.; PORTELA, J.C.; NOGUEIRA, L.C. Caracterização física e hídrica em solos dos tabuleiros costeiros no distrito de irrigação Platô de Neópolis. **R. Bras. Eng. Agrícola e Amb.**, Campina Grande, v.8, n.1, p. 45-50. 2004.

CINTRA, F. L. D. Reflexões sobre o efeito dos horizontes coesos no movimento de água no solo e na distribuição do sistema radicular. In: MARTINS, D. dos S.(Ed). **Papaya Brasil: mercado e inovações tecnológicas para o mamão**. Vitória: INCAPER, 2005, p.103-107.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. H. V. **Tópicos em ciência do solo**. Vol. 3. Viçosa: SBCS, 2003, 249p.

COELHO, E.F.; SANTOS, M,R.; COELHO FILHO, M.A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizada em Latossolo de tabuleiros costeiros. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p.175-178, 2005.

COELHO, E.F.; SIMÕES, W.L. Produtividade do mamoeiro, cultivar tainung n. 1, sob diferentes manejos de irrigação nos tabuleiros costeiros do nordeste. **Magistra**, Cruz das Almas, v.22, n.1, p.35-40, 2010.

CORÁ, J. E; ARAUJO, A.V; PEREIRA, G. T; BERALDO, J. M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.28, p.1013-1021, 2004.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C.P. Caracterização física, química, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente tabuleiros costeiros. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.32, p.297-313, 2008.

COSER, S.M.; MESQUITA, L. F.; RAMOS, R. R.; ANDRADE, F. V. Análise textural do solo utilizando métodos de dispersão física com agitação lenta e rápida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais eletrônicos...** Gramado: SBCS, 2007.

COSTA, A. de F. S.; COSTA, A.N. da.; BARRETO, F. C.; ZUFFO, V.J. Plantio, formação e manejo da cultura. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F. S. (Eds). **A cultura do mamoeiro: Tecnologias de Produção**. Vitória: INCAPER, 2003. 497p.

COSTA, A. de F. S.; PACOVA, B. E. V. Caracterização de cultivares, estratégias e perspectivas do melhoramento genético do mamoeiro. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F. S. (Eds). **A cultura do mamoeiro: Tecnologias de Produção**. Vitória: INCAPER, 2003. p. 59-103.

COSTA, A.N. da; COSTA, A. de F.S. da. Nutrição e Adubação. In: MARTINS, D. dos S. (Ed). **Papaya Brasil: qualidade do mamão para o mercado interno**. Vitória: INCAPER, 2003a, p.201-225.

COSTA, A.F.S. da; COSTA, A.N. da. Distribuição do sistema radicular do mamoeiro em solos de tabuleiros costeiros. In: MARTINS, D. dos S. (Ed). **Papaya Brasil: qualidade do mamão para o mercado interno**. Vitória: INCAPER, 2003b, p.395-400.

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

CUNHA, J.P.A.R.; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Eng. na Agricultura**, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.

DAMPNEY, P.M.R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: current practice and research-based advice to framers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul. **Proceedings...**Madison: American Society of Agronomy, 1999. Part A, p. 661-73.

EHLERS, E. **Agricultura sustentável: Origens e perspectivas de um novo paradigma**. São Paulo: Livros da Terra, 1996. 178p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço nacional de levantamento e conservação de solo**. Mapa de solos do Brasil. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1981.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPSo. 2006, 306p.

FAO -FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.Statistical Databases.Disponível em: <http://www.fao.org/waicent/portal/statistics_en.asp>. Acesso em: 25 jun. 2011.

FOLEGATTI, M.V. **Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso**, 1996. 84f. Tese (Livre - Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. In: van LIER, Q.J. (Ed). **Física do solo**. Viçosa: SBCS, 2010. p.1-27.

FONSÊCA, M. H. P.; GERRA, H. O. C.; LACERDA, R. D.; BARRETO, A. N. Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos tabuleiros costeiros, Sergipe. **R. Bras. Eng. Agrícola e Amb.**, Campina Grande, v.11, n.4, p.368–373, 2007.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. Conceitos sobre solos coesos e *hardsetting*.**Scientia Agrícola**, v.59, n.3, p.613-620, 2002.

GOMES, J.B.V.; BOLFE, E.L.; CURI, N.; FONTES, H.R.; BARRETO, A.C.; VIANA, R.D. Variabilidade espacial de atributos de solos em unidade de manejo em área piloto de produção integrada de coco. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, n.32, p.2471-2482, 2008.

GUERRA, P. A. Geoestatística operacional. Brasília: Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral, 1988. 145p.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. UFU/FAMAT. Núcleo de estudos estatísticos e biométricos, Uberlândia, 2004. 77P.

GRECO, C.R.; VIEIRA, R.S.. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **R. Bras. Ci. solo**. Viçosa, v.29, n.2, p.169-177, 2005.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de recuperação automática–SIDRA**. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp>>. Acesso em: 10 jun. 2011a.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA . **Sistema IBGE de recuperação automática–SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P>>. Acesso em 04 out. 2011b.

INCAPER-INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Desenvolvimento da Agricultura**. Vitória: Revista do Incaper, n.1, 2010. Disponível em: <<http://incaper.web407.uni5.net/revista.php?idcap=978>>. Acesso em 04 out. 2011.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **Applied geostatistics**: Introduction to applied geostatistics. Oxford: University Press, 1989. 561p.

JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS

DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas. **Anais...** Aracaju : Embrapa-CPATC, 1996.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.19-46.

JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, Ch. J. **Mining geostatistics**. Academic Press, London, 1978. 600p.

KERRY, R.; OLIVER, M.A. Determining the effect of asymmetric data on the variogram. II. Outliers. **Computers & Geosciences**, v. 33, p.1233-1260, 2007.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1979. 264p.

KITAMURA, E. A. **Inter-relações da variabilidade especial da granulometria do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - UNESP, Ilha Solteira, 2004.

KUTTER, T.; TIEMANN, S.; SIEBERT, R.; FOUNTAS, S. The role of communication and co-operation in the adoption of precision farming. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 2-17, 2011.

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118p.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: UNESP, 1998. 226p.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. Texto Didático 06. Departamento de Geologia Aplicada – IGCE, 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acessado em maio de 2011.

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

LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; JACOMINE, P.T.K.; ROMERO, R.E.; LIBARDI, P.L. Identificação e caracterização de solos coesos no estado do Ceará. **R. Bras. Ci. Solo**, v.28, p.467-476, 2004.

LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; ROMERO, R.E.; JACOMINE, P.K.T. Comportamento físico de um Argissolo Acizentado coeso no estado do Ceará. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.29, p. 33-40, 2005.

LIMA, J.A.G.; MENDES, A.M.S.; DUDA, G.P.; FERREIRA, C.V. Variabilidade espacial de características físico-hídricas de um Cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do RN. **Caatinga**, Mossoró, v.19, n.2, p.192-199, 2006.

LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, R. B. de; QUARTEZANI, W. Z. Variabilidade de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob cultivo de pimenta-do-reino. **Eng. na Agricultura**, Viçosa, v.15, n.3, p.290-298, 2007.

LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, P.C.; OLIVEIRA, R.B.; XAVIER, A.C. Métodos geoestatísticos no estudo da resistência do solo à penetração em trilha de tráfego de tratores na colheita de madeira. **R. Árvore**, Viçosa, v.32, n.5, p.931-938, 2008.

- LIMA, J.S.S.; OLIVEIRA, R.B.; ROCHA, W.; OLIVEIRA, P.C.; QUARTEZANI, W.Z. Análise espacial de atributos químicos do solo e da produção da cultura pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.). **Idesia**, Chile, v.28, n.2, p.31-39, 2010.
- LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M.; SOUZA-JÚNIOR, V.S.; ARAÚJO FILHO, J.C.; LIMA, J.F.W.F. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de Latossolos e Argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.34, p.473-486, 2010.
- LIMA, J.S.S.; SOUZA, G.S.; SILVA, S.A. Distribuição espacial da matéria orgânica em área sob vegetação natural em regeneração e em área de pastagem. In: SIMPÓSIO DE GEOESTATÍSTICA APLICADA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 2., 2011, Botucatu, SP. **Anais...**
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e perspectivas**. 2ª Ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MANTOVANI, E.C.; QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. da. (Coord.). **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas : UFLA/SBEA, 1998. p.109-157.
- MARINHO, C.S.; MONNERAT, P.H.; CARVALHO, A.J.C.; MARINS, S.L.D.; VIEIRA, A. Análise química do pecíolo e limbo foliar como indicadora do estado nutricional dos mamoeiros “solo” e “formosa”. **Scientia Agricola**, v.59, n.2, p.373-381, 2002.
- MARQUES JÚNIOR, J.; LEPSCH, I.F. Depósitos superficiais Neocenozóicos, superfícies geomórficas e solos em Monte Alto, SP. **Geociência**, São Paulo, v.19, n.2, p.265-281, 2000.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Econ. Geology**, v.58, p.1246-1266, 1963.
- MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F. S. (Eds). **A cultura do mamoeiro: Tecnologias de Produção**. Vitória: INCAPER, 2003.
- MELO FILHO, J.F.; OLIVEIRA, A.S.; LOPES, L.C.; VELLAME, L.M. Análise estatística exploratória e variabilidade da densidade do solo em um perfil de Latossolo Amarelo coeso dos tabuleiros costeiros da Bahia. **Ciênc.agrotec.**, Lavras, v. 30, n. 2, p.199-205, 2006.
- MILLER, M.P.; SINGER, M.J.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.52, n.4, p.1133-1141, 1988.
- MOLIN, J. P. Geração e Interpretação de Mapas de Produtividade para Agricultura de Precisão. In: BOREM, A.; DEL GIUDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, L. (Org.). **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, 2000, p. 237-258.
- MOLIN, J.P.; SILVA JÚNIOR, R.L. da. Variabilidade espacial do índice de cone, correlacionada com textura e produtividade. **Eng. Rural**, v.14, p.49-58, 2003.
- 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.; MASCARIN, L. S.; VIEIRA JÚNIOR, P. A. Avaliação de intervenções em unidades de aplicação localizada de fertilizantes e de populações de milho. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.528-536, 2006.

- MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2010. 83p.
- MOREAU, A.M.S.S.; KER, J.C.; COSTA, L.M.; GOMES, F.H. Caracterização de solos de duas topossequências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v. 30, p.1007-1019, 2006.
- NASCIMENTO, G. B. **Caracterização dos solos e avaliação das propriedades edáficas em ambiente de tabuleiro costeiro da região norte fluminense (RJ)**. 2001. 162f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.
- NISHIMURA, H.; MIGUEL, D. S. Demandas e exigências do mercado nacional de mamão quanto a logística e qualidade. In: MARTINS, D. dos S. (Ed). **Papaya Brasil: qualidade do mamão para o mercado interno**. Vitória: INCAPER, 2003, p.79-84.
- NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007, p.133-204.
- NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007, p.470-550.
- OLIVEIRA, A.M.G.; SOUZA, L.F.S.; RAIJ, B.V.; MAGALHÃES, A.F.J.; BERNARDI, A.C.C. Nutrição, calagem e adubação do mamoeiro irrigado. **Circular Técnica 69: EMBRAPA/MAPA**, Cruz das Almas, 2004. 10p.
- OLIVEIRA, A.M.G.; CALDAS, R.C. Produção do mamoeiro em função de adubação com nitrogênio, fósforo e potássio. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p.160-163, 2004.
- OLIVEIRA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. 129 f. Dissertação(Mestrado em Produção Vegetal)-Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.
- OLIVEIRA, A. M. G.; CALDAS, R. C.; MEDINA, V. M.; OLIVEIRA, G. X. S.; QUADROS, W. S. Desenvolvimento vegetativo e qualidade dos frutos de mamoeiro Sunrise Solo em função de doses de nitrogênio, fósforo e potássio. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 19, p. 69-75, 2007.
- OLIVEIRA, R. P. de. Agricultura de Precisão: A tecnologia da informação em suporte ao conhecimento agrônômico clássico. **R. Tecnologia e Cultura**, Rio de Janeiro, n.15, p.63-71, 2009.
- OLIVEIRA, T. C. A.; MOLIN, J. P. Uso de piloto automático na implantação de pomares de citros. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.2, p.334-342, 2011.
- PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.V.; COSTA, L.M.; SANTOS, B.C.M. Características químicas e físicas de um Argissolo submetido a diferentes usos agrícolas. **Ceres**, Viçosa, 2007.
- PRADO, R.M.; NATALE, W. **Nutrição e adubação do mamoeiro no Brasil**. Uberlândia: EDUFU, 2010. 124p.

PREZOTTI, L.C; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. (Eds). **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5ª aprox. Vitória: INCAPER, 2007. 305p.

QUEIROZ, D. M.; PINTO, F.A.C; ZANDONADI, R.S.; EMERICH,I.N.; SENA JUNIOR, D.G. Uso de Técnicas de Agricultura de Precisão para a Cafeicultura de Montanha. In: ZAMBOLIM.(Ed.) **Efeitos da Irrigação sobre a Qualidade e Produtividade do Café**. Viçosa, p.77-108, 2004.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R.; LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **R. Bras. Ci. Solo**. Campinas, v.10, n.1, p.1-6, 1986.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478p.

REZENDE, J.A. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Série Estudos Agrícolas, 1. Salvador: SEAGRI-SPA. 2000, 117p.

RESENDE, M; CURI, N; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 2002. 338p.

RIBEIRO, L.P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas. **Anais...** Aracaju : Embrapa-CPATC, 1996. p.27-35.

RIBEIRO, L. P. **Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: Gênese, evolução e degradação**. Salvador: SEPLANTEC/CADCT, 1998. 98p.

ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User´s Guide**. Plainwell, Gamma Desing Software, 2000. 152 p.

ROBERT, P. C. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. **Plant and Soil**, Netherlands, n.247, p.143-149, 2002.

ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. Geoprocessamento.In: SILVA, F.M.: **Mecanização e Agricultura de Precisão**. Poços de Caldas, p.1-30, 1998.

ROQUE, M.W.; MATSURA, E.E.; SOUZA, Z.M.; BIZARI, D.R.; SOUZA, A.L. Correlação linear entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.32, p.1827-1835, 2008.

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

RUGGIERO, C.; GOTTARDI, M. V. C.; SANTOS, S. C.; MENEGUCI, R. F. S. Situação da cultura do mamoeiro no Brasil. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F. S. (Eds). **A cultura do mamoeiro: Tecnologias de Produção**. Vitória: INCAPER, 2003. p. 37- 55.

SALGADO, J.S.; COSTA, A.N. Solos cultivados com mamão. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F. S. (Eds). **A cultura do mamoeiro: Tecnologias de Produção**. Vitória: INCAPER, 2003. p.117- 125.

SANTOS, D.M.B. Efeitos da subsolagem mecânica sobre a estrutura de um solo de tabuleiro no município de Cruz das Almas, 1992. **Dissertação** (Mestrado)- Bahia Instituto de geociências da UFBA, Cruz das Almas, 1992.

- SANTOS, F. C.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; FORLONI, J.M.; ALBUQUERQUE FILHO, M.R.; KER, J.C. Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de soja cultivadas em solos de cerrado com diferentes texturas. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.2015-2025, 2008.
- SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v.24, p.85-91, 2000.
- SILVA JÚNIOR, R. L. de. **Variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com mapas de produtividade**. 2001. 132f. Dissertação (Mestrado). ESALQ/USP. Piracicaba, 2001.
- SILVA, F. C. (Org.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília:DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.
- SILVA, J.M.; LIMA, J.S.S.; MADEIROS, L.B.; VIEIRA, A.O. Variabilidade espacial da produtividade da soja sob dois sistemas de cultivo no cerrado. **Eng. Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.6, n.2, p.397-409, 2009.
- 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. **Eng. agricultura**, Viçosa, v.17, n.5, p.337-345, 2009.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S. Estudo da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico sob cultivo de café arábica por meio de geoestatística. **Ceres**, Viçosa, v.57, p.560-567, 2010.
- SILVA, S. A; LIMA, J.S.S.; XAVIER, A.C.; TEIXEIRA, A. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.34, p.15-22, 2010a.
- SILVA, M.M.; BROETTO, S.G.; VALBÃO, S.C.; COSTA, A.F.S.; SILVA, D.M. Características vegetativas e de frutos de mamoeiro obtidos por seleção massal. **Semina: C. Agrárias**, Londrina, v.31, n. 1, p.29-38, 2010b.
- SILVA, C.B.; MORAES, M.A.F.D.M.; MOLIN, J.P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. **Precision Agriculture**, n.12, p.67-81, 2011.
- SILVEIRA, D.C; MELO FILHO, J.F.; SACRAMENTO, J.A.A.S.; SILVEIRA, E.C.P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.34, p.659-667, 2010.
- SIMPÓSIO DO PAPAYA BRASILEIRO, 5., 2011, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: CNPMF/EMBRAPA, 2011. CD Room.
- SOUZA, L.S. Aspectos sobre o uso e manejo dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. **B. Info. SBCS**, v.22, p.34-39, 1997.
- SOUZA, E. A.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. S.; COELHO FILHO, M. A. Crescimento e produtividade do mamoeiro fertirrigado com fósforo por gotejamento superficial e subsuperficial. **R. Bras. Frutic.**, v.27, n.3, p.495-499, 2005.
- SOUZA, T.V.; PAZ, V.P.S.; COELHO, E.F.; PEREIRA, F.A.C.; LEDO, C.A.S. Crescimento e produtividade do mamoeiro fertirrigado com diferentes combinações de fontes nitrogenadas. **Irriga**, Botucatu, v.12, n.4, p.563-574, 2007.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.; V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007, p.133-204.

SOUZA, L.D.; SOUZA, L.S. Benefícios das coberturas vegetais para melhorar a sustentabilidade do mamoeiro. In: SIMPÓSIO DO PAPAYA BRASILEIRO, 5., 2011, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: CNPF/EMBRAPA, 2011. CD Room.

STEVENSON, W. **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: HARBRA. 2001. 495 p.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; WADE, M. K.; UEHARA, G.; SUDJADI, M. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 3, p. 668-674, 1987.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M.K.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, p.45-94, 1985.

TRINDADE; T.P.; CARVALHO, C.A.B.; LIMA, D.C.; BARBOSA, P.S.A.; SILVA, C.H.C.; MACHADO, C.C. **Compactação dos solos**: fundamentos teóricos e práticos. Viçosa: UFV, 2008, 95p.

TSCHIEDEL, M.; FERREIRA, M.F. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.159-163, 2002.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, T. L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I. Mapeamento das precipitações máximas prováveis para o Estado de São Paulo. **R. Bras.Ci. Solo**, v.15, n.1, p.93-98, 1991.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 56, n.1, 1997.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial. Campinas: IAC, 1998.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade especial do solo. In: NOVAIS, P. F.; ALVARES, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**, Viçosa: **SBCS**, v.1, p.1-54, 2000.

VILLANI, E.M.A.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; FONTES, L.E.F.; NEVES, J.C.L. Difusão de fósforo em solos com diferentes texturas e níveis de umidade. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.17, p.343-347, 1993.

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, 1980. p. 319-344.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in field. **Advances in Soil Science**, v.3, p.1-70, 1985.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; LANA, R.M.Q.; GUIMARÃES, E.C.; PEREIRA, J.M.A. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolo sob sistema de plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.34, p.389-400, 2010.

ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia) - FCA-UNESP, Botucatu, 2001.

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

ZUCOLOTO, M.; LIMA, J.S.S., COELHO, R.I.; QUARTEZANI, W.Z. Variabilidade espacial das frações granulométricas e da produção de bananeira "Prata Anã". **Idesia**, Chile, v.29, n.2, p.47-52, 2011.