

**UFRRJ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**DISSERTAÇÃO**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE INDICADORES DE  
QUALIDADE DO SOLO EM UMA ÁREA SOB CULTIVO  
ORGÂNICO**

**2019**



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
AGRÍCOLA E AMBIENTAL

## DISSERTAÇÃO

# VARIABILIDADE ESPACIAL DE INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM UMA ÁREA SOB CULTIVO ORGÂNICO

**Discente: Carlos José da Silva**

*Sob a orientação do Professor  
Dr Anderson Gomide Costa*

*e Coorientação do Professor  
Dr Marcos Gervásio Pereira*

Projeto de dissertação submetido ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental – PGEAAmb, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Agrícola e Ambiental.**

Seropédica  
Rio de Janeiro – Brasil  
Julho de 2019

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586v Silva, Carlos José da, 1962-  
Variabilidade espacial de indicadores de qualidade  
do solo em uma área sob cultivo orgânico / Carlos José  
da Silva. - Seropédica, 2019.  
57 f.

Orientador: Anderson Gomide Costa.  
Coorientador: Marcos Gervásio Pereira.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em engenharia  
agrícola e ambiental, 2019.

1. Agricultura de precisão. 2. Geoestatística. 3.  
Atributos físicos do solo. 4. Atributos químicos do  
solo. 5. Manejo conservacionista. I. Gomide Costa,  
Anderson, 1985-, orient. II. Pereira, Marcos Gervásio  
, 1965-, coorient. III Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro. Pós-graduação em engenharia agrícola e  
ambiental. IV. Título.

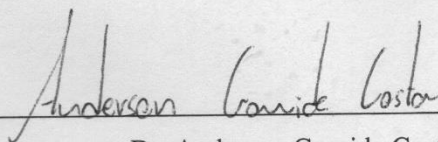
“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de  
Pessoal de Nível Superior – (Brasil) CAPES – Código de Financiamento 001”

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E**  
**AMBIENTAL**

**CARLOS JOSÉ DA SILVA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola e Ambiental, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de Concentração Sistemas Agrícolas.

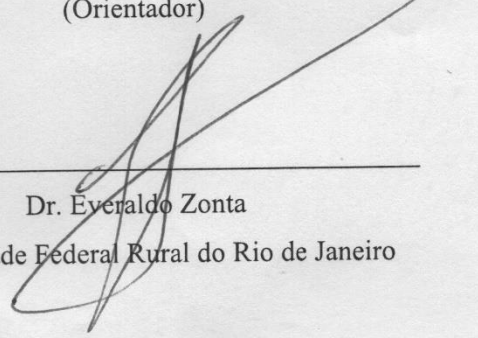
DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 23 de julho de 2019.



Dr. Anderson Gomide Costa

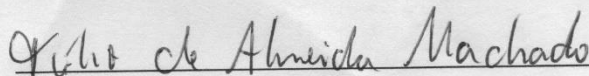
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

(Orientador)



Dr. Everaldo Zonta

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



Dr. Túlio de Almeida Machado

Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos

## DEDICATÓRIA

A meus pais, Genira Florentina da Silva e Anselmo Vitoriano da Silva (em memória), por haverem me gerado e me criado com amor fraternal.

A minha amada esposa, Josefanda Pereira da Silva, e a meus filhos, Douglas Pereira da Silva, Amanda Kelly Pereira da Silva e William David Pereira da Silva, por suportar e compreender a ausência do esposo e do pai, nas horas em que tive que me dedicar mais aos trabalhos de pesquisa e escrita.

*“O Senhor é meu pastor nada me faltará, deitar-me faz em verdes pastos; Guia-me mansamente a águas tranquilas refrigera a minha alma; Guia-me pelas veredas da justiça por amor de seu nome; Ainda que eu andasse pelo vale das sombras da morte; Não temerei mal algum, porque tu estás comigo a tua vara e o teu cajado me consolam; Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus inimigos; Unges a minha cabeça com óleo o meu cálice transborda; Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha vida; E habitarei na casa do Senhor por longos dias Amém!”*

*Salmo 23*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela criação de todo o universo, e pela vida que tenho.

Aos funcionários do Instituto de Tecnologia, o nosso secretário Thiago Guimarães de Souza, ao operador de máquinas Maurício de Oliveira Martins, ao técnico em agrimensura Altamiro Bravo Esteves, que sempre de bom grado nos atendeu quando necessitamos de sua ajuda.

Aos alunos do curso de Engenharia Agrícola Livan e Joice de Aguiar Carvalho pela ajuda nos trabalhos de campo.

Ao Doutorando João Henrique Gaia Gomes pela força nos experimentos e no laboratório.

Ao Professor Marcus Vinícius pelo incentivo e companheirismo.

Ao meu Orientador o Dr. Anderson Gomide por ser mais que só um orientador, mas um mestre e amigo dedicado.

Ao meu coorientador Marcus Gervásio por estar junto sempre que precisei, e sempre com uma palavra de paz e sabedoria.

A Coordenadora do PGEAAMB professora Camila pelo apoio e compreensão nas horas mais difíceis que passei na minha vida durante o curso.

Aos funcionários e professores e a direção do Colégio Técnico da UFRRJ (CTUR), pelo apoio e seção do espaço nas horas das pesquisas.

Ao meu filho Willian David Pereira da Silva, por me ajudar nas práticas de coleta de solo e no levantamento topográfico da área.

A todos, o meu muito obrigado.

## **BIOGRAFIA**

Carlos José da Silva, Filho de Genira Florentina da Silva e de Anselmo Vitoriano da Silva, concluí a quarta série e admissão na Escola Estadual Carmem Lúcia Andreolo em Conrado, distrito de Miguel Pereira, o primeiro grau no Centro Educacional Universidade Rural, o segundo grau no Colégio Estadual Presidente Dutra. Graduado em Licenciatura em Ciências Agrícolas na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, com pós-graduação *Latu Senso* em Biodiversidade e Sustentabilidade na Universidade Estácio de Sá.

## RESUMO

O cultivo a partir do sistema orgânico vem se expandindo no cenário de produção agrícola mundial. O manejo orgânico apresenta uma nova perspectiva para viabilizar a produção utilizando práticas que permitam ao agricultor alta produtividade conciliada com a sustentabilidade ambiental, social, econômica e produção de alimentos de alta qualidade. A prática da agricultura orgânica possibilita melhorias nos atributos físicos e químicos do solo, além de favorecer sua conservação. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do solo de uma área sob cultivo de produção orgânica e de um sistema agroflorestal por meio da análise da variabilidade espacial de atributos físicos e químicos e da confecção de mapas de manejo. Amostras de solo deformadas e indeformadas foram coletadas para avaliação dos atributos físicos e químicos nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m e os pontos georreferenciados visando a geração de mapas de variabilidade destes parâmetros. Os atributos físicos do solo avaliados foram: densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, e os químicos: pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}+\text{Al}$ , P,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ . Os mapas dos atributos físicos demonstraram a distinção dos indicadores de qualidade do solo entre a área de cultivo para produção orgânica e a área de SAF. Este resultado foi associado as práticas de manejo do solo com enxada rotativa na área de produção orgânica. A variabilidade dos atributos químicos do solo demonstrou que as necessidades de nutrientes nas regiões de produção orgânica e SAF são distintas para os elementos avaliados com exceção do fósforo que se mostrou abundante em toda área.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura orgânica, atributos do solo, agricultura de precisão.



## ABSTRACT

The organic cultivation system has been expanding in worldwide. Organic management presents a new perspective in making production viable using practices that allow the farmer reach high productivity, reconciled with environmental, social, economic sustainability and high-quality food production. The organic agriculture practice enables improvements in the physical and chemical soil attributes, as well as favouring its conservation. In this context, the present work's objective was to evaluate the soil quality of an area under organic production cultivation and an agroforestry system through the spatial variability analysis of physical and chemical attributes and the preparation of management maps. Deformed and undeformed soil samples were collected for physical and chemical attributes evaluation at depths of 0-0.10 m and 0.10-0.20 m. These collection points were georeferenced, aiming at the generation of variability maps of the analysed parameters. The soil physical attributes evaluated were: soil density, particle density, total porosity, and the chemical: pH, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup>, Al, P, Na<sup>+</sup> and K<sup>+</sup>. The physical attributes maps demonstrated distinction of the soil quality indicators between the cultivated area for organic production and the SAF area. This result was associated with rotary hoe soil management practices in the organic production area. The variability of soil chemical attributes demonstrated that the nutrient requirements in the organic production and SAF regions are distinct for the evaluated elements, except for the phosphorus that was abundant in all areas.

**KEYWORDS:** Organic agriculture, soil attributes, precision agriculture.

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Análise descritiva dos atributos físicos na profundidade 0-0,20 m para os atributos químicos para a profundidade 0,00-0,10 m.....	19
<b>Tabela 2.</b> Análise descritiva dos atributos químicos para a profundidade 0,10-0,20 m .....	20
<b>Tabela 3.</b> Correlação linear dos atributos do solo na profundidade 0,00-0,10 m.....	22
<b>Tabela 4.</b> Correlação linear dos atributos do solo na profundidade 0,10-0,20 m.....	23
<b>Tabela 5.</b> Parâmetros dos semivariogramas selecionados na profundidade e 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m.....	24

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da área de estudo.....	14
<b>Figura 2.</b> Perfil do solo da área de estudo.....	15
<b>Figura 3.</b> Croqui do levantamento topográfico nas profundidades 0,00-0,10 m (vermelho) e 0,10-0,20 m (preto).....	16
<b>Figura 4.</b> Mapas de variabilidade espacial para os atributos físicos do solo na profundidade 0,00-0,20 m.....	27
<b>Figura 5.</b> Mapas de variabilidade espacial para os atributos químicos do solo na profundidade 0,00-0,10 m.....	29
<b>Figura 6.</b> Mapa de variabilidade espacial para os atributos químicos do solo na profundidade 0,10-0,20 m.....	32

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
2.1 Manejo conservacionista do solo.....	2
2.2 Agricultura orgânica.....	3
2.3 O solo na produção agrícola.....	6
2.4 Parâmetros de qualidade do solo.....	6
2.5 Histórico e conceitos gerais de Agricultura de Precisão.....	8
2.6 Amostragem de solo para análise da variabilidade espacial do solo.....	10
2.7 Geoestatística e a variabilidade espacial.....	10
2.8 Zonas de manejo.....	12
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>13</b>
3.1 Caracterização do local do experimento.....	13
3.2 Coleta e análise das amostras de solo.....	15
3.3 Análise exploratória e geoestatística.....	17
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>18</b>
4.1 Análise exploratória dos atributos físicos e químicos do solo.....	18
4.2 Correlação entre os atributos físicos e químicos do solo.....	22
4.3 Ajustes dos modelos de variabilidade por meio da geoestatística.....	23
4.4 Mapas de variabilidade espacial dos atributos físicos do solo.....	26
4.5 Mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo.....	28
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>35</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O termo agricultura orgânica é utilizado na definição de todos os modelos de agricultura alternativa em que a produção de alimentos exclui o uso de produtos sintéticos de alta solubilidade, também conhecido como agroquímicos. As técnicas de manejo utilizadas na agricultura orgânica mobilizam todos os recursos disponíveis na unidade de produção, com base na ciclagem de nutrientes, maximizando o uso de insumos orgânicos gerados no local da produção, harmonizando os mesmos e buscando-se também, reduzir o impacto ambiental, socioeconômico, a poluição no local da produção (SOUZA, 2000), o bem estar do produtor e dos animais.

A implantação destas técnicas de produção visa evitar a mecanização intensa do solo, utilizando, quando necessários, implementos de preparo do solo e plantio direto que garantam a produtividade com um menor impacto ambiental. Este manejo minimiza a dependência de matérias primas externas à propriedade, produz alimentos com custos menores e atender as demandas por alimentos livres de agrotóxico, sendo que a produção excedente tem ótima aceitação para exportação.

A adoção de práticas de cultivo orgânico também evita ou praticamente exclui o uso de fertilizantes e agroquímicos sintéticos procurando substituir insumos adquiridos externamente por aqueles encontrados na propriedade. Este fato reflete diretamente na melhoria da qualidade dos atributos físicos e químicos do solo ao longo do tempo, com a aplicação de insumos produzidos na propriedade, como o plantio de algumas espécies que, ao serem incorporadas, aumenta a quantidade de carbono, incorpora nitrogênio e o uso de fertilizantes oriundos de dejetos animais compostados. No cultivo de hortas orgânicas, ao invés da aplicação adubos sintéticos de alta solubilidade juntamente com a semeadura das plantas, opta-se por um processo de fertilização ao longo do tempo, com o uso de adubação verde ou de plantas de cobertura (SEDYAMA et al., 2015).

O monitoramento dos atributos do solo permite estabelecer índices de qualidade, como a densidade do solo, a densidade das partículas, a porosidade total, além dos atributos químicos. A utilização destes índices, facilitam a comparação e caracterização de solos com diferentes tipos de manejo, permite avaliar as mudanças gradativas que estes manejos acarretam, auxiliam a identificar problemas de produção nas áreas agrícolas e monitorar o impacto ambiental em relação ao manejo agrícola realizado. Um índice de qualidade do solo é constituído por um conjunto de propriedades do solo e deve ser capaz de elucidar processos do ecossistema e relacioná-los a processos-

modelos; integrar propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e seus respectivos processos; ser acessível e aplicável às condições de campo; sensível a variações de manejo e clima ao longo do tempo; entre outros aspectos (OLIVEIRA et al., 2018).

O uso de técnicas de agricultura de precisão tem sido amplamente utilizado para auxiliar a adoção de manejos adequados do solo quando utilizado em grande escala e como ferramenta para avaliação da qualidade de atributos do solo em pequenas áreas. A avaliação da variabilidade espacial dos atributos do solo permite que o manejo seja desenvolvido de forma variável, atendendo as necessidades de forma localizada, resultando na otimização do processo produtivo e redução dos impactos ambientais gerados principalmente pelo uso excessivo de adubação química, operações mecanizadas e outras práticas agrícolas.

A geoestatística vem sendo empregada para avaliar e caracterizar a variabilidade espacial de diversos atributos do solo (MOTOMIYA et al., 2011 AQUINO et al., 2014). A utilização de semivariogramas e métodos de interpolação permitem definir a dependência espacial que cada amostra apresenta sobre a outra (CAMBARDELLA et al., 1994; SILVA NETO et al, 2012).

Assim, a caracterização das propriedades físicas e químicas do solo contribui para que sejam avaliadas as condições do manejo e possibilite a observação de eventuais fatores que possam ser otimizados visando o aumento da produção da área, preservação do controle ambiental e a manutenção da integridade do sistema orgânico.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade do solo sob cultivo orgânico e sistema agroflorestal por meio da análise da variabilidade espacial de atributos físicos e químicos através da confecção de mapas de manejo.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Manejo conservacionista do solo**

A prática de manejos conservacionistas do solo corresponde a ações de preservação, manutenção e restauração ou recuperação das propriedades químicas físicas e biológicas do solo, com critérios específicos para sua utilização, sem comprometer suas potencialidades primitivas (DENARDIN et al., 2012).

Entende-se por sistema conservacionista do solo, o cultivo conduzido sob a proteção de um complexo de tecnologias de caráter sistêmico, objetivando preservar,

manter e restaurar ou recuperar os recursos da natureza, mediante o manejo integrado do solo, da água e da biodiversidade, devidamente compatibilizado com o uso de insumos externos (RAMOS, 2016). Este tipo de manejo se baseia na ausência de revolvimento de solo e no uso de cobertura permanente com plantas ou palhas e rotação de culturas e tem contribuído significativamente para o avanço quantitativo e qualitativo da agricultura de grande parte da região tropical brasileira (BERTOL & AZEVEDO, 2016).

O manejo do sistema conservacionista é considerado um dos maiores avanços no preparo de solo na agricultura brasileira, principalmente com a introdução do sistema de plantio direto (SPD) a partir da década 1970 (MOTTER & ALMEIDA, 2015). Enquanto que no manejo do sistema convencional do solo possui um intenso revolvimento por meio da utilização principalmente de arados e grades, já no manejo conservacionista busca-se a redução da mobilização do solo e conseqüentemente a menor utilização de operações mecanizadas, além da formação e manutenção de uma camada vegetal morta sobre o solo (ALENCAR et al., 2013; RAMOS, 2016).

Do ponto de vista prático, o manejo conservacionista, acarreta em diversos benefícios para o solo como controle da erosão, aumento dos teores de matéria orgânica do solo, melhoria da estrutura do solo, redução das perdas de água do solo, redução da variação de temperatura do solo, aumento da atividade biológica do solo e menor número de operação com maquinários (CALEGARI et al., 2006; MOTTER & ALMEIDA, 2015).

## **2.2 Agricultura orgânica**

A legislação brasileira, por meio da lei da agricultura orgânica nº 10831 de 23 de dezembro 2003, regulamentada pelo Decreto Nº 6.323, de 27 de dezembro de 2007 (BRASIL, 2003), conceitua sistema orgânico de produção agropecuária como todo sistema em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis e o respeito à integridade cultural das comunidades rurais, tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não renovável, empregando, sempre que possível, métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização,

e a proteção do meio ambiente. Em breve será apresentada uma nova Instrução Normativa, que no artigo terceiro desta Lei, definirá os requisitos que caracterizam uma unidade de produção orgânica.

Alguns autores também definem outros conceitos de agricultura orgânica ou sistemas orgânicos de produção. Segundo BORTOLETI JÚNIOR et al. (2015), a agricultura orgânica vai muito além da simples troca de insumos agroquímicos por insumos orgânicos e biológicos. O manejo orgânico privilegia o uso eficiente dos recursos naturais não renováveis, aliado ao melhor aproveitamento dos recursos naturais renováveis e dos processos biológicos, à manutenção da biodiversidade, à preservação ambiental, ao desenvolvimento econômico, bem como, à qualidade de vida humana

Já ALENCAR et al. (2013), define agricultura orgânica como sendo o sistema de produção que exclui os fertilizantes sintéticos de alta solubilidade, agroquímicos, reguladores de crescimento e aditivos para a alimentação animal e desenvolvimento vegetal, compostos sintéticos. Os sistemas orgânicos de produção se enquadram no contexto da agroecologia, como um sistema de produção que não permite o uso de agrotóxicos, medicamentos químicos, hormônios sintéticos e de produtos transgênicos, restringe a utilização de fertilizantes com base natural, inclui ações de conservação dos recursos naturais e considera aspectos éticos nas relações sociais internas da propriedade e no trato com os animais (MIYAZAWA, 2001; EMBRAPA, 2006; MUÑOZ et al., 2016).

Em termos de manejo para a condução de sistemas de produção orgânica, para o preparo de solo utiliza-se predominantemente o manejo conservacionista por meio do plantio direto ou cultivo mínimo, sendo recomendado o uso de implementos que façam um corte eficiente da palha e movimentem o mínimo possível o solo na linha de plantio (DAROLT & SKORA NETO, 2002).

Já na etapa de adubação o que se busca não é simplesmente a nutrição da planta, mas sobretudo a melhoria da fertilidade do solo e do sistema. A fertilização orgânica é baseada na matéria orgânica e em fertilizantes minerais naturais pouco solúveis. O aporte de elementos fundamentais (P, K, Ca, Mg) é feito com uso de farinha de ossos, rochas moídas, semi-solubilizadas ou tratadas termicamente (fosfatos naturais), sendo estimulado o uso de calcário (DAROLT & SKORA NETO, 2002). No caso dos microelementos (Bo, Fe, Zn, Cu, Mn) tem-se procedido a sua utilização na forma quelatizada, por meio da fermentação da matéria-prima em solução de água, esterco e aditivos energéticos, conhecidas como biofertilizantes.



Para o manejo de pragas e doenças no sistema orgânico são empregados métodos que promovam o aumento da resistência das plantas, que utilizem técnicas de controle biológico e uso de feromônios, além da utilização de proteções físicas, repelentes e tratamentos curativos a base de produtos naturais. Para o manejo de plantas invasoras o método químico é substituído, na maior parte das vezes, por métodos manuais combinados com mecânicos, como é o caso do uso de roçadoras (DAROLT & SKORA NETO, 2002; SEDIYAMA, et al. 2015).

Tendo em vista a necessidade cada vez mais acentuada do desenvolvimento sustentável, e de um mercado com consumidores diferenciados com forte preocupação ambiental e interessados em produtos mais saudáveis e naturais, a produção de alimentos orgânicos vem ganhando cada vez mais espaço e destaque no mercado consumidor. Conforme abordam SILVA et al. (2010), por serem produtos isentos da aplicação de agrotóxicos, antibióticos ou qualquer outro tipo de substância utilizada na produção convencional, os alimentos orgânicos possuem uma série de benefícios, sobretudo para a saúde humana, além de reduzir expressivamente os impactos negativos que um cultivo convencional de alimentos traz ao meio ambiente.

Em 2015, o mercado brasileiro de orgânicos movimentou cerca de US\$634,52 milhões e espera um crescimento de 30% no faturamento para o ano de 2017. Já as exportações brasileiras de produtos orgânicos somaram US\$40,6 milhões em 2016, em um mercado mundial que movimenta US\$ 80,00 bilhões por ano (POZZI & NETO, 2017).

Visando garantir o processo e autenticidade das informações avaliadas dentro das conformidades em relação as normas da produção orgânicas, desde 2011, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) realiza o credenciamento oficial de instituições que são autorizadas após uma avaliação realizada por Organismos de Avaliação da Conformidade. As propriedades após serem inspecionadas e creditadas recebem autorização para colocarem em seus produtos o selo oficial do Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade Orgânica - SISOrg.

A certificação é uma importante ferramenta que vem aumentar cada vez mais a confiança dos consumidores nos produtos orgânicos trazendo benefícios como: facilitar o planejamento da produção e o desenvolvimento de pesquisas devido aos dados coletados, trazer transparência ao consumidor; e aumentar a credibilidade da agricultura orgânica (CELESTRINO et al., 2017).

### **2.3 O solo na produção agrícola**

O solo é um dos recursos naturais mais estudados, principalmente devido a sua grande diversidade de características e dinamicidade. De acordo com PEDROTTI & MÉLO JUNIOR (2009), do ponto de vista pragmático de produção agrícola, solo é definido como o meio natural onde os vegetais se desenvolvem. Uma vez que solo é um dos principais suportes à produção agrícola, seu comportamento é determinado por um conjunto complexo de fatores físicos químicos e biológicos, submetidos à ação do clima, e que estão constantemente interagindo entre si.

O solo ideal para a agricultura deve ser bem drenado, possuir volume adequado de poros, não ser severamente ácido ou alcalino, ser capaz de suprir as plantas com nutrientes livres de elementos tóxicos e apresentar um teor moderado de matéria orgânica (KIEHL, 1979; SILVA, et al. 2012).

Nas regiões tropicais e subtropicais a intemperização por fatores climáticos é intensa e, quando submetidos ao uso indevido, os solos podem perder sua capacidade produtiva. Dentre os principais problemas que restringem o uso agrícola estão a alta susceptibilidade a erosão, a mineralização acelerada da matéria orgânica, a acidificação, a redução da fertilidade, dentre outros (PEDROTTI & MÉLLO JÚNIOR, 2009).

### **2.4 Parâmetros de qualidade do solo**

De acordo com REINERT & REICHERT (2001), a qualidade física do solo depende de sua composição ou de características intrínsecas como a profundidade efetiva, a mineralogia e a textura, assim como de características que variam com o tempo. A profundidade efetiva, a mineralogia e a textura são aspectos importantes na comparação entre diferentes áreas, enquanto as propriedades dinâmicas do solo são importantes para detectar efeitos de sistemas de manejo ao longo do tempo na mesma área.

A qualidade do solo pode ser definida como, a capacidade de sustentar a produtividade agrícola e manter a qualidade do ambiente no solo, e garantir a saúde humana de animais e plantas, está diretamente relacionada aos serviços ambientais provenientes do solo (PALM et al., 2013), sendo estes fortemente influenciados pelo seu uso e manejo (COLLARES et al., 2008).

Para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis é fundamental a compreensão e quantificação do impacto do uso e manejo do solo na sua qualidade física, por isso, indicadores físicos da qualidade do solo (REYNOLDS, 2002;

CAVALIERI et al., 2011), sendo investigados em diferentes condições de uso e manejo e fundamentais para entender os processos de degradação dos solos e o potencial de contaminação das águas (RAMOS et al., 2014).

O uso e manejo do solo altera a qualidade dos atributos físicos (SILVA et al., 2006), químicos e biológicos do solo (DUFRANC et al., 2004). Áreas agrícolas manejadas convencionalmente, de um modo geral, são as que apresentam as piores condições, devido principalmente ao revolvimento intensivo do solo. Na busca de sistemas de produção agrícola baseados nos princípios de sustentabilidade, destaca-se o sistema de cultivo orgânico (GOMIERO et al., 2011), que se caracteriza pela diversidade de espécies, redução do revolvimento do solo e a não utilização de fertilizantes sintéticos de alta solubilidade e agroquímicos.

Os indicadores físicos da qualidade do solo (CAVALIERI et al., 2011) têm sido utilizados em diferentes condições de uso e manejo e são fundamentais para entender os processos de degradação dos solos e o potencial de contaminação das águas (HAYGARTH & JARVIS, 2002). Além de interferir na resistência à desagregação, esses atributos influenciam na disponibilidade de água e ar para as plantas, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular (PALMEIRA et al., 1999).

Os atributos físicos do solo são potenciais indicadores para avaliar alterações da densidade, resistência à penetração, macroporosidade e porosidade total, promovidas pelos sistemas de manejo e pelas fertilizações. As propriedades físico-mecânicas do solo são, a curto prazo pouco sensíveis aos efeitos dos manejos e dos fertilizantes. (SANTOS et al., 2011; RAMOS et al., 2014; CHERUBIN, et al., 2015).

DEXTER (2004), menciona que há relação direta entre volume de poros e a permeabilidade da água no solo. Porém, os valores de condutividade hidráulica saturada e de infiltração obtidos nos sistemas de integração lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta podem ter sido influenciados não apenas pela porosidade total, como também pela distribuição e do tamanho de poros no perfil do solo.

Outra forma de avaliação da qualidade do solo, são por meio dos indicadores químicos. A dispersão de agentes cimentantes nos agregados do solo pode ocorrer naturalmente ou devido à ação antrópica, causando modificações na estrutura do mesmo (ALMEIDA NETO et al., 2007).

Os íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , que podem ser encontrados na solução do solo, estão relacionados aos fenômenos de dispersão e floculação das partículas, sendo  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  considerados íons floculantes e o  $\text{Na}^+$  dispersante, afetando entre outros aspectos a

formação da estrutura do solo. Além disso, relacionam-se ainda com a capacidade de troca de cátions do solo.

A matéria orgânica do solo também é dos importantes indicadores de qualidade por esta relacionada a diversas outras propriedades. A matéria orgânica pode ser encontrada em diferentes estádios de decomposição e, seu conteúdo e composição são condicionados por diversos fatores, dentre eles, a vegetação, a topografia e o clima. Destaca-se sua interferência na capacidade de troca de cátions (CTC), pH, condutividade elétrica (CE), ciclagem de nutrientes e complexação de elementos tóxicos do solo. Além disso, a decomposição do material orgânico também deve ser considerada fonte de nutrientes no solo, pois sua decomposição resulta em mineralização dos nutrientes dos tecidos das plantas (CONCEIÇÃO et al., 2005; PAVINATO & ROSOLEM, 2008).

GAZOLLA et al. (2015), demonstraram que áreas de sistema de plantio direto e integração lavoura pecuária apresentaram maiores teores de carbono orgânico e aumento na relação entre propriedades químicas do solo, em comparação a área de pastagem, evidenciando a contribuição da matéria orgânica contida nesses sistemas na melhoria da qualidade do solo.

## **2.5 Histórico e conceitos gerais da Agricultura de Precisão**

Define-se agricultura de precisão como o uso de práticas agrícolas com base nas tecnologias de informação para o tratamento da variabilidade espacial, sendo entendida como um ciclo que se inicia na coleta dos dados, análises e interpretação dessas informações, geração das recomendações, aplicação no campo e avaliação dos resultados (GEBBERS & ADAMCHUK, 2010).

Segundo MOLIN et al. (2015), desde o início do século XX, há relatos de gerenciamento das lavouras de forma automática e localizada, inclusive com a aplicação de insumos, como o calcário, em taxas variáveis, utilizando os conceitos de variabilidade. No entanto, aplicação dos conceitos de agricultura precisão, se estabelece nos anos 1980 quando foram gerados os primeiros mapas de produtividade na Europa e foram feitas as primeiras adubações com doses variadas de forma automatizada nos Estados Unidos.

No Brasil, as primeiras atividades ligadas a agricultura de precisão, ocorreram em meados da década de 1990, primeiramente com a importação de equipamentos, especialmente colhedoras equipadas com monitor de produtividade de grãos. As

máquinas para aplicação de fertilizantes em taxas variáveis, foram introduzidas no mercado nacional no final dos anos 1990, também com equipamentos importados. No início dos anos 2000, surgiram as primeiras máquinas nacionais para aplicação a taxas variáveis de fertilizantes granulados e pós, equipadas com controladores importados e, mais tarde, com os primeiros controladores para taxas variáveis nacionais.

A informação espacializada, aquela com posição conhecida no espaço (coordenadas), é uma exigência básica em atividades relacionadas a agricultura de precisão (AP). A espacialização de informações associadas a lavoura, permite a preparação de mapas, que depois de confeccionados, darão ao agricultor o panorama de qualquer dado da sua área de produção, garantindo-lhe interpretações que o auxiliarão nas tomadas de decisão, no investimento, e incremento da sua lavoura. O conceito de mapa, no contexto da agricultura de precisão, se refere a uma representação visual, geralmente em duas dimensões, de uma informação relativa a uma lavoura ou região (INAMASU & BERNARDI, 2014; BERNARDI et al., 2017).

Após confeccionado, os mapas de variabilidade espacial, é possível o agricultor fazer uma análise dos parâmetros físicos e químicos da área, e após fazer a tomada de decisão quanto ao manejo da área, o uso de maquinário, adubação, aplicação de defensivos, aplicação de adubo foliar, dentre outras características associadas ao manejo da lavoura.

O potencial produtivo das culturas é determinado pelos fatores edafoclimáticos e também pelo rendimento da espécie ou cultivar (JACHINTO, 2016). O solo pode influenciar o crescimento vegetal pelo fornecimento de água, nutrientes e oxigênio. As propriedades do solo podem variar espacialmente dentro de um mesmo talhão até a escala regional em função de fatores intrínsecos, como os de formação do solo, e extrínsecos, como as práticas de manejo, adubação e rotação de culturas (CAMBARDELLA & KARLEN, 1999). Essas variações das propriedades do solo devem ser monitoradas e quantificadas para que se possa entender os efeitos do uso da terra e sistemas de gestão de solos.

HORTA et al. (2009), produziram um levantamento de reconhecimento de média características de solos em processos erosivos município de Nazareno-MG, a partir do uso de sistemas de informações geográficas e confecção de mapas de variabilidade espacial, o que gerou redução de custos e aumento da qualidade e precisão dos resultados.

Já SILVA, (2016), avaliou atributos físicos e microbiológicos de qualidade de solos submetidos a diferentes usos agrícolas por meio da análise da variabilidade espacial e conseguiu detectar alterações como aumento na densidade e redução na umidade do solo em áreas de pastagens, em relação a áreas com sistema agroflorestal e cultivo de hortaliças. Para os atributos microbiológicos, foi observado que a área da horta apresentou menor população e maior atividade microbiana, possivelmente pelo maior revolvimento do solo e adição de adubos orgânicos. Com a adição de fertilizantes orgânicos a base de esterco, oriundo da produção orgânica de animais domésticos, em quantidades cada vez mais precisa, aumenta a atividade e a quantidade dos micro-organismos na área de produção.

## **2.6 Amostragem de solo para análise da variabilidade espacial dos atributos**

Segundo CAPBODEVILA (2014), a grande diferença entre o método convencional e a agricultura de precisão está no critério de amostragem e no aumento da representatividade destas amostras. Uma área aparentemente homogênea, pode apresentar intensa variabilidade química, física e biológica deste solo. Para mensurar esta variabilidade no solo, a amostragem para agricultura de precisão é realizada estimando a média, por meio de uma amostra composta obtida da mistura homogênea de todas as amostras denominadas amostras simples. As análises químicas são feitas com a utilização de uma subamostra contendo um volume representativo da amostra composta.

Não existe uma subdivisão ideal, ou uma grade ideal de amostragem. Sabe-se que quanto menor a malha de amostragem maior a aleatoriedade. A escolha da grade para amostragem em agricultura de precisão varia em relação ao atributo avaliado, a operacionalidade e à viabilidade econômica desta operação. Geralmente o caminhamento é realizado respeitando uma grade com distâncias pré-definidas ou por caminhamento aleatório ou em ziguezague dentro da área. O número de pontos de coleta geralmente é fornecido pela estatística, pois estes estão condicionados ao tamanho da área a ser avaliada, do tipo de trabalho a ser executado e da dependência espacial dos pontos amostrados (CASARINI et al., 2001; GHINI et al., 2006).

## **2.7 Geoestatística e a variabilidade espacial**

Segundo VIEIRA (2000), a geoestatística tem por objetivos identificar, na aparente desordem das amostras, uma medida da correlação espacial, modelar e

quantificar a dependência espacial, identificar padrões de amostragem adequados, permite estimativas de valores em locais não amostrados a partir das amostras existentes. A geostatística está intimamente ligada a agricultura de precisão, sendo a principal ferramenta de análise dos dados. Dentro da agricultura, com o auxílio da geostatística pode-se avaliar a variabilidade espacial da produtividade de culturas (SOUZA et al., 2009; AQUINO et al., 2014; JACHINTO, 2016), aplicar fertilizantes a taxas variáveis (BERNARDI et al., 2017) e analisar a qualidade dos atributos físicos e químicos do solo (CAMPOS et al. 2012; OLIVEIRA et al., 2018).

O estudo da variabilidade espacial por meio da geostatística nos traz, a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, observando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (SOUZA et al., 2009; AQUINO et al., 2014), permitindo indicar alternativas de uso, e também de possibilitar melhor entendimento da variabilidade dos atributos e sua influência no ambiente (SILVA NETO et al., 2012).

A análise dos semivariogramas é a técnica geostatística mais utilizada para análise da variabilidade espacial e temporal de diversos atributos (EGHBALL et al., 1999). O semivariograma é um modelo que mede e descreve a dependência espacial entre as amostras, representando a semivariância dos dados em relação à distância que separa os pontos amostrados. Entenda-se por dependência espacial valores de uma mesma variável, próximos um ao outro que têm a probabilidade de serem mais semelhantes do que dois valores mais distantes entre si (SOUZA et al., 2016). A dependência espacial pode ser investigada calculando a variância entre pares de pontos e representando-a em um gráfico como função da distância entre os dois pontos.

Segundo MATHERON (1963), os estimadores da função semivariância proposto para variáveis regionalizadas com distribuição normal de probabilidade apresentado acima, são definidos de acordo com modelos matemáticos ajustados. MCBRATNEY & WEBSTER (1986), indicam que os modelos mais adequados para os mais variados tipos de situações, na maioria dos casos, serão esférico, exponencial ou gaussiano.

O modelo gaussiano é o que representa os processos mais contínuos que se tem conhecimento, tem um crescimento bastante lento no início e tem um ponto de inflexão antes do alcance. Os dados mais comuns de ocorrência de modelo gaussiano são cotas topográficas. O modelo exponencial é o que representa processos que tem a maior perda de semelhança com a distância. Dados de precipitação pluviométrica normalmente são ajustados por este modelo. O modelo esférico cresce

aproximadamente entre o gaussiano e o exponencial e é o modelo que mais ocorre, pois possui duas estruturas, uma com a distância entre zero e o alcance e outra maior do que o alcance, onde atinge o patamar (GREGO, et al., 2014).

Associado ao semivariogramas, a krigagem apresenta-se como uma ferramenta de muita importância em diversos estudos (FOSTER & HIRATA, 1988; RIBEIRO et al., 2011). O princípio da krigagem é estimar valores não conhecidos obtidos por meio da combinação de valores amostrados adjacentes àquele que se quer adquirir, levando-se em consideração, no modelo, a estrutura de variação espacial. Isto pressupõe a existência de correlação entre os dados, exigindo saber até onde espacialmente esta correlação importa (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). Através do semivariogramas encontram-se os pesos ótimos a serem associados às amostras que irão estimar um ponto.

Os parâmetros observados no semivariograma e utilizados para a integração da krigagem são: o efeito pepita (valor da função do semivariograma na origem, representando o valor da descontinuidade), a semivariância estrutural (diferença entre o patamar e o efeito pepita), o patamar (ponto a partir do qual as amostras tornam-se independentes por causa da distância que as separam) e o alcance (distância a partir da qual as amostras passam a ser independentes, refletindo o grau de homogeneização) (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; SOUZA et al., 2016).

## **2.8 Zonas de manejo**

A agricultura de precisão vem buscando ferramentas para que possam incrementar as informações e aliar com gestões agronômicas. Desta forma, a caracterização de unidades de zonas de manejo permite agrupar áreas com comportamento considerado homogêneo função do atributo analisado (MOLIN et al., 2015).

Os maiores benefícios na condução da lavoura por meio do uso das zonas de manejo são a redução do custo de produção devido ao menor gasto com insumos e o aumento da produtividade agrícola (TSCHIEDEL & FERREIRA, 2002; MOLIN et al., 2015). O reconhecimento de padrões em propriedades de solo e planta é etapa inicial para a divisão das lavouras em zonas ou classes de manejo (SANTOS et al., 2003; LEAL et al., 2015; BERNARDI et al., 2017).

PIAN et al. (2015), utilizaram mapas para avaliar atributos físicos e químicos do solo submetido ao cultivo intensivo de hortaliças orgânicas. Os mapas foram



considerados eficientes na análise espacial e temporal do módulo de cultivo, facilitando futuras tomadas de decisões e mostrando a distribuição dos atributos de forma dinâmica.

OLDONI et al. (2015), utilizou a técnica multivariada de agrupamento através do algoritmo fuzzy c-means aplicada aos dados interpolados das variáveis de atributos físicos do solo, para dividir uma área em diferentes zonas de manejo diferenciado de irrigação. Duas funções de validação do agrupamento, incluindo o índice de desempenho fuzziness e a entropia de partição modificada, foram utilizadas para a indicação do melhor número de zonas de manejo.

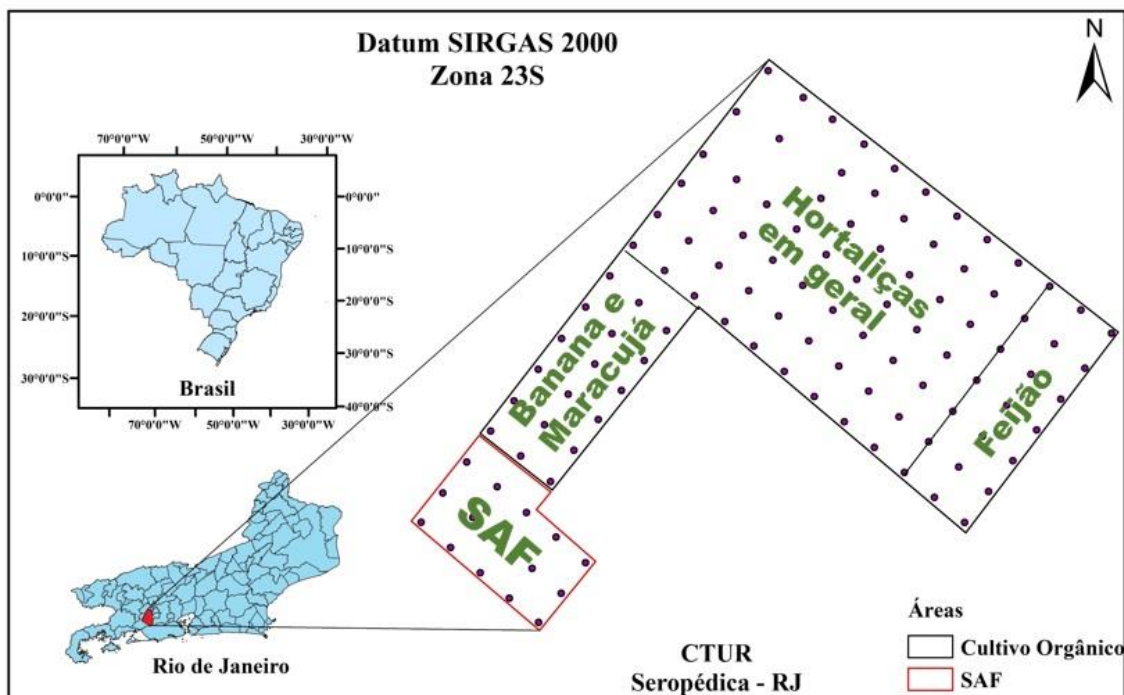
### 3 MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 Caracterização do local do experimento

O experimento foi conduzido em uma área já existente de produção agrícola agroecológica, pertencente ao Colégio Técnico da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (CTUR), localizada na: rodovia BR 465-Km 7, com coordenadas geográficas de 22° 46' 24" S e 43° 42' 08" W, altitude 33 m. O clima da região é do tipo Aw da classificação de Köppen e caracteriza-se pela ocorrência de chuvas frequentes e temperaturas elevadas, no verão, e pelo inverno pouco rigoroso e geralmente seco (KOPPEN, 1948). As médias anuais são 24°C e de 1.213 mm de temperatura média e precipitação pluvial, respectivamente (CARVALHO et al., 2006).

A área teve tamanho aproximado de 0,7 ha onde foi realizado o cultivo em sistemas agroecológicos de produção de hortaliças em geral como alface (*Lactuca sativa*. L), couve (*Brassica oleracea*), mostarda (*Sinapsis alba*), chicória (*Cichorium endívia*), almeirão (*Cichorium intybus*), rúcula (*Eruca sativa*), nabo (*Brassica rapa* L.), rabanete (*Raphanus sativus*. L.). Feijão (*Phaseolus Vulgaris*, frutíferas como banana (*Musa acuminata*) e maracujá (*Passiflora edulis*), além de um sistema de agroflorestal (produção de glirícidia para alimentação animal e uso de folhas e galhos triturados na adubação de cobertura) também foram culturas presentes na área. A área experimental apresenta um histórico de quatorze anos sob cultivo orgânico, com adubação realizada exclusivamente proveniente de resíduos orgânicos, e o sistema de cultivo mínimo de preparo do solo e manejo das culturas, com duas operações mecanizadas anuais (uso somente da enxada rotativa com o encanteirador). Na Figura 1

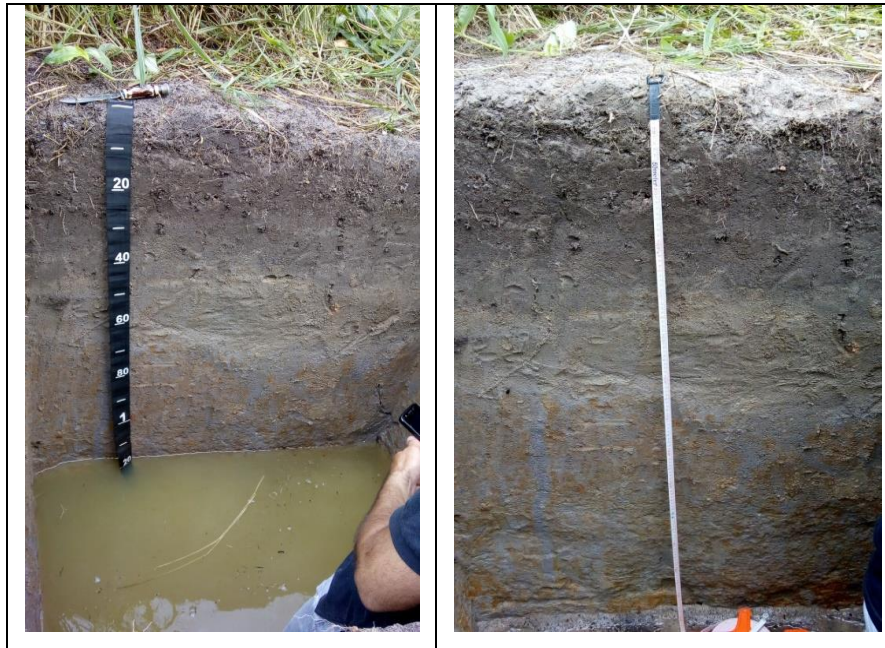
é apresentado um mapa geodésico da área onde a pesquisa de campo foi realizada e disposição esquemática das principais culturas na área de estudo.



**Figura 1.** Localização da área de estudo.

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SANTOS et al, 2018), o solo da área experimental foi classificado como Planossolo Háptico Tb eutrófico típico, com formação geológica do complexo Paraíba do Sul, sendo o material originário sedimentos. Quando a pedregosidade e rochoso o solo foi classificado como não pedregoso e não rochoso. O relevo local foi classificado como plano, com erosão não aparente e imperfeitamente drenado. A vegetal primária foi classificada como Floresta subtropical subcaducifólia e o uso atual do solo para o cultivo de olerícolas.

Nos horizontes mais superficiais (A1, A2 e AE) há predominância da estrutura do tipo granular, enquanto, nos horizontes subsuperficiais (E1 e E2) é verificada maior expressão de estrutura do tipo grãos simples ligeiramente duros. Os horizontes profundos apresentam predominância da estrutura blocos subangulares (EB e B) e ligeiramente duro (C). Todos os horizontes apresentam textura argilo-arenosa com predominância do matiz 7,5YR (amarelado com variações, segundo MUNSELL, 1977). Na Figura 2 é apresentado o perfil do solo no local do estudo.



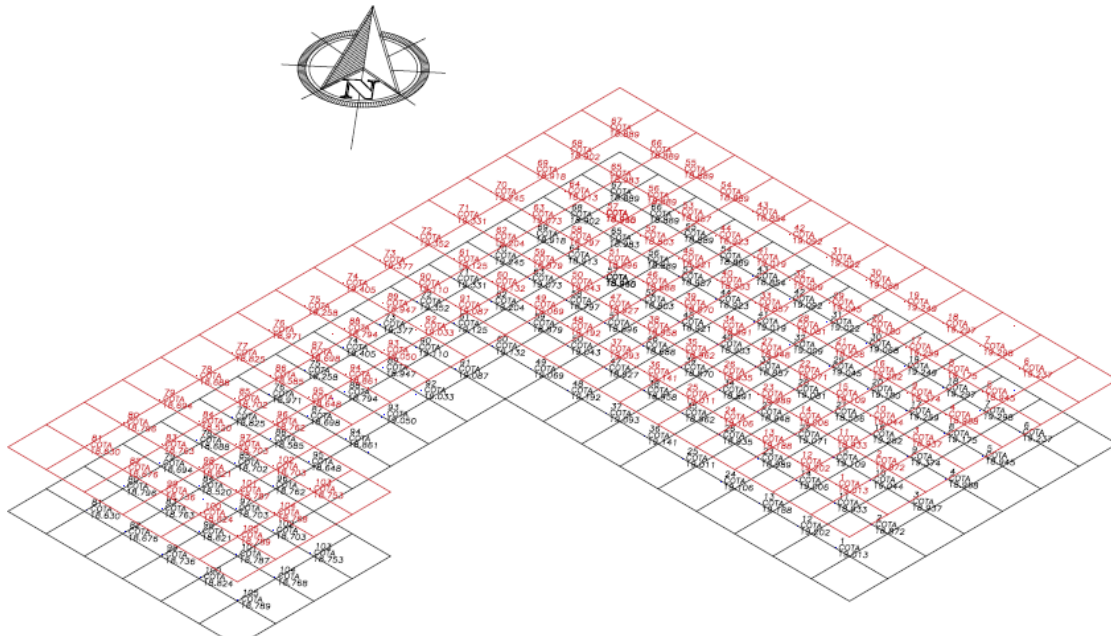
**Figura 2.** Perfil de solo descrito na área de estudo.

### **3.2 Coleta e análises das amostras de solo**

Foram coletadas, amostras deformadas e indeformadas na camada entre 0,00-0,20 m. Esta profundidade foi escolhida por ser a região de crescimento das raízes das plantas cultivadas na área experimental. Para análise dos atributos físicos do solo, coletou-se 99 amostras indeformadas com o anel de Kopeck na profundidade de 0,00-0,20. Já para análise dos atributos físicos do solo, coletou-se 99 amostras deformadas na camada de 0,00-0,10 m, e 99 amostras deformadas na camada de 0,10-0,20 m. Em cada ponto amostrado coletou-se uma amostra simples utilizando uma cavadora articulada como ferramenta.

As amostras foram adquiridas em espaçamentos regular, com o intuito de gerar posteriormente, mapas de variabilidade espacial. Os pontos foram georreferenciados com auxílio de um receptor GPS, do tipo geodésico, marca Magellan, modelo Promak 2, precisão  $\pm 5\text{mm} + 5\text{ppm}$ , acoplado a uma antena externa modelo Ashtech Proantenna com o objetivo de avaliar a dependência espacial dos dados utilizando técnicas de geoestatística.

Na Figura 3 é apresentado um croqui da distribuição dos pontos de coleta de solo, feitos através dos levantamentos topográficos executados na área experimental pelo setor de agrimensura do Departamento de Engenharia do Instituto de Tecnologia da UFRRJ.



**Figura 3.** Croqui do levantamento topográfico na profundidade de 0,00-0,10 m (vermelho) e na profundidade 0,10-0,20 m (preto).

De acordo com a metodologia proposta por TEIXEIRA et al., (2017), as amostras indeformadas de terra foram levadas para laboratório sendo secas em estufa a 105°C e pesadas para a determinação da densidade do solo ( $D_s$ ) pelo método do anel volumétrico. Para determinação da densidade das partículas ( $D_p$ ) pelo método do balão volumétrico, as amostras foram destorroadas e passadas por peneira de 0,2mm, obtendo-se a TFSA (TEIXEIRA et al., 2017). O volume total de poros (VTP) a qual foi obtido pela relação entre a densidade do solo ( $D_s$ ) e a densidade das partículas ( $D_p$ ), de acordo com a Equação 1:

$$Pt = 1 - \left( \frac{D_s}{D_p} \right) \quad (1)$$

Em que:

Pt: porosidade total;

$D_s$ : densidade do solo;

$D_p$ : densidade das partículas.

As amostras de solo deformadas foram secas ao ar (TFSA), destorroadas, e passaram por uma peneira de 2mm, serem secas em forno 105 °C terra fina seca em estufa (TFSE), foram realizadas as seguintes análises químicas: pH utilizando-se relação 1:2,5 de solo em água; cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ), potássio ( $K^+$ ), sódio

(Na<sup>+</sup>) e alumínio (Al<sup>3+</sup>) trocáveis; fósforo (P) disponível; hidrogênio+alumínio (H+Al) extraíveis (acidez potencial), segundo TEIXEIRA et al. (2017).

### 3.3 Análise exploratória e geoestatística

Os dados gerados através das análises de solo foram tabulados na plataforma eletrônica juntamente com as coordenadas geográficas dos respectivos pontos amostrais e salvos na extensão csv para posterior uso no software R Core Team (2018).

Os dados foram submetidos à análise exploratória com a finalidade de se analisar sua distribuição no que diz respeito à normalidade. Dessa forma serão calculados os seguintes parâmetros: valores extremos (mínimo, máximo), média, mediana, coeficiente de variação (CV), raiz quadrada do erro médio (RMSE) e média ponderada do erro médio (MPE).

Os valores de CV foram classificados segundo PIMENTEL-GOMES & GARCIA (2002) como de variabilidade baixa (CV < 10%), média (10 < CV < 20%), alta (20 < CV < 30%) e muito alta (CV > 30%). A hipótese de normalidade foi testada pelo teste W de Shapiro-Wilk a 5% de significância.

Para a realização da análise geoestatística foram calculados os semivariogramas de acordo com a proposição realizada por VIEIRA et al. (1983), conforme a Equação 2:

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

Em que,

$\gamma^*$  = semivariância entre pares de valores medidos para determinada distância h;

h = distância entre valores medidos;

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

Z = valor do atributo; e,

xi = posição de determinado atributo.

Após a verificação da existência de dependência espacial através da análise do semivariograma, ajustou-se três modelos teóricos (esférico, exponencial e gaussiano), com a finalidade de selecionar o que melhor representou a estrutura espacial das variáveis analisadas. Para a determinação do melhor modelo ajustado de semivariograma escolheu-se aquele o maior valor de coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) dentre os modelos. Após o ajuste do modelo foram estimados os coeficientes do modelo

teórico: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C_1$ ) e o alcance, conforme descrito por VIEIRA et al. (1983).

O grau de dependência espacial dos atributos foi verificado utilizando-se a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), onde valores de  $[(C_0 / (C_0 + C_1))] < 25\%$  são considerados dependência espacial forte, valores de  $[(C_0 / (C_0 + C_1))]$  entre 25 e 75% indicam dependência espacial moderada e  $[(C_0 / (C_0 + C_1))] > 75\%$  dependência espacial fraca.

Posteriormente, os dados foram inseridos na ferramenta geoestatal wizard do *software* ArcGis® 10.5.2 (ESRI, 2016) e realizou-se sua interpolação por krigagem ordinária (KO), de forma a possibilitar a visualização dos padrões de distribuição espacial das variáveis na área estudada, obtendo-se os mapas para cada parâmetro analisado. Os números de classes foram definidos de forma automática levando em consideração a divisão por quanties dos valores de cada variável.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Análise exploratória dos atributos físicos e químicos do solo**

Na Tabela 1 são apresentados os valores descritivos da análise exploratória atributos físicos na profundidade 0-0,20 m e para os atributos químicos para a profundidade 0,00–0,10 m. Os valores próximos das medidas de tendência central (média e mediana) indicaram baixa variação dos dados em torno do valor central. O teste de Shapiro-Wilk demonstrou que houve distribuição normal para todos os atributos. Embora não seja exigida expressamente a normalidade para análise geostatística (CRESSIE, 1993), há existência da normalidade garante maior confiabilidade nos resultados obtidos.

**Tabela 1.** Análise descritiva dos atributos físicos na profundidade 0-0,20 m para os atributos químicos para a profundidade 0,00-0,10 m

	Ds	Dp	VTP	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	P
	---Mg m <sup>-3</sup> ---		%	H <sub>2</sub> O	-----cmolc dm <sup>-3</sup> -----						mg.kg <sup>-1</sup>
Min.	1,10	1,69	23	4,39	1,60	0,20	0,10	1,00	0,01	0,01	7,79
Med.	1,55	2,42	35,94	6,00	2,16	1,37	0,24	3,41	0,01	0,04	25,87
Md.	1,57	2,44	35	6,18	2,10	1,40	0,20	3,55	0,01	0,03	28,27
Max.	1,86	2,63	52	7,30	3,00	2,50	0,40	4,20	0,02	0,02	39,86
CV%	8,69	4,30	14,22	7,75	14,63	41,39	24,31	14,01	31,30	52,42	33,31
Ass.	-0,85	-3,46	0,57	-1,10	0,82	-0,31	0,71	-1,74	1,97	1,39	-0,98
Ck	1,38	24,26	0,88	2,73	-0,08	-0,77	-0,09	5,88	1,93	3,75	0,17
CW	0,95*	0,76*	0,97*	0,93*	0,92*	0,96*	0,73*	0,88*	0,43*	0,88*	0,95*

Mínimo (Min), média (Med), mediana (Md), máximo (Max), coeficiente de variação (CV%), assimetria (Ass), curtose (CK), Shapiro-Wilk (CW), \*Significativo a 5% pelo teste T para distribuição normal. Densidade do solo (Ds), densidade das partículas(Dp), volume total das partículas(VTP), potencial hidrogeniônico(pH), cálcio(Ca<sup>2+</sup>), magnésio(Mg<sup>2+</sup>), alumínio(Al<sup>3+</sup>), hidrogênio + alumínio(H+Al), sódio(Na<sup>+</sup>), potássio(K<sup>+</sup>), fósforo(P).

Em relação ao coeficiente de variação, segundo DALCHIAVON et al. (2012) a variabilidade de um atributo pode ser classificada de acordo com a magnitude de seu coeficiente de variação (CV) classificando-o como baixo (CV < 10%), médio (10% < CV < 20%), alto (20% < CV < 30%) e muito alto (CV > 30%). Desta forma, os atributos Ds, Dp e pH foram classificados como baixo CV; os atributos VTP, Ca<sup>2+</sup> e H+Al foram classificados como médio CV; e os demais atributos foram classificados como alto CV.

Quanto a forma da distribuição para uma análise geostatística espera-se que as caudas não muito alongadas (CRESSIE, 1993). Esta característica pôde ser observada por meio dos coeficientes de assimetria e curtose. Quanto a assimetria, percebeu-se que, por apresentar valores próximos de zero, todos os atributos avaliados puderam ser considerados com distribuição simétrica em torno do ponto central. Já o coeficiente de curtose demonstrou que a distribuição para os atributos Ds, Dp, pH, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> foram consideradas do tipo leptocútica (curva de distribuição alongada, Ck>1); os demais atributos foram considerados do tipo mesocúrtica (curva de distribuição alongada, Ck < 1).

Em relação a forma da distribuição, percebeu-se que, os atributos pH, Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H+Al e P apresentaram valores próximos de 0, sendo considerados distribuição simétrica em torno do ponto central. Os atributos Ca<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> apresentaram

coeficiente de assimetria positiva, estando a distribuição levemente alongada a direita do ponto central. Os coeficientes de curtose apontaram distribuição do tipo leptocútica (curva de distribuição alongada,  $Ck > 1$ ) para todos atributos.

Em relação aos atributos físicos, a densidade do solo (Ds) da área avaliada atingiu valores entre 1,10 e 1,86 Mg m<sup>-3</sup>, não sendo um fator que representa restrição ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas. Segundo RAMOS et al. (2015), valores maiores que 1,49 Mg m<sup>-3</sup> para Ds em solos argilo-arenosos são considerados limitantes para o crescimento de plantas. Tendo em vista o valor médio de 1,55 Mg m<sup>-3</sup>, considera-se que em algumas regiões há a necessidade de realização de outras práticas de preparo de solo, como a escarificação ou gradagem para a melhoria da estrutura física do solo.

Para os atributos químicos avaliados na profundidade de 0,10-0,20 m (Tabela 2) também foi observado que os valores próximos das medidas de tendência central (média e mediana) indicam baixa variação dos dados em torno do valor central. Com exceção do Ca<sup>2+</sup>, todos os outros atributos apresentaram distribuição normal pelo teste de Shapiro-wilk. Todos atributos apresentaram CV menor que 10%, sendo classificados como baixa variação.

**Tabela 2.** Análise descritiva dos atributos químicos para a profundidade 0,10-0,20 m

	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	P
	H <sub>2</sub> O	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						mg.kg <sup>-1</sup>
Min.	4,70	0,80	0,40	0,30	1,48	0,01	0,00	7,56
Med.	6,07	1,58	1,52	0,40	2,07	0,01	0,02	23,46
Md.	6,15	1,60	1,40	0,40	1,98	0,01	0,02	23,71
Max.	6,90	2,60	3,40	0,60	3,00	0,03	0,07	39,87
CV%	-0,70	0,03	1,11	0,21	0,49	2,23	1,59	0,04
Ass.	0,50	0,14	2,05	-0,36	-0,84	4,28	4,06	-1,08
Ck	6,73	22,11	35,59	17,58	20,21	34,57	53,15	35,35
CW	0,97*	0,98 <sup>ns</sup>	0,93*	0,82*	0,93*	0,46*	0,82*	0,97*

Mínimo (Min), média (Med), mediana (Md), máximo (Max), coeficiente de variação (CV%), assimetria (Ass), curtose (CK), Shapiro-Wilk (CW), \*Significativo a 5% pelo teste T para distribuição normal. Potencial hidrogeniônico (pH), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), alumínio (Al<sup>3+</sup>), hidrogênio + alumínio (H+Al), sódio (Na<sup>+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>), fósforo (P).



Como na área é realizado o cultivo mínimo com presença resíduo vegetal, na camada superficial do solo (0-0,10 m), se encontrava uma grande quantidade de matéria orgânica que auxiliou na manutenção dos nutrientes do solo. Na camada mais profunda, (0,10-0,20 m), além das perdas por lixiviação, também é a região onde as raízes das hortaliças estavam mais concentradas, e atuando na absorção dos nutrientes na solução do solo.

Dentro deste contexto, os valores médios de pH de 6,09 , mínimo de 4,39 e máximo de 7,30 para a profundidade 0,00-0,10 cm e os valores médios de pH de 6,07, mínimo de 4,70 e máximo de 6,90 para a profundidade 0,10-0,20 cm indicam que o solo avaliado apresenta regiões onde a acidez se encontra em condições favoráveis para o crescimento de hortaliças, regiões em condições alcalinas ( $\text{pH} > 7$ ) e regiões de elevada acidez ( $\text{pH} < 5,5$ ) que necessitam algum tipo de correção.

A variação observada para o P, ocorreu provavelmente pela distribuição desuniforme da fertilização fosfatada realizada na área do experimento. Como fertilizante é utilizado esterco de curral curtido e seco, aplicado a lanço nos canteiros e incorporados com enxadas rotativa no momento do encanteiramento e nas covas nos plantios de bananas, maracujá e das hortaliças.

Outro aspecto importante para o desenvolvimento da produção agrícola das hortícolas é a acidez do solo, que quando excessiva pode modificar propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos e condicionar o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

A acidez está relacionada a baixos teores de cátions básicos ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ), e pela toxidez causada por  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  em altas concentrações (SOUZA et al., 2007). De forma generalizada, a maioria das culturas hortícolas tem seu desenvolvimento favorecido com o pH do solo na faixa entre 5,5 e 6,5 (EMBRAPA, 1997). Está faixa aumenta a disponibilidade dos macronutrientes para as plantas é favorecido. Quando o pH do solo se encontra com valores menores do que 5,5, aumenta a possibilidade de problemas acarretados por elevados teores de  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  que são tóxicos às plantas.

Segundo MATA et al. (2016), as regiões tropicais, com altos índices pluviais, apresentam tendência à acidificação dos solos, decorrente da lixiviação de cátions como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , que contribuem para o caráter básico do complexo de troca e favorecem, assim, o aumento dos cátions  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ , que elevam a natureza ácida dos solos.

Os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e Na) são absorvidos pela planta em maior proporção que os micronutrientes (Cu, Mn, Fe e Zn), os quais se encontram dissolvidos na solução do solo e no substrato onde a planta desenvolve e cresce. Portanto, alguns nutrientes podem estar ausentes ou em uma forma que não podem ser absorvidos pelas raízes (ROQUIM, 2010). Na área de estudo para torná-los disponíveis é necessário manejar o solo por meio de operações de incorporação realizar a reposição utilizando adubos orgânicos diversificados que ofereçam os nutrientes com baixas quantidades.

#### 4.2 Correlação entre os atributos físicos e químicos do solo

Na Tabela 3 são apresentadas as correlações entre os atributos físicos e químicos do solo na profundidade de 0,00-0,10 m. Observou-se com os atributos físicos Ds, Dp e VTP, ocorreu correlação significativa com os atributos químicos pH e  $Al^{3+}$ . Em relação a correlação entre os atributos químicos o Ca se destacou, apresentando correlação significativa  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  e  $K^+$ , e o  $Na^+$  que apresentou correlação significativa  $K^+$ . O pH,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ , H+Al e o P, não obtiverão correlação significância de 5% ou 1% com os demais atributos químicos.

**Tabela 3.** Correlação linear dos atributos do solo 0,00-0,10 m

	Ds	Dp	VTP	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	P	Na <sup>+</sup>
pH	0,33**	0,36**	-0,17*							
Ca <sup>2+</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>						
Mg <sup>2+</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,74**					
Al <sup>3+</sup>	-0,24**	-0,26**	0,11**	-0,16 <sup>ns</sup>	-0,20**	0,13 <sup>ns</sup>				
H+Al	0,04 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,24 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>			
P	0,11 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>		
Na <sup>+</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	
K <sup>+</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	0,21**	-0,15 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,30*

Densidade das partículas (Dp), densidade do solo (Ds), volume total de poros (VTP), potencial hidrogeniônico (pH), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>), alumínio (Al<sup>3+</sup>), hidrogênio + alumínio (H+Al), fósforo (P), sódio (Na<sup>+</sup>), potássio (K<sup>+</sup>).

\*\* Significativo a 5%, \*Significativo a 1%, <sup>ns</sup> Não Significativo.

Já na Tabela 4 são apresentadas as correlações entre os atributos químicos do solo na profundidade de 0,10-0,20 cm. Os atributos químicos pH,  $Mg^{2+}$ , H+Al e o  $Na^+$ , apresentaram correlação não significativa entre todos os atributos analisados, O Ca, obteve correlação significativa a 5% com o  $Mg^{2+}$ , o  $Al^{3+}$  obteve correlação a 5% com o  $K^+$ , e o P obteve correlação a 5% com o  $Na^+$ .

**Tabela 4.** Correlação linear dos atributos do solo 0,10-0,20 m

	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	P	Na <sup>+</sup>
Ca <sup>2+</sup>	0,06 <sup>ns</sup>						
Mg <sup>2+</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,59**					
Al <sup>3+</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>				
H+Al	-0,10 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>			
P	-0,05 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	-0,14 <sup>ns</sup>		
Na <sup>+</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,20**	
K	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,27**	0,13 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>

Potencial hidrogeniônico(pH), cálcio(Ca), magnésio(Mg), alumínio(Al), hidrogênio + alumínio(H+Al), fósforo(P), sódio(Na), potássio(K), volume total de poros (VTP), \*\* Significativo a 5%, \*Significativo a 1%, ns Não Significativo.

Na camada 0,10-0,20 m<sup>-1</sup> da área pesquisada, observou-se que a quantidade de Al<sup>3+</sup> é menor que na camada 0,00-0,10 m<sup>-1</sup> demonstrando que não há necessidade de correção do solo com o uso de calcário ou outros elemento, pois se a quantidade de Al<sup>3+</sup> está baixa, o solo não está ácido o que facilita a adsorção e a absorção pelas raízes que estão em sua maioria nesta camada do solo.

KAZMIERCZAK et al. (2018), relataram que solos de clima tropical e subtropical, por serem bem desenvolvidos apresentam maior acidez devido a sua composição, com argilas cauliníticas e óxidos de ferro e alumínio na sua fração argila, resultando em altos teores de Al<sup>3+</sup> disponível no solo. Já BRIEDIS et al. (2012) demonstraram que o alto teor de Al<sup>3+</sup> na área de vegetação secundária proporcionou um menor índice de qualidade do solo na camada 0,10-0,20 m.

#### 4.3 Ajustes dos modelos de variabilidade por meio da análise geoestatística

A Tabela 5 apresenta os resultados dos parâmetros dos semivariogramas que melhor descreveram a variabilidade dos atributos físicos (profundidades 0,00-0,20 m) e químicos do solo para as profundidades 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m. Desta forma, são apresentados os valores de alcance (a), patamar (C1), efeito pepita (C0), grau de dependência espacial (GDE), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e a classificação para o modelo escolhido para cada atributo. Predominantemente o modelo teórico exponencial foi o que melhor ajustou à semivariância em função da distância, exceto para os atributos físicos Ds e Dp os quais tiveram sua variabilidade espacial descrita pelo modelo teórico esférico.

**Tabela 5.** Parâmetros dos semivariogramas selecionados na profundidade e 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m

Variáveis	C1	Co	Alcance	MODELO	R2	GDE	Classificação
Camada 0,00-0,20 m							
Ds	0,0137	0,0014	17,39	Sph	0,37	9	Forte
Dp	0,0048	0,0008	9,57	Sph	0,46	15	Forte
VTP	26,521	3,0000	6,45	Exp	0,35	10	Forte
Camada 0,00-0,10 m							
pH	0,1316	0,1165	11,35	Exp	0,06	47	Moderada
Ca <sup>2+</sup>	0,1121	0,0200	9,46	Exp	0,07	15	Forte
Mg <sup>2+</sup>	0,3810	0,0340	17,90	Exp	0,25	8	Forte
Al <sup>3+</sup>	0,0024	0,0009	10,07	Exp	0,19	27	Moderada
H+Al	0,1500	0,0780	5,79	Exp	0,26	34	Moderada
P	0,0200	0,0100	5,00	Exp	0,19	33	Moderada
Na <sup>+</sup>	0,0001	0,0000	2,50	Exp	0,19	0	Forte
K <sup>+</sup>	0,0003	0,0001	2,39	Exp	0,39	35	Moderada
Camada 0,10-0,20 m							
pH	0,0900	0,0930	4,84	Exp	0,25	51	Moderada
Ca <sup>2+</sup>	0,1285	0,0000	6,26	Exp	0,38	0	Forte
Mg <sup>2+</sup>	0,1851	0,0923	7,56	Exp	0,21	34	Moderada
Al <sup>3+</sup>	0,0031	0,0000	3,29	Exp	0,87	0	Forte
H+Al	0,2277	0,0031	16,56	Exp	0,88	1	Forte
P	0,0273	0,00	3,58	Exp	0,15	0	Forte
Na <sup>+</sup>	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP	EPP
K <sup>+</sup>	0,0001	0,00	3,31	Exp	0,66	0	Forte

Densidade do solo(Ds), densidade das partículas (Dp), volume total dos poros (VTP), potencial hidrogeniônico(pH), cálcio(Ca), magnésio(Mg), alumínio(Al), hidrogênio +alumínio(Al), fósforo(P), sódio(Na), potássio(K), C1 (patamar), Co ( efeito pepita), R<sup>2</sup> (coeficiente de determinação), GDE ( Índice de dependência espacial).

Analisando a Tabela 5, para os atributos do solo avaliados na camada de 0,00-0,10 m, não houve presença de efeito pepita puro demonstrando que as amostras coletadas apresentaram algum tipo de dependência espacial. Para os atributos do solo obtidos na camada 0,10-0,20 m, o Na apresentou efeito de pepita puro, o que significa que houve ausência de dependência espacial entre as amostras. Para os demais outros atributos, foi constatada a dependência espacial entre as amostras.

O efeito pepita puro (EPP) indica que a variabilidade espacial na área é aleatória ou que a malha amostral utilizada para análise, não possui número de amostras suficiente para a detecção da dependência espacial (GUIMARÃES, 2004). Para a comprovação da aleatoriedade da variabilidade do atributo pode-se realizar uma reamostragem da malha utilizando distâncias menores entre os pontos de coleta.

Um indicativo sobre a distância adequada a ser utilizada é a partir da avaliação do alcance. O alcance apresenta a maior distância para ocorrência de dependência espacial entre os pontos amostrados. Amostras obtidas com distância acima do alcance não permitem confirmar a existência da dependência espacial do atributo avaliado, sendo considerada uma distribuição espacial aleatória, com independência entre as amostras. Assim, os valores de alcance referentes aos semivariogramas determinam o limite da dependência espacial entre as amostras (GREGO & VIEIRA, 2005).

No presente experimento foi utilizada uma distância de coleta entre as amostras de aproximadamente 7,0 m. Assim, os atributos  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , na camada 0,00 – 0,10 m e os atributos  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{K}^+$  na camada de 0,10 – 0,20 m apresentaram um alcance menor que a distância da amostragem realizada (devido as impressões na amostragem em campo consideramos alcances menores que a metade da distância de coleta para esta afirmação), o que pode influenciar na qualidade das estimativas dos valores interpolados para geração dos mapas de variabilidade (os mapas poderão ser menos representativos). Nestes casos o recomendável é que se realize uma coleta com uma malha amostral entre 2,00 – 2,50 m.

Ressalta-se também que é possível afirmar que os atributos  $\text{Ds}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  na camada de 0,0 – 0,10 m e o atributo  $\text{H+Al}$  na camada de 0,10 – 0,20 m, por apresentarem os maiores alcances, são os que menos demandam número de amostras para representar a variabilidade da área analisada, apresentando grandes continuidades na distribuição espacial destas variáveis.

Segundo ZAHER et al., (2015), em estudos realizados com produção de mandioca, olerícolas, pastagem e área de mata, identificou-se quadros de degradação do solo manifestados na forma de compactação, erosão, perda da fertilidade, dentre outras, que comprometem a produção agrícola e conseqüentemente a manutenção e reprodução das famílias. Os autores realizaram o mapeamento da fertilidade do solo utilizando métodos de geoestatística, como a krigagem ordinária. Desta forma, foi possível identificar o comportamento espacial dos atributos químicos do solo e estimar o melhor modelo para ajuste dos semivariogramas. Os atributos químicos do solo,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , pH, CTC foram ajustados pelos modelos exponencial e esférico.

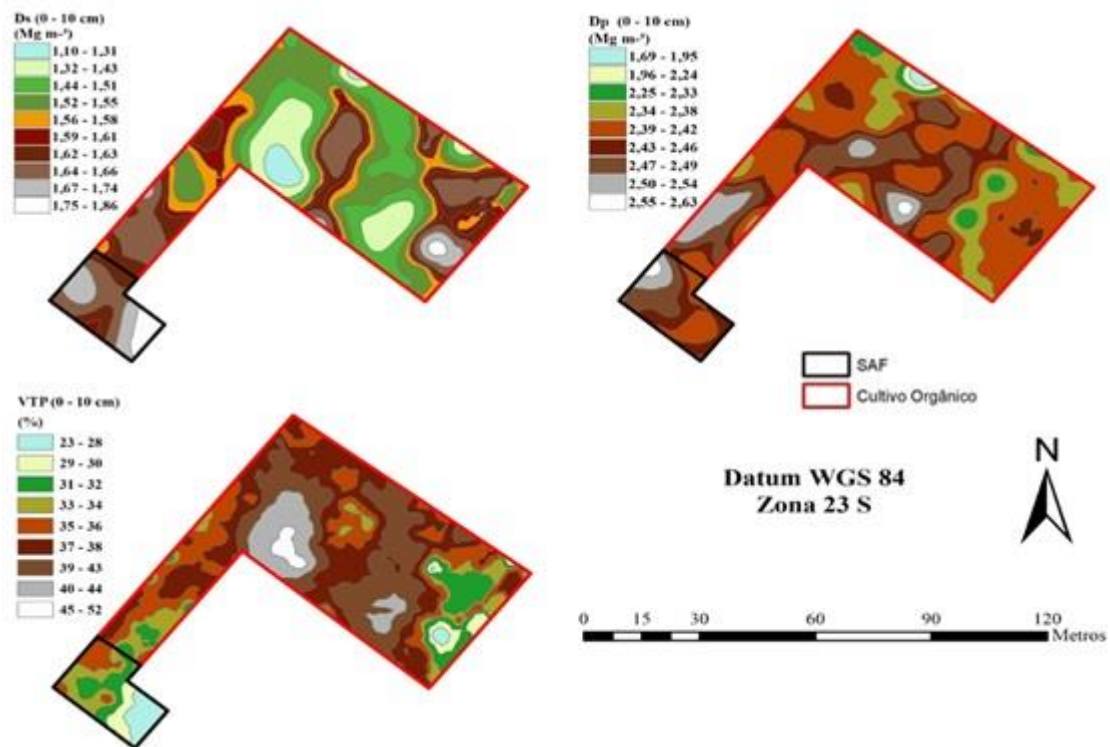
Segundo MATA et al. (2016), foi instalado um módulo de pesquisa de 1,0 ha de produção orgânica de hortaliças, a fim de avaliar o impacto do manejo orgânico sobre a qualidade do solo. Para monitorar e mapear a variabilidade espacial e temporal da qualidade do solo utilizando técnicas de geoestatística, foi utilizado uma malha amostral

de grade regular na profundidade 0,0 m a 0,20 m sendo avaliados os atributos físicos textura, carbono orgânico total, fração leve do carbono orgânico, e químicos pH, alumínio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Todos os atributos apresentaram dependência espacial, e os modelos do tipo esférico e exponencial, foram os que melhor se ajustaram aos semivariogramas experimentais dos atributos do solo. O ajuste dos semivariogramas permitiu gerar mapas de variabilidade espacial por krigagem ordinária.

Segundo o MATA et al. (2016), pesquisando em uma área de Planossolo com produção orgânica intensiva de hortaliças, com características semelhantes à deste trabalho, verificaram a possível existência de dados anômalos, que também permitiu observar a existência de anisotropia, ou seja, ocorrência de variabilidade espacial diferenciada dos dados de acordo com a direção. Analisando os semivariogramas, concluiu-se que há dependência espacial para os atributos físicos e químicos, permitindo a utilização da krigagem ordinária, que é o interpolador para gerar mapas de variabilidade espacial dos atributos do solo. Além do mais, ao comparar os dados obtidos nesta área em dois anos consecutivos, os autores puderam comparar o efeito do manejo no padrão de variabilidade espacial dos atributos químicos e da matéria orgânica do solo. observando que os atributos pH,  $Al^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ , após dois anos de manejo, apresentaram diminuição da dependência espacial (alcance) e também do efeito pepita. No caso do C total do solo e do Ca, o manejo do módulo implicou aumento do alcance e diminuição da componente aleatória da variância total dos dados. Também nesse caso, após o manejo, os mapas interpolados apresentam melhor acurácia.

#### **4.4 Mapas de variabilidade espacial dos atributos físicos do solo**

Na Figura 4 são demonstrados os mapas gerados para os atributos físicos do solo na profundidade 0,0-0,20 m. Os atributos físicos Ds, Dp e VTP se apresentaram em diferentes faixas de valores ao se comparar as áreas de cultivo de hortaliças e SAF, demonstrando que em geral os mapas conseguiriam refletir a distinção destas características do solo em função dos diferentes tipos de cultivo. Observou-se que para a região do SAF os valores de Ds e Dp apresentam-se com menor magnitude, o que está associado ao possível adensamento do solo, visto que nesta área não ocorre com frequência práticas de preparo periódico do solo.



**Figura 4.** Mapas de variabilidade espacial para os atributos físicos do solo na profundidade 0,00-0,20 m.

Na região de cultivo orgânico de hortaliças, predominantemente a Ds e Dp se mostram com valores de menor magnitude, no entanto, foram detectadas regiões com variabilidade na resposta. Neste local foi realizado o preparo período por meio de enxada rotativa o que tende reduzir a densidade do solo e melhorar as condições de aeração para o solo devido ao aumento da porosidade. Regiões onde observaram valores altos, podem ter sido influenciadas por operação inadequada da enxada rotativa, pela necessidade de outras práticas de preparo de solo (grade leve ou escarificador) e devido a presença de aspersores de irrigação nestes locais.

Ao analisar o mapa de porosidade total (VTP) foi confirmado que a região de cultivo orgânico apresenta melhores condições de areação do solo que a região de SAF, caracterizada por VTP de maiores magnitudes. Pôde-se observar a consonância entre os mapas de VTP, Ds e Dp.

Segundo ROSSI et al. (2015), avaliando os atributos químicos e físicos de solo com produção de oleráceas após impacto ambiental na região serrana do estado Rio de Janeiro, observaram que a área com presença de gramíneas, a área com cultivo de hortaliça sobre plantio direto obtido por aveia-preta (*Avena strigosa Schreb*) e ervilhaca (*Vicia craca*), e a área com cultivo de hortaliça sobre uma de aviário apresentaram os

maiores valores de densidade do solo na profundidade de 0,00-0,05 m, com valores entre 0,84 e 0,88 Mg m<sup>-3</sup>. Já as áreas de cultivo de hortaliça com presença espontânea de gramínea e na área com cultivo de hortaliça sobre plantio direto obtido por aveia-preta e ervilhaca apresentaram os maiores valores nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m com valores entre 0,92 e 0,99 Mg m<sup>-3</sup>. Para as áreas de plantio direto com cobertura de aveia-preta (*Avena strigosa Schreb*) e ervilhaca (*Vicia craca*) com preparo convencional, apesar dos altos teores de areia na área não foram observados aumentos na densidade do solo com valores entre 0,85 e 0,92 Mg m<sup>-3</sup> e 0,71 e 0,91 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente, até 0,20 m de profundidade. Os resultados foram atribuídos a presença de matéria orgânica no solo que favoreceu para melhoria da qualidade dos atributos físicos do solo e consequente desenvolvimento adequado do sistema radicular.

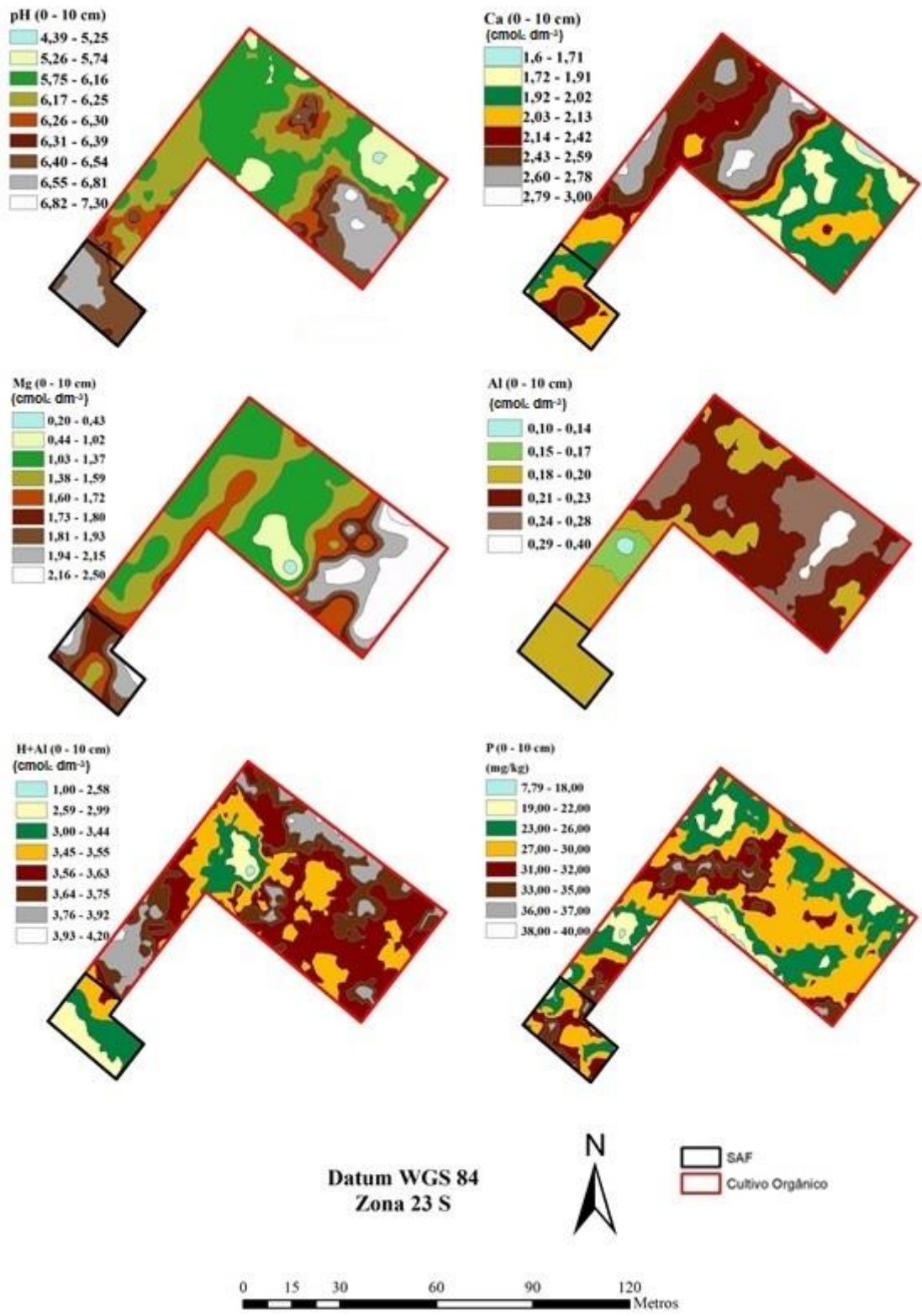
Em Latossolo Vermelho-Amarelo em diferentes tipos de uso da terra (pastagem, mata de eucalipto, mata com araucária, plantio convencional com cenoura e abóbora), na Serra da Mantiqueira, MELLONI et al. (2013) constataram maiores valores de densidade de solo nas áreas de cultivo convencional com cenoura (1,24 Mg m<sup>-3</sup>), abóbora (1,21 Mg m<sup>-3</sup>) seguida da área de pastagem (1,17 Mg m<sup>-3</sup>) e nas matas de araucária (1,01 Mg m<sup>-3</sup>) e eucalipto (0,88 Mg m<sup>-3</sup>).

Contudo, nesse estudo, independentemente do tipo de cultivo, foram encontrados valores de Dp abaixo dessa média, entre 2,42 e 2,63 Mg m<sup>-3</sup>, sendo os maiores valores demonstrado no mapa de Dp nos locais onde estão as culturas do SAF e da produção de bananas até 0,10 m de profundidade. Assim, pode-se inferir que isso é reflexo da maior adição de matéria orgânica por consequência do manejo, como já mencionado anteriormente. Valores próximos de Dp aos obtidos neste experimento, também foram observados no trabalho de MELLONI et al. (2013), sendo atribuídos aos teores de matéria orgânica encontrados nas áreas.

#### **4.5 Mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo**

Na Figura 5 são demonstrados os mapas gerados para os atributos químicos do solo na profundidade 0,0-0,10 m. Nesta profundidade não foram gerados os mapas para os atributos Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> devido à influência do baixo alcance (menor que a metade da distância de coleta em campo) na representatividade dos valores estimados.





**Figura 5.** Mapas de variabilidade espacial para os atributos químicos do solo na profundidade 0,00-0,10 m.

No caso do pH, os parâmetros adotados pelo Estado do Rio de Janeiro consideram que são solos extremamente ácidos aqueles que apresentam valores abaixo de 4,4; fortemente ácidos os solos com valores entre 4,4 a 5,3; moderadamente ácidos os com valores entre 5,4 a 6,5; praticamente neutros os com valores entre 6,6 a 7,3; moderadamente alcalinos os com valores entre 7,4 a 8,3, e, por fim, fortemente alcalinos os com valores acima de 8,3 (DE-POLLI e ALMEIDA,1988). O mapa de pH da área em estudo, indicou que a região de cultivo orgânico de hortaliças e frutas apresentou predominantemente valores de pH abaixo de 6,30, sendo, portanto, identificada a necessidade da aplicação corretivos a base de  $\text{CaCO}_3$ . Na região onde se realizou o cultivo de feijão no entanto, percebeu-se manchas onde pH atingiu níveis neutros.

Na região de cultivo em SAF foram predominaram valores entre acima de 6,75 demonstrando neutralidade dos níveis de pH. Em geral, pode-se considerar que o pH, da maioria da área pesquisada, vai de moderada acidez á neutro, demonstrando que não existe nenhum impedimento para que as plantas se desenvolvam neste local. O que possivelmente explica esse comportamento é o fato de que a adição de materiais orgânicos, tais como esterco bovino e resíduos vegetais, especialmente provenientes de adubos verdes minimizam o efeito da acidez do solo uma vez que apresentam maiores teores de cátions e ácidos orgânicos de baixa massa molecular na fração carbono orgânico solúvel e que são capazes de consumir  $\text{H}^+$  da solução do solo mediante a protonação dos grupamentos funcionais (MIYAZAWA et al., 2000; FRANCHINI et al., 2003).

No mapa de variabilidade do  $\text{Ca}^{2+}$  foram observados os valores mais baixos para a região de cultivo de feijão e do SAF, enquanto na região de cultivos de frutas e hortaliças apresentaram os maiores valores. Em solos arenosos e com cobertura orgânica, como da área em questão, é comum valores baixos de  $\text{Ca}^{2+}$ . Outra característica importante é que ele se apresenta em concentrações baixas nos solos das regiões tropicais com características com tendência a acidez como na área estudada. O  $\text{Ca}^{2+}$  atua na estrutura da planta, compondo a parede celular, auxilia na disponibilidade de molibdênio e de outros micronutrientes, no solo atua reduzindo a acidez do solo e diminuindo a toxidez do alumínio, cobre e manganês.

Em relação ao mapa de  $\text{Mg}^{2+}$ , observou os maiores teores na região do cultivo de feijão. A região do SAF também apresentou teores elevados quando comparados a região de cultivo de frutas e hortaliças. Como esse elemento é pouco exigido

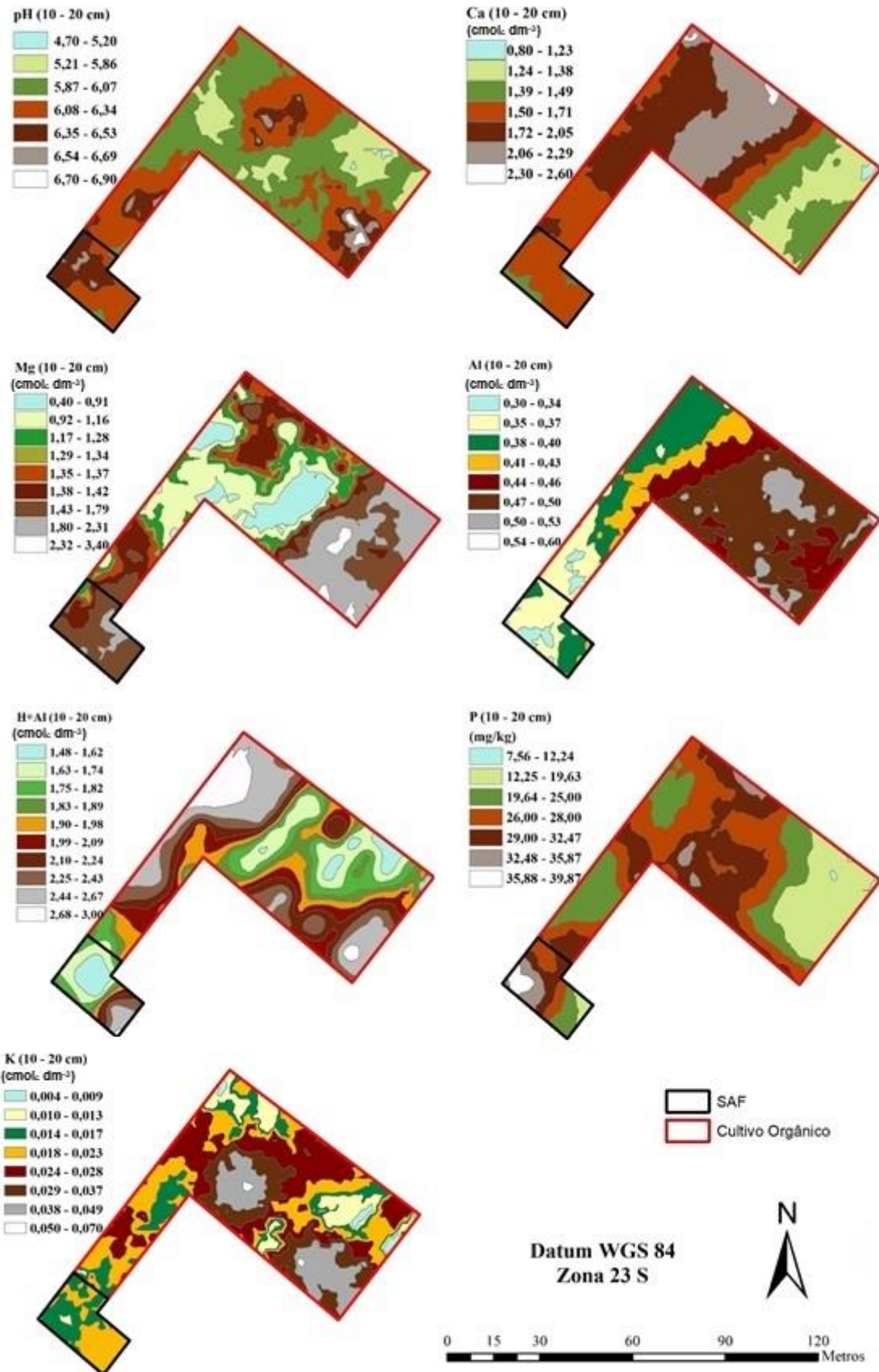
principalmente para as hortaliças, não haverá a necessidade de sua aplicação no solo no momento (RAIJ, 1991).

O mapa do  $Al^{3+}$  permitiu detectar que as regiões do SAF e do cultivo de bananas/maracujá apresentam valores mínimos dentro dos parâmetros estabelecidos pelo manual de adubação do Estado do Rio de Janeiro (ALMEIDA et al.,1988). Na região de cultivo de hortaliças e feijão foram obtidos teores mais elevados, havendo de valores máximos (entre 0,29 – 0,40  $cmolc.cm^{-3}$ ), havendo necessidade de correção do solo neste local.

O mapa de H + Al apresentou indicou que na região de SAF os valores estiveram em níveis menores, no entanto com uma parte da área apresentando valores acima de 3,0  $cmolc.cm^{-3}$  (valor considerado limite pelo manual de adubação do Estado do Rio de Janeiro para baixo o nível de toxidez). As demais áreas apresentaram predominantemente valores acima de 3,0  $cmolc.kg$ , sendo considerados alto e prejudiciais para o desenvolvimento das plantas. Assim, de uma maneira geral (em toda a área), mesmo com o pH próximo do neutro, devido aos parâmetros apresentados dos níveis de H+Al, há necessidade de correção da acidez.

O mapa de P não apresentou características específicas em função das culturas plantadas. Altos valores deste elemento foram observados em toda área (predominantemente entre 27,00 – 30,00  $mg.kg^{-1}$ ) o que pode estar associado ao tipo de adubação utilizada em toda a área. A adubação predominantemente fosfatada na área, ocorre com a aplicação de esterco a lanço e incorporados com enxadas rotativa no momento do encanteiramento, e o capim elefante picado na região das hortas. Desta forma, diante do mapa de P não havendo a necessidade de correção deste elemento por meio de aplicação deste fertilizante, desde que se continue sendo executado o cultivo orgânico desta área.

Na Figura 6 são demonstrados os mapas gerados para os atributos químicos do solo na profundidade 0,10-0,20 m. Apesar dos atributos  $Al^{3+}$  e  $K^+$  apresentarem baixo alcance (menor que a metade da distância de coleta em campo) optou-se pela geração destes mapas, devido ambos atributos apresentarem  $R^2$  superior a 0,50, sendo este um ajuste aceitável do modelo proposto. Para o  $Na^+$ , uma vez que se constatou o efeito pepita não houve modelo adequado para representação da variabilidade espacial



**Figura 6.** Mapas de variabilidade espacial para os atributos químicos do solo na profundidade 0,10-0,20 m.

A variabilidade do pH na profundidade 0,10-0,20 cm, apresentou resposta similar ao observado na camada superficial, sendo obtidos valores próximos da neutralidade na região de SAF e do cultivo e valores de banana/maracujá. Na região do cultivo das hortaliças e do feijão predominou pH moderadamente ácido, demonstrando que as correções a base de  $\text{CaCO}_3$  também deve ser realizada nesta profundidade.

No mapa de variabilidade do  $\text{Ca}^{2+}$  na profundidade 0,10-0,20 cm, foram obtidas maiores concentrações do elemento em toda área em relação a camada superficial. As maiores quantidades observadas predominantemente na região de cultivo de hortaliças e em pequenas regiões do SAF. Já o  $\text{Mg}^{2+}$  na profundidade 0,10 – 0,20 cm apresentou menores concentrações do que a observadas na camada de 0,00-0,10 m, sendo as maiores quantidades observadas na região do cultivo de feijão e SAF.

O mapa do  $\text{Al}^{3+}$ , indicou que de uma maneira geral as concentrações observadas em toda área foram acima dos padrões estabelecidos manual de adubação do Estado do Rio de Janeiro (ALMEIDA et al.,1988), e em menores quantidades do que as observadas na camada de 0,0-10 m. As regiões de cultivo de banana/maracujá e a região de SAF apresentaram valores inferiores a  $0,20 \text{ cmolc.kg}^{-1}$ , e nas regiões de cultivo de hortaliça e feijão apresentaram predominantemente valores entre  $0,20$ - $0,40 \text{ cmolc.kg}^{-1}$ . Recomenda-se que a correção de  $\text{Al}^{3+}$  seja realizado também na profundidade de 0,10-0,20 m. No caso do mapa de H + Al na profundidade de 0,10 – 0,20, apesar de variabilidade observada (região do SAF apresentando menores valores), em toda área foram observados valores dentro dos padrões estabelecidos manual de adubação do Estado do Rio de Janeiro (ALMEIDA et al.,1988).

O mapa de fósforo (P) na profundidade 0,10-0,20 m, demonstrou que, assim como observado na profundidade 0,00-0,10 cm, o efeito da adubação fosfatada elevou os valores de P também em camadas mais profundas, sendo que as menores quantidades foram observadas na região de cultivo de feijão. Em geral, o mapa demonstrou a presença deste elemento em toda área em estudo, não havendo a necessidade de correção, desde que se continue sendo executado o cultivo orgânico na área.

O mapa de  $\text{K}^+$  na profundidade 0,10-0,20 m demonstrou baixos valores em toda área. Em solos com textura média a arenosa, como é o caso do solo da área estudada, a lixiviação do  $\text{K}^+$  ocorre com maior intensidade o que pode explicar os baixos valores observados.

A estratégia de utilização da geoestatística, através de mapas para avaliar a variabilidade espacial dos fenômenos que podem interferir na produtividade e dinâmica de nutrientes é uma importante ferramenta para o monitoramento e controle da qualidade física e química dos solos em área de pequena escala. É necessário salientar que para as condições deste experimento, as hortaliças necessitam de uma grande quantidade de nutrientes num período muito curto de tempo, devido ao seu rápido desenvolvimento, o que acarreta uma maior retirada destes nutrientes do solo, sendo recomendado

A variabilidade dos indicadores de qualidade do solo sofre grande influência do sistema de cultivo do solo avaliado e das culturas instaladas na área, sendo recomendado que se realize um acompanhamento periódico da variabilidade dos atributos do solo da área utilizada neste trabalho, afim de se obter uma análise temporal da variabilidade dos indicadores de qualidade do solo desta área.

## 5 CONCLUSÃO

A análise da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos permitiu observar como as práticas de cultivo orgânico vêm refletindo na qualidade do solo da área de produção de hortaliças, frutas, feijão e SAF do Colégio Técnico da UFRRJ (CTUR).

Os mapas dos atributos físicos do solo possibilitaram distinguir a área de cultivo orgânico e a área de SAF, em função a densidade do solo, densidade da partícula e porosidade total do solo. Este resultado foi associado as práticas de manejo do solo com enxada rotativa na área de produção orgânica, evidenciando que há necessidade de utilização de manejo de preparo de solo que permita homogeneizar as regiões de forma a que o solo possa apresentar estrutura que favoreça o desenvolvimento adequado do sistema radicular também na região de SAF.

A variabilidade dos atributos químicos do solo foi avaliada em duas camadas distintas (camada, 0,00-0,10 m e na camada 0,10-0,20 m) e demonstrou que as necessidades de nutrientes nas regiões de produção orgânica são distintas para os elementos avaliados com exceção do fosforo que se mostrou abundante em toda área. Desta forma, em função dos mapas de variabilidade apresentados se recomenda uma adubação com materiais orgânicos específicos para cada região.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, G. V. D.; MENDONÇA, E. D. S.; OLIVEIRA, T. S. D.; JUCKSCH, I., CECON, P. R. Percepção ambiental e uso do solo por agricultores de sistemas orgânicos e convencionais na Chapada da Ibiapaba, Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.51, n.2, p. 217-236, 2013.

ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. DE A.; DE-POLLI, H.; CUNHA, L. H.; FREIRE, L. R.; AMARAL, N. M. B.; PEREIRA, N. N. C.; EIRA, P. A.; BLOISE, R. M.; SALEK, R. C. Manual de adubação para o Estado do Rio de Janeiro. Série Ciências Agrárias, 2. Itaguaí: Editora Universidade Rural, 1988. 179p.

ALMEIDA-NETO, M.; R. GUIMARÃES JÚNIOR, P.; M. LEWINSOHN, T. On nestedness analyses: rethinking matrix temperature and anti-nestedness. **Oikos**, v. 116, n. 4, p. 716-722, 2007.

AQUINO, R. E. D.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A. D.; MANTOVANELI, B. C.; SOARES, M. D. R. Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.38, p. 397-406, 2014.

BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. ½ :p. 211-227, 2017.

BERTOL, O. J.; AZEVEDO, E. A. M. L. Manejo e conservação do solo e da água. In: Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar. Curitiba: CREA-PR, 2016. 197p.

BORTOLETI JUNIOR, A; TAVARES, D.V.L.; NETO, J. L. S; TROMBETTA, G; SOUZA, L. C. D. Agricultura agroecológica e sustentabilidade do sistema agrícola. **Revista Conexão Eletrônica**, v.12, n.1, p.1-9, 2015.

BRASIL. Lei nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União de 24/12/2003, regulamentada pelo Decreto Nº 6.323, de 27 de dezembro de 2007. 2007.

BRIEDIS, C.; MORAES SÁ, J. C.; CAIRES, E. F.; NAVARRO, J. F.; INAGAKI, T. M.; FERREIRA, A. O.. Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 47, n. 7, p. 1007–1014, 2012.

CALEGARI, A.; DE CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. D. F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v.27, n.2, p.147-158, 2006.

CAMBARDELLA, C. A.; KARLEN, D. L. Spatial analysis of soil fertility parameters. **Precision Agriculture**, v. 1, n. 1, p.1-14, 1999.

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**, v.58, p.1501- 1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, E. A.; SOARES, M. D. R. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. **Revista Agro@mbi.**, v.6, p.9-16, 2012.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; FOLEGATTI, M. V.; COSTA, J. R.; CRUZ, F. A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica, RJ, utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.14, p.108-116, 2006.

CAPBODEVILA, M. Variabilidade de amônio e nitrato em solo cultivado com soja e milho no Cerrado. 2014. **Monografia (Bacharelado em Agronomia)**. Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2014.

CASARINI, D. C. P.; DIAS, C. L.; LEMOS, M. M. G. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2001. 246p.



CAVALIERI, K. M. V.; CARVALHO, L. D.; SILVA, A. D.; LIBARDI, P. L.; TORMENA, C. A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1541-1549, 2011.

CELESTRINO, R. B.; ALMEIDA, J. A.; SILVA, J. P. T.; SANTOS LUPPI, V. A.; VIEIRA, S. C. Novos olhares para a produção sustentável na Agricultura Familiar: avaliação da alface americana cultivada com diferentes tipos de adubações orgânicas. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v.3, n.1, p.66-87, 2017.

CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W; SILVA, R. F.; SILVA, V. R.; BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.39, n2, p. 615 -625, 2015.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade do feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.933-942, 2008.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v.29, p.777-788, 2005.

CRESSIE, N.A.C., 1993. Statistics for Spatial Data. Revised Edn Wiley, New York. 1993. 900 p.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. D. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, p. 453-461, 2012.

DAROLT, M. R.; SKORA NETO, F. Sistema de plantio direto em agricultura orgânica. **Revista Plantio Direto**, v. 70, n. 1, p. 1-7, 2002.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; DENARDIN, N.; WIETHOLTER, S. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. **Passo Fundo: Embrapa Trigo**, p.15, 2012.

DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D.L. Manual de adubação para o Rio de Janeiro. Itaguaí: Ed. Universidade Rural, 1988. 179 p.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004.

DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 505-517, 2004.

EGHBALL, B.; WIENHOLD, B. J.; GILLEY, J. E.; EIGENGERG, R. A. Mineralization of manure nutrients. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 57, p. 470-473, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2006. p. 306.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de métodos de análise de solo. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10.4. Redlands, CA: 2016.

ESRI. "ArcGis Desktop: Release 10.4." Redlands: Environmental Systems Research Institute. 2016.

FOSTER, S. S.; HIRATA, R. C. A. Groundwater pollution risk assessment; a methodology using available data. In: Groundwater pollution risk assessment; a methodology using available data. CEPIS, Lima, Peru, 1988.

FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.533-542, 2003.

GAZOLLA, P. R.; FERNANDES GUARESCHI, R.; PERIN, A.; PEREIRA, M., G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2: p. 693 – 704, 2015.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision agriculture and food security. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 828-831, 2010.

GHINI, R.; FREITAS, S.S.; OLIVEIRA, A. R. Amostragem de solo para análises biológicas. In: FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D., orgs. Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: Solo, água e sedimentos. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 2006. v.1. p.57-79.

GOMIERO, T.; PIMENTEL, D.; PAOLETTI, M. G. Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. **Critical reviews in plant sciences**, v. 30, n. 1-2, p. 95-124, 2011.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P.; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. cap. 5, p. 74-83.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

GUIMARÃES, E. C. Geoestatística Básica e Aplicada. Universidade Federal de Uberlândia, V. 1, 2004. 78p.

HAYGARTH, P. M.; JARVIS, S. C. Agriculture, hydrology, and water quality. CABI Pub., 2002.

HORTA, I. D. M. F.; PEREIRA, J. A. A.; MARQUES, J. J.; CARVALHO, L. M. T. D. Levantamento de reconhecimento com apoio digital dos solos do município de Nazareno-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p. 1940 -1947, 2009.

INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C. Agricultura de precisão. In: Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa Instrumentação, 2014. p. 21-33.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, M. R. Applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.

JACINTHO, J. L. Zonas de manejo na cafeicultura de precisão. **Dissertação**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2016. 48p.

KAZMIERCZAK, R. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo em sistemas de preparo. 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2018.

KIEHL, J.E. Manual de edafologia. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979, 264p.

KOPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948, 488 p.

Leal, A. J. F.; Miguel, E. P.; Baio, F. H. R.; de Carvalho Neves, D.; Leal, U. A. S. (2015). Redes neurais artificiais na predição da produtividade de milho e definição de sítios de manejo diferenciado por meio de atributos do solo. **Bragantia**, v.74, n.4, p.436-444, 2015.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic geology**, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 1963.

MATA, M.; GUERRA, J.; PINHEIRO, E.; CEDDIA, M. Análise espaço-temporal dos atributos químicos do solo de um módulo de pesquisa em produção orgânica. **Impactos ambientais provenientes da produção agrícola: experiências argentinas e brasileiras**, v. 1, p. 165-197, 2016.

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of soil Science**, v. 37, n. 4, p. 617-639, 1986.

MELLONI, R; GABRIELA BELLEZE, G; PINTO, A. M. S.; DIAS, L. B. P.; SILVE, E. M.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; ELIFAS ALCÂNTARA, E. N. Métodos de controle de plantas daninhas e seus impactos na qualidade microbiana de solo sob cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.37, n.1, p.66-75, 2013.

MIYAZAWA, M.; KHATOUNIAN, C. A.; ODENATH-PENHA, L. A. Teor de nitrato nas folhas de alface produzida em cultivo convencional, orgânico e hidropônico. **Agroecologia Hoje**, v. 2, p. 23, 2001.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.411-416, 2000.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. Agricultura de precisão. 1º ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 233p.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H.G. Plantio Direto: A Tecnologia que Revolucionou a Agricultura Brasileira, 2015. Parque Itaipu: Foz do Iguaçu, 2015, p.144.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; VIEIRA, S. R. Spatial variability of soil properties and cotton yield in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.996–1003, 2011.

MUÑOZ, C. M. G.; GÓMEZ, M. G. S.; SOARES, J. P. G.; JUNQUEIRA, A. M. R. Normativa de Produção Orgânica no Brasil: a percepção dos agricultores familiares do assentamento da Chapadinha, Sobradinho (DF). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 54, n. 2, p. 361-376, 2016.

MUNSELL COLOR CHARTS. Munsell Color Charts for Plant Tissues. New York, 1977.

OLDONI, H.; BASSOI, L. H. Delineamento de zonas de manejo com base em atributos físico-hídricos de solo arenoso, IV Simpósio de Geoestatística em Ciências Agrárias (SGeA), 14 a 15 de maio de 2015. Botucatu-SP, 2015.

OLIVEIRA, A. R.; MARTINS, R. N.; JÚNIOR, J. L.; SANTOS, J. A. S.; SIQUEIRA, W. C.; ABRAHÃO, S. A. Interpoladores geoestatísticos aplicados na espacialização de atributos químicos de um latossolo vermelho amarelo/geo-statistical interpolation applied in the spatialization of chemical attributes of a red-yellow latosol. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 4, p. 340-348, 2018.

PALM, R.; DRIANKOV, D.; HELLENDORRN, H. Model based fuzzy control: fuzzy gain schedulers and sliding mode fuzzy controllers. **Springer Science & Business Media**, 2013.

PALMEIRA, P. R. T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. D. S.; SILVA, J. D. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 189 -195, 1999.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 911-920, 2008.

PEDROTTI, A.; MELLO JÚNIOR, A. V. Avanços em Ciência do Solo: A Física do solo na Produção Agrícola e Qualidade Ambiental. São Cristóvão: Editora UFS, Acaraju: Fapitec, 2009. 212p.

PIAN, L. B.; DA MATA, M. G. F.; MURICCI FILHO, J. S.; BERBARA, R. L. L.; GUERRA, J. G. M. Atributos do solo em um módulo de cultivo intensivo de hortaliças orgânicas. **Cadernos de Agroecologia**, v.10, n.3, 2016.

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

POZZI, G. J. R.; NETO, M. M. Conflitos entre a produção orgânica em grande escala e a agroecologia. **Revista Interface Tecnológica**, v.14, n.1, p.332-347, 2017.

RAIJ, B. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo; Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343p.

RAMOS, M. R.; FAVARETTO, N.; UHLMANN, A.; DIECKOW, J.; VEZZANI, F.; DE ALMEIDA, L. Produção de hortaliças no sistema orgânico: efeito nos atributos físicos do solo. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian/Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.58, n.1, p.45-51, 2015.

RAMOS, R. P. S. Plantio direto. **Monografia**. Universidade Estadual de Goiás. Câmpus Posse: Posse-GO, 2016. 21p.

RAMOS, T. P. A.; RAMOS, R. T. C.; RAMOS, S.; ALMEIDA Q. A. Ichthyofauna of the Parnaíba river basin, northeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 14, n. 1, 2014.

REINERT D.J.; REICHERT J. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: Carlesso R, Petry M, Rosa G, Ceretta CA, editores. Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria: 2001. 114-131p.

REYNOLDS, J. C. Separation logic: A logic for shared mutable data structures. In Proceedings 17th Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science (IEEE), 22 a 25 de julho de 2002. Copenhagen, Dinamarca, 2002. 55-74p.

RIBEIRO, B. B.; MENDONÇA, L. L.; DIAS, R. A. A.; ASSIS, G. A.; MARQUES, A. C. Parâmetros qualitativos do café provenientes de diferentes processamentos na pós-colheita. **Agrarian**, v. 4, n. 14, p. 273-279, 2011.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; AQUINO, A. M.; LIMA, S. S.; BERBARA, R. L. L. Atributos químicos e físicos de solo cultivado com oleráceas em microbacia hidrográfica, após desastre ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.1764-1775, 2015.

ROQUIM, C. C. Conceitos de fertilidades do solo e manejo adequado para regiões tropicais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 8. Campinas: Embrapa Monitoramento por satélite, 2010. 30p.

SANTOS, A. O.; PALLONE FILHO, W. J.; UNGARO, M. R. G.; LINO, A. C. L.; RADIN, B. Prospecção de zonas potenciais para manejo diferenciado em agricultura de precisão utilizando-se padrões de solo-planta-clima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.463-468, 2003.

SANTOS, H. G. ; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. ; OLIVEIRA, V. A. ; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. ; ARAUJO FILHO, J. C. ; OLIVEIRA, J. B. ; CUNHA, T. J. F.. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Livro técnico (INFOTECA-E)**. Embrapa, Brasília-DF. 356p. 2018.

SANTOS, R. B.; CAPANEMA, E. A.; BALAKSHIN, M. Y.; CHANG, H. M.; JAMEEL, H. Effect of hardwoods characteristics on kraft pulping process: emphasis on lignin structure. **BioResources**, v. 6, n. 4, p. 3623-3637, 2011.

SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, I. C.; LIMA, P. C. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. **Ceres**, v. 61, n. 7, p. 829 -837, 2015.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo Coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 579-585, 2006.

SILVA, E. L. D. Efeito do manejo do solo sobre atributos físicos e microbiológicos. 2016. 36p. **Monografia**. Tecnologia em Agroecologia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe. São Cristovão, 2016.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; NEVES NETO, D. N.; SILVA, J. E. C. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. **Bioscience Journal**, v.28, p.41-53, 2012.

SILVA, S. D. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; SILVA, A. F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2010.

SOUZA, D. M. G. de; MIRANDA, L. N. de; OLIVEIRA, S. A. de. Acidez do solo e sua correção. In: Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, UFV, 2007. p. 206-232.

SOUZA, J. L. Manejo orgânico de solos: a experiência da Emcaper. **Boletim Informativo**. Viçosa, SBCS, v. 4, p. 13-16, 2000.



SOUZA M., C.; PARANHOS FILHO, A. C.; LASTORIA, G. Análise da Variabilidade Espacial da Piezometria em Aquífero Livre: Estudo de Caso na Sub-Bacia da Cabeceira do Rio Coxim, Mato Grosso do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 39, n. 1: p. 69-75, 2016.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v.40, p.48-56, 2009.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. Brasília: Embrapa Solos. 2017. 573p.

TEAM, R. C. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2016. 2017.

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

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

ZAHER, C. A.; PERUSI, M. C.; FLORES, E. F. Análise espacial dos atributos químicos do solo por meio da geoestatística. IV Simpósio de Geoestatística em Ciências Agrárias ( SGeA), 14 a 15 de maio de 2015.Botucatu-SP.