

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO

ANTONIA ARLEUDINA BARROS DE MELO

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ALGUNS ATRIBUTOS DE UM ARGISSOLO
AMARELO SOB DIFERENTES MANEJOS NO PERÍMETRO IRRIGADO DO BAIXO
ACARAÚ-CE

FORTALEZA
2012

ANTONIA ARLEUDINA BARROS DE MELO

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ALGUNS ATRIBUTOS DE UM ARGISSOLO
AMARELO SOB DIFERENTES MANEJOS NO PERÍMETRO IRRIGADO DO BAIXO
ACARAÚ-CE

Dissertação de Mestrado apresentada à
Coordenação do curso de Pós-Graduação em
Agronomia, da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial para obtenção do
grau de Mestre em Agronomia. Área de
concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Souza
Valladares

Coorientador Prof. Dr. Marcos Gervasio
Pereira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- M485d Melo, Antonia Arleudina Barros de.
 Distribuição espacial de alguns atributos de um argissolo amarelo sob diferentes manejos no
 perímetro irrigado do Baixo Acaraú – Ce / Antonia Arleudina Barros de Melo – 2012.
 85 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,
 Departamento de Ciências do Solo, Mestrado em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas, Fortaleza,
 2012.
 Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.
 Orientação: Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares.
 Coorientação: Prof. Dr. Marcos Gervasio Pereira.
1. Agricultura irrigada. 2. Krigagem. 3. Semiárido. I. Título.


ANTONIA ARLEUDINA BARROS DE MELO

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ALGUNS ATRIBUTOS DE UM ARGISSOLO
AMARELO SOB DIFERENTES MANEJOS NO PERÍMETRO IRRIGADO DO BAIXO
ACARAÚ-CE

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em
Agronomia-Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial para a obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Solos e
Nutrição de Plantas.

Aprovada em: 24/07/2012.

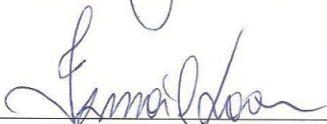
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares (Orientador)
Universidade Federal do Piauí-UFPI



Prof. Dr. Marcos Gervasio Pereira (Co-orientador)
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ



Prof. Dr. Ismail Soares
Universidade Federal do Ceará - UFC

Aos meus Pais
Roberto Almeida de Melo (in memória)
Rosa Barros de Melo
Pela dedicação, apoio, por terem me ensinado
a lutar para realizar meus objetivos.

Aos meus irmãos, irmãs e sobrinhos.
Pelo incentivo para prosseguir
Pela certeza de que mesmo distante sempre
estaremos juntos nos apoiando e auxiliando
mutuamente.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, por mais uma oportunidade de aprendizado, crescimento pessoal e profissional.

À minha família pelo apoio incondicional, amor, paciência, dedicação e porque em todos os momentos em que precisei estiveram ao meu lado.

Ao Prof. Gustavo Souza Valladares, pelo incentivo inicial para participar da seleção de mestrado e, principalmente, porque como orientador me apoiou e auxiliou em todos os momentos, acreditou na minha capacidade de superar as dificuldades iniciais, e esteve sempre acessível, mesmo à distância.

A Universidade Federal do Ceará pela oportunidade de realizar mais uma etapa de crescimento e aperfeiçoamento profissional.

A CAPES, pela concessão da bolsa de pós-graduação através do PROCAD (Processo CAPES-PROCAD-NF 064/2010) durante a realização do curso.

Ao CNPq, pelo financiamento do projeto Sig como base para a gestão agroambiental das terras do Baixo Acaraú (CNPq Edital Universal, proc. 471433/2009-8), do qual este trabalho faz parte.

Aos professores, técnicos e funcionários do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de aprendizagem, pelo auxílio e colaboração, especialmente, aos funcionários do Laboratório de Análise de Rotina, Tavares e Antonio José, que estiveram sempre dispostos a auxiliar durante a realização das análises.

Ao professor Ismail Soares, que desde o início do projeto colaborou de forma prática (coleta de solo) e teórica (escolha da metodologia das análises), e também com sugestões para melhorar a redação do projeto.

A Andréa, Regina, Tibério e Daniele, pela colaboração na realização das análises, e principalmente pela amizade, companheirismo e dedicação.

Ao Sr. Tony Pinto, pela permissão para realizarmos a pesquisa em sua propriedade, e pelo transporte do solo coletado para o Departamento de Solos da Universidade Federal do Ceará.

Aos colegas do Curso de pós-graduação em Agronomia e Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de convívio e pela ajuda, que de alguma

forma, contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente, ao Rafael Cipriano, que meu auxiliou desde o início, quando cheguei a UFRRJ.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e o Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, por terem me acolhido como bolsista do PROCAD, dispensando o mesmo tratamento dado aos seus alunos.

Ao professor Marcos Gervasio Pereira, pela acolhida, apoio e orientação durante todo o período em que estive na UFRRJ.

Ao professor Marcos Bacis Ceddia, pela ajuda com os ensinamentos de geoestatística, pela paciência, pela disponibilidade de tempo, e principalmente, pelas sugestões que possibilitaram melhorar a qualidade deste trabalho.

Aos colegas, professores e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo da UFRRJ, que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, especialmente, o Roberto e Marquinhos da Secretaria da Pós-graduação, que me atenderam prontamente, sempre que precisei de informações, ou enviar documentos à UFC.

A todos que fazem parte do Laboratório de Gênese e Classificação do Solo -LGCS do Departamento de Solos da UFRRJ, pela colaboração durante a realização das análises, mas principalmente pela amizade.

Aos amigos Hanny, Seleno, Alessandro e Jakson que estiveram presente nesta fase final dando sugestões e ajudando na interpretação dos resultados.

Aos amigos do Centro Espírita Francisco de Assis – CEFA (Fortaleza) e do Centro Espírita Paulo de Tarso - CEPT (Seropédica) pelo apoio e incentivo para superar as dificuldades.

E a todos aqueles que, de alguma forma contribuíram para a realização do curso e do trabalho de pesquisa.

RESUMO

A agricultura irrigada se intensificou nas últimas décadas nas regiões áridas e semiáridas, aumentando a produtividade das culturas e, conseqüentemente a necessidade do uso de fertilizantes e agroquímicos para suprir as necessidades das plantas e controle de pragas e doenças. Com o objetivo de analisar o impacto dessas práticas na fertilidade do solo, foi realizado o estudo em uma área com agricultura irrigada, localizada no perímetro irrigado do Baixo Acaraú - CE, abrangendo três diferentes usos: mata em regeneração (mais de 10 anos), cultivo de goiabeira (quatro anos) e cultivo de banana (seis anos). Foram abertas duas trincheiras nas áreas de mata e banana, para fins de caracterização e classificação do solo, e coletado amostras de solo nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm em 100 pontos georreferenciados e distribuídos irregularmente na área (50 na área com banana, 30 na área com goiaba e 20 na mata). Foram analisados os atributos químicos: pH H₂O, pH KCl, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, SB, H+Al, CTC, V%, P, N, PST, COT, frações húmicas(C-HUM, C-FAH e C-FAF), micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn) e frações granulométricas (areia, silte e argila). A variabilidade e a dependência espacial foram analisadas utilizando técnicas de geoestatística e krigagem. Os resultados evidenciam que a maioria das variáveis apresentou dependência espacial moderada para a camada de 0 - 20 cm e forte para a camada de 20 - 40 cm, refletindo as práticas de manejos e de adubação que tendem a tornar mais aleatória a variabilidade espacial dos atributos químicos na área. Os atributos Ca, Na e PST apresentarem variabilidade espacial e temporal com aumento gradativo dos teores com o tempo de cultivo. Os teores de sódio triplicaram passando 0,16 a 0,48 cmol_c dm⁻³, enquanto para a PST o aumento foi ainda maior, passando de 2,5 a 8,5% e de 2,5 a 12,5% para as camadas de 0 -20 cm e 20 - 40cm, respectivamente. O uso da geoestatística e interpolação de dados por krigagem possibilitou a identificação de áreas com diferentes necessidades de adubação fosfatada e potássica, para as duas culturas, mostrando que a utilização de teores médios de K e P do solo para a prática de adubação, aumenta os custos de produção, além de gerar impactos ambientais, ou deficiências nutricionais pelo desbalanço entre os nutrientes do solo. O cultivo de bananeira e goiabeira aumentou os teores de nutrientes do solo em relação à área com mata, porém é preciso a adoção de medidas preventivas para reduzir os impactos decorrentes do uso continuado de fertilizantes e defensivos agrícolas aliados à prática de irrigação.

Palavras-chave: Agricultura irrigada. Krigagem. Semiárido.

ABSTRACT

Irrigated agriculture has intensified recent decades in arid and semiarid regions, increasing crop productivity and hence the need for the use of fertilizers and chemicals to meet the needs of plants and controlling pests and diseases. In order to analyze the impact of these practices on soil fertility, the study was conducted in an area with irrigated agriculture, irrigation district located in the Baixo Acaraú - CE, covering three different uses: forest regeneration (more than 10 years), cultivation of guava (four years) and banana cultivation (six years). We opened two trenches in the areas of forest and banana, for purposes of characterization and classification of the soil, and soil samples collected at depths of 0 -20 and 20 to 40cm in 100 georeferenced points and irregularly distributed in the area (50 in the area with banana, 30 in the area with guava and 20 in the natural vegetation). We analyzed the chemical attributes: pH_{H_2O} , pH_{KCl} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SB, H + Al, CEC and V%, P, N, sodium saturation, TOC, micronutrients (Fe, Cu, Mn, Zn), humic fractions (C-HUM, C-and C-FAF FAH) and granulometric fractions (sand, silt and clay). The variability, spatial dependence and time were analyzed using geostatistics and kriging techniques. The results show that most of the variables showed moderate spatial dependence for the 0-20cm depth and strong spatial dependence for the depth 20-40 cm, reflecting the practices and fertilization managements tend to become more random spatial variability of chemical properties in the area. Attributes Ca, Na and sodium saturation showed spatial and temporal variability of the levels with a gradual increase with time of cultivation. The sodium concentration tripled passing from 0.16 to 0.48 cmolc dm³, while the sodium saturation was further increased going from 2.5 to 8.5 and from 2.5 to 12.5 of 0 -20 and 20 cm - 40 cm, respectively. The use of geostatistics and kriging interpolation of data enabled the identification of areas with different needs for phosphate and potash, to both cultures, showing that the use of average levels of P and K soil fertilization to practice increases the production costs, and generate environmental, or nutritional deficiencies by imbalance of soil nutrients. The cultivation of banana guava increased levels of soil nutrients in relation to the area with woods, but it is essential to adopt preventive measures to reduce impacts resulting from the continued use of agricultural fertilizers and pesticides coupled with the practice of irrigation.

Keywords: Irrigated agriculture. Kriging. Semiarid.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

i

- Figura 1- Parâmetros do semivariograma, efeito pepita (C_0), variância estrutural (C_1), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (a).25
- Figura 2 - Município de Acaraú, CE. Área do Baixo Acaraú onde foi realizada a coleta de amostras de solo.....31
- Figura 3 – Representação esquemática da amostragem para estudos da variabilidade espacial.35
- Figura 4- Semivariogramas dos atributos pHH₂O, pHKCl, soma de bases (SB) e acidez total (H+Al) nas camadas de 0 – 20cm e 20 – 40cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.52
- Figura 5- Semivariogramas para os atributos cálcio, magnésio, sódio e potássio nas camadas de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.53
- Figura 6 - Semivariograma para os atributos saturação por bases (V%), PST e fósforo e Capacidade de troca de cátions (CTC) nas camadas de 0 - 20 cm e 20 – 40 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.54
- Figura 7 - Semivariogramas para os atributos condutividade elétrica (CE) nas camadas de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm; nitrogênio, silte e carbono orgânico total (COT) na camada de 20 – 40cm, e frações húmicas: FHUM (humina), FAF(fração ácido húmico) e FAF (fração ácido fúlvico) na camada de 0 - 20cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira55
- Figura 8 - Semivariogramas para os micronutrientes (FE, Cu, Zn e Mn) nas camadas de 0 - 20cm e 20 - 40cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.56
- Figura 9- Mapas de distribuição espacial dos atributos pH H₂O, pH KCl, soma de bases (SB) e acidez total (H+Al) nas camadas de 0 – 20cm e 20 – 40cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.....58
- Figura 10 - Mapas de distribuição espacial dos atributos cálcio, magnésio, sódio e potássio nas camadas de 0 – 20 cm e 20 – 40cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.....59
- Figura 11 – Mapas de distribuição espacial dos atributos saturação por bases (V), PST e fósforo nas camadas de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm e capacidade de troca de cátions (CTC) de 20 – 40 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.65

Figura 12- Mapas de distribuição espacial dos atributos condutividade elétrica (CE) 0 - 20cm e 20 – 40cm; nitrogênio, silte e carbono orgânico total(COT) 20 – 40cm e frações húmicas: FHUM (humina), fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) de 0 - 20cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.	67
Figura 13- Mapas de distribuição espacial de micronutrientes nas camadas de 0 – 20 cm e 20 – 40cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.	70
Fotografia 1– Área em estudo onde foi realizada a coleta do solo com diferentes usos: mata, cultivo de goiabeira e cultivo de bananeira (acima); e limite entre as áreas mata - goiabeira e goiabeira – bananeira (abaixo).....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de produtos utilizados no controle de pragas e doenças-----	34
Tabela 2 - Granulometria e classificação textural dos perfis de solos coletados na área da mata e de bananeira-----	40
Tabela 3 - Análise química dos perfis de solos coletados na área de mata e de bananeira-----	41
Tabela 4 - Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total dos perfis de solos coletados na área de mata e de bananeira-----	42
Tabela 5 - Estatística descritiva dos atributos químicos e físicos das amostras de solo na camada de 0 - 20 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira-----	44
Tabela 6 - Estatística descritiva dos atributos químicos e físicos das amostras de solo na camada de 20 - 40 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira-----	46
Tabela 7 - Parâmetros dos semivariogramas dos atributos químicos e físicos das amostras de solo na camada de 0 - 20 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira-----	48
Tabela 8 - Parâmetros dos semivariogramas dos atributos químicos e físicos das amostras de solo na camada de 20 - 40 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira-----	50
Tabela 9 - Recomendações de adubação para bananeira no Estado do Ceará-----	61
Tabela 10 - Recomendações de adubação para Goiabeira no Estado do Ceará-----	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Intensificação do uso do solo e produtividade	14
2.2 Manejo do solo e alterações de seus atributos	15
2.3 Agricultura irrigada	21
2.4 Geostatística e Variabilidade Espacial de atributos do solo	24
2.5 Fertilidade do solo e recomendação de adubação.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1 Área em estudo	31
3.2 Caracterização e classificação do solo da área em estudo.....	34
3.3 Amostragem para estudos da variabilidade espacial	34
3.4 Análises dos atributos químicos e físicos	35
3.5 Análises de dados estatísticos.....	36
3.6 Análise da variabilidade espacial e krigagem.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 Caracterização e classificação do solo da área em estudo.....	38
4.2 Análises estatísticas dos dados	42
4.3 Análises da variabilidade espacial e krigagem	47
5 CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICES.....	81

1 INTRODUÇÃO

A intensificação do uso do solo vem ocorrendo de forma crescente nas últimas décadas devido à utilização de práticas agrícolas como a irrigação, o uso de fertilizantes e defensivos agrícolas que possibilitam o aumento da produtividade agrícola. Entretanto, para aumentar e/ou manter a produtividade é necessário à adoção de práticas de manejo adequadas, que mantenham ou melhorem a qualidade do solo, reduzindo os impactos negativos que se refletem em alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, na redução da produtividade.

A expansão da agricultura irrigada na região semiárida tem impulsionado a economia do país, principalmente a fruticultura, pois apresenta condições adequadas à produção de frutas, como constância de calor, luminosidade, umidade relativa do ar, entre outros, sendo a falta de água o principal fator limitante a esta produção. Mas, além dos aspectos positivos é preciso considerar os aspectos negativos relacionados à agricultura irrigada, entre os quais se destacam a salinização.

Atualmente a salinização representa um dos grandes problemas da agricultura irrigada, principalmente em condições de semiaridez, onde a utilização de água de má qualidade pode agravar o problema. Além da limitação a produção agrícola (a maioria das culturas são pouco tolerantes a salinidade) outro fator a ser considerado são as práticas de recuperação de solos com problemas de salinidade, que nem sempre são viáveis, por motivos técnicos e econômicos, portanto é comum o abandono de terras salinizadas. Considerando que os custos ambientais e sociais decorrentes das práticas de manejo inadequado, principalmente na agricultura irrigada, são elevados, torna-se cada vez mais relevante a conscientização da importância da utilização e manejo racional dos recursos naturais, especialmente, do solo e da água.

A adoção de práticas de manejo que visam melhorar a qualidade do solo deve considerar os diversos fatores envolvidos no sistema de produção, principalmente as características físicas, químicas e biológicas do solo. Portanto, a manutenção da matéria orgânica no solo, mesmo em pequenas quantidades, é essencial, pois auxilia na agregação, porosidade, retenção e disponibilidade de macro e micronutrientes, sendo responsável por grande parte da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo. Além da quantidade a qualidade

da matéria orgânica deve ser considerada. A quantificação do teor de carbono relacionado às substâncias húmicas é importante, pois estas estão relacionadas com a fertilidade do solo, podendo ser utilizadas para avaliar sistemas de preparo e manejo do solo, pois estes se refletem na distribuição das frações das substâncias húmicas no solo.

Contudo, destaca-se que todo uso e ocupação que se faz do solo causará alterações de seus atributos físicos, químicos e biológicos. Porém, estas alterações podem influenciar positiva ou negativamente de acordo com as práticas de manejo adotadas. Assim, o acompanhamento dessas alterações possibilita a utilização e o manejo mais adequado para cada tipo de solo e de cultura.

A geoestatística tem se mostrado uma ferramenta útil nesse processo, pois permite verificar essas alterações utilizando como parâmetro a dependência ou correlação espacial, onde amostras de solo coletadas próximas tendem a apresentar valores mais próximos que as coletadas a maiores distâncias, possibilitando a utilização de manejo mais adequado com aplicação de fertilizantes somente onde há necessidade. Além de permitir subsidiar a tomada de decisões sobre diferentes sistemas de manejo a serem adotados possibilitando assim, a otimização da aplicação de água e fertilizantes como resultados do conhecimento mais aprofundado das potencialidades e limitações dos solos.

Neste contexto, assumiu-se a hipótese de que os atributos químicos indicadores de qualidade do solo apresentam variações espacial e temporal, devido às práticas de manejo adotadas. Assim, o objetivo geral foi avaliar os atributos químicos de um solo sob diferentes usos (mata e agricultura irrigada) utilizando técnicas de geoestatística. E através da interpolação dos dados, quantificar os impactos decorrentes do uso do solo e gerar conhecimentos que contribuam para a recomendação de práticas de manejo mais adequadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Intensificação do uso do solo e produtividade

A intensificação do uso do solo vem ocorrendo de forma crescente nas últimas décadas devido à utilização de práticas agrícolas como a irrigação, uso de fertilizantes e defensivos agrícolas que possibilitam o aumento da produtividade. No período 1975 a 2007, cerca de 90% do crescimento da produção agropecuária pode ser atribuída ao aumento da produtividade, devido à melhoria na qualificação da mão de obra utilizada na agricultura, maior facilidade de acesso a crédito (para custeio e investimento), ao maior investimento em pesquisa agropecuária e também a mudanças na composição do produto agropecuário com aumento da participação de produtos de maior valor agregado, como frutas, produtos de origem animal, entre outros (GASQUES et al., 2008). Entretanto para manter a produtividade em níveis crescentes e/ou constantes é preciso a adoção de uso e manejo compatíveis com cada tipo de solo, ou seja, adoção de práticas de manejo ambientalmente sustentáveis, pois o manejo inadequado causa alterações que refletem nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo reduzindo a produtividade.

Neste contexto a compactação representa um dos primeiros indícios de manejo inadequado, principalmente, pelo uso excessivo de máquinas agrícola, que causa redução da produtividade devido à maior resistência a penetração de raízes e, conseqüentemente, menor absorção de água e nutrientes pelas plantas. Estudando a correlação entre atributos físicos do solo e produtividade de soja Adreotti et al. (2010) constataram que o aumento da densidade e microporosidade na superfície do solo resultou em redução na produção de grãos, assim como o aumento da macroporosidade apresentou correlação positiva, com aumento da produção.

Algumas práticas de manejo para prevenir a compactação, como redução do trânsito de máquinas nas áreas de cultivo, adoção do cultivo mínimo, cobertura do solo, adubação verde, rotação de culturas, entre outras são recomendadas por Silva et al. (2007).

A intensificação do uso do solo nas últimas décadas mostrou a importância do desenvolvimento de estudos quantitativos que enfatizem a relação qualidade do solo, proteção ambiental e saúde humana, fornecendo novas informações aos produtores, consumidores e

analistas de política públicas relacionadas à agricultura e meio ambiente, possibilitando uma visão crítica sobre os diferentes sistemas e tecnologias de produção de alimentos, promovendo novas percepções que possibilitam promover a produção de alimentos saudáveis e ambientalmente sustentáveis (FRANZLUEBBERS e HANEY, 2006)

2.2 Manejo do solo e alterações de seus atributos

O uso e manejo do solo conduzem a alterações que podem influenciar positiva ou negativamente a sua qualidade. Esta geralmente é avaliada através das propriedades e/ou processos físicos, químicos e biológicos do solo, utilizados como indicadores para indicar capacidades funcionais do solo. Para Franzluebbbers e Haney (2006) as alterações das propriedades do solo ao longo do tempo são componentes essenciais para avaliar a dinâmica da qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Para isso, dois conceitos são fundamentais: resistência à degradação e resiliência do solo. A resistência pode ser avaliada pela extensão das alterações na dinâmica dos indicadores (ex.: ao longo do cultivo intensivo), a resiliência corresponde ao tempo que o solo leva para se restabelecer depois de um período de uso e/ou manejo inadequado.

A qualidade do solo vista como a capacidade de desempenhar determinadas funções, geralmente referente ao uso, pode passar por três fases de acordo com o manejo adotado: deteriorar rapidamente com o manejo inadequado; estabilizar com o tempo sob manejo adequado, mas sofrer menores variações devido ao clima e condições de colheita; melhorar com o tempo pelo manejo adequado e uso de técnicas adaptadas que restaurem as principais funções do solo (FRANZLUEBBERS e HANEY, 2006).

O conhecimento prévio das características físicas e químicas que influenciam na capacidade produtiva do solo deve ser considerado. Weber et al. (2006) pesquisando a resposta da bananeira ‘pacovan’ (*Musa* AAB, subgrupo prata) a adubação nitrogenada e potássica observaram que a produção de pencas, frutos e cachos não foi influenciada significativamente pela adubação, durante o primeiro ciclo de cultivo, mas durante o segundo ciclo houve aumento no número de frutos nos cachos em razão da adubação nitrogenada, atingindo a máxima produção com a dose de 198,3 kg de N ha⁻¹ ano⁻¹. No terceiro ciclo houve resposta sobre o número de pencas, em razão das doses de K₂O aplicada, mas não atingiu a produção máxima com maiores doses de N e K₂O. Os autores concluíram que durante o

primeiro ciclo a planta absorveu os nutrientes presentes no solo, causando seu esgotamento e, por isso, no segundo e terceiro ciclo a planta respondeu a adubação. Assim os autores recomendam a utilização da dose mínima de K_2O ($55 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) já que a bananeira só responde a adubação potássica quando os teores de K^+ no solo são inferiores a $6 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$.

É importante o conhecimento da biomassa exportada e restituída ao solo com a colheita das plantas (OLIVEIRA et al., 2005), pois as plantas acumulam quantidades diferentes de nutrientes em cada parte e, também, porque a biomassa restituída ao solo após a colheita constitui importante fonte de nutrientes para as plantas que permanecem na área e para a manutenção da fertilidade do solo. Soares et al. (2008) observaram que plantas de cajueiro com 8 e 9 anos de idade apresentaram maior volume de copa e com isso, maior potencial de reciclagem de nutrientes, pois as folhas representaram 81% da serrapilheira. Os autores verificaram também que a maior parte dos nutrientes foi liberada nos primeiros quatro meses de decomposição das folhas, visto que, nesse período a taxa de decomposição foi mais rápida.

A maior parte dos nutrientes absorvidos pelas plantas retorna ao solo pela queda dos componentes senescentes da parte aérea após sua decomposição. Porém, nem toda a massa remanescente dos processos de decomposição é convertida em húmus, e nem todas as substâncias húmicas recentemente formadas são retidas no solo (CUNHA et al., 2005). Segundo Ebeling et al. (2011) a taxa de acumulação de carbono orgânico depende de características do solo como textura, estrutura, condições climáticas (precipitação pluvial e temperatura), sistema de preparo, manejo do solo entre outros fatores que também influenciam no padrão das frações da matéria orgânica do solo (MOS).

Além da quantidade, a qualidade da matéria orgânica é também de grande importância, uma vez que o carbono é fonte de nutrientes e energia para os microrganismos, além de condicionar funções do solo (MADARI et al., 2009). Uma das formas de avaliação da MOS tem sido a quantificação do teor de carbono relacionado às substâncias húmicas. Estas podem ser separadas com base em aspectos químicos como solubilidade, densidade e massa molar, pois apresentam características químicas, físicas e morfológicas diferenciadas.

A utilização de sistemas de manejo que promovam diferentes aportes de biomassa vegetal pode ser identificada por meio da caracterização das substâncias húmicas da MOS e, sua relação com os atributos do solo, pode ser utilizada como ferramenta para avaliar a qualidade do solo e para propor sistemas agrícolas sustentáveis, bem como compreender processos pedogenéticos (CUNHA et al., 2005; LOSS et al., 2010; MARTINS et al., 2009).

Na literatura verificam-se diversos estudos sobre as substâncias húmicas (LOSS et al., 2006; LEITE et al., 2003; LOSS et al., 2006; EBELING et al., 2011; VALLADARES et al., 2011), entretanto, segundo Primo et al. (2011) os estudos científicos sobre substâncias húmicas na região Nordeste do Brasil são escassos e, os poucos que existem muitas vezes não trata de substâncias húmicas e sim de frações lábeis da matéria orgânica.

Em sistemas agrícolas, a dinâmica da matéria orgânica pode ser influenciada não só pelo manejo, por meio da seleção de culturas e de formas de preparo do solo, mas também, pela adição de fertilizantes químicos e materiais orgânicos, que influenciam positivamente nos processos biológicos de decomposição e mineralização da MOS (LEITE et al., 2003). Em geral as substâncias húmicas, representam, aproximadamente, 70% do C total do solo. Por isso, exercem grande influência sobre os atributos físicos e químicos do solo, e consequentemente, tem grande influência sobre a fertilidade do solo contribuindo para que haja um aumento na produção das culturas (MADARI et al., 2009; CUNHA et al., 2009).

Analisando as alterações ocorridas pelo manejo em um Latossolo em Rondônia Valladares et al. (2011), não observaram diferenças nos teores totais de carbono total e das frações húmicas nos solos entre os diferentes usos e coberturas, pois todos apresentaram predomínio da fração humina (FHUM) e baixo grau de humificação da matéria orgânica. Os autores concluíram que independente do manejo as condições naturais da área em estudo favoreceram a mineralização da matéria orgânica, entretanto, observaram diferenças na qualidade do material orgânico. Os solos com cultura perene apresentaram maior relação C-EA/C-FHUM (C-FAH+C-FAF/C-FHUM) em comparação com os solos de pastagem e menores teores de carbono não humificado (matéria orgânica leve) em comparação com as áreas de vegetação nativa e pastagem.

A relação C-FAH/C-FAF (carbono na fração ácido húmico e na fração ácido fúlvico) e a relação C-EA/C-FHUM (C-FAH+C-FAF/ FHUM) são utilizadas na avaliação do grau de humificação da MOS. Para Fontana et al. (2010), baixos valores da relação C-EA/C-FHUM ($\leq 0,50$) são indicativos da forte estabilidade e/ou interação da matéria orgânica com a matriz mineral, podendo assim, ser analisado como indicador da estabilidade da matéria orgânica do solo. Enquanto valores da relação C-FAH/C-FAF < 1 (um), indicam a evolução limitada da matéria orgânica adicionada, podendo ser devido ao manejo ou a processos pedogenéticos ou ainda por aporte recente de matéria orgânica, favorecendo a formação da FAF em relação à FAH.

A predominância do C-FHUM na MOS (50% - 78%) foi observada em diversos estudos (LOSS et al., 2006; LEITE et al., 2003), segundo esses autores as maiores proporções

da fração C-FHUM pode estar relacionado com o tamanho das moléculas e ao longo tempo de residência no solo, associados a esta fração. Também são característicos de solos de baixa fertilidade natural e textura arenosa, onde a maior parte do COT é convertida nesta fração (LOSS et al., 2006). Enquanto as frações as C-FAF e C-FAH por apresentarem menor estabilidade, são submetidas a processos de movimentação no perfil, polimerização, ou mineralização, diminuindo sua composição percentual no solo (LEITE et al., 2003).

Analisando estoques totais de C orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob cultivo com milho utilizando adubação mineral e orgânica, Leite et al. (2003) observaram que a presença de adubação orgânica aumentou os estoques de carbono orgânico e nitrogênio total, em relação aos sistemas de produção com adubação mineral ou mesmo sem adubação, e concluíram que a adubação orgânica representa uma estratégia de manejo importante à conservação da qualidade do solo.

Estudando a distribuição das substâncias húmicas em solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais, Loss et al. (2006) observaram que a área sob floresta secundária apresentava maiores valores médio da C-FAF na camada superficial e, que as áreas sob pastagem e cana-de-açúcar propiciava perdas de carbono na forma da C-FAF e C-FAH, quando comparado com a cobertura sob floresta secundária, concluindo que as perdas nestas frações ocorriam devido as modificações provenientes do manejo adotado, pois a camada superficial é a mais influenciada pelo manejo.

Os estudos apresentados mostram a importância da matéria orgânica na qualidade do solo e ressaltam a necessidade de pesquisa para verificar quais as práticas de manejo que mais contribuem para a melhoria da qualidade da MOS. Para isso é preciso considerar o histórico da área em estudo, envolvendo além das questões ambientais, aspectos sociais e econômicos, pois estes também influenciarão na intensidade dos impactos provocados pelo manejo (CUNHA et al., 2005; CUNHA et al., 2009).

As práticas de uso e manejo inadequado do solo podem causar alterações negativas, como compactação do solo ou intensificação do processo de adensamento, salinização, aumento do risco de erosão, entre outros. As práticas de irrigação sem adoção de manejo adequado podem influenciar negativamente o rendimento das culturas, devido à redução na qualidade do solo pelo uso excessivo de fertilizantes, forma de irrigação inadequada, entre outros.

Em estudo sobre algumas propriedades físicas e hídricas em três solos (Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho) da chapada do Apodi, RN, Mota et al. (2008) observaram que os três solos apresentavam densidade elevada,

principalmente nas camadas superficiais, e atribuíram estes resultados ao elevado grau de dispersão de argila nesses horizontes, provocado pelo uso intensivo de máquinas e implementos agrícolas, favorecendo o rearranjo desses minerais com preenchimento dos espaços vazios do solo e, conseqüentemente, compactando o solo. Considerando que o índice de plasticidade, e o risco de degradação pelo uso de máquinas e implementos são acentuados para o cambissolo e baixo para o latossolo e argissolo, os autores concluíram que o manejo da irrigação dos três solos deve ser diferenciado.

Avaliando os impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense, Maia et al. (2006) observaram que a diminuição nos teores de COT, ocorrem devido as alterações na taxa de decomposição MOS, pois os sistemas com maior revolvimento do solo favorecem a oxidação da matéria orgânica. Os autores observaram também que houve aumento significativo dos macroagregados na classe C1(>2,0 mm) nos sistemas com menor revolvimento e maior cobertura do solo. Enquanto a redução da agregação do solo, com maior % de agregados na classe C5(<0,25 mm) foi atribuída ao maior revolvimento do solo e à conseqüente diminuição no teor de COT.

Atualmente um dos principais problemas em áreas irrigadas é o risco de salinização. Segundo Mota (2011) 26,22% das terras do baixo Acaraú apresentam risco moderado de salinização. Nesta classe de risco está inserida a área de abrangência do perímetro irrigado Baixo Acaraú onde este risco é maior devido à irrigação. O nível de salinização pode permanecer moderado por muitos anos sem prejudicar o desenvolvimento das culturas, mas um pequeno aumento desse nível pode causar o abandono das terras em poucos anos (Lannetta e Colonna, 2010).

A qualidade da água para irrigação de acordo com a classificação adotada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, leva em consideração a concentração dos sais totais, representados pela condutividade elétrica (CE) e razão de adsorção de sódio (RAS) para avaliar os riscos de salinidade e sodicidade devidos às práticas de irrigação. Segundo esta classificação a água que abastece o Distrito Irrigado Baixo Acaraú (DIBAU) está inserida nas classes C₂S₁ (médio risco de salinidade e baixo risco de sodicidade) e C₁S₂ (baixo risco de salinidade e médio risco de sodicidade) de acordo com Lobato et al. (2008) e Lopes et al. (2008), respectivamente.

Estudando a dinâmica espacial da salinidade e sodicidade na bacia do Acaraú, com objetivo de caracterizar futuras áreas com problemas de infiltração provocados pela sodicidade da água Andrade et al. (2006) observaram que 80% da área de drenagem da bacia

do Acaraú, apresenta risco alto a moderado/alto de sodicidade, com risco crescente de problemas com a infiltração em decorrência da sodicidade da água.

Avaliando o efeito da sazonalidade climática sobre a qualidade da água da barragem Santa Rosa, fonte hídrica responsável pelo abastecimento do DIBAU e suas possíveis limitações de uso para irrigação, Lobato et al. (2008), observaram que durante o período chuvoso as águas variaram entre as classes C_1S_1 e C_2S_1 , e durante o período seco com a elevação na concentração dos íons Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e HCO_3^- refletindo na CE e na RAS a água manteve-se na classe C_2S_1 , e concluíram que essas diferenças entre as estações seca e chuvosa ocorreram devido a diminuição do nível dos reservatórios que perenizam o rio Acaraú na estação seca.

De acordo com Lima Junior e Silva (2010) a salinização é um fenômeno crescente em todo o mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas, devido às condições climáticas onde a evaporação potencial é maior do que a precipitação, e da agricultura irrigada que se utiliza de práticas como a fertirrigação, sem nenhum critério técnico, sendo esta a principal via antrópica relacionada com as altas concentrações de sais em áreas irrigadas. Outro fator que contribui para o acúmulo de sais no solo em áreas irrigadas é o uso excessivo de água e adubos minerais ou orgânicos.

A salinidade representa um dos mais sérios fatores que limitam a produção agrícola, principalmente em áreas irrigadas, em condições de semiaridez onde a utilização de água de má qualidade pode agravar o problema. Além disso, é preciso considerar que as práticas de recuperação de solos com problemas de salinidade nem sempre são viáveis, por motivos técnico e econômico (AMORIM, 2009). Assim, além do impacto ambiental a salinização também gera impactos econômicos devido à redução da produtividade, mas estes são de difícil mensuração, pois a relação entre salinidade e redução da produtividade não ocorre de maneira linear devido à diferença de tolerância à salinidade pelas culturas (LANNETTA e COLONNA, 2010).

A Salinidade também contribui para o adensamento e/ou compactação através da dispersão das partículas de argila, resultando em alterações na estrutura do solo com diminuição do volume de poros, aumento da densidade e da resistência mecânica à penetração de raízes. Provoca modificações que influenciam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo como temperatura, aeração do solo, infiltração e condutividade da água, disponibilidade de nutrientes e desenvolvimento de micro-organismos. Geralmente ocorre significativa redução na produtividade das culturas nesses solos. (SILVA et al., (2001).

A utilização de técnicas de manejo adequadas às condições regionais é essencial para a manutenção da qualidade do solo, especialmente no caso da região semiárida que apresenta características naturais complexas e diferenciadas com relação à precipitação, ao solo, vegetação, representando um desafio ao uso e manejo do solo e da água em sistemas ambientais sustentáveis. Não sendo recomendada a utilização de pacotes tecnológicos prontos, mesmo que tenham sido testados em condições semelhantes (MELO FILHO e SOUZA, 2006).

2.3 Agricultura irrigada

O principal objetivo da agricultura moderna é obter a máxima produção possível visando abastecer os circuitos comerciais, para isso, utiliza tecnologias que possibilitam o melhoramento e a qualidade dos produtos cultivados, faz uso de diversas técnicas como o uso de fertilizantes, sistemas de irrigação adequados às culturas, seleção de espécies adaptadas ao solo (características físicas e químicas) e condições climáticas, uso de estufas, seleção de sementes, qualidade da água utilizada na irrigação, entre outras. (LEITE e ALVES, 2010).

Os principais sistemas de irrigação são: irrigação por superfície, irrigação por aspersão e irrigação localizada (ou microirrigação). Entretanto, não existe um sistema de irrigação ideal, mas existem sistemas de irrigação mais adequados às condições climáticas, à topografia, as características físicas e químicas dos solos, peculiaridades das culturas, fonte de água, fatores econômicos e fatores humanos (ANA, 2004). Portanto, para seleção de sistemas de irrigação é necessário o conhecimento da eficiência de cada método de aplicação de água, ou seja, a relação entre a quantidade de água requerida pela cultura e a quantidade total aplicada pelo sistema para suprir essa necessidade (LIMA et al., 2004).

Segundo Rodrigues e Irias (2004), aproximadamente 70% da água captada dos rios e/ou subsolo é usada para a irrigação, sendo esse um uso altamente consumptivo, e de acordo com a Agência Nacional de Águas - ANA (2004) apenas cerca de 50% é efetivamente utilizada pelas plantas, os 50% restantes são perdidos na captação, armazenamento, distribuição e aplicação da água na irrigação. Portanto, existe um grande desperdício no uso da água na agricultura irrigada acarretando também como consequência desperdício de energia.

Quanto à necessidade de uso da água, os países podem ser diferenciados em quatro categorias de perspectivas agrícolas: baixo potencial de produtividade e alto potencial de terras; alto potencial de produtividade e alto potencial de terras; alto potencial de produtividade e alto potencial de terras e baixo potencial de produtividade e baixo potencial de terras, de acordo com três componentes de desenvolvimento: recursos, tecnologia e meio ambiente. Neste contexto o Brasil se encontra na segunda categoria, ou seja, com tendência ao uso intensivo do solo, e devido ao elevado potencial de produtividade deverá adotar a utilização de tecnologias para maximizar a produtividade, aumentando assim, o uso de insumos (fertilizantes e agrotóxicos) e irrigação, juntamente com problemas de erosão, redução da biodiversidade, e degradação dos recursos naturais (RODRIGUES e IRIAS, 2004).

A agricultura irrigada normalmente se caracteriza pelo uso intensivo de agroquímicos que, mesmo seguindo as recomendações de uso, causam algum tipo de contaminação do solo e da água (ANA, 2004). Portanto, a avaliação dos impactos ambientais na agricultura irrigada torna-se essencial para entender os processos de degradação dos recursos naturais, e para orientação e seleção de alternativas tecnológicas para o processo produtivo e adoção de medidas corretivas de manejo, que permitam atingir os máximos benefícios sociais com os mínimos prejuízos ambientais.

A avaliação de impactos ambientais da agricultura irrigada pode ser realizada pelo monitoramento da concentração de substâncias dissolvidas na água, pela análise de condutividade elétrica, nitrato, sódio, sólidos em suspensão, porcentagem de saturação de oxigênio, antes e depois de sua aplicação em áreas irrigadas. Além disso, devem-se considerar as restrições impostas ao uso em consequência dessas alterações, mesmo o próprio uso para irrigação (RODRIGUES e IRIAS, 2004).

A supervalorização ou desvalorização dos impactos ambientais da irrigação são prejudiciais ao desenvolvimento da agricultura irrigada sustentável. Entretanto, faz-se necessário a obtenção de dados confiáveis para quantificar a extensão do impacto ambiental ocasionado pela irrigação, para que sejam adotadas medidas preventivas e/ou mitigadoras na implantação e manejo de projetos de irrigação (BERNARDO, 1992).

É importante destacar que os impactos negativos não dependem necessariamente da irrigação (tecnologia de manejo), mas da forma como ela é utilizada. É possível pela adequada associação da técnica de irrigação com o sistema de cultivo, obter impacto ambiental positivo, com importantes melhorias para a sustentabilidade do sistema (RODRIGUES E IRIAS, 2004).

Como desafios essenciais a agricultura irrigada no Brasil, Christofidis (2008) aponta a redução de perda de água nos sistemas de irrigação, e a capacidade de transferência de tecnologia dos centros de pesquisa para o campo. Assim a racionalização do uso da água na irrigação deve passar por todas as etapas do processo, desde a captação da água até a sua aplicação nas culturas e no sistema de produção agrícola, gerando benefícios ao produtor devido à redução do consumo de água e de energia, ao aumento da produtividade das culturas por unidade de área e de água utilizada e melhoria da qualidade dos produtos, manutenção ou melhoria da qualidade ambiental, e conseqüentemente aumento da renda e da qualidade de vida do produtor com preservação da sustentabilidade do sistema (ANA, 2004).

Na agricultura irrigada a decisão do que e como produzir está fortemente relacionado ao mercado consumidor, podendo ser representada por uma cadeia que abrange todas as etapas desde a pesquisa, processamento, transporte, comercialização, crédito, exportação, serviços portuários, industrialização até chegar ao consumidor final (LEITE e ALVES, 2010). Pois, devido ao elevado custo com investimentos e custo operacional da irrigação para que a agricultura irrigada seja uma atividade economicamente viável é necessário que os fatores de produção alcancem níveis ótimos aproximadamente 30 a 35% do custo de produção (ANA, 2004).

Atualmente as mudanças climáticas são objeto de estudo de pesquisadores, estudantes de diversas áreas, enfocando aspectos gerais ou específicos dos efeitos destas mudanças em cada área. No caso da agricultura irrigada, principalmente na região semiárida, a demanda da água poderá aumentar devido à elevação da temperatura que intensifica a evapotranspiração. Apesar das mudanças climáticas influenciarem no aumento de demanda de água para irrigação, Gondim et al. (2011) concluíram que a eficiência de aplicação da irrigação tem maior impacto nesse aumento, sendo portanto imprescindível melhorar o processo de gestão de irrigação pela capacitação continuada dos irrigantes para uso racional da água, visando aumentar a eficiência de aplicação e armazenamento, possibilitando disponibilizá-la para outros usos.

O conhecimento sobre o impacto de mudanças climáticas sobre a demanda de água a nível local (bacia hidrográfica) possibilitará o desenvolvimento de políticas para reduzir e/ou mitigar os impactos e vulnerabilidades, pois a agricultura irrigada influencia diretamente na disponibilidade de água em toda a região da bacia hidrográfica, principalmente quando é intensiva Gondim et al. (2011).

2.4 Geoestatística e Variabilidade Espacial de atributos do solo

Grande parte dos ensaios de manejo e fertilidade do solo utiliza métodos de delineamento experimental, assumindo que as amostras são independentes entre si e as parcelas contendo os tratamentos são uniformes. Mas como a hipótese de independência entre as amostras só pode ser verificada na prática quando estas são referenciadas geograficamente, portanto, a variabilidade espacial geralmente não é detectada podendo interferir nos resultados das pesquisas (VIEIRA, 1997).

A estatística clássica assume que as variações das características do solo, dentro das unidades amostrais, não são correlacionadas e que a média e variância das amostras é o melhor estimador das características de solo, em qualquer local na unidade amostral, o que nem sempre representa a realidade (CARVALHO et al., 2002). Enquanto, o estudo da variabilidade espacial por meio da geoestatística possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (SOUZA et al., 2004).

A geoestatística é um tópico especial da estatística aplicada, que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, estas apresentam características aleatórias, irregularidades e variações imprevisíveis de um ponto para outro, e características estruturais representadas pela relação entre os pontos devido a sua gênese (LANDIM, 2006).

Estudos mostram que a variabilidade espacial dos atributos químicos de fertilidade do solo apresenta grande amplitude de variação, indicando que a aplicação de fertilizantes deverá ser realizada de forma diferenciada, pois se esta variabilidade for desconsiderada pode gerar problemas de excesso ou déficit de nutrientes no solo. Em ambos os casos causará prejuízos ao produtor, seja por gasto desnecessário ou por redução da produtividade das culturas, além de riscos de contaminação ambiental (CORA et al., 2004; CAVALCANTE et al., 2007; LIMA et al., 2010).

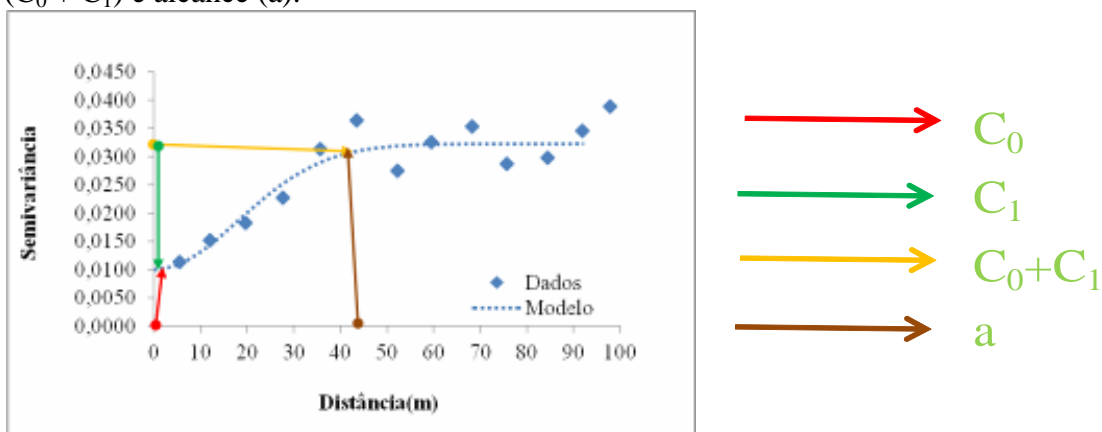
Entretanto, a maioria dos trabalhos que busca estimar a qualidade dos solos, o faz por estudos isolados dos atributos físicos, químicos, morfológicos e biológicos e discute-os separadamente. A integração desses atributos é imprescindível para que os resultados dos estudos e pesquisas possam ser utilizados na identificação e possível solução de problemas referentes à produção agrícola, monitoramento de mudanças na sustentabilidade e qualidade ambiental em relação ao manejo agrícola, e orientar políticas governamentais voltadas para o uso sustentável do solo. O conhecimento das propriedades do solo no campo é importante

para refinar as práticas de manejo e para avaliar os efeitos da agricultura na qualidade do solo (CAMBARDELLA, 1994).

Avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância de se medir a variação espacial e temporal de propriedades, que afetam o rendimento das culturas (CARVALHO et al., 2002). Neste contexto a geoestatística é uma ferramenta adicional que possibilita melhor entendimento dos fatores que atuam no solo e que produzem alterações em seus atributos e interferem no desenvolvimento das culturas.

Para o estudo do padrão da variabilidade espacial duas ferramentas são essenciais: o semivariograma e a krigagem (LANDIM, 2006), interpolador considerado ótimo por não apresentar tendência e apresentar variância mínima, ou seja, os valores estimados não são subestimados ou superestimados e apresenta a máxima confiança nas estimativas (VIEIRA, 2000).

Figura 1- Parâmetros do semivariograma, efeito pepita (C_0), variância estrutural (C_1), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (a).



Fonte: Autoria própria

O semivariograma estima os parâmetros efeito pepita- C_0 (representa a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores que a menor distância amostrada, também pode representar erros de medição), variância estrutural - C_1 , patamar - $C_0 + C_1$ (valor máximo no qual a semivariância se estabiliza) e alcance - a (representa a distância máxima de dependência espacial entre as amostras a partir desta distância as amostras são independentes).

O ajuste de um modelo teórico ao semivariograma experimental é um dos aspectos mais importantes das aplicações da Teoria das Variáveis Regionalizadas, e também um dos mais controversos, pois o modelo de semivariograma é à base de todos os cálculos utilizados na geoestatística, assim se o modelo estiver errado todas as etapas seguintes

também estarão. Existem programas computacionais que fazem o ajuste ao modelo, mas frequentemente o ajuste é feito pelo método da tentativa e erro e depois validado (VIEIRA, 2000).

O semivariograma é estimado pela equação que segue:

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

onde,

γ^* = semivariância entre pares de valores medidos para determinada distância h ;

h = distância entre valores medidos;

$N(h)$ = número de pares de pontos medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$;

Z = valor do atributo; e,

x_i = posição de determinado atributo

A dependência espacial entre as amostras pode ser verificada utilizando-se o semivariograma, e se for verificada dependência espacial, utiliza-se a krigagem para interpolação dos dados e posteriormente a confecção de mapas de isolinhas para representar graficamente a variabilidade espacial.

Os parâmetros do semivariograma são importantes para o programa interpolador, o qual por sua vez estima valores para locais onde estes não são determinados, sendo mais comum o uso da interpolação por krigagem, onde cada estimativa representa a média ponderada dos valores observados na sua vizinhança (VIEIRA et al., 1983; VIEIRA, 2000). É representado pela seguinte equação:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

onde,

Z^* = valores estimados da variável em estudo;

X_0 = ponto a ser estimado;

N = número de vizinhos utilizados na estimativa;

λ_i = peso ponderado associado a cada valor medido; e,

$Z(x_i)$ = valor medido

A intensificação das técnicas de geoestatística na ciência do solo deve-se ao fato de que, na sua utilização, é assumido que os pontos estão espacialmente correlacionados, ou seja, existe dependência espacial, fato que possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade, além de quantificá-la (CAVALCANTE, 2007). Segundo Cambardella (1994), as relações espaciais são fortemente influenciadas pela escala de

investigação, assim informações espaciais obtidas em escala de campo podem ser extrapoladas a escalas em nível de bacia hidrográfica ou regional.

A heterogeneidade dos atributos do solo é comum, afetando diferenciadamente o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Essa variabilidade do solo, muitas vezes, não é puramente aleatória, mas apresenta dependência espacial ocasionada por diversos fatores, como indicado em vários trabalhos (BERNER, 2007; SILVEIRA et al., 2000; CARVALHO et al., 2003).

Essa variabilidade é resultante do processo natural de formação do solo, manejo e práticas agrícolas adotadas que tendem a homogeneizar ou diferenciar essas áreas. Portanto, o conhecimento dessa variabilidade é imprescindível para a escolha de modelos matemáticos que melhor representem as condições de campo, possibilitando a geração de informações precisas para adoção de manejo adaptado as características do solo e das culturas (BERNER, 2007).

Nos últimos anos, muitos são os trabalhos utilizando as ferramentas de estatística espacial ou geoestatística nos estudos ambientais e na ciência do solo, com diversas aplicações. Souza et al. (2006) estudando a variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes formas de relevo, mostraram que 50% da variabilidade de pH e fósforo disponível podia ser explicada pela forma do relevo, concluindo que a posição do solo na paisagem tem grande influência na variabilidade dos atributos do solo, recomendando para futuros estudos em áreas com curvatura côncavas e convexas maior densidade amostral que na área com curvatura linear, pois esta apresentou menor variabilidade.

A eficiência da geoestatística nos estudos de variabilidade e dependência espacial de atributos químicos e físicos de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico em Campinas-SP, Vieira (1997) também demonstraram que a variabilidade dos indicadores de fertilidade foi elevada e que a amostragem aleatória, comum nesses estudos, falharia na sua interpretação.

Pesquisando a contribuição da geoestatística para o planejamento experimental, Gonçalves et al. (2005) encontraram forte dependência espacial para maioria dos atributos químicos estudados (pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e H+Al), e concluíram que, para minimizar a interferência da variabilidade do solo na interpretação dos efeitos dos tratamentos recomenda-se um planejamento dos experimentos baseados na distribuição espacial dos atributos do solo.

Analisando a variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do estado de Mato Grosso Couto & Klamt (1999) concluíram que a interpolação por

krigagem permite estimar os efeitos espaciais impostos pelas práticas de manejo naquelas propriedades que apresentam estrutura espacial bem definida, viabilizando uma aplicação diferencial de corretivos, otimizando o uso dos insumos e minorando os problemas ambientais advindos do uso da terra, na busca de uma agricultura de precisão.

Em estudo sobre a variabilidade espacial e disponibilidade de cobre e zinco em solos de vinhedos e adjacências, Valladares et al. (2009) observaram tendência de aumento dos teores de cobre e zinco, conforme o uso do solo, apresentando maiores teores nas áreas com vinhedos e menores teores nas áreas com mata nativa. Os autores concluíram que o aumento dos teores de Cu e Zn disponíveis, possivelmente, ocorria em razão de aplicação de agroquímicos cúpricos no manejo fitossanitário.

Analisando a dependência espacial do uso da terra em assentamento rural em Machadinho d'Oeste (RO) em quatro períodos de tempo (1989, 1996, 1999 e 2002), Gomes et al. (2009) verificaram que houve dependência espacial para a eficiência produtiva nos quatro anos avaliados. Os autores observaram que houve inversão da eficiência entre os anos de 1989 e 1996, ou seja, lotes menos eficientes em 1989 foram os mais eficientes em 1996, e atribuíram esta inversão à adoção de técnicas para a melhoria do sistema produtivo e também ao aumento de área plantada que podem ter influenciado para melhorar a eficiência produtiva. Nos anos de 1999 e 2002 houve maior uniformização em termos da eficiência produtiva dos lotes por toda área de estudo. Estes resultados mostram como é importante empregar o manejo adequado para aumentar a produtividade.

Em estudos sobre a variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação, Andrade et al. (2005) verificaram através de mapas de isolinhas, áreas com características de densidade do solo semelhantes, de acordo com os autores, este conhecimento permite aumentar a eficiência do planejamento e manejo da irrigação.

A variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárida de Pernambuco foi avaliada por Andrade et al. (2012) utilizando técnicas de geoestatística. Os autores observaram que a CE apresentou variabilidade média a alta, com dependência espacial moderada, não observaram variação na concentração de sais entre as estações seca e chuvosa, porém, verificaram que a CE da água subterrânea apresenta variação temporal, aumentando ao longo dos anos, principalmente, onde o lençol freático está mais próximo da superfície.

O uso da geoestatística possibilita melhorar significativamente o alcance e a precisão da análise de dados, parâmetros como média e variância não representam adequadamente atributos que apresentam variabilidade espacial, como é o caso da maioria dos

atributos do solo. Entretanto o uso da geoestatística não descarta o uso da estatística clássica, mas a complementa, pois é justamente nas limitações da estatística clássica que a geoestatística tem suas maiores aplicações. O alcance da dependência espacial representa uma linha divisória para a aplicação da geoestatística e da estatística clássica, pois representa a distância máxima de dependência espacial entre as amostras (VIEIRA, 2000).

2.5 Fertilidade do solo e recomendação de adubação

Análise de solos e de plantas como instrumentos para determinar as necessidades de calcário e de fertilizantes para as culturas tem sido utilizada por muitos anos. Entretanto, somente estas informações não são suficientes, é preciso considerar a interrelação entre os fatores físicos, químicos e biológicos que atuam no solo, como parte importante no crescimento da produtividade agrícola. Segundo Lopes e Guilherme, (2007) nos últimos anos foram desenvolvidos pesquisas para melhorar a eficiência na utilização de fertilizantes, como exemplo, os fertilizantes nitrogenados de liberação lenta, polifosfatos de alta concentração, compostos magnesianos adequados para uso em fertilizantes fluidos completos, micronutrientes na forma de quelatos e fertilizantes com altos teores de S para uso em fertilizantes sólidos e líquidos, entre outros.

Atualmente a recomendação de adubação tem como objetivo elevar e manter as reservas de nutrientes no solo, adequada à maioria das culturas. De acordo com Nicolodi, (2007) conforme a interpretação das faixas os teores de nutrientes no solo (muito baixo, baixo, e médio, alto e muito alto) para os teores de K e P, pode ser utilizada a adubação de correção, de manutenção e de reposição. A adubação de correção abrange as três primeiras faixas. A adubação de manutenção visa repor os nutrientes exportados pela cultura via frutos ou matéria seca. Enquanto a adubação de reposição (faixa muito alto) visa repor os nutrientes exportados de acordo com a produtividade esperada.

A preservação da MOS é fundamental para a fertilidade do solo, de acordo com Lopes e Guilherme, (2007) a MOS é fonte importante de N, P e S para as culturas, contribuir para a retenção de nutrientes como Ca^{++} , Mg^{++} e K^+ , com o aumento a CTC do solo. Além dos efeitos benéficos propriedade física, química e biológica do solo, é considerada indicador da qualidade do solo.

As recomendações de adubação são feitas com base nos macronutrientes: N, P e K, os demais nutrientes são supridos através de práticas como a calagem, adição de adubos orgânicos, entre outros. Para a cultura de bananeira, Borges e Souza, (2010) recomendam a adubação baseada em análises químicas de solo, com amostragem nas camadas de 0 -20 e 20 - 40cm, pois segundo esses autores, as raízes da bananeira absorvem nutrientes até esta profundidade. As análises de solo devem ser repetidas anualmente para reposição dos nutrientes extraídos pela cultura.

O Manual de Recomendação de adubação e calagem para o estado do Ceará (FERNANDES, 1993) recomenda, para as culturas de bananeira e goiabeira a aplicação de 20 litros de esterco curtido junto com a adubação fosfatada, que deve ser aplicada em dose única, no momento do plantio, devido a pouca mobilidade do P no solo. Para a adubação nitrogenada e potássica, por serem elementos muito móveis e facilmente perdidos, é recomendado o parcelamento em quatro doses anuais.

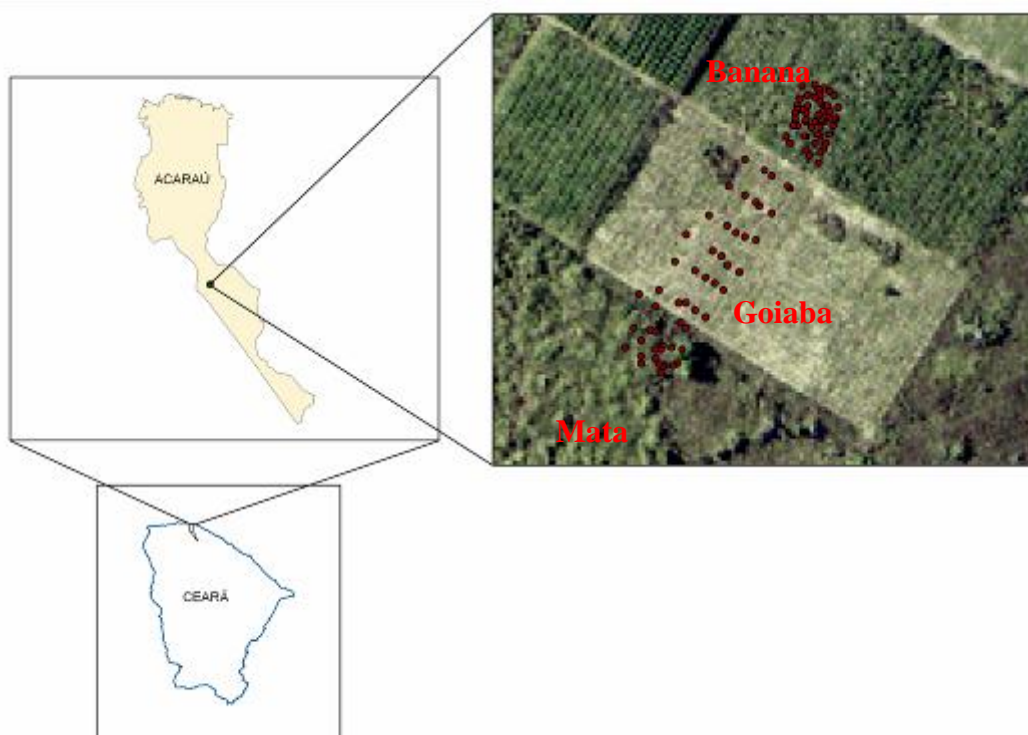
A demanda da planta por determinadas condições de fertilidade do solo é função da espécie cultivada, em alguns casos da própria variedade, portanto um solo não é igualmente fértil para todas as culturas, um mesmo solo pode apresentar teores adequados para uma cultura e insuficientes para outra (NICOLODI, 2007). Assim, além de dados de fertilidade é imprescindível o conhecimento dos demais fatores que integram o processo de produção agrícola.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área em estudo

A área em estudo localiza-se no perímetro irrigado do Baixo Acaraú-CE, ocupa aproximadamente 0,75ha e está compreendida entre as coordenadas 9656400 e 9656520 de latitude sul e 381820 e 381940 de longitude oeste (UTM - Datum Córrego Alegre, Fuso 24). De acordo com SUDEC/DNOCS, (1974) apresenta precipitação média anual em torno de 900 mm, sendo o período seco de julho a dezembro e o chuvoso de janeiro a junho.

Figura 2 - Município de Acaraú, CE. Área do Baixo Acaraú onde foi realizada a coleta de amostras de solo.



Fonte: Autoria própria

O perímetro Irrigado do Baixo Acaraú está localizado na região norte do Estado do Ceará, no trecho final da bacia do Rio Acaraú, abrangendo áreas dos municípios de Acaraú, Bela Cruz e Marco, situado a 220 km de Fortaleza.

A área em estudo e seus diferentes usos são apresentados na fotografia 1, pode-se observar que na área com cultivo de goiabeira o solo se encontra parcialmente descoberto, favorecendo processos de erosão, enquanto na área com mata o solo apresenta-se coberto pela vegetação e, na área com cultivo de bananeira apresenta maior adensamento, além dos restos culturais e folha que recobrem o solo.

Fotografia 1– Área em estudo onde foi realizada a coleta do solo com diferentes usos: mata cultivo de goiabeira e cultivo de bananeira (acima); e limite entre as áreas mata - goiabeira e goiabeira - bananeira (abaixo).



Fonte: Autoria própria

O clima da região é o Aw Tropical Chuvoso, com precipitação média anual de 900 mm, temperatura mínima, média e máxima anual de 22,8°C, 28,1°C e 34,7°C respectivamente. Insolação 2.650 h ano⁻¹, umidade relativa média anual 70%, velocidade média dos ventos 3,0m s⁻¹ e evaporação média anual 1.600 mm. Com relevo plano nos pontos de coleta, típico de tabuleiros costeiros, com predominância de solos de textura arenosa a

franco arenosa, profundos e bem drenados. A fonte hídrica do perímetro irrigado é o Rio Acaraú, perenizado, no trecho, pelas águas dos Açudes Públicos Paulo Sarasate e Edson Queiroz, e os principais sistemas de irrigação são microaspersão e gotejamento.

A implantação do perímetro irrigado foi iniciada em 1983, enquanto os serviços de administração, operação e manutenção da infraestrutura de uso comum, tiveram início no ano de 2001, portanto as áreas mais antigas estão com irrigação há mais de uma década. A área desapropriada e irrigável corresponde a 12.407 ha, a área implantada, com lotes escriturados e em processo de licitação até 2011 foi de 8.030 ha, distribuídos entre pequenos produtores com 432 lotes escriturados e 45 em licitação (área total 3.872 ha), técnicos em ciências agrárias com 21 lotes escriturados e 04 em licitação (área total 489,99 ha), e empresários com 82 lotes escriturados (área total de 3.668,01 ha). Os 45 lotes de pequenos produtores e os 04 lotes de técnicos em ciências agrárias em processo de licitação referem-se a áreas ocupadas pela comunidade indígena Tremembé de Queimadas (DNOCS, 2012).

A área escriturada representa 93,35% do total da primeira etapa de implantação, sendo considerada ocupada para efeitos legais do perímetro, mas quando comparada com a área cultivada em 2011, esta representa apenas 51%, ou seja, dos 7.495,81 ha escriturados apenas 3.819,90 ha foram cultivados em 2011. As principais culturas foram coco (926,3 ha), melancia (787,3 ha), banana (686,7 ha), goiaba (221 ha), mamão (217 ha), laranja (130,8 ha) e maracujá (123,2 ha), representando 80,96% da área cultivada. No restante da área (19,4%) foram cultivados feijão, acerola, graviola, macaxeira, caju, abóbora, mandioca, manga, milho, melão, abacaxi, sapoti, pimentão, tomate e batata doce (DNOCS, 2012).

A escolha na distribuição dos pontos por área foi feita com base nos objetivos do trabalho, utilizando a mata como referência, e as áreas com diferentes tempos de cultivo para quantificar os impactos decorrentes do uso na fertilidade do solo através da análise de sua variabilidade espacial e temporal. Nas áreas com cultivo é realizada adubação mineral e orgânica a cada 3 meses, sendo que a cultura da banana recebe em cada adubação 50g superfosfato simples, 100g de cloreto de potássio, 100g de ureia e 22 litros de esterco bovino+ovino por planta; e a de goiaba recebe 100g de superfosfato simples, 100g de cloreto de potássio e 18 litros de esterco bovino+ovino por planta. Além da adubação mineral e orgânica são utilizados agroquímicos no controle de pragas e doenças (tabela 1).

Tabela 1- Relação de produtos utilizados no controle de pragas e doenças

Produto	Ingrediente ativo	Classe de uso	Titular do cadastro
Agritoato 400	Dimetoato	Inseticida e acaricida	Nufarm Indústria Química e Farmacêutica S/A
Cercobin 700WP	Tiofanato Metílico	Fungicida	Iharabras S/A.Ind. Químicas
Cyprtrin 250CE	Cipermetrina	Inseticida	Nufarm Indústria Química e Farmacêutica S/A
Dacobre (B)*	Clorotalonil+Oxicloreto de Cobre	Fungicida	Iharabras S/A.Ind. Químicas
Decis 25 EC	Deltrametrina	Inseticida	Bayer S/A.
Tango Cash (B)	Epoxiconazole	Fungicida	Basf S.A.

Fonte: <http://download.rj.gov.br/documentos/10112/420532/DLFE-29825.pdf>/Agrotodos.pdf

* Aplicação a cada 15 dias na goiaba e mensal na banana

3.2 Caracterização e classificação do solo da área em estudo

Para fins de caracterização e classificação do solo foram abertas duas trincheiras, uma na área de mata e outra na área com agricultura irrigada (cultivo de banana). Os solos foram amostrados, caracterizados e classificados de acordo com normas propostas pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, detalhadas no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS et al., 2005) e no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). A área apresenta uniformidade na taxonomia dos solos, sendo os perfis classificados como Argissolo Amarelo, maiores detalhes serão apresentados nos resultados.

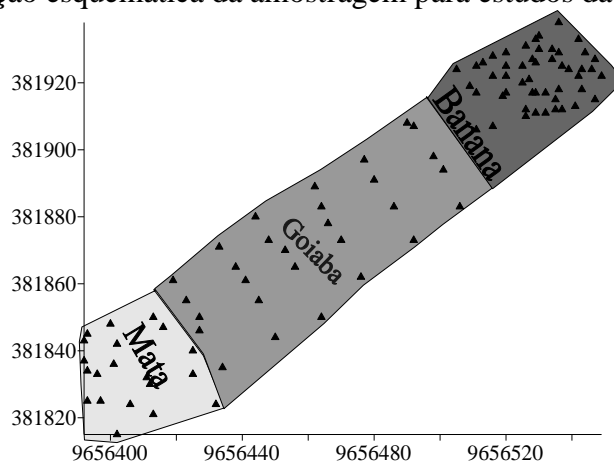
Foram coletadas amostras deformadas com auxílio de trado nas profundidades 0 - 20cm e de 20 - 40cm para determinação dos atributos químicos e físicos. Nos perfis das trincheiras foram coletadas amostras indeformadas com anel de Kopeck para análises dos atributos porosidade total, densidade de solo e de partículas.

3.3 Amostragem para estudos da variabilidade espacial

As amostras foram coletadas em grade irregular com 100 pontos (Figura 2), abrangendo uma área contínua com diferentes usos, distribuídos da seguinte forma: 20 pontos

em área com mata em regeneração (mais de 10 anos com caatinga arbustiva), 30 pontos em área com culturas de goiaba (quatro anos com irrigação, inicialmente era cultivado maracujá em consórcio com a goiaba) e 50 pontos em área com banana (seis anos com irrigação, antes da banana foi cultivado mamão por dois anos), os pontos foram georreferenciados com auxílio de GPS, com o objetivo de avaliar a dependência espacial dos dados utilizando técnicas de geoestatística.

Figura 3 – Representação esquemática da amostragem para estudos da variabilidade espacial.



Fonte: Autoria própria

3.4 Análises dos atributos químicos e físicos

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira com malha de 2 mm, a seguir foram analisadas os seguintes atributos físicos: areia, silte, argila, porosidade total e densidade das partículas, e os atributos químicos pH em H₂O e em KCl, cálcio, magnésio, potássio, sódio, fósforo, nitrogênio, carbono orgânico, acidez ativa (Al^{+3}), acidez potencial ($H^+ + Al^{+3}$), ferro, cobre, manganês, zinco e condutividade elétrica seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (1997). Nas amostras da camada de 0 a 20 cm foram determinadas as frações húmicas (ácido húmico, ácido fúlvico e humina), seguindo a metodologia proposta pela Sociedade Internacional de Substâncias húmicas (IHSS), com adaptações propostas por Benites et al. (2003). A porosidade total, densidade de solo e de partículas foram determinadas seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (1997). A partir dos resultados obtidos das análises dos atributos químicos e físicos foi calculada a soma de bases(S), capacidade de troca de cátions (CTC), percentagem de saturação por bases (V%),

e percentagem de sódio trocável (PST), e feito à classificação do solo segundo EMBRAPA (2006).

3.5 Análises de dados estatísticos

Para a análise estatística descritiva foi utilizado o programa STAT do pacote computacional geoestatístico GEOSTAT (VIEIRA et al., 1983) e XLSTAT 2012. Inicialmente os dados passaram por análise exploratória, sendo detectados os valores de média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valores extremos (mínimos e máximos) e coeficientes de assimetria e curtose. Estes dois coeficientes são úteis para analisar se os dados tem distribuição normal ou não.

3.6 Análise da variabilidade espacial e krigagem

Após a verificação da existência de dependência espacial através do ajuste do semivariograma experimental (VIEIRA, 2000), foi ajustado um modelo teórico que melhor represente os dados, tendo como variáveis o alcance (a), o efeito pepita (C_0), a variância estrutural (C_1) e o patamar ($C_0 + C_1$). A seguir foi feito a validação do modelo, utilizada a ferramenta denominada “Jack Knifing” (Autovalidação) para o ajuste dos modelos (VIEIRA et al., 1983). Esse procedimento compara os modelos ajustados e indica o número ideal de pontos vizinhos em torno daquele que está sendo estimado. Essa ferramenta permitiu verificar se o modelo ajustado foi adequado, além de determinar qual a vizinhança ideal para se fazer estimativas.

O índice de dependência espacial (IDE), proposto por Zimback (2001), foi calculado com o objetivo de determinar o grau de aleatoriedade. Segundo a autora, valores de IDE de até 25%, de 25% a 75% e acima de 75% representam, respectivamente, dependência espacial fraca, moderada e forte, respectivamente.

Após a verificação da existência de dependência espacial através do ajuste do semivariograma foi realizada a interpolação de dados para os locais não amostrados pelo

método da krigagem, utilizando-se dos parâmetros encontrados no semivariograma (alcance, efeito pepita e a variância estrutural), obtidos em função dos melhores modelos ajustados.

Para a visualização da distribuição espacial dos parâmetros estudados, foram gerados mapas de contorno (isolinhas) através do software Surfer.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização e classificação do solo da área em estudo

Os dois perfis 1 (mata) e 2 (bananeira) foram classificados como Argissolo Amarelo Distrocoeso arênico e Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupático com predomínio da fração areia grossa em todo o perfil, para as duas áreas. A fração argila aumenta em profundidade nos dois perfis formados por horizonte B textural (Tabela 2). Os dois perfis apresentam horizontes com caráter coeso e mudança textural abrupta, que de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2006) são solos que apresentam horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistentes à penetração da faca e muito duros a extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos (caráter coeso) e, considerável aumento no teor de argila de do horizonte A para o horizonte B em uma distância vertical $\leq 7,5$ cm (transição abrupta ou clara) para a mudança textural abrupta.

Os Argissolos são solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural (Bt) imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B (EMBRAPA, 2006). O Bt é um horizonte de acumulação de argila, através dos processos de iluviação/eluviação.

As cores do solo se relacionam com a quantidade de hematita e goethita, e dependem do clima, material de origem, entre outros. De acordo com Embrapa (2006) o Argissolo Amarelo apresenta matiz 7,5YR ou mais amarelos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Nos perfis estudados a cor pode ser relacionada ao material de origem, pois são solos formados de sedimentos areno argilosos do grupo Barreiras (Apêndices A e B).

No terceiro nível categórico o solo foi classificado como Distrocoeso, ou seja, solos que apresentam caráter coeso e saturação por bases $< 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do B (inclusive BA). O caráter coeso se reflete no adensamento desses horizontes,

observado pelo aumento da densidade (Tabela 4), porém não chega a limitá-los quanto ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

A baixa saturação por bases pode ser facilmente corrigida com as práticas de adubação e calagem, principalmente nas camadas mais superficiais, entretanto, o uso indiscriminado de fertilizantes, juntamente com a irrigação, pode causar problemas como a salinidade, sodicidade, o aumento da alcalinidade pode interferir na absorção de nutrientes, que mesmo presentes no solo, tornam-se indisponíveis as plantas. O perfil da área da bananeira (Tabela 3) apresenta aumento de três a cinco vezes no valor da PST, indicando a necessidade de práticas de manejo da irrigação que reduzam riscos futuros quanto a problemas de infiltração pela sodicidade.

No quarto nível categórico o solo foi classificado como arênico (mata) e abrupto (bananeira), no primeiro o perfil apresenta textura arenosa até a profundidade de 0,55m (horizonte A), com mudança textural abrupta nesta profundidade, enquanto o perfil da área de bananeira apresenta mudança textural abrupta, juntamente com caráter coeso à profundidade de 0,20m, estas características indicam que o solo pode apresentar problema de infiltração de água e dificultar a penetração de raízes, além de facilitar a perda de solo por processos erosivos. Ambos são solos profundos, podendo ser indicados para culturas que possuam o sistema radicular profundo, porém, apresentam como fator limitante a drenagem acentuada, contribuindo para a lixiviação de nutrientes. O sistema de irrigação localizada, (microaspersão) que é utilizado na área em estudo é o indicado para solos com estas características, pois evitar o uso excessivo de água e reduz as perdas por lixiviação.

Tabela 2 Granulometria e classificação textural dos perfis de solos coletados na área de mata e de bananeira

Perfil 1 Área de mata : Argissolo Amarelo Distrocóeso arênico						
Horizonte	Profundidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classe textural
	— cm —	— g kg ⁻¹ —				
A1	0 - 10	681	221	49	49	Areia
A2	10 - 20	516	406	29	49	Areia
AB	20 - 55	605	280	33	82	Areia
Bt1	55 - 80	525	234	42	198	Franco Arenosa
Bt2	80 - 120	502	250	41	208	Franco Argilo Arenosa
Bt3	120 - 150	546	221	42	191	Franco Arenosa
Perfil 2 Área de bananeira : Argissolo Amarelo Distrocóeso abrupático						
Horizonte	Profundidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classe textural
	— cm —	— g kg ⁻¹ —				
Ap1	0 - 12	691	194	60	55	Areia
Ap2	12 - 20	663	234	36	67	Areia
Bt1	20 - 50	615	190	48	147	Franco Arenosa
Bt2	50 - 80	434	392	41	133	Franco Arenosa
Bt3	80 - 130+	509	227	49	215	Franco Argilo Arenosa

No perfil coletado na área com banana (Tabela 3), com exceção dos teores de K⁺ e H⁺

No perfil coletado na área com banana (Tabela 3), com exceção dos teores de K⁺ e H⁺ + Al³⁺ os demais atributos químicos foram superiores aos da área de mata, principalmente, nos horizontes superficiais que são mais influenciados pelas práticas de manejo. Os maiores teores de sódio e percentagem de sódio trocável (PST) são decorrentes da irrigação, que mesmo utilizando água classificada como adequada para a irrigação, classe C₂S₁ (médio risco de salinidade e baixo risco de sodicidade) e C₁S₂ (baixo risco de salinidade e médio risco de sodicidade) de acordo com Lobato et al. (2008) e Lopes et al. (2008), respectivamente, adiciona sais ao solo, principalmente sódio.

Tabela 3- Análise química dos perfis de solos coletados na área de mata e de bananeira

Hor	Prof.	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	CTC	V	PST*	P
	-- cm --			-----cmol _c kg ⁻¹ -----								—% —	mg kg ⁻¹	
A1	0-10	6,1	5,0	0,6	1,0	0,02	0,19	1,8	0,00	1,73	3,55	51	1	2,9
A2	10-20	5,4	5,1	0,3	0,1	0,01	0,07	0,5	0,00	0,49	0,97	50	1	0,3
AB	20-55	5,2	4,0	0,2	0,2	0,02	0,06	0,5	0,25	0,83	1,31	37	1	0,1
Bt1	55-80	5,2	4,1	0,2	0,3	0,02	0,02	0,5	0,00	1,98	2,53	22	1	0
Bt2	80-120	5,1	4,0	0,2	0,1	0,02	0,03	0,4	0,10	1,98	2,33	15	1	0
Bt3	120-150	5,2	4,0	0,2	0,2	0,02	0,03	0,5	0,50	2,31	2,77	17	1	0

Hor	Prof.	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SB	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	CTC	V	PST*	P
	-- cm --			-----cmol _c kg ⁻¹ -----								—% —	mg kg ⁻¹	
Ap1	0-12	6,7	5,8	1,6	1,2	0,23	0,07	3,1	0,05	1,65	4,76	65	5	4,8
Ap2	12-20	6,3	5,1	0,3	0,6	0,06	0,05	1,0	0,00	1,49	2,50	41	3	0,5
Bt1	20-50	6,2	4,6	0,3	0,6	0,06	0,13	1,1	0,20	2,31	3,41	32	3	2,1
Bt2	50-80	5,9	4,3	0,3	0,4	0,06	0,04	0,8	0,20	1,65	2,45	33	2	1,0
Bt3	80-130+	4,9	3,8	0,2	0,4	0,04	0,02	0,7	0,00	2,48	3,14	21	1	0

PST= Percentagem de sódio trocável (100 Na/T)

As densidades do solo e de partículas aumentam com a profundidade nos dois perfis (Tabela 4), sendo que a camada de 20 - 30 cm apresentam os maiores valores de densidade, correspondendo o horizonte de transição nos dois perfis, ambos apresentam caráter coeso nesta camada. Este aumento na densidade reflete em redução da porosidade total de 49% (0 - 10 cm) para 43% (20 - 30 cm) na mata. Os resultados indicam processo de compactação na área cultivada com banana, pois esta área apresenta maior densidade do solo e menor porosidade, mesmo sendo ligeiramente mais argiloso.

Tabela 4 - Densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total dos perfis de solos coletados na área de mata e de bananeira

Perfil 1 Área de mata : Argissolo Amarelo Distrocoeso arênico			
Profundidade	Densidade do solo	Densidade de partícula	Porosidade total
—cm—	—Mg m ⁻³ —		—%—
0-10	1,34	2,63	49
10-20	1,50	2,67	44
20-30	1,55	2,74	43
30-40	1,50	2,69	44
Perfil 2 Área de bananeira : Argissolo Amarelo Distrocoeso típico			
Profundidade	Densidade do solo	Densidade de partícula	Porosidade total
—cm—	—Mg m ⁻³ —		—%—
0-10	1,62	2,67	39
10-20	1,58	2,63	40
20-30	1,67	2,74	39
30-40	1,60	2,76	42

A porosidade do solo possibilita o conhecimento das condições ambientais do solo no desenvolvimento e na produção vegetal, é utilizada para estimar a lâmina de água necessária para a irrigação, é necessária nos projetos de drenagem, influencia na infiltração, retenção de água e temperatura do solo. Sendo considerado um importante parâmetro para a avaliação da estrutura do solo. Em solos arenosos os valores normalmente situam-se entre 30 e 50% nos horizontes superficiais (AMARO FILHO et al., 2008).

4.2 Análises estatísticas dos dados

A análise dos dados pela estatística descritiva na camada de 0 – 20 cm (Tabela 5) possibilita inferir através dos parâmetros: média, valores de mínimo, máximo e coeficiente de variação (CV) que quase todos os atributos avaliados, principalmente as bases trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺), PST, condutividade elétrica e os micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn) apresentaram alta variabilidade, indicando com isso variabilidade espacial, devido à discrepância entre esses valores, o CV apresentou valores maiores que 50%, para os referidos atributos. Com valores extremos para o P (144%) e Cu (111%).

Na matriz de correlação para atributos químicos e físicos das amostras de solo na camada de 0 - 20 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira (Apêndice C) observa

–se que o Na^+ apresentou correlação positiva em nível de 5% de significância com a SB, refletindo a participação do Na^+ na SB. A correlação positiva entre K^+ e CE evidencia a influência da adubação potássica no aumento dos teores de CE observados na área em estudo (Figura 10).

Para os atributos químicos e físicos das amostras de solo na camada de 20 - 40 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira (Apêndice D) observa –se que o Na^+ apresentou correlação positiva em nível de 5% de significância com o pH H_2O , o aumento dos teores de Na^+ provoca elevação do pH.

Tabela 5- Estatística descritiva dos atributos químicos e físicos das amostras de solo na camada de 0 - 20 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira

Variável	Unidade	Média	Mín.	Máx.	s ²	s	CV (%)	Ass.	Curt.
pHH ₂ O	Adm	7,07	5,00	8,10	0,56	0,75	11	-0,95	-0,04
pHKCl	Adm	6,29	4,10	7,90	0,74	0,86	14	-0,71	-0,37
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,86	0,10	4,50	0,97	0,98	53	0,22	-0,43
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,39	0,10	4,00	0,53	0,73	53	0,60	0,43
Na ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,27	0,01	0,79	0,03	0,18	68	0,52	-0,05
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,16	0,04	0,77	0,01	0,10	65	3,02	13,74
SB	cmol _c dm ⁻³	3,68	1,08	6,43	1,59	1,26	34	-0,11	-0,65
H+Al	cmol _c dm ⁻³	1,29	0,17	3,96	0,51	0,72	55	0,89	1,20
CTC	cmol _c dm ⁻³	4,97	2,15	9,01	1,86	1,36	27	0,68	0,04
V	%	73,3	32,00	96,00	223,80	14,96	20	-0,97	0,35
PST	%	5,3	0,00	14,00	11,29	3,36	64	0,33	-0,74
P	mg dm ⁻³	26,81	0,68	173,30	1,50	38,69	144	2,31	5,03
N	g kg ⁻¹	0,23	0,11	0,39	0,00	0,06	26	0,86	0,37
CE	dS m ⁻¹	0,56	0,17	2,93	0,19	0,43	77	2,98	11,38
COT	g kg ⁻¹	5,71	2,30	10,79	2,70	1,64	29	0,59	0,22
Humina	g kg ⁻¹	3,66	1,52	6,65	1,58	1,26	34	0,48	-0,53
FAH	g kg ⁻¹	0,93	0,12	2,91	0,20	0,44	48	1,30	3,29
FAF	g kg ⁻¹	0,73	0,12	1,42	0,08	0,28	38	0,34	-0,44
Fe	mg dm ⁻³	35,42	12,33	192,10	479,30	21,89	62	4,09	26,20
Cu	mg dm ⁻³	1,05	0,01	5,83	1,36	1,17	111	2,21	4,98
Zn	mg dm ⁻³	3,93	0,01	8,96	6,08	2,47	63	0,55	-0,71
Mn	mg dm ⁻³	20,84	4,85	74,70	139,50	11,81	57	1,45	3,57
Silte	g kg ⁻¹	51,18	12,00	100,00	259,10	16,10	31	0,55	1,04
Argila	g kg ⁻¹	48,61	21,00	151,00	472,10	21,73	45	2,10	6,37
Areia	g kg ⁻¹	900,30	794,00	946,00	797,10	28,23	3	-1,81	4,09

Var=variância; D.P.= desvio padrão; C.V.= coeficiente de variação; Min= mínimo; Max =máximo; Ass=assimetria; Curt.=curtose; SB= soma de bases; PST= percentagem de sódio trocável; P= fósforo assimilável; N= nitrogênio total; CE= condutividade elétrica; COT = carbono orgânico total; FAH= fração ácido húmico; FAF= fração ácido fúlvico; Fe = ferro; Cu = cobre; Zn = zinco; Mn = manganês.

Para a camada de 20 – 40 cm (tabela 6) verifica-se que os dados seguem a mesma distribuição observada na camada de 0 – 20 cm para os parâmetros: média e valores de mínimo, máximo e coeficiente de variação (CV) para quase todos os atributos avaliados, principalmente as bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), percentagem de sódio trocável (PST), a condutividade elétrica e os micronutrientes (Cu, Zn, Mn) apresentaram variabilidade espacial, devido à discrepância entre esses valores. O CV para os referidos atributos foi maior que 50%, Com valores extremos em P (170%) e K^+ (105%) estes elementos apresentaram valores de média, mínimo e máximo 8,35; 0,12; 78,4 mg dm^{-3} e 0,12; 0,02; 0,79 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ P e K^+ , respectivamente.

A normalidade dos dados foi observada pela análise do coeficiente de assimetria e curtose, onde os valores mais próximos de zero para a assimetria e menores que 3 para a curtose tendem a distribuição normal. O teste de normalidade W de Shapiro-Wilk comprova esta tendência, pois os atributos que apresentaram distribuição normal, destacados (negrito) nas tabelas 5 e 6, são aqueles que apresentam os menores coeficientes de assimetria, porém como a normalidade não é um requisito para a geoestatística apenas algumas variáveis foram transformadas para o melhor ajuste do semivariograma.

Tabela 6 - Estatística descritiva dos atributos químicos e físicos das amostras de solo na camada de 20 - 40 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira

Variável	Unidade	Média	Mín.	Máx.	Var.	D.P	CV (%)	Ass.	Curt.
pHH ₂ O	Adm	6,60	4,20	7,80	0,61	0,78	12	-0,86	0,13
pHKCl	Adm	5,71	4,10	7,10	0,64	0,80	14	-0,46	-0,76
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,63	0,10	2,00	0,15	0,39	62	0,71	0,36
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,93	0,10	2,30	0,23	0,48	51	0,66	-0,11
Na ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,17	0,02	0,55	0,01	0,12	67	0,77	0,64
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,12	0,02	0,79	0,02	0,13	105	2,85	9,62
SB	cmol _c dm ⁻³	1,86	0,76	4,34	0,32	0,57	31	0,82	2,64
H+Al	cmol _c dm ⁻³	1,10	0,17	2,64	0,32	0,57	52	0,62	-0,37
CTC	cmol _c dm ⁻³	2,96	1,92	6,32	0,53	0,73	25	1,56	3,80
V	%	63,6	27,00	93,00	232,4	15,25	24	-0,51	-0,20
PST	%	6,1	1,00	22,00	16,83	4,10	67	1,01	1,66
P	mg dm ⁻³	8,35	0,12	78,47	200,9	14,17	170	2,85	8,88
N	g kg ⁻¹	0,11	0,06	0,22	0,00	0,03	27	0,96	2,99
CE	dS m ⁻¹	0,24	0,10	1,17	0,04	0,19	80	3,07	10,67
COT	g kg ⁻¹	2,54	1,18	5,57	0,66	0,82	32	1,01	1,85
Fe	mg dm ⁻³	71,12	20,23	205,40	1,22	34,89	49	1,37	2,68
Cu	mg dm ⁻³	0,33	0,01	0,99	0,05	0,22	66	-0,05	-0,42
Zn	mg dm ⁻³	1,63	0,01	6,16	1,21	1,10	67	1,76	4,60
Mn	mg dm ⁻³	4,36	0,69	22,95	10,91	3,30	76	2,99	12,15
Silte	g kg ⁻¹	38,38	19,00	78,00	112,6	10,61	28	1,12	2,00
Argila	g kg ⁻¹	79,92	32,00	167,0	538,9	23,21	29	0,77	1,13
Areia	g kg ⁻¹	881,70	786,00	925,00	705,1	26,55	3	-1,03	1,41

C₀= efeito pepita; C₁= variância estrutural; C₀+C₁= patamar; a= alcance; R² = coeficiente de determinação; IDE= índice de dependência espacial(C₁/C₀+C₁*100); SB= soma de bases; PST= percentagem de sódio trocável; P= fósforo assimilável; N= nitrogênio total; CE= condutividade elétrica; COT = carbono orgânico total; FAH= fração ácido húmico; FAF= fração ácido fúlvico; Fe = ferro; Cu = cobre; Zn = zinco; Mn = manganês

4.3 Análises da variabilidade espacial e krigagem

A dependência espacial dos atributos químicos e físicos da camada de 0 – 20 cm foi verificada pela análise dos parâmetros efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (a) (Tabela 7). Os atributos CTC, COT, N, areia, silte e argila apresentaram efeito pepita puro. O efeito pepita representa a variabilidade não explicada que pode ser devido a erros na amostragem (escala de amostragem), na coleta ou nas análises química e física, ou porque a variável não apresenta dependência espacial. O patamar é atingido quando a variância permanece constante. O alcance representa a distância máxima de correlação entre as amostras, ou seja, a partir do alcance as amostras são independentes entre si, sendo indicada a utilização de valores médios (estatística clássica).

O coeficiente de determinação R^2 foi $> 0,80$ para os atributos pH em água e em KCl, Na^+ , PST, P, cobre, zinco e Manganês na camada de 0 – 20cm e, exceto valor V, COT e ferro na camada de 20 - 40cm.

Tabela 7- Parâmetros dos semivariogramas dos atributos químicos e físicos das amostras de solo na camada de 0 - 20 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira

Variável	Unidade	Modelo	C ₀	C ₁	C ₀ +C ₁	a	R ²	IDE
pH_{H₂O}	Adm	Gaussiano	0,1000	0,5500	0,6500	70,00	0,84	85
pH_{KCl}	Adm	Gaussiano	0,1200	0,9680	1,0880	76,00	0,89	89
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	Gaussiano	0,6512	0,2512	0,9024	76,15	0,56	28
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	Gaussiano	0,2800	0,3300	0,6100	46,00	0,66	54
Na⁺	cmol _c dm ⁻³	Gaussiano	0,0111	0,0221	0,0332	49,38	0,84	67
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	Esférico	0,0055	0,0088	0,0143	65,00	0,64	62
SB	cmol _c dm ⁻³	Gaussiano	0,8600	0,5800	1,4400	46,00	0,42	40
H+Al	cmol _c dm ⁻³	Gaussiano	0,2188	0,2285	0,4473	31,70	0,50	51
CTC	cmol _c dm ⁻³	Efeito pepita puro	–	–	–	–	–	–
V	%	Gaussiano	37,75	134,91	172,66	37,70	0,65	78
PST	%	Esférico	4,7600	4,7700	9,5300	82,00	0,84	50
P	mg dm ⁻³	Gaussiano	0,1758	0,4485	0,6243	67,00	0,90	72
N	g kg ⁻¹	Efeito pepita puro	–	–	–	–	–	–
CE	dS m ⁻¹	Esférico	0,0070	0,2526	0,2596	65,20	0,76	97
COT	g kg ⁻¹	Efeito pepita puro	–	–	–	–	–	–
Humina	g kg ⁻¹	Gaussiano	0,0160	0,0070	0,0230	35,00	0,41	30
FAH	g kg ⁻¹	Gaussiano	0,0266	0,0174	0,0440	29,00	0,46	40
FAF	g kg ⁻¹	Gaussiano	0,0649	0,0267	0,0916	50,36	0,75	29
Fe	mg dm ⁻³	Gaussiano	0,0180	0,0188	0,0368	36,00	0,46	51
Cu	mg dm ⁻³	Gaussiano	0,0280	0,9500	0,9780	60,00	0,81	97
Zn	mg dm ⁻³	Gaussiano	3,06	5,34	8,40	60,76	0,99	64
Mn	mg dm ⁻³	Gaussiano	96,47	82,97	179,44	64,74	0,84	46
Silte	g kg ⁻¹	Efeito pepita puro	–	–	–	–	–	–
Argila	g kg ⁻¹	Efeito pepita puro	–	–	–	–	–	–
Areia	g kg ⁻¹	Efeito pepita puro	–	–	–	–	–	–

C₀= efeito pepita; C₁= variância estrutural; C₀+C₁= patamar; a= alcance; R² = coeficiente de determinação; IDE= índice de dependência espacial(C₁/C₀+C₁*100); SB= soma de bases; PST= percentagem de sódio trocável; P= fósforo assimilável; N= nitrogênio total; CE= condutividade elétrica; COT = carbono orgânico total; FAH= fração ácido húmico; FAF= fração ácido fúlvico; Fe = ferro; Cu = cobre; Zn = zinco; Mn = manganês.

O índice de dependência espacial segundo Zimback (2001) varia de moderado a forte para todas as variáveis que apresentaram dependência espacial, sendo que a maioria dos atributos apresentou dependência espacial moderada na camada de 0 – 20 cm, exceto para pH, Cu, CE e V% (Tabela 7), refletindo assim, as condições de manejo e adubação, que ao longo do tempo vem adicionando esses elementos no solo através da aplicação de fertilizantes químicos e orgânicos, agroquímicos e pela água de irrigação (principalmente o sódio), visto que, na camada de 0 – 20cm ocorre maior atividade antrópica. De acordo com Cambardella (1994) os fatores extrínsecos (manejo, aplicação de fertilizantes e corretivos) são responsáveis

por dependência espacial fraca a moderada, enquanto os fatores intrínsecos (fatores de formação, textura, mineralogia) são responsáveis pela dependência espacial forte.

O alcance variou de 29 a 82m de distância, em ordem decrescente para os atributos: PST>Ca>pH KCl>pH H₂O>P>CE>K>Mn>Zn>Cu>C-FAF > Na > Mg = SB > V = Fe > C-FHUM >H+Al>C-FAH. O alcance representa a máxima distância de dependência entre as amostras. Segundo Vieira (2000) esse parâmetro pode ser utilizado como uma linha divisória para a aplicação da geoestatística e da estatística clássica, pois para distâncias maiores que o alcance as variáveis são independentes.

Na camada de 20 – 40 cm somente as variáveis areia e argila apresentaram efeito pepita puro (Tabela 8), as variáveis Na, K, N e silte apresentaram dependência espacial moderada e para todas as outras variáveis a dependência espacial foi forte. Estes resultados evidenciam que nesta profundidade os fatores de formação exercem forte influência nos atributos do solo, pois os processos pedogenéticos geralmente são observados em subsuperfície.

O alcance variou de 30 a 110m de distância, em ordem decrescente para os atributos: K > silte >CTC > Zn > P >Cu > Mn > pH H₂O >Mg =CE > pH KCl > SB >Ca>Na=Sat.sódio>COT >H+Al >V >N >Fe. O alcance pode ser utilizado como referência para amostragem em futuros experimentos na mesma área, pois possibilita separar as áreas de acordo com a variabilidade e assim controlar melhor os fatores que podem interferir nos resultados dos tratamentos.

Tabela 8 - Parâmetros dos semivariogramas dos atributos químicos e físicos das amostras de solo na camada de 20 - 40 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira

Variável	Unidade	Modelo	C ₀	C ₁	C ₀ +C ₁	a	R ²	IDE
pHH ₂ O	adm	Gaussiano	0,0973	0,6599	0,7572	63,50	0,95	87
pHKCl	adm	Gaussiano	0,1421	0,6760	0,8181	60,91	0,88	83
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	Gaussiano	0,0310	0,1210	0,1520	54,00	0,93	80
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	Gaussiano	0,0442	0,3350	0,3792	62,00	0,91	88
Na ⁺	cmol _c dm ⁻³	Gaussiano	0,0053	0,0117	0,0170	52,00	0,93	69
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	Gaussiano	0,1350	0,2200	0,3550	110,00	0,95	62
SB	cmol _c dm ⁻³	Gaussiano	0,0428	0,4558	0,4986	55,91	0,91	91
H+Al	cmol _c dm ⁻³	Gaussiano	0,0666	0,2723	0,3389	41,46	0,89	80
CTC	cmol _c dm ⁻³	Esférico	0,0250	0,9800	1,01	85,00	0,93	98
V	%	Esférico	14,99	183,42	198,41	39,62	0,60	92
PST	%	Gaussiano	0,0230	0,0840	0,1070	52,00	0,90	79
P	mg dm ⁻³	Gaussiano	25,00	375,00	400,00	75,50	0,91	94
N	g kg ⁻¹	Gaussiano	0,0004	0,0006	0,0010	39,53	0,80	60
CE	dS m ⁻¹	Gaussiano	0,0125	0,0820	0,0945	62,00	0,90	87
COT	g kg ⁻¹	Gaussiano	0,2888	0,5191	0,8079	45,84	0,58	64
Fe	mg dm ⁻³	Gaussiano	0,0300	0,0140	0,0440	30,00	0,43	32
Cu	mg dm ⁻³	Gaussiano	0,0145	0,0717	0,0862	69,33	0,94	83
Zn	mg dm ⁻³	Gaussiano	0,40	2,10	2,50	80,00	0,83	84
Mn	mg dm ⁻³	Gaussiano	3,80	12,80	16,60	66,00	0,86	77
Silte	g kg ⁻¹	Gaussiano	93,00	57,00	150,00	95,00	0,96	38
Argila	g kg ⁻¹	Efeito pepita puro	–	–	–	–	–	–
Areia	g kg ⁻¹	Efeito pepita puro	–	–	–	–	–	–

C₀= efeito pepita; C₁= variância estrutural; C₀+C₁= patamar; a= alcance; R² = coeficiente de determinação; IDE= índice de dependência espacial; SB= soma de bases; PST= percentagem de sódio trocável; P= fósforo assimilável; N= nitrogênio total; CE= condutividade elétrica; COT = carbono orgânico total; Fe = ferro; Cu = cobre; Zn = zinco; Mn = manganês.

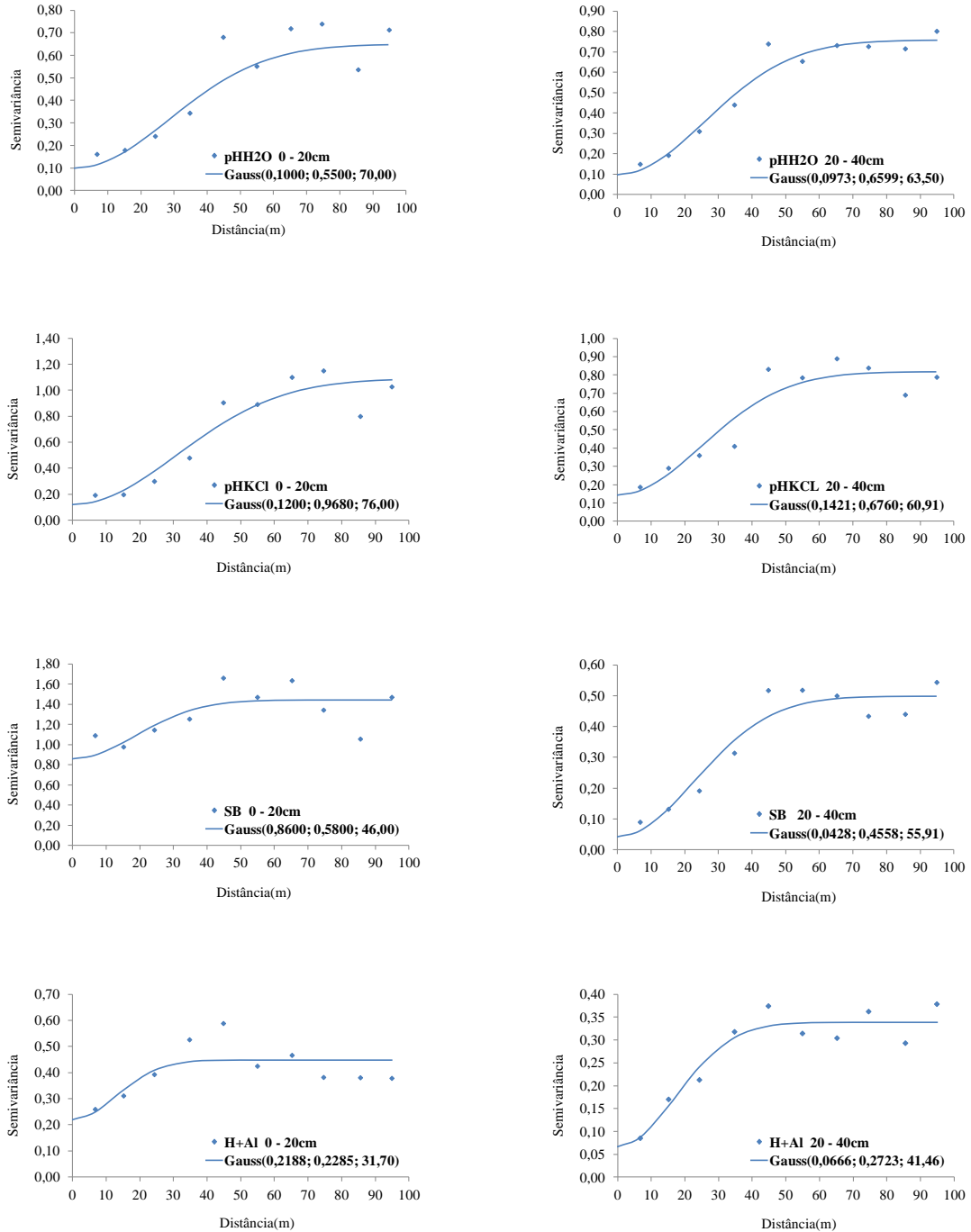
O ajuste do modelo teórico ao semivariograma experimental é um dos aspectos mais importantes das aplicações da geoestatística, pois segundo Vieira (2000) o modelo de semivariograma é à base de todos os cálculos utilizados na geoestatística, ou seja, a partir dos

valores de efeito pepita (C_0), variância estrutural (C_1), patamar (C_0+C_1) e alcance (a) são feitos a validação e a interpolação dos dados.

Nas figuras 4 a 8 são representados os semivariogramas para todos os atributos avaliados, observa-se que para a camada de 0 - 20 cm, com exceção da K^+ , PST e CE, que se ajustam ao modelo esférico, todos os outros atributos ajustaram-se ao modelo gaussiano. A camada de 20 - 40 cm segue o mesmo padrão de ajuste, apenas a CTC e V% se ajustaram ao modelo esférico, e todos os outros atributos se ajustaram ao modelo gaussiano.

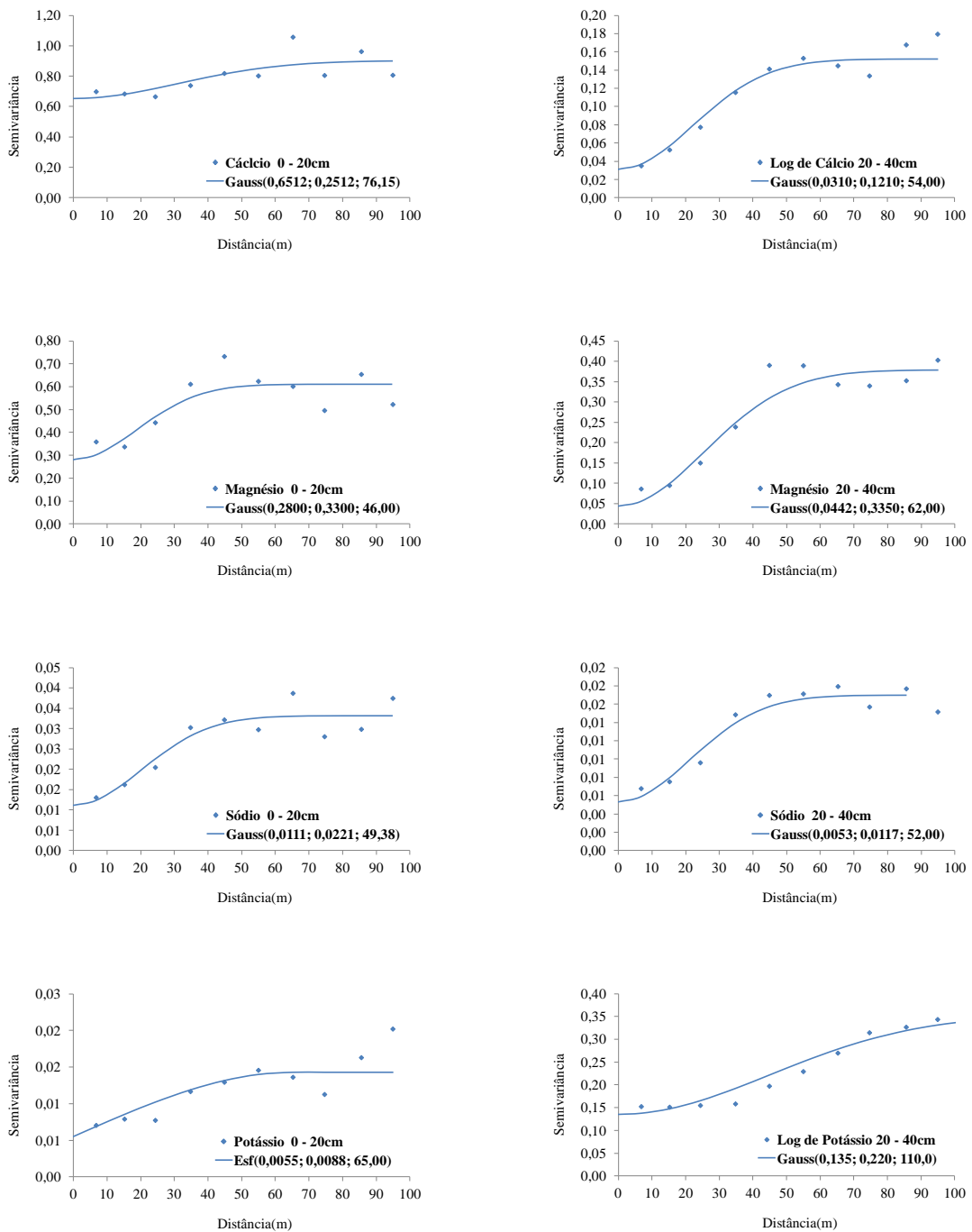
Os atributos Ca^{2+} e K^+ na camada de 20 - 40 cm (Figura 5), PST na camada de 0 - 20 e P na camada de 20 - 40 cm (Figura 6), FAH na camada de 0 - 20 e CE na camada de 20 - 40 cm (Figura 7), Fe e Cu na camada de 0 - 20 e Fe na camada de 20 - 40 cm (Figura 8) foram transformados usando logaritmo para melhor ajuste dos semivariogramas.

Figura 4- Semivariogramas dos atributos pHH2O, pHKCl, soma de bases (SB) e acidez total (H+Al) nas camadas de 0 – 20cm e 20 – 40cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.



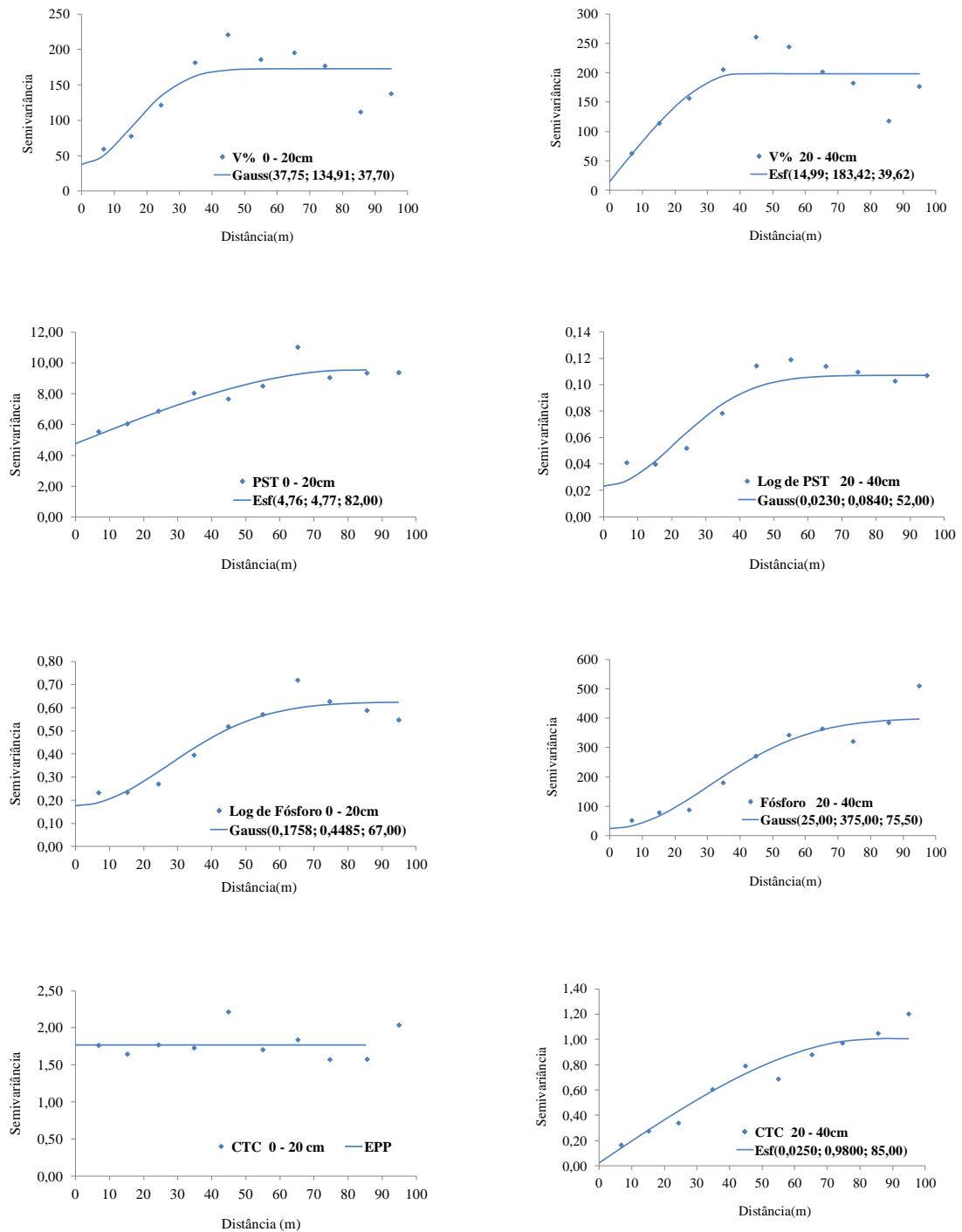
Fonte: Autoria própria

Figura 5- Semivariogramas para os atributos cálcio, magnésio, sódio e potássio nas camadas de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.



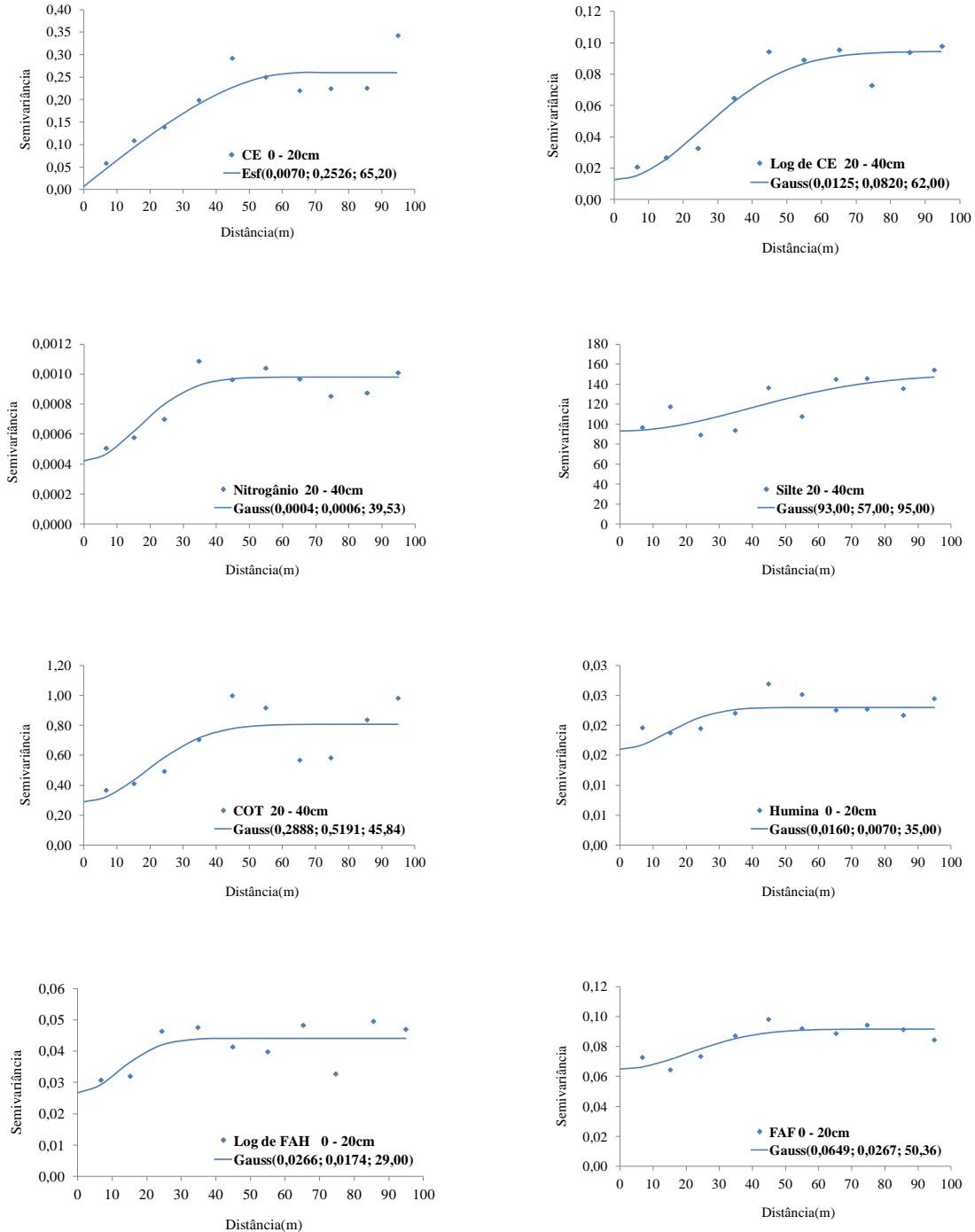
Fonte: Autoria própria

Figura 6 - Semivariograma para os atributos saturação por bases (V%), PST e fósforo e Capacidade de troca de cátions (CTC) nas camadas de 0 - 20 cm e 20 – 40 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.



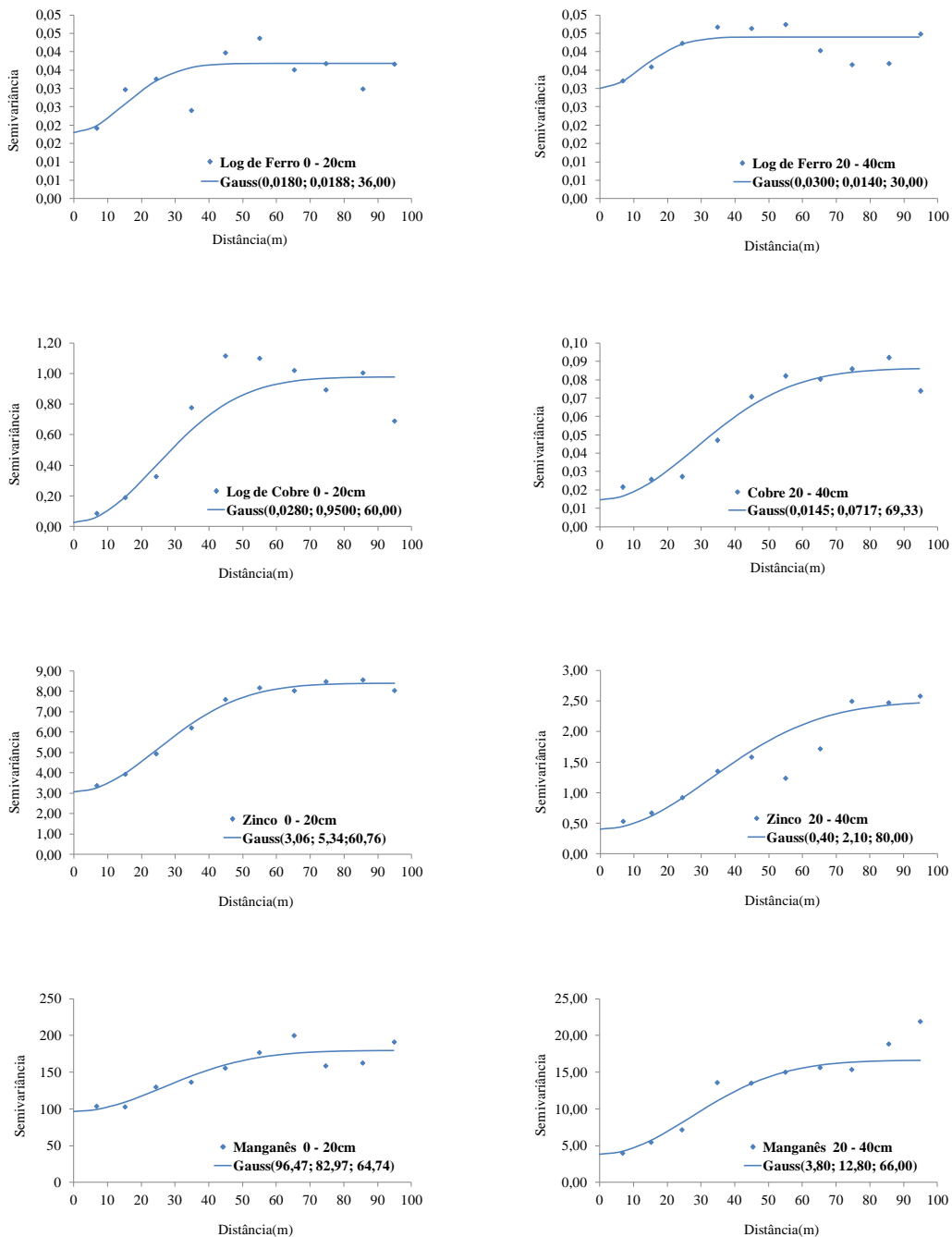
Fonte: Autoria própria

Figura 7 - Semivariogramas para os atributos condutividade elétrica (CE) nas camadas de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm; nitrogênio, silte e carbono orgânico total (COT) na camada de 20 – 40cm, e frações húmicas: FHUM (humina), FAF(fração ácido húmico) e FAF (fração ácido fúlvico) na camada de 0 - 20cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira



Fonte: Autoria própria

Figura 8 - Semivariogramas para os micronutrientes (FE, Cu, Zn e Mn) nas camadas de 0 - 20cm e 20 - 40cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.



Fonte: Autoria própria

As diferenças observadas na cobertura do solo entre os usos (Fotografia 1) se refletem na distribuição espacial onde é possível verificar o efeito de borda nos limites entre os diferentes usos. Entre as áreas de mata e goiabeira, observa-se aumento nos teores de pH H₂O, pH KCl, Mg²⁺, Na⁺·SB, PST, V, Zn e Mn(0 – 20cm), e pH H₂O, pH KCl, Mg²⁺, SB, V(20 – 40cm), à medida que se aproxima da área com goiabeira.

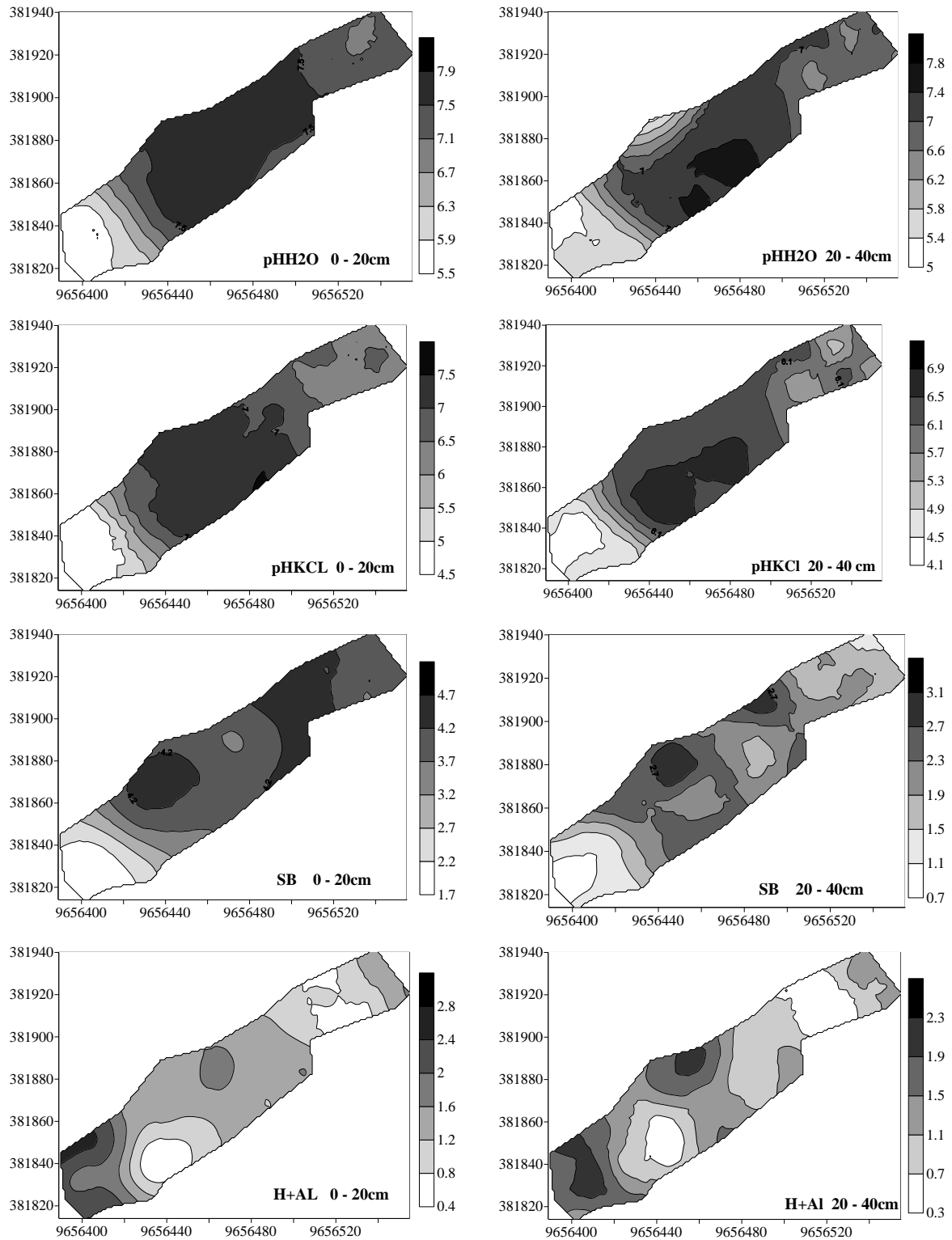
No limite entre as áreas de goiabeira e bananeira (Fotografia 1) observa-se aumento nos teores para Ca^{2+} , Na^+ , PST, FAF e FAH (0 – 20cm) e para Ca^{2+} , Na^+ , PST e Cu (20- 40cm), este aumento ocorre da área com goiabeira para a área com bananeira. O Mg^{2+} apresentou relação contrária, ou seja, o aumento ocorre da área com bananeira para a área com goiabeira.

A interpolação dos dados para os atributos pH H_2O , pH KCl, SB e acidez total (H+Al) nas camadas de 0 – 20cm e 20 – 40cm (Figura 9), possibilita inferir que a variabilidade espacial não foi influenciada pelo tempo de uso, pois os teores mais altos para estes atributos foram verificados nas áreas com menor tempo de uso, ou seja, a área com goiabeira (4 anos) apresentou teores superiores aos observados na área com bananeira (6 anos), exceto para a SB onde as duas áreas apresentam distribuição espacial semelhantes.

Os valores de pH H_2O estão muito elevados na área com goiabeira ($\text{pH} > 7,0$) nas camadas de 0 – 20cm e de 20 – 40cm, na área com mata variaram de 6,5 a 7,5. Borges e Souza (2009) encontraram valores de pH H_2O entre 7,4 a 8,1 para um Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico cultivado com bananeira sob irrigação, segundo estes autores a faixa de pH ideal para a cultura é de 6,0 a 6,5. Valores de pH elevados podem interferir na absorção de nutrientes, tornando-os indisponíveis as plantas.

Na área de mata estes valores foram sempre menores em comparação as demais áreas, estes resultados são decorrentes da ausência de adubação, assim, a acidez total ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$) também é mais elevada nesta área. Os valores de soma de bases também são maiores nas áreas com cultivo devido à adubação, apresentam distribuição semelhante entre as áreas nas camadas de 0 - 20 cm, com classes de valores bem definidas. Em subsuperfície os teores de bases são menores e apresentam grande variabilidade em toda a área cultivada.

Figura 9- Mapas de distribuição espacial dos atributos pH H₂O, pH KCl, soma de bases (SB) e acidez total (H+Al) nas camadas de 0 – 20cm e 20 – 40cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.

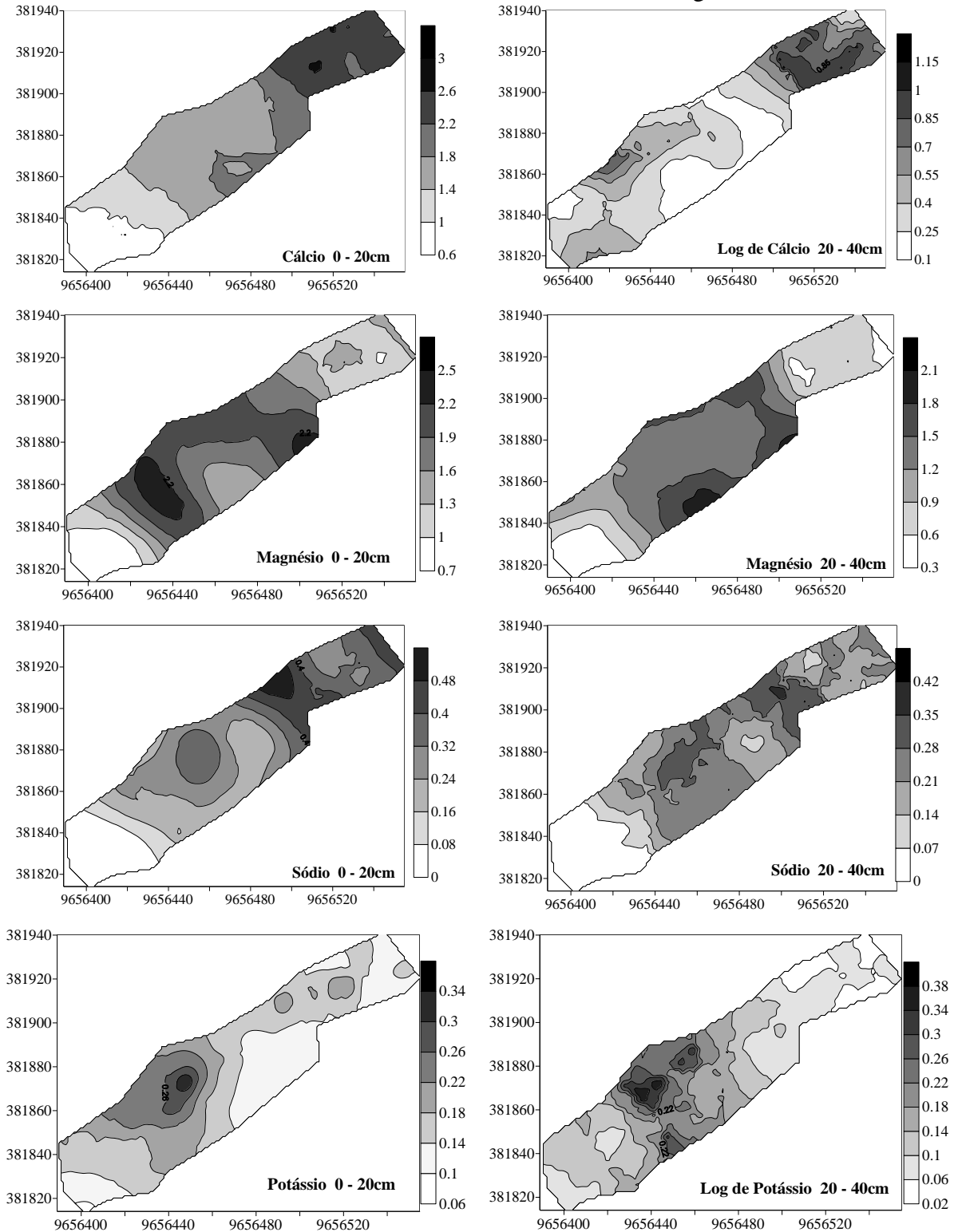


Fonte: Autoria própria

Os teores das bases trocáveis Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, (Figura 10), foram sempre maiores nas áreas cultivadas, evidenciando também a variação temporal para Ca²⁺ e Na⁺ com

aumento gradativo nos teores desses elementos da área de mata para a área com banana, estes resultados mostram a influência do manejo na fertilidade do solo.

Figura 10 - Mapas de distribuição espacial dos atributos cálcio, magnésio, sódio e potássio nas camadas de 0 – 20 cm e 20 – 40cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.



Fonte: Autoria própria

Os maiores teores de Ca^{2+} na área cultivada com bananeira ocorrem devido à deposição de resíduos culturais ao solo, segundo Borges e Souza 94,5% do Ca^{2+} absorvido pela bananeira retornam ao solo, através da deposição dos resíduos vegetais (folhas, pseudocaule).

Os menores teores de Mg^{2+} na área cultivada com bananeira (Figura 10) podem estar associados a maior absorção deste nutriente pela cultura de banana em comparação com a cultura de goiabeira, pois é o terceiro nutriente mais absorvido pela bananeira e o quinto ou sexto pela goiabeira (BORGES et al., 2002; NATALE et al., 2009).

Para os teores de Na^+ (Figura 10) verifica-se aumentos destes com o tempo de uso do solo, enquanto na área de mata os maiores valores encontrados foram $0,16 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na área com banana estes valores foram três vezes maiores $0,48 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Estes resultados evidenciam a influência da irrigação adicionando sódio através da água utilizada. De acordo com Andrade et al. (2006) a água utilizada no perímetro irrigado do Baixo Acaraú é classificada como C_1S_2 (nenhuma restrição quanto a salinidade e média sodicidade). Os autores ressaltam que o risco do efeito do sódio da água de irrigação se baseia na elevação da PST, que causa danos nas propriedades físicas e químicas do solo, promovendo problemas de infiltração.

Analisando o impacto da irrigação sobre os solos da bacia do Baixo Acaraú, avaliando uma área com cultivo de bananeira e outra com mata, Lopes et al. (2008) observaram aumento nos teores de Na^+ de $0,49 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na mata, para $0,99 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na área cultivada, na camada de 0 - 30cm e de $0,38 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ a $0,61 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 30 - 60cm de profundidade.

Através da interpolação dos teores de K^+ , (Figura 10) observa-se que os teores encontrados na área de bananeira são muito baixos, equivalentes aos encontrados na mata. Verifica-se um pequeno aumento nos valores desse elemento na área de goiabeira, mas estes ainda são baixos em relação a necessidade da cultura.

O K^+ é o nutriente absorvido em maior quantidade pela bananeira e goiabeira, sendo essencial para a produção de frutos de qualidade, por isso estas culturas necessitam de grandes quantidades deste nutriente, que variam de acordo com os teores presentes no solo, a cultivar, idade da planta, manejo da área e expectativa de produção (BORGES e SOUZA, 2010; NATALE et al., 2009).

Os teores de K^+ , encontrados na área de bananeira variam de $0,10 - 0,22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, abrangendo as três faixas de valores utilizadas como referências para recomendações de adubação, no Manual de Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Ceará

(FERNANDES, 1993) apresentados na tabela 9. Estes valores variam de acordo com os teores presentes no solo em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ 0 - 0,12 recomendação de 300 g de K_2O g planta⁻¹; 0,12 - 0,12, recomendação de 220 g de K_2O g planta⁻¹; > 0,23 adubação com 150 g de K_2O g planta⁻¹. Os valores acima são recomendados para a fase de produção, pois era a fase em que a cultura se encontrava na época da amostragem.

Tabela 9 – Recomendações de adubação para bananeira no Estado do Ceará

	N	P no solo			K no solo		
		mg dm^{-3}			$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$		
		0 - 10	11 - 20	>20	0 - 0,12	0,12- 0,23	>0,23
		P_2O_5			K_2O		
Adubação		g planta ⁻¹					
Plantio	20	120	80	60	60	40	30
Formação	240	-	-	-	300	220	150
Produção	180	70	50	30	300	220	150

Aplicar 20 litros de esterco curtido junto com a adubação fosfatada no momento do plantio. Repetir a aplicação de esterco anualmente.

Fonte: Fernandes, (1993).

A interpolação dos teores de K^+ permite diferenciar as áreas de acordo com a faixa de recomendação, neste caso, a diferença de uma faixa a outra é de 70 g/planta. Esta diferença reflete tanto economicamente, como ambientalmente, pois evita gastos desnecessários com fertilizante, e reduz as perdas por lixiviação, pois o K^+ apresenta alta lixiviação sendo rapidamente perdido.

Em pomares irrigados a adubação nitrogenada e potássica recomendada a partir do 2º ano em diante devem ser divididas em quatro parcelas iguais e distribuídas em intervalos de três meses. Enquanto a adubação anual de P deve ser aplicada de uma só vez juntamente com a primeira parcela de N e K. Recomenda-se usar as combinações sulfato de amônio e superfosfato triplo ou ureia e superfosfato simples, para garantir o suprimento de enxofre as plantas (FERNANDES, 1993)

Redução nos teores de K^+ no solo, em área cultivada com bananeira sob irrigação após dois ciclos de produção foi observado por Teixeira et al. (2001), e atribuíram essa redução a maior extração pela cultura devido ao aumento da produtividade na área irrigada. Neste mesmo estudo os autores utilizaram análise de regressão para estimar a dose mínima de K_2O que seria necessária para manter o mesmo teor de K^+ da amostragem inicial na camada de 0 -20 cm, concluíram que estes valores seriam de 164 e 618 kg ha^{-1} de K_2O , para a área

irrigada e de sequeiro, respectivamente. Indicando a necessidade de monitoramento periódico da fertilidade do solo, para a manutenção da produtividade e qualidade dos frutos.

Segundo os valores recomendados no Manual de Recomendações de Adubação e calagem para o Estado do Ceará (FERNANDES, 1993) apresentado na tabela 10, os teores encontrados na área com goiabeira abrangem as três classes conforme a quantidade presente no solo em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ 0 - 0,12 recomendação de 180 g de K_2O g planta⁻¹; 0,12 - 0,23 aplicar de 120 g planta⁻¹ de K_2O ; > 0,23 aplicar de 60 g planta⁻¹ de K_2O . Os valores acima são recomendados a partir do quarto ano, fase em que a cultura de goiabeira se encontrava na época da amostragem.

Tabela 10 – Recomendações de adubação para Goiabeira no Estado do Ceará

	N	P no solo			K no solo		
		mg dm^{-3}			cmol _c dm^{-3}		
		0 – 10	11 - 20	>20	0 - 0,12	0,12- 0,23	>0,23
		P ₂ O ₅			K ₂ O		
Adubação	g planta ⁻¹						
Plantio	-	80	60	40	-	-	-
1º ano	40	-	-	-	60	40	30
2º ano	80	80	60	50	80	60	40
3º ano	120	120	80	60	120	80	60
4º ano em diante	180	120	80	40	180	120	60

Fonte: Fernandes, (1993).

O Manual de Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Ceará tem quase 20 anos, neste período novas cultivares, com maior potencial produtivo (Ex.:cultivar paluma), foram inseridas no cenário agrícola do Estado. Assim, neste trabalho foi utilizada também a recomendação de adubação para a cultura de goiabeira, de acordo com Natale et al. (2009), que utiliza as cultivares Rica e Paluma como referência, por serem, segundo os autores, as duas cultivares mais plantadas no Brasil, atualmente.

Para a cultura de goiabeira, segundo Natale et al. (2009) a recomendação de adubação potássica para a fase de produção varia de 35 a 330 kg ha⁻¹ de K_2O , para variação de teores no solo de 0,008 a $\leq 0,30 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e uma produção esperada variando de <40 a >80 t ha⁻¹ para a cultivar Rica e de <60 a >100 Mg ha⁻¹ para a cultivar Paluma.

Segundo os valores recomendados, por Natale et al. (2009) os teores encontrados na área com goiabeira abrangem as três classes recomendadas, conforme a quantidade presente no solo: 0,08 a 0,15 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (145 - 330 kg de K_2O ha⁻¹); 0,16 a 0,30 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (85 - 230 kg de K_2O ha⁻¹) e >30 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (45 - 115 kg de K_2O ha⁻¹), com variação na dose

recomendada de ≥ 100 kg de K_2O ha^{-1} de acordo com a produtividade esperada. Com base nos resultados encontrados na área com goiabeira (figura 10) infere-se que a aplicação de fertilizantes potássicos pode ser otimizada, se for considerada a variabilidade espacial, pois independente de qual das recomendações de adubação, adotada neste estudo, seja utilizada, a área em estudo apresenta faixas bem delimitadas de teores de K no solo, possibilitando aplicação de K_2O de acordo com a necessidade da cultura.

A saturação por bases (V) apresentou valores elevados nas áreas de banana e goiaba variando entre 56 e 96% em superfície e de 48 a 88% em subsuperfície (Figura 11), na área de mata os valores de V foram $<50\%$. Valores semelhantes de V% foram encontrados por Borges e Souza (2009) para um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico em solos cultivados com bananeira sob irrigação (90% de 0 -12 cm; 77% de 12 -22 cm e 81% de 22 – 85cm+), segundo os autores os valores adequados seriam 70 – 80%.

Os valores de PST apresentaram distribuição espacial semelhante ao sódio (Figura 11), com faixa de teores bem definidos na camada de 0 - 20 cm, variando de 0 - 2,5% (mata), 2,5 - 6,5% (goiabeira) e de 4,5 - 8,5% (bananeira), evidenciando a variabilidade espacial e temporal para este atributo, ou seja, o efeito do tempo de uso e do manejo na distribuição do PST. Em subsuperfície os valores foram maiores, porém apresentaram grande variabilidade na área de bananeira e goiabeira, com variação de 2,5 a 10,5% (goiabeira) e 2,5 a 12,5% (bananeira), na mata os valores mantiveram-se constantes.

Os resultados indicam que o sódio foi translocado para subsuperfície, e que a irrigação está aumentando os valores de saturação deste elemento já que na área da mata estes se mantiveram constantes para as duas profundidades avaliadas.

O valor do PST é um atributo muito importante para indicar a presença de solos salino-sódicos ou sódicos, pois dependendo da intensidade da sodicidade pode ser considerado inadequado para a irrigação (ANDRADE et al., 2011).

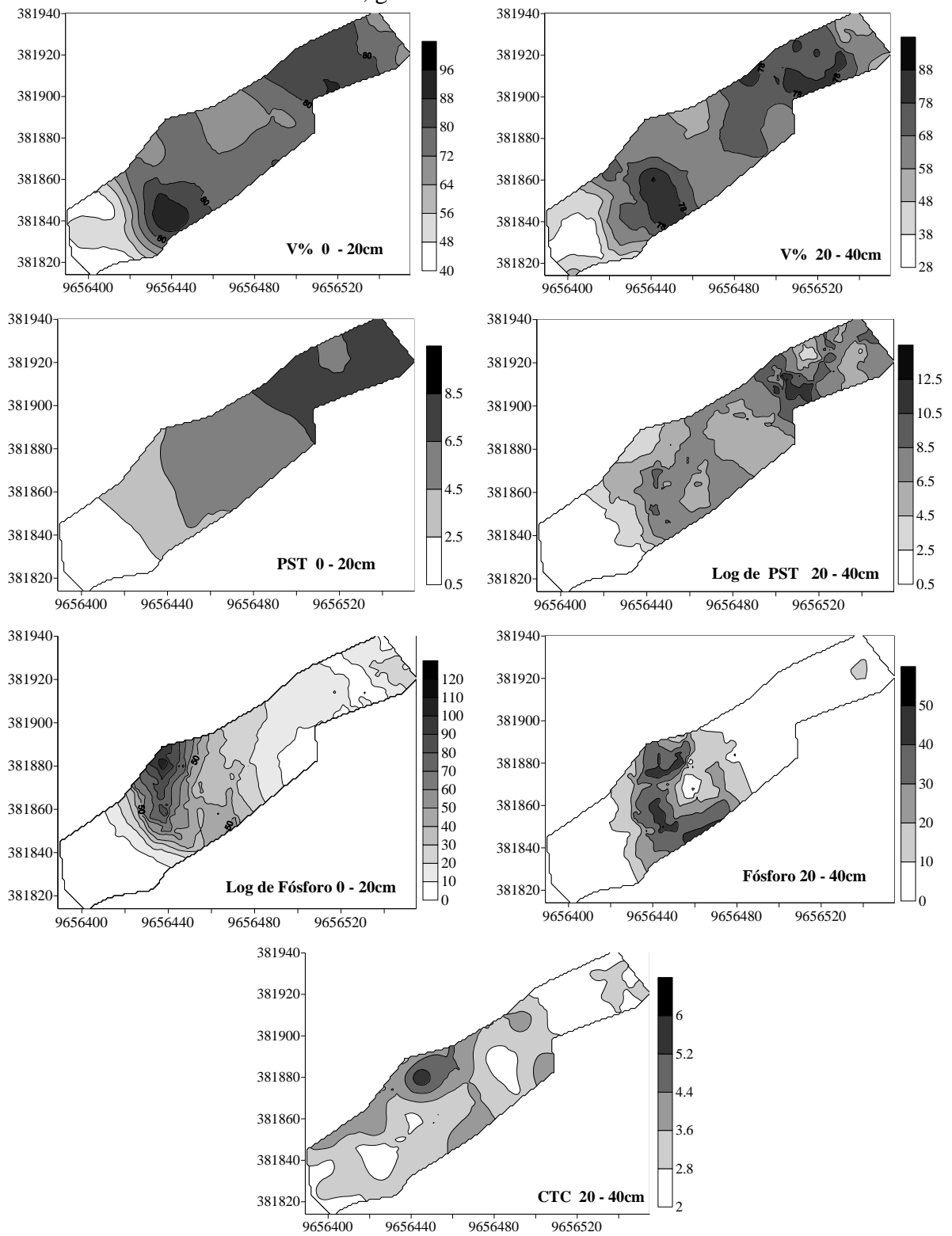
Os teores de P (Figura 11) observados na área com bananeira apresentaram valores entre 0 - 30 $mg\ dm^{-3}$, abrangendo três faixas de recomendação de acordo com Borges e Souza (2010) de acordo com os teores presentes no solo: 0 - 6 $mg\ dm^{-3}$ (aplicar 80 a 160 kg de $P_2O_5\ ha^{-1}$); 7 - 15 $mg\ dm^{-3}$ (aplicar 60 a 120 kg de $P_2O_5\ ha^{-1}$); 15 a 30 $mg\ dm^{-3}$ aplicar 40 a 80 kg de $P_2O_5\ ha^{-1}$), para teores de P >30 não é necessário adubação fosfatada, estes valores são recomendados para a fase de produção da bananeira, variando de acordo com a produção esperada ($<20 - >60\ Mg\ ha^{-1}$). Segundo as recomendações de Borges e Souza, (os teores de P encontrados na área da banana ($<30\ mg\ dm^{-3}$) indicam que toda a área necessita de adubação fosfatada.

Quase toda a área com goiabeira apresenta teores de $P > 30\text{mg dm}^{-3}$, em superfície, não necessitando de adubação fosfatada, segundo recomendação de Natale et al. (2009). Enquanto para Fernandes, (1993) a recomendação seria pela dose mínima que é de 40g planta^{-1} ($P > 20\text{mg dm}^{-3}$ no solo), apenas uma pequena faixa abrangendo a dose de 80g planta^{-1} ($P > 20\text{mg dm}^{-3}$ no solo).

Embora a goiabeira necessite de pequena quantidade de P, Natale et al. (2009), ressaltam que sua carência afeta o desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, a produtividade da cultura.

Os valores de CTC em subsuperfície foram semelhantes nas áreas de mata e bananeira, apresentando maior variabilidade na área de goiabeira (Figura 11).

Figura 11 – Mapas de distribuição espacial dos atributos saturação por bases (V), PST e fósforo nas camadas de 0 - 20 cm e 20 - 40 cm e capacidade de troca de cátions (CTC) de 20 – 40 cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.



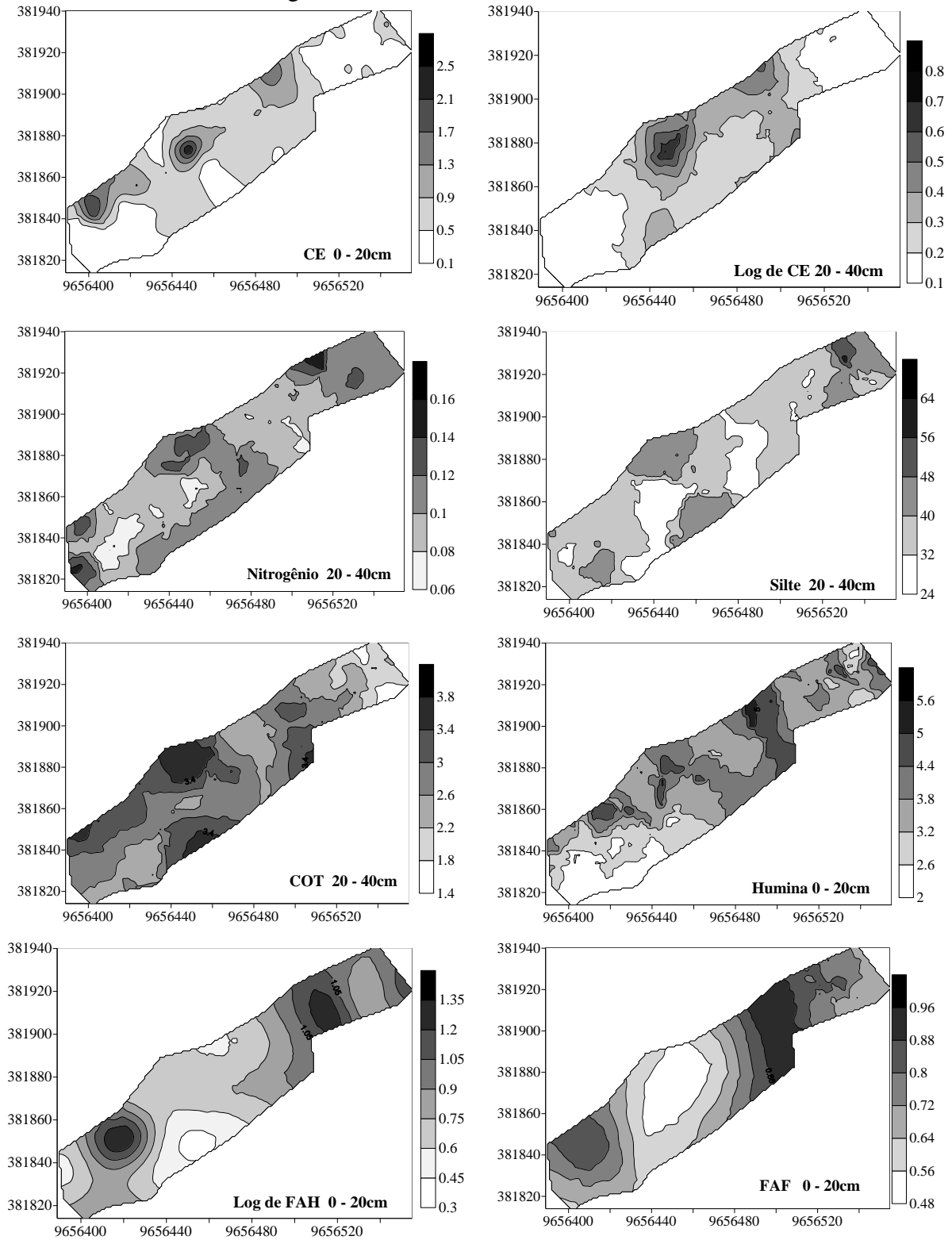
Fonte: Autoria própria

Os valores de condutividade elétrica (CE) foram superiores na área cultivada com goiabeira em relação às áreas de mata e bananeira (Figura 12). Os valores de CE nas áreas de mata e bananeira apresentaram distribuição espacial semelhantes, com uma pequena mancha com altos valores na área da mata na camada de 0 – 20 cm. No momento da coleta foi observado que nesta área havia uma leira, com material, provavelmente, proveniente do desmatamento da área.

Os maiores valores de CE encontrados na área de goiaba estão associados a maior evaporação e ascensão de sais, pois nesta área o solo está quase totalmente descoberto. Enquanto na área de bananeira o solo fica protegido pelo maior densidade de plantas e cobertura com resíduos da cultura. Segundo Andrade et al. (2011) a goiabeira é uma das culturas, geralmente plantadas em perímetros irrigados, mais resistentes a salinidade do solo, somente a partir da CE superior a 3 a 3,5dS m⁻¹, os teores de sais passam a ser limitante, enquanto para a cultura de bananeira esses valores são bem inferiores variando de 1,5 a 2,0dS m⁻¹. Apesar do aumento da CE na área da goiabeira estes valores não chegam a ser limitante a cultura.

Aumento na CE até a profundidade de 90 cm em um solo cultivado com bananeira sob agricultura irrigada na região do Baixo Acaraú foram observados por Lopes et al. (2008), na camada superficial (0 - 30cm) a CE passou de 0,15 dS m⁻¹ (mata) para 0,22 dS m⁻¹ (bananeira) seguindo a mesma proporção de aumento até 90cm. Os autores concluíram que apesar do aumento significativo na CE, os valores são baixos e não oferecem risco de salinidade, destacando ainda, a influência da textura (arenosa) na lixiviação de sais.

Figura 12- Mapas de distribuição espacial dos atributos condutividade elétrica (CE) 0 - 20cm e 20 – 40cm; nitrogênio, silte e carbono orgânico total(COT) 20 – 40cm e frações húmicas: FHUM (humina), fração ácido húmico (FAH) e fração ácido fúlvico (FAF) de 0 - 20cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.



Fonte: Autoria própria

Os teores de nitrogênio no solo (figura 12) apresentaram grande variabilidade, com baixos teores para todas as áreas. Teores baixos de N em análise de solo são comuns, pois o N é facilmente perdido por processos como: volatilização, lixiviação, entre outros, sendo difícil a precisão das análises, por isso são desconsiderados nas recomendações de adubação nitrogenada. O Manual de Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Ceará recomenda a dose de $180 \text{ g planta}^{-1}$ para a goiaba e banana na fase de produção.

Pesquisando a influência da adubação mineral na produção da goiabeira Paluma na microrregião do Vale do Curú, Cardoso et al. (2006) utilizando 16 doses de NPK os autores observaram que a maior produtividade foi obtida com a maior dose de N e concluíram que o P e K não influenciaram na produtividade.

As perdas de NH_3 do solo são causadas por alcalinidade, temperatura elevada, baixa CTC, principalmente solos arenosos e pobres em matéria orgânica que possuem pouca capacidade de reter o NH_4^+ , (FERNANDES, 1993).

O silte foi a única fração granulométrica que apresentou dependência espacial, com grande variabilidade em toda a área (Figura 12), os menores teores se encontram na área cultivada com goiabeira.

O carbono orgânico total (COT) apresentou maiores teores na área de goiabeira na camada de 20 – 40 cm (Figura12), indicando ser reflexo da adição de esterco como adubo orgânico, translocado para subsuperfície.

Em geral os solos do Ceará apresentam baixos teores de MO, devido às condições climáticas associadas à escassa cobertura vegetal e ao manejo inadequado dos solos. A preservação da matéria orgânica do solo ou a sua incorporação ao solo, se constitui num excelente recurso para manter a produtividade do solo, melhorando suas propriedades físicas, químicas e biológicas (FERNANDES, 1993).

A distribuição espacial das frações C-FAH, C-FAF e C-FHUM (figura 12) indicam que os elevados valores da humina podem estar relacionados ao tamanho das moléculas e ao maior grau de estabilidade desta fração. As frações C-FAF e C-FAH, por apresentarem menor estabilidade, podem ser translocadas para camadas mais profundas, principalmente em solos arenosos, serem polimerizadas ou mineralizadas, reduzindo assim seu teor residual no solo (FONTANA, 2006).

Estudos sobre o estoque de carbono e nitrogênio em áreas degradadas no semiárido brasileiro (sob risco de desertificação) em solos submetidos a pastoreio intenso e áreas com exclusão de pastoreio, mostraram que das frações húmicas a fração C-FHUM foi a que apresentou maiores teores seguidos de C-FAH e C-FAF. Entretanto, os autores

observaram que os teores de humina eram baixos, variando entre 27 e 48% do COT (porém em relação ao carbono humificado, esse percentual varia de 42 a 55%) geralmente são encontrados teores > 50% do COT para esta fração. Conclui-se que as condições de clima semiárido restringem a atividade microbiana e conseqüentemente o processo de humificação (SOUZA et al., 2010).

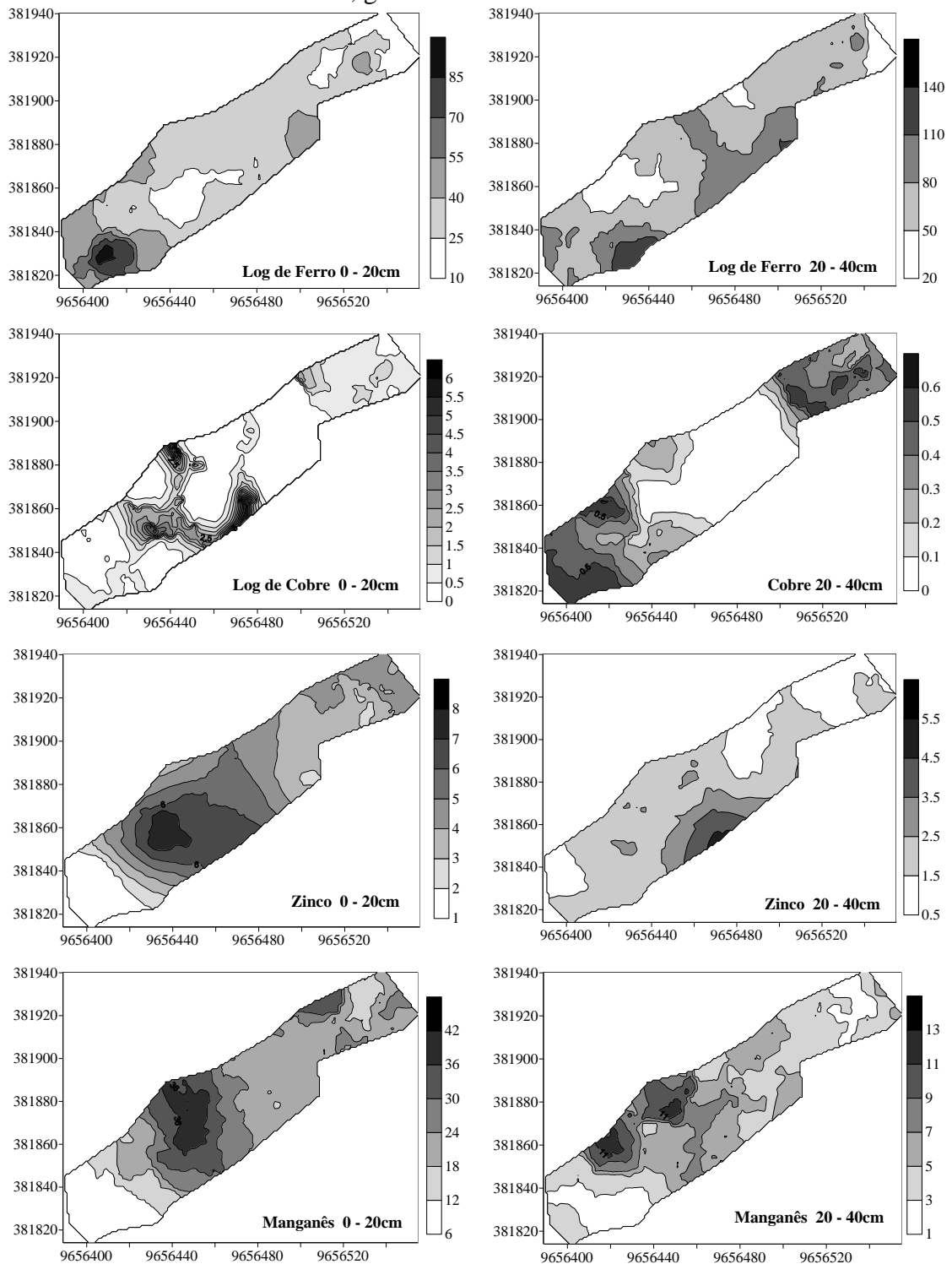
A área com goiabeira apresentou maiores valores de C-FHUM e menores de C-FAH e C-FAH, que as áreas com mata e bananeira, estes valores podem ser atribuídos a menor adubação orgânica aplicada na goiabeira, e a maior exposição do solo (espaçamento 6x6m). Enquanto as áreas com mata e bananeira apresentarem distribuição espacial semelhante dos teores das substâncias húmicas, sendo mais expressivo o C-FHUM na área com bananeira e o C-FAH e C-FAF apresentaram teores semelhantes nas duas áreas. Tal fato pode estar relacionado ao menor grau de antropização e maior aporte de matéria orgânica bruta nas áreas de mata e bananeira respectivamente (FONTANA, 2010).

A distribuição espacial dos teores dos micronutrientes ferro, cobre, zinco e manganês para as camadas de 0 - 20cm e 20 - 40cm são apresentadas na figura 13, O ferro apresenta teores elevados na área de mata, variando de 25 a 85 mg dm⁻³ em superfície e de 50 a 140 mg dm⁻³ em subsuperfície.

O cobre apresenta teores elevados na área de goiabeira na camada de 0 - 20 cm variando de 0 - 6 mg dm⁻³ apresentando redução de 10 vezes na camada de 20 - 40cm (Figura 13),. As áreas de mata e bananeira apresentaram teores de cobre semelhantes para as duas camadas de solo com pequena redução em profundidade. Os maiores teores deste elemento encontrados na área com goiabeira são decorrentes da aplicação de um fungicida a base de cobre (Tabela 1), este produto é aplicado a cada 15 dias na área de goiabeira e mensalmente na área de bananeira.

Aumento nos teores de cobre em área de cultivo devido a aplicação de agroquímicos cúpricos foram relatados por Valladares et al. (2009).

Figura 13- Mapas de distribuição espacial de micronutrientes nas camadas de 0 – 20 cm e 20 – 40cm coletadas nas áreas de mata, goiabeira e bananeira.



Fonte: Autoria própria

Os teores de zinco (figura 13) se apresentam mais elevados na área de goiaba variando de 2 a 8 mg dm⁻³ e de 0,5 a 5,5 mg dm⁻³, para as camadas de 0 - 20 e 20 - 40cm, respectivamente. Natale et al. (2002) pesquisando resposta de mudas de goiabeira a aplicação

de doses crescentes de zinco (0, 2, 4, 6, 8 mg dm⁻³) observaram que a melhor resposta foi para a dose de 2 mg dm⁻³, teores acima de 4 mg dm⁻³ causaram redução significativa no desenvolvimento e no acúmulo de macronutrientes nas mudas de goiabeira.

Para a cultura de bananeira, valores adequados de Zn, segundo Borges e Souza (2009) estão na faixa de 1,2 a 2,2 mg dm⁻³. Os valores encontrados na área de banana estão mais elevados em superfície (2 - 5 mg dm⁻³) que os considerados adequados.

A disponibilidade dos micronutrientes no solo está relacionada com as condições do solo (principalmente, pH, umidade e textura, material de origem), do clima, do tipo de planta e das interações entre a planta e o ambiente. Solos de baixa fertilidade natural, originados de sedimentos arenosos apresentam baixos teores de micronutrientes. O Cu, Fe, Mn e Zn tem sua solubilidade reduzida com a elevação do pH a valores acima de 6,0, embora presentes no solo em quantidades satisfatórias não poderão ser aproveitados pelo fato de se encontrarem indisponíveis às plantas (FERNANDES, 1993).

O manganês (figura 13) apresentou distribuição espacial semelhante para as duas camadas com maiores teores na área de goiaba, seguida de área de banana. Porém em profundidade os teores foram reduzidos. Na área de bananeira os teores são superiores aos considerados adequados (9 a 12 mg dm⁻³) por Borges e Souza (2009). Na camada de 0 a 20 cm os teores estão na faixa de 12 a 36 mg dm⁻³.

5 CONCLUSÕES

O uso da geoestatística e interpolação de dados por krigagem foi eficiente para demonstrar variações do solo causadas pelo manejo, pois além da variabilidade espacial, observou-se variabilidade temporal, para atributos cálcio, sódio e PST com aumento gradativo nos teores, da área referência (mata) até área com maior tempo de uso (banananeira).

O índice de dependência espacial (IDE) apresentou grau moderado para a maioria dos atributos analisados, na camada de 0 – 20 cm, evidenciando os efeitos das práticas de manejo e irrigação na fertilidade do solo. Na camada de 20 – 40 cm quase todos os atributos analisados apresentaram IDE forte, refletindo os fatores de formação como principais fontes de variabilidade, pois esta é menos influenciada pelo manejo.

A elevação dos teores de sódio e PST em um período de apenas seis anos deve ser considerada preocupante, principalmente em solos de textura arenosa e drenagem acentuada, considerando que os problemas causados pela salinização podem levar ao abandono de terras antes produtivas, em pouco tempo, pois são de difícil correção.

O cultivo de bananeira e goiabeira aumentou os teores de nutrientes do solo em relação à área com mata, porém é preciso a adoção de medidas preventivas para reduzir os impactos decorrentes do uso continuado de fertilizantes e defensivos agrícolas aliados à prática de irrigação.

A recomendação de adubação fosfatada e potássica, considerando a variabilidade espacial da área estudada, pode ser utilizada, para as duas culturas, pois foram identificadas áreas com diferentes necessidades de adubação, mostrando que a utilização de teores médios de K e P do solo para a prática de adubação, aumenta os custos de produção, além de gerar impactos ambientais, ou deficiências nutricionais pelo desbalanço entre os nutrientes do solo.

REFERÊNCIAS

ADREOTTI, M.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; BASSO, F. C.; PARIZ, C. M.; AZENHA, V. M.; VERCESE, F. Produtividade de soja correlacionada com a porosidade e a densidade de um latossolo vermelho do cerrado brasileiro. *Ciência Rural*, Santa Maria v.40, n.3, p.520 - 526, 2004.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades na Bacia do São Francisco ANA/GEF/PNUMA/OEA. Subprojeto 4.5C – Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – PBHSF (2004-2013). Estudo Técnico de Apoio ao PBHSF – Nº 12 Agricultura Irrigada. Brasília, Distrito. Federal, 2004.

AMARO FILHO, J.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Física do solo: conceitos e aplicações. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008. 290 p.

AMORIM, J. R. A. Salinidade em áreas irrigadas: origem do problema, Consequências e possíveis soluções. Ago, 2009. Disponível em: < <http://www.agrosoft.org.br/agropag/211489.htm>>. Acesso em: 16 Nov. 2011.

ANDRADE, A. R. S.; GUERRINI, I. A.; GARCIA, C. J. B.; KATEZ, I.; GUERRA, H. O. C. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 29, n. 2, p. 322-329, mar./abr., 2005.

ANDRADE, D. O.; AMARAL, F. C. S.; TAVARES, S. R. L.; BHERING, S.B. Parâmetros do sistema relacionados ao solo. *In: Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação: enfoque na região semiárida*/editor: Fernando Cesar Saraiva do Amaral. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. Cap. 3, p. 43 – 77.

ANDRADE, E. M.; BATISTA, T. M.; TEIXEIRA, A. S.; MEIRELES, M.; SOUSA, B. F. S. Mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação, pelo emprego do GIS. *Revista Ciência Agronômica*, v.37, n.3, p.279-286, 2006.

ANDRADE, T. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; RODRIGUES, D. F. B. Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárida de Pernambuco. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.16, n.5, p.496–504, 2012.

BENITES, V.M.; MADARI, B. & MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7 p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 16).

BERNARDO, S. Impacto Ambiental da irrigação no Brasil. Rev. Engenharia na Agricultura – Série Irrigação e Drenagem. Vol. 1, no 1. Viçosa, MG; Departamento de Engenharia Agrícola, 1992. 7p.

BERNER, P.G.M.; VIEIRA, S.R.; LIMA, E.; ANJOS, L.H.C. Variabilidade espacial de propriedade químicas de um cambissolo sob dois sistemas de manejo de cultura de cana de açúcar. R. Bras. de Ci. Solo, v.31, p.837-844, 2007.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. Atributos físicos e químicos de solos cultivados com bananeira, sob irrigação, no Projeto Formoso, Bom Jesus da Lapa, Bahia. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, 2009, 33p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 42). Disponível em <http://www.cnpmf.embrapa.br>.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. Recomendação de adubação e calagem para bananeira. Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas, 2010, 5p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Comunicado técnico, 106).

BORGES, A.L.; Raij, B. van; Magalhães, A.F. de J.; Bernardi, A. C. de C. Nutrição e adubação da bananeira irrigada. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas, 2002, 8 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Circular Técnica, 48).

br/publicacoes/boletins/boletimpesquisa_42.pdf> acesso em 05 de junho de 2012.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CARDOSO, E. A.; COSTA, J. T. A.; SOARES, I.; SILVA, R. M.; MARACAJÁ, P. B. Produtividade da goiabeira ‘paluma’ em função da adubação mineral. Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.2, p. 149 – 153 abri/junho de 2011 <http://revista.gvaa.com.br>.

CARVALHO, J.R.P., SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R.. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.8, p.1151-9. 2002.

CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y.; FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, 695-703, 2003.

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

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

COUTO, E. G.; KLAMT, E. Variabilidade especial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.34, n.12, p.2321-2329, 1999.

CHRISTOFIDIS, D. Água, Irrigação e segurança alimentar. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL - Secretaria de Infra Estrutura Hídrica - Departamento de Recursos Hidroagrícolas - Serie Irrigação e Água I - 2008. Brasília, Brasil, set/2008.

CUNHA, T. J. F.; BASSOI, L. H.; SIMÕES, M.L.; MARTIN NETO, L.; PETRERE, V.VG.; RIBEIRO, P. R. A. Ácidos húmicos em solo fertirrigado no vale do São Francisco. R. Bras. Ci. Solo, 33: 1583-1592, 2009.

CUNHA, T.J.F.; CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. & RIBEIRO, L.P. Fracionamento da matéria orgânica humificada de solos brasileiros. In: CANELAS, L. P. & SANTOS, G. A. Humosfera, Campos dos Goytacazes, 2005. p.54-80.

DNOCS. Departamento Nacional de Obras contra as Secas. Perímetro Irrigado Baixo-Acaraú. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/baixo_acarau.html>. Acesso em: 03 Abr. 2012.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO, E. F. M.; VALLADARES, G. S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. Bragantia, Campinas, v. 70, n. 1, p.157-165, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solos. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FERNANDES, V. L. B (coordenadora). Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Ceará. Universidade Federal do Ceará -UFC: Fortaleza, 1993. 248 p.

FONTANA, A, et al. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. *Acta Scientiarum. Agronomy Maringá*, v. 33, n°. 3, p. 545-550, 2011.

FONTANA, A. et al. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.41, n°.5, p.847-853, maio 2006.

FONTANA, Ademir; PEREIRA, Marcos Gervasio; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos and BENITES, Vinicius de Melo. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos Brasileiros. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2010, vol. 34, n. 4, p. 1241-1257.

FRANZLUEBBERS, A. J.; HANEY, R. L. Assessing soil quality in organic agriculture. USDA Agricultural Research Service. Critical Issue Report: Soil Quality. Out, 2006. Disponível em: <<http://www.organic-center.org>>. Acesso em: 10 Ago. 2011.

GASQUES. J. G.; BASTOS. E. T.; BACCHI. E. Produtividade e crescimento da agricultura brasileira. Brasília: AGE/MAPA e IPEA, 2008. 6 p.

GOMES, E. G.; GREGO, C. R.; de MELLO, J. C. C. B. S.; VALLADARES, G. S.; MANGABEIRA, J. A. C.; de MIRANDA, E. E. Dependência espacial da eficiência do uso da terra em assentamento rural na Amazônia. *Produção*, v. 19, n. 2, p. 417-432, 2009.

GONÇALVES, M. G.; FARIAS L. N.; COSTA, A. D.; MOTA, L. dos S.; OLIVEIRA, B. L.; CEDDIA, M. B.; VIEIRA, S. R. Contribuição da Geoestatística para o planejamento experimental de uma pastagem do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (Fazendinha Km-47). *Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida, Seropédica, RJ: EDUR*, v. 25, n.1, p. 01-05, jan.-jun, 2005.

GONDIM, R. S.; MAIA, A. H. N.; EVANGELISTA, S. R. M.; CASTRO, M. A. H.; FUCK JUNIOR, S. C. F. Metodologia para Avaliação de Impactos de Mudanças Climáticas na Demanda de Água para a Agricultura Irrigada em Nível de Bacia Hidrográfica. Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza, CE. SET/2011(DOC.140) 40.P.

LANDIM, P. M. B. 2006. Sobre Geoestatística e mapas. *Terra Didática*, 2 (1):19-33.<<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica> <http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>>Acesso em: 23 de Nov.2010.

LANNETTA, M & COLONNA, N. Salinização. In: PROJETO LUCINDA, Land Care In: Desertification Affected Areas. Fascículo B, n. 3. 2010. Disponível em: <http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/booklets/B3_Booklet_Final_PT.pdf>. Acesso em: 16 Out. 2011.

LEITE, A. A. M e ALVES, P. L. A modernização da agricultura no semiárido brasileiro: o caso da fruticultura irrigada do vale do São Francisco. *In: XXX Congresso Nacional de Engenharia de Produção*. São Carlos, SP. 12 a 15 de Outubro de 2010.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de C orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:821-832, 2003.

LIMA JUNIOR, J. A de.; SILVA, A. L. P. Estudo do Processo de Salinização para Indicar Medidas de Prevenção de Solos Salinos. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11, p. 1- 21, 2010.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil, Campanha de Fraternidade, 2004. < <http://www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc> >. Acesso em: 21 de junho de 2011.

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 de pimenta do reino (*PIPER NIGRUM*, L.) *IDESIA* (Chile) v.28, n.2, maio-agosto, 2010.

LOBATO, F. A. O.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; CRISÓSTOMO, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 39, n. 01, p. 167-172, Jan.-Mar., 2008.

LOPES, A. S.; A e GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. *In: Fertilidade do Solo*, SBCS, Viçosa, 2007. 1017p. (eds. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L. F.; CANTARUTTI, R. B. e NEVES, J. C. L.).

LOPES, J. F. B.; ANDRADE, E. M.; CHAVES, L. C. G. Impacto da irrigação sobre os solos de perímetros irrigados na bacia do Acaraú, Ceará, Brasil. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 28, n. 01, p. 34-43, 2008.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BRITO R. J. Distribuição das substâncias húmicas em solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais. *Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida*, Seropédica, RJ: EDUR, v. 26, n. 2, p. 68-77, jul/dez, 2006.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de Avaliação. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 4, p913-922, 2010.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria Orgânica dos Solos Antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): Suas Características e Papel na Sustentabilidade da Fertilidade do Solo. *In*: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento para criação de novas áreas. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus-AM, 2009, p. 172-188.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. *R. Árvore, Viçosa-MG*, v.30, n.5, p.837-848, 2006.

MARTINS, E. L.; CORINGA, J. E. S.; WEBER, O. L. S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico – LVAd sob diferentes agrossistemas. *Acta Amazônica*, vol. 39(3) 2009: 655 – 660.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L. A. V. O manejo e a conservação do solo no semiárido baiano: desafios para a sustentabilidade. *Bahia Agric*, vol.7, N.03, Nov. 2006.

MOTA, J. C. A.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; AMARO FILHO, J.; LIBARDI, P. L.. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. *R. Bras. Ci. Solo*, 32: 49-58, 2008.

MOTA, L. H. S. O. Dinâmica de uso e riscos ambientais das terras do Baixo Acaraú– CE. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; CORRÊA, M. C. M.; SILVA, M. A. C.; PEREIRA, L. Resposta de mudas de goiabeira à aplicação de zinco. *Revista Brasileira de Fruticultura* 24:770-773. 2002.

NATALE, W.; PRADO, R. M.; QUAGGIO, J. A.; MATOS JUNIOR, D. Goiabeira. *In*: Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil / organizadores, Lindbergue Araújo Crisóstomo, Alexey Naumov; tradução Lindbergue Araújo Crisóstomo. – Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2009 (IIP. Boletim 18). Cap.6, p.104 – 124.

NICOLODI, Margarete. Evolução da noção de fertilidade e sua percepção como uma propriedade emergente do sistema solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul -Faculdade de Agronomia – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (tese de doutorado), Porto Alegre, 2007, 140p.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; CANTARUTTI, R. B. desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. R. Bras. Ci. Solo, 29: 131-143, 2005.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro Scientia Plena. V.7, n. 5, 2011.

RODRIGUES, G. S.; IRIAS, L. J. M. Considerações sobre os impactos ambientais da Agricultura Irrigada. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, julho 2004. 7 p. (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica, 7).

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C. ; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo. 5. ed. Viçosa-MG: Folha de Viçosa Ltda., 2005. v. 1. 100 p.

SILVA, M. S. L.; et al. Adensamento e compactação de solos irrigáveis da zona semiárida do Nordeste brasileiro. Recife: Embrapa UEP Nordeste, 2007. 8 p. il (Embrapa UEP Nordeste, Circular técnica 38).

SILVA, M. S. L.; GOMES, T. C. A.; ANJOS, J. B. Solos adensados e/ou compactados: identificação/diagnóstico e alternativas de manejo. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2001. 6 p. il (Embrapa Semiárido. Circular técnica 76).

SILVEIRA, P. M. da; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C.; CUNHA, A. A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2057- 2064 out. 2000.

SOARES, I.; QUEIROZ, J. A.; OLIVEIRA, V. H.; CRISÓSTOMO, L. A.; OLIVEIRA, T. S. produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes na cultura do cajueiro anão precoce. R. Árvore, Viçosa-MG, v.32, n.1, p.173-181, 2008.

SOUSA, F. P.; FERREIRA, T. O.; ROMERO, R. E.; OLIVEIRA, J. G. B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification Agriculture, Ecosystems and Environment 148 (2012) 11– 21.

SOUZA, Z. M. de; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMPOS, M. C. C. Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. Científica, Jaboticabal, v.34, n.2, p.249-256, 2006.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. R bras Eng Agrie Amb, v.8, p.51-58, 2004.

SUDEC/DENOCS. Levantamento de reconhecimento dos solos de parte do Vale Acaraú. Fortaleza, SUDEC, 1974. 183p.

TEIXEIRA, L. A. J.; NATALE, W.; RUGGIERO, C. Alterações em alguns atributos químicos do solo decorrentes da irrigação e adubação nitrogenada e potássica em bananeira após dois ciclos de cultivo. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.23, p.684-689, 2001.

VALLADARES, G. S.; AZEVEDO, E. C.; CAMARGO, C. O. A.; GREGO, C. R.; RASTOLDO, A. M. C. S. Variabilidade espacial e disponibilidade de cobre e zinco em solos de vinhedos e adjacências. Bragantia, Campinas, v.68, n.3, p.733-742, 2009.

VALLADARES, G. S.; BATISTELLA, M.; PEREIRA, M. G. Alterações ocorridas pelo manejo em Latossolo, Rondônia, Amazônia Brasileira. Bragantia, Campinas, v. 70, n. 3, p.631-637, 2011.

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

VIEIRA, S. R. 2000. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. *In*: Novais, R. F.; Alvares, V. H.; Schaefer, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo, Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-54, 2000.

VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). Bragantia, v.56, 181-190, 1997.

WEBER, O.B.; MONTENEGRO, A. A. T.; SILVA, I. M. N.; SOARES, I.; CRISÓSTOMO, L. A. Adubação nitrogenada e potássica em bananeira ‘pacovan’ (musa aab, subgrupo prata) na chapada do Apodi, estado do Ceará. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 28, n. 1, p. 154-157, Abril 2006.

ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. 2001. 114 f. (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia)– Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

APÊNDICES

Apêndice A- Caracterização e Descrição morfológica do perfil da área de mata

PERFIL 01

DATA: 23/10/2010

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso arênico

LOCALIZAÇÃO: 9656401/381833

SITUAÇÃO E DECLIVE: Topo de tabuleiro - 1% de declive

CLIMA: Aw (Köppen)

MT. ORIGINÁRIO/FORM. GEOLÓGICA: Grupo Barreiras Sedimentos areno-argilosos

RELEVO LOCAL/REGIONAL: Plano

VEGETAÇÃO E USO ATUAL: Capoeira com cerca de 10 anos de regeneração

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Acentuadamente drenado

PEDREGOSIDADE/ROCHOSIDADE: Ausente

COLETADO POR: Gustavo Souza Valladares e Andréa da Silva Gomes

HORIZONTE	A1	A2	AB	Bt1	Bt2	Bt3
PROFUNDIDADE	0 – 10	12 -20	20-55	55-80	80-120	120-150
COR:Seco/úmido	7,5YR 5/2	7,5YR 6/2	7,5YR6/4	7,5YR7/4	10YR 7/6	10YR 7/6
	7,5YR 3/2	7,5YR4/2	7,5YR5/4	7,5YR5/4	10YR6/8	10YR6/8
ESTRUTURA: Grau	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
Tamanho	Média e grande	Média	Média	Média	Grande	Grande
Forma	Granular	Bl. Sub angulares	Bl. angulares	Bl. angulares	Bl. angulares	Bl. angulares
MOSQUEADO: Cor	-	-	-	-	-	-
Quantidade	-	-	-	-	-	-
Tamanho	-	-	-	-	-	-
Contraste	-	-	-	-	-	-
TEXTURA	Areia	Areia	Areia	Franco arenosa	Franco-argilo - arenosa	Franco arenosa
CONSISTÊNCIA: Seca	Macia	Macia	Macia	Lig. dura	Dura	Lig. dura
	Úmida	Solta	Solta	Solta	M. friável	M. friável
Molhada:plasticidade	N.Plástica	N.Plástica	Lig.Plástica	Lig.Plástica	Lig.Plástica	Lig.Plástica
Pegajosidade	N. Pegajosa	N. Pegajosa	N. Pegajosa	N. Pegajosa	Lig. Pegajosa	Lig. Pegajosa
RAÍZES						
Quantidade	Muitas	Muitas	Comuns	Comuns	Raras	Raras
Diâmetro	Finas e médias	Finas e médias	Finas e médias	Finas e médias	Finas	Finas
TRANSIÇÃO: Topografia	Plana	Plana	Plana	Plana	Plana	
Nitidez	Clara	Clara	Gradual	Gradual	Difusa	

A1 0 – 10cm; bruno escuro(7,5YR 3/2, úmido), bruno acinzentado escuro (7,5YR 5/2, seco); areia; moderada média e grande granular; macia, solta, não plástica, não pegajosa; transição plana e clara.

A2 10-20cm; bruno escuro(7,5YR4/2, úmido), cinzento rosado(7,5YR 6/2, seco); areia; moderada média blocos sub angulares; macia, solta, não plástica, não pegajosa; transição plana e clara.

AB 20-55cm; bruno (7,5YR5/4, úmido),bruno claro (7,5YR6/4, seco); areia; moderada média blocos angulares; macia, solta, não plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bt1 55-80 cm; bruno (7,5YR5/4, úmido), rosado (7,5YR7/4, seco); franco arenosa; moderada média blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bt2 80-120 cm; amarelo-brunado(10YR 6/8, úmido), amarelo (10YR 7/6, seco); franco-argilo- arenosa; moderada grande blocos angulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

Bt3 120 -150 cm; amarelo-brunado(10YR 6/8, úmido), amarelo (10YR 7/6, seco); franco arenosa; moderada grande blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa.

RAÍZES – Muitas finas e médias nos horizontes A1 e A2; comuns finas e médias no AB e Bt1; raras finas no Bt2 e Bt3.

Apêndice B - Caracterização e Descrição morfológica do perfil da área de banana

PERFIL 02

DATA:

23/10/2012

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abráptico

LOCALIZAÇÃO: 9656532/381924

SITUAÇÃO E DECLIVE: Topo de tabuleiro - 1% de declive

CLIMA: Aw (Köppen)

MT. ORIGINÁRIO/FORM. GEOLÓGICA: Grupo Barreiras.

RELEVO LOCAL/REGIONAL: Plano

VEGETAÇÃO E USO ATUAL: Banana, anterior mamão; há 6 anos com agricultura irrigada

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Acentuadamente drenado

PEDREGOSIDADE/ROCHOSIDADE: Ausente

COLETADO POR: Gustavo Souza Valladares e Andréa da Silva Gomes

HORIZONTE	Ap1	Ap2	Bt1	Bt2	Bt3
PROFUNDIDADE	0 - 12	12- 20	20-52	50-80	80-130+
COR:Seco/úmido	7,5YR 6/2 e 5YR 6/2	10YR 7/4	10YR 7/4	10YR 7/4	10YR 7/6
	10YR4/3 e 10YR5/4	10YR 5/6	10YR 5/4	10YR 5/6	10YR6/6
ESTRUTURA: Grau	Fraca	Fraca	Fraca	Moderada	Moderada
Tamanho	Pequena	Pequena e média	Grande	Grande	Grande
Forma	Bl. Sub angulares	Bl. Sub angulares	Bl. angulares	Bl. angulares	Bl. angulares
MOSQUEADO: Cor	-	-	-	-	-
Quantidade	-	-	-	-	-
Tamanho	-	-	-	-	-
Contraste	-	-	-	-	-
TEXTURA	Areia	Areia	Franco arenosa	Franco arenosa	Franco-argilo- arenosa
CONSISTÊNCIA: Seca	Lig. dura	Lig. dura	Dura	Lig. dura	Lig. Dura
	Úmida	M. friável	Solta	M. friável	M. friável
Molhada:plasticidade	N. Plástica	N. Plástica	Lig.Plástica	Lig.Plástica	Lig.Plástica
Pegajosidade	N. Pegajosa	N. Pegajosa	N. Pegajosa	Lig. Pegajosa	Lig. Pegajosa
Quantidade	Comuns	Poucas	Raras		
Dímetro	Finas	Finas	Finas		
TRANSIÇÃO: Topografia	Plana	Plana	Plana	Plana	
Nítidez	Abrupta	Clara	Gradual	Difusa	

Ap1 0 – 12cm; coloração variegada, composta de bruno escuro e bruno - amarelado (10YR 4/3 e 10YR 5/4, úmido), cinzento-rosado (7,5YR 6/2 e 5YR 6/2, seco); areia; fraca, pequena blocos sub angulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica, não pegajosa; transição plana e abrupta.

Ap2 12-20cm; bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido), bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/4, seco); areia; fraca, pequena e médias blocos sub angulares; ligeiramente dura, solta, não plástica, não pegajosa; transição plana e clara.

Bt1 20-50cm; bruno-amarelado (10YR5/4, úmido), bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/4, seco); franco arenosa; fraca grande blocos angulares; dura, muito friável, ligeiramente plástica, não pegajosa; transição plana e gradual.

Bt2 50-80cm; bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido), bruno muito claro-acinzentado (10YR 7/4, seco); franco arenosa; moderada grande blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

Bt3 80 -130cm+; amarelo-brunado (10YR 6/6, úmido), amarelo (10YR 7/6, seco); franco-argilo- arenosa; moderada grande blocos angulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa.

RAÍZES – Comuns finas no horizonte Ap1; poucas finas no Ap2; raras finas no Bt1; ausentes no Bt2 e Bt3.

Apêndice C- Matriz de correlação (Pearson (n)) atributos de solo na camada de 0 – 20cm

Variáveis	pH H2O	Na	K	SB	H +Al	CTC	V%	PST	P	N	Fe	Cu	Mn	CE	COT	FHUM	FAF	Areia grossa	Argila
pH H2O	1																		
Na	0,924	1																	
K	0,620	0,273	1																
SB	0,982	0,979	0,462	1															
H +Al	-0,869	-0,992	-0,150	-0,946	1														
CTC	0,997	0,893	0,677	0,965	-0,829	1													
V%	0,933	1,000	0,296	0,984	-0,989	0,904	1												
PST	0,854	0,988	0,121	0,937	-1,000	0,813	0,984	1											
P	0,914	0,690	0,885	0,822	-0,593	0,942	0,707	0,570	1										
N	0,910	0,999	0,239	0,972	-0,996	0,876	0,998	0,993	0,664	1									
Fe	-0,904	-0,999	-0,225	-0,968	0,997	-0,870	-0,997	-0,994	-0,653	-1,000	1								
Cu	0,898	0,661	0,902	0,799	-0,562	0,928	0,679	0,537	0,999	0,634	-0,623	1							
Mn	0,999	0,910	0,647	0,975	-0,851	0,999	0,920	0,835	0,928	0,895	-0,888	0,913	1						
CE	0,578	0,222	0,999	0,414	-0,097	0,637	0,245	0,068	0,859	0,186	-0,173	0,878	0,605	1					
COT	0,996	0,884	0,691	0,960	-0,819	1,000	0,895	0,802	0,948	0,867	-0,860	0,935	0,998	0,651	1				
Humina	0,997	0,891	0,680	0,964	-0,827	1,000	0,902	0,811	0,943	0,874	-0,868	0,929	0,999	0,640	1,000	1			
FAF	-0,733	-0,417	-0,988	-0,591	0,299	-0,781	-0,438	-0,271	-0,946	-0,384	0,371	-0,958	-0,756	-0,979	-0,793	-0,784	1		
Areia grossa	0,749	0,438	0,984	0,610	-0,322	0,796	0,459	0,294	0,953	0,406	-0,393	0,964	0,771	0,974	0,807	0,798	-1,000	1	
Argila	-0,990	-0,969	-0,502	-0,999	0,931	-0,976	-0,975	-0,920	-0,847	-0,960	0,956	-0,826	-0,984	-0,455	-0,972	-0,976	0,628	-0,646	1

Os valores em negrito são diferentes de 0 com um nível de significância alfa=0,05

Apêndice D - Matriz de correlação (Pearson (n)) atributos de solo na camada de 20 – 40cm

Variáveis	pH H2O	Mg	Na	K	H +Al	CTC	P	N	Fe	Cu	Zn	Mn	CE	COT	Areia grossa	Areia fina	Argila
pH H2O	1																
Mg	0,696	1															
Na	0,999	0,666	1														
K	0,429	0,947	0,392	1													
H +Al	-0,865	-0,243	-0,885	0,081	1												
CTC	0,344	0,914	0,306	0,996	0,173	1											
P	0,740	0,998	0,712	0,925	-0,303	0,886	1										
N	0,230	-0,538	0,270	-0,780	-0,687	-0,835	-0,484	1									
Fe	-0,840	-0,196	-0,862	0,129	0,999	0,220	-0,257	-0,721	1								
Cu	-0,768	-0,994	-0,741	-0,908	0,344	-0,866	-0,999	0,447	0,298	1							
Zn	0,377	0,927	0,339	0,998	0,138	0,999	0,902	-0,814	0,185	-0,883	1						
Mn	0,666	0,999	0,635	0,960	-0,202	0,930	0,995	-0,573	-0,155	-0,989	0,942	1					
CE	0,672	0,999	0,641	0,957	-0,210	0,927	0,995	-0,566	-0,163	-0,990	0,939	1,000	1				
COT	-0,163	0,595	-0,203	0,821	0,636	0,870	0,543	-0,998	0,672	-0,506	0,852	0,627	0,621	1			
Areia grossa	0,726	0,999	0,697	0,933	-0,283	0,896	1,000	-0,502	-0,237	-0,998	0,911	0,997	0,997	0,560	1		
Areia fina	0,117	-0,632	0,157	-0,847	-0,599	-0,892	-0,582	0,993	-0,637	0,546	-0,876	-0,663	-0,657	-0,999	-0,599	1	
Argila	-0,897	-0,307	-0,914	0,014	0,998	0,107	-0,366	-0,637	0,993	0,405	0,071	-0,267	-0,275	0,583	-0,347	-0,544	1

Os valores em negrito são diferentes de 0 com um nível de significância alfa=0,05