

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**FERRAMENTAS DA AGRICULTURA DE PRECISÃO
APLICADAS A CULTURA DO AMENDOIM**

Francisca Nivanda de Lima Estevam

Engenheira Agrônoma

2019

T
E
S
E
/
E
S
T
E
V
A
M

F.
N.
L.

2
0
1
9

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**FERRAMENTAS DA AGRICULTURA DE PRECISÃO
APLICADAS A CULTURA DO AMENDOIM**

Francisca Nivanda de Lima Estevam

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani

Coorientador: Prof. Dr. Cristiano Zerbato

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)

2019

E79f

Estevam, Francisca Nivanda de Lima

Ferramentas da agricultura de precisão aplicadas a cultura do amendoim / Francisca Nivanda de Lima Estevam. -- Jaboticabal, 2019
113 p. : il., tabs. + 1 CD-ROM

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Carlos Eduardo Angeli Furlani
Coorientador: Cristiano Zerbato

1. Agricultura de precisão. 2. Preparos de solo. 3. Controle estatístico de processo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

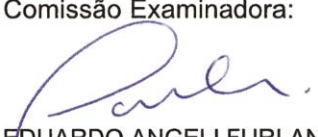
TÍTULO DA TESE: FERRAMENTAS DA AGRICULTURA DE PRECISÃO APLICADAS A CULTURA DO AMENDOIM

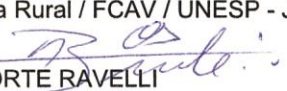
AUTORA: FRANCISCA NIVANDA DE LIMA ESTEVAM

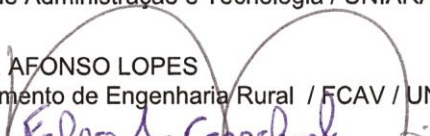
ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI

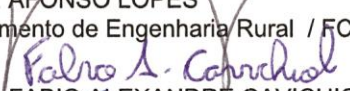
COORIENTADOR: CRISTIANO ZERBATO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. MARCELO BOAMORTE RAVELLI
Centro de Administração e Tecnologia / UNIARA - Araraquara/SP


Prof. Dr. AFONSO LOPES
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. FÁBIO ALEXANDRE CAVICHIOLI
Departamento de Agronegócio / FATEC - Taquaritinga/SP


Prof. Dr. FÁBIO LUIZ CHECCHIO MINGOTTE
CTA - Colégio Técnico Agrícola / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 21 de agosto de 2019

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

FRANCISCA NIVANDA DE LIMA ESTEVAM – nascida em 23 de junho de 1980, na cidade de Fortaleza, Ceará, possui formação no curso de Engenharia Agrônômica (2013) na Universidade Federal do Ceará (UFC) – Câmpus do Pici, Fortaleza. Durante a graduação foi monitora da disciplina de anatomia e fisiologia de animais domésticos nos anos 2010 e 2011), possuiu bolsa de monitoria do Programa de Iniciação à Docência (PID). Foi integrante do Laboratório de Estudos em Reprodução Animal – LERA, onde realizou pesquisas voltadas para a área de reprodução animal, avaliando a eficiência de crioprotetores na manutenção da motilidade progressiva e vigor espermático. Em 2013 a 2015 realizou o mestrado em Engenharia Agrícola (Engenharia de Sistemas Agrícolas) na Universidade Federal do Ceará (UFC) – Câmpus do Pici, Fortaleza, sendo bolsista da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, foi integrante do Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas agrícolas – LIMA, do Núcleo de Estudos em Ambiência Agrícola e Bem-estar Animal – NEAMBE e do Núcleo Integrado de Mecanização e Projetos Agrícolas – NIMPA, onde realizou pesquisas nas áreas de prevenção de acidentes e ambiência nas instalações agrícolas, ergonomia e bem-estar do trabalhador rural, e mecanização agrícola. Em agosto de 2016 iniciou o doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal, sendo bolsista da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Foi integrante do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola – LAMMA, onde realizou pesquisas na área de máquinas e mecanização agrícola, com ênfase na qualidade das operações de preparo de solo e aplicação de ferramentas de agricultura de precisão.

“Não percas a tua fé entre as sombras do mundo. Ainda que os teus pés estejam sangrando, segue para a frente, erguendo-a por luz celeste, acima de ti mesmo. CRÊ E TRABALHA. Esforça-te no bem e espera com paciência. Tudo passa e tudo se renova na terra, mas o que vem do céu permanecerá. Eleva, pois, o teu olhar e caminha. Luta e serve. Aprende e adianta-te.” (Chico Xavier)

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese a minha mãe Cecília Maria Nunes de Lima, aos meus irmãos Marcos Antônio de Lima Estevam, Nilton Estevam da Silva Filho e Francisco José de Lima Estevam. Aos familiares e amigos que me apoiaram durante o doutorado.

AGRADECIMENTOS

À Deus pai que me guia e me rege durante toda minha trajetória, por sempre iluminar meu caminho e me abençoar com uma família maravilhosa, que mesmo à distância não diminui os laços de afeto, carinho e amor.

À minha mãe Cecília Maria Nunes de Lima, por ser minha força, minha alegria, minha inspiração e exemplo. Obrigada Mãinha por sempre acreditar em mim e nunca deixar que eu me sinta só e sempre me incentivar a sempre avançar na busca dos meus objetivos e sonhos.

Aos meus irmãos Marcos, Nilton e Francisco, por sempre estarem ao meu lado, me apoiando e me ajudando a lidar com os problemas da melhor maneira e sempre me proporcionarem momentos de alegria junto a família.

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

À Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade de realização do doutorado, pelo aprendizado e oportunidades de aperfeiçoamento pelos cursos proporcionados.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani, pela orientação, pelos conhecimentos, pela oportunidade de orientar alunos da graduação, pelo incentivo nas atividades desempenhadas, pela atenção com o desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa e pela amizade. Quero agradecer por sempre me ouvir e me aconselhar a tomar as decisões mais sensatas e me incentivar a sempre continuar buscando meus sonhos e ser uma boa profissional, feliz e dedicada.

Ao meu Coorientador Prof. Dr. Cristiano Zerbato, pela coorientação, aprendizado durante o período de doutorado.

Ao Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, pelo acolhimento, pelo aprendizado, pelas viagens das disciplinas que me permitiram ampliar os conhecimentos e aprender sobre as diversas culturas, pela contribuição no meu experimento de doutorado, pela amizade e atenção. Muito obrigada!

À Prof. Dra. Caroline Fernandes, pela disponibilidade, atenção, aprendizado e contribuição nas análises de solo, que foram de grande importância para complementar a tese.

Aos Técnicos do laboratório de solos do Departamento de Solos e Adubos, Cláudia e Adalto, pela contribuição nas análises e pelo aprendizado adquirido.

Aos Funcionários do Departamento de Engenharia Rural, David, Marcos, Valdeci (Maranhão) e Sebastião (Tião), pela amizade e contribuição na coleta de dados da tese.

Aos amigos do Laboratório De Máquinas E Mecanização Agrícola – Lamma, Aycon Tinoco, Patricia Menezes, Leonardo Bernache, Franciele Morlin, Franciele Moreli, Alex, Bruno, Antonio Tassio, Adão Felipe, João, Luan, Marco Antônio, Samira, Paulo, André Damasceno, Lucas Gírio, Aline Alcântara, , Maílson de Oliveira, Rafael de Graaf, Luan de Oliveira, Matheus Borba, Lígia Negri, Rafael Noronha, Tiago Tavares, Danilo Tedesco e Elizabeth Kazama, que na etapa final, me ajudou muito na finalização de tese. Quero agradecer a todos pelo acolhimento, pela ajuda nos experimentos, pela amizade, pelo companheirismo diário. E aos meus amigos pertencentes a outros laboratórios de pesquisa Carol seno, Camila Seno, Aline, Lívia Barreto, Magda Martins, Jéssica Dias, que compartilharam comigo suas experiências profissionais em outras áreas, grata pela amizade e respeito.

Ao Senhor João Paulo Zampieri e toda sua família por terem permitido a condução do experimento em sua área de produção e terem contribuído para a realização. Obrigada pela amizade.

À Empresa KBM Equipamento Agrícolas, na pessoa de Marco Antonio Martins, pelo empréstimo do equipamento Rip Strip utilizado no experimento para o preparo conservacionista do solo.

Ao Professor Dr. David Luciano Rosalen e ao LAMMA pelo empréstimo de equipamentos para a realização dos experimentos.

Aos membros da Banca Examinadora por terem aceito o convite para compor a banca. Agradeço também pelas grandes contribuições na melhoria e enriquecimento do trabalho por meio da arguição e correção.

SUMÁRIO

RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	v
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais	1
INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	2
REVISÃO DE LITERATURA.....	3
A cultura do amendoim.....	3
Sistemas de preparo do solo	6
Atributos do solo	11
Agricultura de precisão	14
Controle estatístico de processo.....	17
Geoestatística	19
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO 2 – Índices de vegetação associados a características agronômicas da cultura do amendoim em duas condições de preparo do solo	33
Introdução	34
Material e métodos.....	35
Descrição da área experimental	35
Delineamento experimental	36
Índices de Vegetação – NDVI e IRVI	40
Parâmetros de desenvolvimento da cultura – Biomassa fresca, biomassa úmida, altura e largura do dossel da planta.....	42
Análises estatísticas.....	43
Resultados e discussão	43
Conclusões	54
REFERÊNCIAS	54
CAPÍTULO 3 – Variabilidade espacial de atributos do solo e sua correlação com o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na cultura do amendoim.....	61
Introdução	62
Material e métodos.....	64
Descrição da área experimental	64
Delineamento experimental	64

Operações agrícolas	65
Índice de Vegetação – NDVI	66
Atributos do solo	68
Coleta e preparo das amostras deformadas de solo	68
Análise Textural do Solo	68
Coleta e preparação das amostras indeformadas de solo – anéis volumétricos ...	71
Resistência mecânica do solo a penetração (RMSP)	73
Arranquio do amendoim	74
Perdas no arranquio.....	74
Análises estatísticas.....	75
Resultados e discussão	76
Conclusões	87
REFERÊNCIAS	88
CAPÍTULO 4 – Considerações Finais	95

FERRAMENTAS DA AGRICULTURA DE PRECISÃO APLICADAS A CULTURA DO AMENDOIM

RESUMO – A agricultura de precisão dispõe de tecnologias que auxiliam a produção agrícola, permitindo o monitoramento do desenvolvimento das culturas. Assim, os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar o efeito de dois preparos de solo sobre características agronômicas da cultura do amendoim; (ii) comparar os índices de vegetação (NDVI e IRVI) por meio de monitoramento temporal, e sua correlação com variáveis agronômicas em dois preparos de solo; (iii) avaliar o comportamento da variabilidade espacial dos atributos do solo e de parâmetros de colheita e correlacioná-los com o índice de vegetação NDVI. O experimento foi realizado na safra 2017/2018 em área agrícola do município de Jaboticabal, estado de São Paulo, Brasil, localizada próximo as coordenadas geográficas 21°14'S e 48°16'O, com altitude média de 615 m. Foram realizados dois preparos de solo, o conservacionista e o convencional. O delineamento experimental foi baseado nas premissas básicas do Controle Estatístico de Qualidade – CEQ, contendo 60 pontos amostrais com GRID de 15 x 15 m. As avaliações ocorreram aos 30, 45, 80, 90 e 110 dias após a semeadura (DAS) por meio de coletas a campo e sensoriamento proximal utilizando sensor GreenSeeker. A partir da malha georreferenciada, foram estudados os atributos do solo (areia, argila, resistência mecânica do solo a penetração na linha e entrelinha de semeadura) e parâmetros relacionados com a colheita do amendoim como perdas totais e produtividade. As análises estatísticas utilizadas foram a estatística descritiva, correlação de Pearson, cartas de controle individual para o monitoramento do processo e a geoestatística na confecção de geração de mapas de variabilidade espacial por meio dos softwares GS+ e Surfer. Os índices de vegetação NDVI e IRVI apresentaram correlações mais expressivas com as variáveis agronômicas aos 30 e 45 DAS. O NDVI apresentou correlação com a produtividade, perdas totais, areia e resistência mecânica do solo a penetração na linha de semeadura somente no preparo conservacionista. A dependência espacial foi forte na maioria das variáveis estudadas, e os maiores alcances das variáveis perdas totais do amendoim e argila foram observados nos mapas temáticos, apresentando zonas de maior continuidade espacial e menor variabilidade.

Palavras-chave: *Arachis hypogaea* L.; preparo de solo; sensoriamento remoto

PRECISION AGRICULTURE TOOLS APPLIED TO PEANUT CROP

ABSTRACT - Precision agriculture has technologies that help agricultural production, allowing the monitoring of crop development. Thus, the objectives of this work were: (i) to evaluate the effect of two soil tillage on peanut crop agronomic characteristics; (ii) compare vegetation indices (NDVI and IRVI) by temporal monitoring and their correlation with agronomic variables in two soil tillage; (iii) evaluate the behavior of spatial variability of soil attributes and harvesting parameters and correlate them with the NDVI vegetation index. The experiment was carried out in the 2017/2018 crop in an agricultural area of Jaboticabal, São Paulo State, Brazil, located near the geographic coordinates 21°14'S and 48° 6'O, with an average altitude of 615 m. Two soil tillage were done, the conservationist and the conventional one. The experimental design was based on the basic assumptions of the Statistical Quality Control - CEQ, containing 60 sampling points with 15 x 15 m GRID. Evaluations took place at 30, 45, 80, 90 and 110 days after sowing (DAS) by field collections and proximal sensing using GreenSeeker sensor. From the georeferenced mesh, the soil attributes (sand, clay, soil mechanical resistance to penetration in the row and sowing row) and parameters related to peanut harvest as total losses and yield were studied. The statistical analyzes used were descriptive statistics, Pearson correlation, individual control charts for process monitoring and geostatistics in the generation of spatial variability maps generation using GS + and Surfer software. The NDVI and IRVI vegetation indices showed more significant correlations with the agronomic variables at 30 and 45 DAS. The NDVI showed correlation with yield, total losses, sand and mechanical resistance of the soil to seeding line penetration only in conservation tillage. Spatial dependence was strong in most of the studied variables, and the highest ranges of the total losses of peanut and clay were observed in the thematic maps, presenting zones of greater spatial continuity and less variability.

Keywords: *Arachis hypogaea* L.; soil preparation; remote sensing

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Alcance
AG – Agregado Graúdo
AM – Agregado Miúdo
AP – Agricultura de Precisão
ASAE – American Society of Agricultural Engineers
C0 – Efeito Pepita
C0 + C1 – Patamar
C1 – Variância Estrutural
CEP – Controle Estatístico de Processo
CEQ – Controle Estatístico de Qualidade
cm – Centímetros
CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento
CSV – Preparo Conservacionista de Solo
cv – Cavalo-vapor
CV – Coeficiente de Variação
CVC – Preparo Convencional de Solo
DAS – Dias Após à Semeadura
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPP – Efeito Pepita Puro
ESF – Esférico
EUA – Estados Unidos da América
EXP – Exponencial
FCAV – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
IAC – Instituto Agronômico de Campinas
IDE – Índice de Dependência Espacial
IEA – Instituto de Economia Agrícola
IRVI – Inverse Ratio Vegetation Index
IV – Índice de Vegetação
kg – Quilograma
kg ha⁻¹ – Quilograma por hectare

kw – Quilowatt ou kilowatt

LC – Limite de Controle

LIC – Limite Inferior de Controle

LSC – Limite Superior de Controle

m² – Metro quadrado

mL – Mililitros

mm – Milímetros

MPa – Megapascal

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (Índice de vegetação da diferença normalizada)

NIR – Valor da Reflectância na Faixa do Infravermelho Próximo

ns – Não significativo

P1 – Massa Correspondente a Saturação

P2 – Massa Correspondente a Tensão de 30 cm

P3 – Massa Correspondente a Tensão de 60 cm

P4 – Massa Correspondente a Tensão de 100 cm

P5 – Massa seca

PIA – Perdas Invisíveis do Amendoim

PTA – Perdas Totais do Amendoim

PVA – Perdas Visíveis do Amendoim

R² – Coeficiente de determinação

RED – Valor da Reflectância na Faixa do Vermelho

RMSP 2 – Resistência Mecânica do Solo à Penetração na Entrelinha de Semeadura

RMSP – Resistência Mecânica do Solo à Penetração

RMSP 1 – Resistência Mecânica do Solo à Penetração na Linha de Semeadura

rpm – Rotações por minuto

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

tha⁻¹ – Toneladas por hectare

USDA – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

VC – Validação cruzada

X – Linha Central Média

$Y(h)$ – Semivariância

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

INTRODUÇÃO

A tese é composta por capítulos que abordam temas na área de agricultura de precisão, como a utilização de índices de vegetação obtidos por meio de sensoriamento remoto, utilizando sensor óptico ativo, também conhecido como sensor de dossel e o uso da geoestatística no estudo da variabilidade espacial de parâmetros agronômicos e relativos aos atributos do solo. As análises foram realizadas na cultura do amendoim, submetido a dois preparos de solo, o preparo convencional que é rotineiramente realizado pelos produtores da região e o preparo conservacionista utilizando o equipamento Rip Strip, que vem ganhando espaço nas lavouras de amendoim do sudeste do Brasil. Durante todo o ciclo de desenvolvimento do amendoim foram realizadas análises referentes a parâmetros agronômicos como altura e largura de planta, biomassa fresca e seca, coleta de dados com o sensor GreenSeeker, onde foram obtidos os índices de vegetação NDVI e IRVI.

Foram avaliados parâmetros referentes a colheita como produtividade, perdas visíveis, invisíveis e totais do amendoim. Para a avaliação dos preparos de solo e sua correlação com os indicadores de qualidade da cultura do amendoim, foram realizadas coletas de solo e análises dos atributos de solo. O tema estudado neste trabalho possui relevância para a área acadêmica por permitir o maior conhecimento da variabilidade espacial da cultura do amendoim, correlacionando vários fatores que afetam sua produtividade e desenvolvimento.

No primeiro capítulo, é abordado o referencial teórico de todas as técnicas que foram utilizadas na realização deste trabalho. Como a cultura do amendoim, diferentes preparos de solo, agricultura de precisão e suas ferramentas e atributos do solo e importância da união de todos estes parâmetros na otimização da gestão agrícola.

No segundo e terceiro capítulos, são apresentados os resultados da tese com a aplicação das ferramentas da agricultura de precisão. O sensoriamento remoto foi utilizado na cultura do amendoim em cinco períodos durante o desenvolvimento da cultura. Por meio do levantamento dos índices de vegetação foi possível estabelecer

as correlações com parâmetros agronômicos nos diferentes estágios de crescimento da cultura. Foi utilizado o controle estatístico de processo com cartas de controle individual, que demonstrou ser uma ferramenta eficaz no monitoramento das variáveis e do comportamento dos índices de vegetação. A geoestatística foi outra ferramenta da agricultura de precisão utilizada na confecção de mapas temáticos, onde foram estudadas as variáveis relacionadas com a operação de colheita, atributos do solo e sua correlação com o índice NDVI. Em complemento foram realizadas análises descritivas e análises de correlação de Pearson, para o maior entendimento dos resultados encontrados.

No quarto capítulo são realizadas as considerações finais dos capítulos estudados e ressaltando os melhores resultados obtidos. Neste trabalho os mapas temáticos demonstraram grande potencial para a geração de zonas de manejo, que são ferramentas de gestão agrícola mais utilizadas por produtores, seja na aplicação de insumos ou na escolha do melhor manejo nas suas lavouras.

OBJETIVOS

1. Avaliar o efeito de dois preparos de solo sobre características agronômicas da cultura do amendoim.
2. Comparar os índices de vegetação (NDVI e IRVI), por meio de monitoramento temporal, aos 30, 45, 80, 95 e 110 DAS (dias após a semeadura) e sua correlação com variáveis agronômicas em dois preparos de solo.
3. Avaliar o comportamento da variabilidade espacial dos atributos do solo e de parâmetros de colheita e correlacioná-los com o índice de vegetação NDVI.

REVISÃO DE LITERATURA

A cultura do amendoim

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma planta leguminosa da família Fabaceae, distribuída naturalmente no Brasil, Bolívia, Paraguai, Argentina e Uruguai (Valls e Simpson, 1994). A espécie do gênero *Arachis* representa maior interesse econômico, por ser a mais adaptada e cultivada em muitos países (Veiga et al., 2001). Os principais produtores são a China (40% da produção), Índia (18%) e EUA (7%) e também os principais consumidores. Na América do Sul, Argentina e Brasil produzem 2,5 % e 0,8% da produção mundial (Santos et al., 2013).

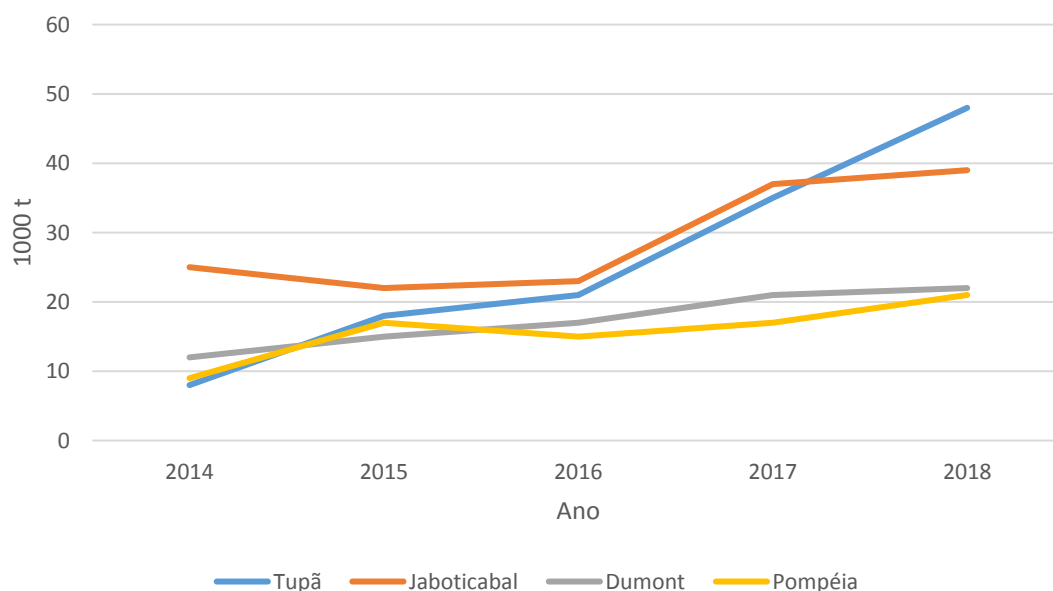
A planta do amendoim é herbácea, de porte rasteiro, ereto ou intermediário, alcançando uma altura em torno de 0,70 m. O sistema radicular é constituído de uma raiz principal pivotante e o caule pode variar de 12 a 65 cm (Ramanatha Rao e Murty, 1994). As folhas são compostas e as flores surgem nas axilas das folhas. Os frutos são conhecidos por vagem, desenvolvem-se no interior do solo, sendo ligados às folhas por meio de uma estrutura denominada ginóforo. A germinação e emergência da plântula inicia de 5 a 8 dias após a semeadura, período que varia de acordo com as condições ambientais, vigor da semente e da profundidade de semeadura (Nakagawa e Rosolem, 2011).

Sua importância econômica está relacionada com a diversidade de uso dos seus grãos, que podem ser consumidos como alimento, tanto *in natura* como industrializado e também utilizados pelas indústrias de conservas, biodiesel e óleos vegetais (Scarpin et al, 2013; Arruda et al., 2015). Em sua constituição nutricional possui em média 38% de proteína, 47% de lipídios, sais minerais (Asibuo et al., 2010) e vitaminas do complexo B (Savage e Keenan, 1994).

No ano de 2018, o Brasil ocupou o 14º lugar no ranking dos países produtores de amendoim (USDA, 2019). No ano de 2013 o crescimento deste mercado começou a ser mais expressivo. De acordo com Martins (2018), cerca de 6% das exportações mundiais de amendoim são do Brasil. O óleo de amendoim conquistou novos mercados internacionais como a Holanda, Argélia e Rússia. A produção total de

amendoim na safra 2017/2018 foi de 511,5 mil toneladas, um aumento de 9,7% se comparado à safra 2016/2017, que apresentou produção de 466,2 mil toneladas. Devido a essa demanda novos investimentos estão sendo empregados no aumento da produtividade e qualidade dos produtos finais vindo do beneficiamento do amendoim.

O Estado de São Paulo é o principal produtor, contribui com 95% da produção nacional, apresentando um total de 78.484,2 mil toneladas (Conab, 2018). A produção está concentrada nas regiões de Alta Mogiana (Jaboticabal, Sertãozinho e região) e Alta Paulista (Tupã, Marília e região). Na figura 1 estão representados os municípios que se destacaram nos volumes exportados no período de 2014 a 2018.



Fonte: Ministério da Economia. Secretaria de Comércio Exterior. Sistema Comex Stat. Brasília: ME/SECEX, 2018.

Figura 1. Exportações de amendoim em grão e casca, principais municípios, Brasil, 2012 a 2018.

Nos últimos anos, a produção de amendoim no Estado de São Paulo concentra-se em áreas de reforma de canaviais (amendoim 1º safra) e de pastagens (amendoim de 2º safra). Estas áreas são cultivadas, principalmente, por arrendatários de terras, ou seja, grandes proprietários rurais que arrendam suas terras a terceiros para cultivo do amendoim, na entressafra da cana-de-açúcar (Barbosa et al., 2014). A rotação de

culturas com leguminosas na cultura da cana-de-açúcar promove aumentos significativos na produção de cana, além de proteger o solo contra a erosão e evitar a multiplicação de plantas daninhas (Ambrosano et al., 2011).

A aplicação da agricultura de precisão nestas áreas representa aumento no controle da produção, através do monitoramento dos aspectos relevantes para o estabelecimento da cultura, com o conhecimento das áreas mais produtivas, com maiores ocorrências de pragas, entre outros aspectos, é possível a tomada de decisão para o correto manejo e aplicação de insumos, por exemplo, que afeta diretamente no produto final. Em safra futuras, com o conhecimento prévio sobre as condições que serão enfrentadas, o produtor saberá como proceder diante das adversidades e também trabalhar para que áreas menos produtivas, possam melhorar suas características garantindo desenvolvimento satisfatório da cultura.

A comercialização do amendoim é realizada por meio de cooperativas ou diretamente ao cerealista (beneficiador), que avaliam a qualidade do produto, fixam os preços e prazos para o pagamento (Barbosa et al., 2014). As cultivares do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), representam cerca de 50% da produção paulista do grão. Nos últimos anos as novas cultivares de amendoim IAC OL5, IAC OL4, IAC OL3, IAC 503 e IAC 505, vem se destacando no mercado por apresentar 80% de ácido oleico, que permite que o grão tenha maior tempo de armazenamento, podendo chegar a 12 meses (Gomes e Galdino, 2017). Essas cultivares apresentam maior adaptabilidade a diferentes ambientes, se adequando a condições de estresse hídrico e mais resistentes as doenças que afetam a cultura.

As cultivares IAC OL3 e IAC OL4 são cultivares de ciclo curto (125 e 130 dias), desenvolvidas para áreas onde o amendoim é plantado nos intervalos de renovação da cana-de-açúcar, período que não deve exceder 130 dias para não atrapalhar o próximo plantio da cana-de-açúcar (Gomes e Galdino, 2017). A cultivar IAC OL3 pertence ao grupo Runner, é uma planta rasteira, com espessa ramificação, crescimento indeterminado, apresenta pouca suscetibilidade às doenças foliares, possui alto teor oleico (de 70 a 80 %) o que permite uma “vida de prateleira” maior ao produto final. A produtividade média esperada é de 4.500 kg ha⁻¹, com potencial para 7.000 kg ha⁻¹ (IAC, 2018).

Sistemas de preparo do solo

O preparo de solo consiste em uma operação com intuito de fornecer condições ideais para o estabelecimento das culturas, permitindo o melhor aproveitamento de nutrientes e água. É um processo mecânico, cuja a ação dos órgãos ativos dos equipamentos pode resultar no corte, revolvimento e inversão da camada de solo (ASAE, 1997). São objetivos do preparo de solo, o desenvolvimento de uma estrutura desejável para as sementes, infiltração e retenção de água, a diminuição da resistência mecânica do solo à penetração das raízes, incorporação de resíduos vegetais, controle de plantas daninhas, entre outros (Cañavete e Hernanz, 1989 e Srivastava, 1993).

O tipo de preparo de solo utilizado influencia diretamente na produtividade das culturas. A diminuição da qualidade do solo está intimamente ligada ao grau de compactação do solo, resultante de intenso revolvimento (Franchini et al., 2016), tráfego de máquinas e sucessivas operações agrícolas. Devido ao preparo convencional possuir peso no agravamento dos processos erosivos (Albuquerque et al., 1996), alguns produtores rurais buscam alternativas que auxiliem na diminuição da compactação do solo (Gubiani et al., 2014).

O preparo convencional é caracterizado pelo revolvimento do solo em várias operações, que resulta em uma desestruturação mais intensa do solo, causando erosão e alteração na constituição de atributos físicos do solo. Consiste nas operações de aração seguida de sucessivas gradagens, para adequar a superfície do solo para receber as sementes (Machado, 2005). O uso intenso de máquinas e implementos agrícolas aumenta a compactação do solo, causando séria restrição ao desenvolvimento das plantas (Lima et al., 2013). O solo é submetido a elevadas pressões, que favorecem à degradação física aumentando a compactação (Pacheco e Cantalice, 2011).

A adoção de práticas agrícolas mais conservacionistas em substituição ao preparo convencional, como o cultivo mínimo e o plantio direto, podem trazer benefícios como por exemplo, o sequestro e estoque de carbono no solo (La Scala et al., 2006; Cerri et al., 2007), além de contribuir para a redução da emissão de CO₂ do solo para a atmosfera (Lal, 2009). Outro fator importante é a manutenção da cobertura

morta (“palhada”) remanescente de culturas anteriores, que proporciona vários benefícios ao solo, por exemplo, a redução da taxa de evaporação, aumento do armazenamento de água, diminuição de plantas invasoras e proteção dos raios solares (Heckler e Salton, 2002). A manutenção de resíduos vegetais contribui com a disponibilização de nutrientes para os cultivos em sucessão (Rosolem et al., 2003).

Na maioria das áreas produtoras de amendoim é realizado o preparo convencional, devido ao aproveitamento de áreas de reforma de cana-de-açúcar. Alguns produtores realizam a semeadura do amendoim em áreas onde alternam ciclos com outras culturas, por exemplo, o milho safrinha. Geralmente são realizadas operações de subsolagem, aração e gradagens. Nos últimos anos o preparo conservacionista vem ganhando espaço, por ser uma opção sustentável, que reduz o revolvimento do solo preservando sua estrutura (Carvalho et al., 2011) e diminui os custos de produção do amendoim em relação ao sistema convencional.

Os sistemas conservacionistas de preparo de solo, como o cultivo mínimo e o plantio direto, visam reduzir as perdas de solo ou de água em comparação ao preparo convencional, cerca de 30% da superfície do solo permanece coberta com resíduos vegetais. A cobertura vegetal aumenta a infiltração da água no solo, reduzindo a velocidade do escoamento superficial, minimizando o efeito erosivo da enxurrada (Sloneker e Moldenhauer, 1977; Cogo, 1981), além de proteger o solo do impacto das gotas de chuva, diminuindo a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial.

No cultivo mínimo é realizado um preparo localizado na linha de semeadura (Gonçalves et al., 2000). Caracterizado por um conjunto de operações mínimas de preparo de solo, resultando na busca por menores impactos ambientais, técnicas mais adequadas ao desenvolvimento das plantas, baixos custos operacionais e que permitam maior sustentabilidade dos plantios (Chaer e Tótola, 2007).

O sistema plantio direto é caracterizado por ser um processo de semeadura em solo sem revolvimento, onde a semente é colocada em sulco ou covas com profundidade e largura suficientes para adequada cobertura e contato das mesmas com o solo (Carvalho et al., 2017). A implantação da cultura é realizada sobre os restos de culturas anteriores e a movimentação do solo restrita à linha de semeadura. Este sistema compreende um conjunto de técnicas que visam além da redução dos

custos operacionais, a sustentabilidade ambiental, melhorando as condições ambientais para explorar da melhor forma possível o potencial produtivo das culturas com o menor impacto ambiental possível (Freitas, 2005).

O preparo conservacionista aos poucos está sendo utilizado nas lavouras de amendoim. A maioria dos produtores ainda desconhecem as vantagens que os sistemas conservacionistas proporcionam a estruturação do solo. Parcerias são estabelecidas entre empresas, universidades e produtores no desenvolvimento de pesquisas para melhorar as operações agrícolas, com o objetivo de obter maior produtividade das lavouras, minimizando a degradação da estrutura do solo. A importância de empregar manejos sustentáveis garante mais áreas produtivas e isso movimenta o mercado produtor.

Nos Estados Unidos, principalmente no sudeste do país, o equipamento Rip Strip é utilizado nos sistemas conservacionistas de solo. Segundo a empresa americana Kelley Manufacturing Co, (KMC), fabricante do produto, o preparo de solo é realizado somente na linha de plantio, proporcionando excelente contato solo-semente em uma variedade de condições. No ano de 2016, este equipamento foi destaque na Agrishow 2016, trazido pela empresa KBM – Equipamentos Agrícolas, em parceria com a empresa americana KMC.

Nos Estados de São Paulo e Minas Gerais, alguns produtores de amendoim e soja, estão utilizando o Rip Strip no preparo de suas áreas. No plantio de amendoim em áreas de reforma de canaviais, realizados na safra 2016/2017, o equipamento foi utilizado na região de Iturama (MG) e em várias cidades do Estado de São Paulo, onde cerca de mais de 2,5 mil hectares de amendoim foram plantados no sistema de plantio direto do Rip Strip (Cândida, 2016).

Os modelos possuem 4, 6 e 8 linhas de preparo, sendo cada linha composta por disco de corte (que tem função de cortar a palhada remanescente da cultura anterior); disco abridor de palha posicionados na lateral dos discos de corte deslocados para trás (com função de remover a palhada da linha semeadura); haste subsoladora (com sistema automático de rearme ou pinos fusíveis, atua em profundidades entre 25 a 46 cm, função de mobilização do solo); discos destorroadores (disco recortado - abre a palha e levanta; e disco ondulado - quebra o

torrão e nivela) e rolo destorroador/nivelador (nivelamento da faixa trabalhada) (KBM, 2018) (Figura 2).

Em relação a versões anteriores, o Rip Strip apresenta em seus novos modelos a utilização de ponteira alada (Figura 2H), que em relação a ponteira simples (sem asa), permite maior espaçamento, proporcionando melhor ruptura do solo e enraizamento das raízes do amendoim. O sistema de acoplamento foi projetado para que o produtor tenha a opção de preparar o solo e realizar a semeadura logo em seguida, ocasionando a redução de gastos com combustíveis, horas de trabalho, aumentando a área trabalhada por dia e preservando os atributos do solo, já que o número de operações é reduzido (Figura 3).



Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 2. (1) Rip Strip. (A) discos de corte; (B) haste subsoladora; (C) discos ondulados destorreadores; (D) rolo destorroador; (E) marcador de linhas hidráulico; (F) sistema de molas; (G) barra porta ferramentas; (H) ponteira alada.



Fonte: <https://www.ctic.org/>

Figura 3. Semeadora acoplada ao Rip Strip.

A utilização de sistemas conservacionistas de preparo de solo, podem ser uma solução para minimizar a degradação do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Grupos de preparo de solo e manejo de restos culturais com seus respectivos índices, utilizados para cálculos de espaçamento de terraços (Lombardi Neto et al., 1994).

Grupo	Preparo do Solo		Restos culturais	Índice ⁽¹⁾
	Primário	Secundário		
1	Grade pesada ou enxada rotativa	Grade média	Incorporados ou queimados	0,50
2	Arado de disco ou aiveca	Grade média	Incorporados ou queimados	0,75
3	Grade leve	Grade média	Parcialmente incorporados com ou sem rotação de culturas	1,00
4	Arado Escarificador	Grade média	Parcialmente incorporados com ou sem rotação de culturas	1,50
5	Sem	Semeadura sem revolvimento do solo, roçadora, rolo-faca, herbicidas (plantio direto)	Superfície do terreno	2,00

⁽¹⁾ Quanto maior o índice, maior é a capacidade de conservação do solo.

Resultados favoráveis em produtividade do amendoim foram obtidos por Bolonhezi et al., (2007), quando aplicado sistema de semeadura direta sobre palhada de “cana de açúcar crua”, os autores constataram que o plantio direto pode proporcionar aumento de 6,5 a 9% no índice de rendimentos de grãos e maior quantidade de água no solo em período de seca.

De acordo com Carvalho et al., (2014), a disponibilidade de água às plantas aumentou em período de seca, devido a palhada ter conservado a umidade do solo. Os sistemas conservacionistas proporcionam aos produtores de amendoim uma economia de mais de 30% dos custos de produção, conseguindo manter o mesmo nível de produtividade dos sistemas convencionais.

Atributos do solo

Para o entendimento do comportamento e manejo do solo, é importante a determinação das proporções dos diferentes tamanhos das partículas de solo, por exemplo, na classificação do solo em diferentes horizontes, a mineralogia é o atributo mais importante a ser determinado, devido a diversas conclusões importantes que podem ser tomadas a partir dela (Brady e Weil, 2002). A distribuição das frações e das partículas de solo influenciam a maioria dos processos que ocorrem no solo, como a capacidade de retenção da água, erosão do solo, fluxo de nutrientes, forma e estabilidade estrutural do solo, entre outras (Delbari et al., 2014).

Uma das características físicas do solo que mais interfere na capacidade de sustentação de atividades agropecuárias é a textura, que pode determinar o sucesso ou fracasso da ação humana neste sentido. A inobservância dos aspectos físicos do solo pode acarretar problemas na aplicação de técnicas de mecanização, dentre eles, a erosão, compactação, consumo de energia, interferência no ciclo da água, além de danos e desgaste prematuro nos equipamentos agrícolas (Molina Júnior, 2017).

O conhecimento da textura é importante por apresentar aplicações no uso e manejo do solo, estudos de gênese e classificação dos solos, nas práticas de fertilização e correção do solo, no desenvolvimento e produtividade das culturas, na

melhor utilização da água em sistemas produtivos e na avaliação da dinâmica de nutrientes e poluentes do solo (Mauri et al., 2011).

A textura do solo representa as proporções das frações de silte, argila e areia do solo, determinadas por meio de análises em laboratórios. É considerada um dos principais indicadores de qualidade e produtividade dos solos (Wang et al., 2005). Por meio da determinação da textura do solo é possível obter uma estimativa indireta de diversos fatores como a resistência do solo à tração, grau de compactação do solo, capacidade de troca de cátions, dinâmica da água, dosagem de nutrientes, corretivos e herbicidas (Centeno et al., 2017).

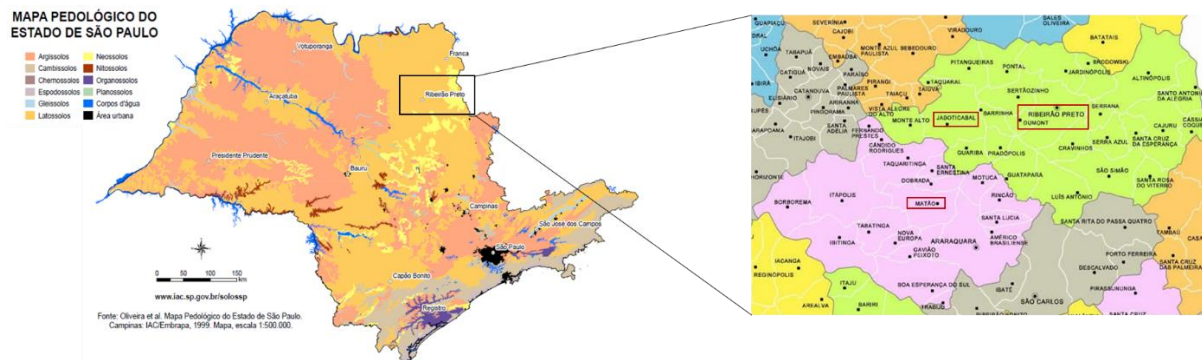
Para o amendoim, o cultivo pode ser realizado em quase todos os tipos de solo, contudo, a melhor produtividade é alcançada em solos bem drenados, soltos e friáveis. Além das raízes, os frutos se desenvolvem no solo, em função disso a aeração e boa drenagem são fundamentais para a cultura, problemas com a drenagem podem dificultar o crescimento e desenvolvimento dos frutos e a penetração do ginóforo.

Ketring e Reid (1995), constataram que solos com textura mais arenosa, as raízes da planta do amendoim podem chegar até 275 cm de profundidade, porém com maior concentração nos primeiros 35 cm. Aconselham-se cultivos em solos de textura arenosa a franco arenosa, solos pesados, de textura argilosa, provocam problemas na colheita (Nogueira e Távora, 2005). No momento do arranquio, pode ocorrer desprendimento das vagens, ocasionando perdas na colheita e problemas de depreciação, devido à aderência de terra nas vagens, alterando o aspecto visual do produto (Godoy et al., 1981).

A textura do solo pode afetar o tamanho e peso das vagens, embora os poucos trabalhos não sejam concordantes quanto aos resultados, comparando-se solos argilosos e arenosos (Gillier e Silvestre, 1970). No estudo de Zhao et al., (2015), a produtividade de amendoim foi baixa em solos de textura argilosa em relação ao solo arenoso com baixo teor de matéria orgânica.

Nas áreas onde são cultivados o amendoim na região Alta Mogiana (Jaboticabal, Sertãozinho e região) e Alta Paulista (Tupã, Marília e região), predominam os solos do tipo Latossolo (Figura 4).

Estes solos são profundos, bem drenados, friáveis, bastante porosos, de baixa relação silte/argila e alto grau de intemperização com teores de argila entre 12 a 31%, predominando valores inferiores a 25% (Radambrasil, 1983).



Fonte: Oliveira et al. Campinas: IAC /Embrapa,1999.
<https://santarosadeviterbo.files.wordpress.com/2013/03/mapa-administrativo-do-estado-de-sc3a3o-paulo.jpg>

Figura 4. Mapa pedológico e mapa administrativo do Estado São Paulo. Adaptado por Estevam, F.N.L., (2019).

O uso intenso das máquinas agrícolas nas diversas operações provoca alterações nos atributos físicos do solo. De acordo com Machado et al., (2008), as modificações na estrutura do solo associadas à compactação e à perda da estabilidade dos agregados alteram a distribuição do tamanho dos poros, bem como a retenção, movimento e a disponibilidade de água no solo. A compactação do solo também é responsável pelo aumento da resistência a penetração e da densidade do solo (Stone et al., 2002). A resistência do solo à penetração é utilizada para a recomendação de práticas de manejo do sistema de preparo mais adequado do solo, como para a avaliação dos efeitos na agricultura (Silveira et. al., 2010).

A resistência mecânica do solo a penetração (RMSP) é um dos atributos físicos adotados como indicativo de compactação do solo. A RMSP apresenta relação direta como o desenvolvimento das plantas, sendo eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (Freddi et al., 2009). Apesar da semeadura direta em relação a preparos convencionais ser uma estratégia eficiente para a melhoria do potencial produtivo do solo agrícola (Amado et al., 2007), a ausência de revolvimento, faz com que a densidade inicialmente apresente um maior

estado de compactação do solo. A utilização continuada do plantio direto pode resultar em um aumento da densidade do solo, mesmo que a presença da cobertura da palhada característica desse sistema, minimize a formação de camadas compactadas (Secco et al., 2004).

Agricultura de precisão

A agricultura de precisão (AP) é uma filosofia de manejo na qual os produtores identificam a variabilidade dentro de um campo e assim tomam decisões para aumentar a produtividade e os lucros (Batchelor et al., 1997). Para Bernadi e Perez, (2014), a AP é considerada uma postura gerencial, que leva em conta a variabilidade especial da lavoura para obter o retorno econômico e ambiental. É um ciclo que se inicia com a coleta dos dados, análises e interpretação dessas informações, geração das recomendações, aplicação no campo e avaliação dos resultados (Gebbers e Adamchuk, 2010).

Na gestão agrícola o uso de geotecnologias que incluem as tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica, tem grande potencial na produção agrícola e pecuária (Batistella et al., 2011; Filippini Alba, 2014). As ferramentas utilizadas na AP vão desde equipamentos para georreferenciamento, associados a programas geoestatísticos capazes de elaborar mapas para as variáveis que são avaliadas, até o uso de sensores coletam dados, por exemplo, de variáveis ambientais como temperatura, umidade do ar e índices de vegetação, que atualmente são muito utilizados para estabelecer o vigor das culturas.

A aplicação da geoestatística na agricultura de precisão tem por objetivo caracterizar a variabilidade espacial das variáveis relacionadas com as culturas e estimar as inter-relações no espaço e no tempo. Baseando-se nos modelos ajustados dos semivariogramas, interpolam-se os dados pela técnica da krigagem, gerando vários mapas (Grego et al., 2014b; Vieira, 2000). Para a obtenção destes dados utilizam-se vários sistemas de sensoriamento e monitoramento, compostos de

sistemas ópticos, eletromagnéticos, eletroquímicos, mecânicos, entre outros (Adamchuk et al., 2004).

A utilização de sensores para propriedades do solo ou parâmetros biofísicos vegetais têm encontrado cada vez mais aplicações nos sistemas produtivos (Bernardi et al., 2014a, 2014b; Bernardi e Perez, 2014). Os índices de vegetação (IV) obtidos por sensoriamento remoto, são amplamente utilizados para estimar biomassa vegetal, produtividade, vigor das culturas, entre outras variáveis (Shiratsuchi et al., 2014). Os índices de vegetação são medidas radiométricas que indicam a quantidade e atividade da vegetação verde (Jensen, 2011). Os padrões temporais e espaciais fornecidos são úteis na estimativa de decisões a serem tomadas para o manejo das culturas.

A mensuração da reflectância espectral é uma abordagem realizada sem contato e não destrutiva mais promissora para a estimativa de biomassa das culturas (Bernardi et al., 2015). O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) baseia-se na assinatura espectral de uma vegetação verde e sadia que mostra um evidente contraste entre a combinação das bandas do vermelho e do infravermelho próximo (Andrade, 2018). Rouse et al., (1973) e Deering et al., (1975), elaboraram uma equação baseada na diferença entre os comprimentos de onda da faixa do infravermelho próximo e do vermelho divididos pela sua soma (Equação 1):

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

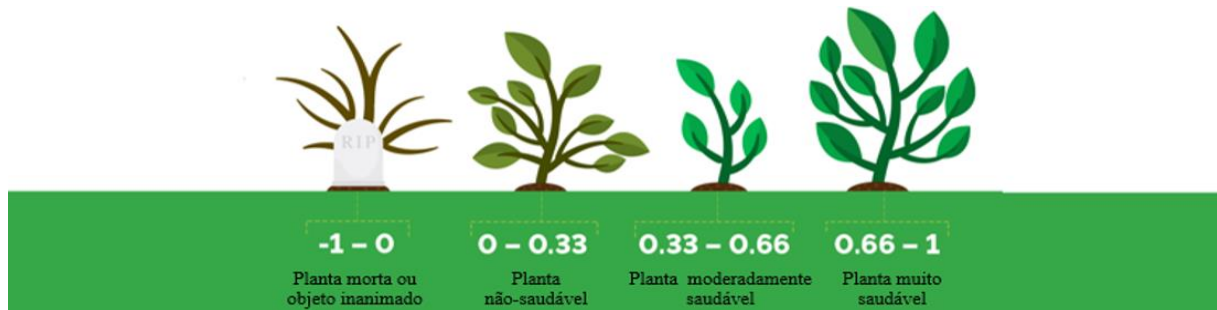
Em que:

NIR: valor de reflectância na faixa do infravermelho próximo

RED: valor de reflectância na faixa do vermelho.

Observando o perfil de evolução temporal do NDVI de uma região, suas alterações têm sido utilizadas no monitoramento das condições de crescimento e desenvolvimento das culturas, detecção de estresse, estimativa de produtividade das culturas, entre outros (Cordeiro et al., 2017). O índice varia de -1 a 1, quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal e em situações de solo

descoberto ou áreas sem presença de material vegetal terá um NDVI de 0 ou próximo de -1 (Figura 5).



Fonte: <https://tecnologianocampo.com.br/ndvi>

Figura 5. Comportamento da vegetação em relação ao NDVI.

O NDVI é o índice mais apropriado quando se pretende fazer comparações ao longo do tempo de uma mesma área, pois é esperado ser menos influenciado pelas variações das condições atmosféricas (Meneses et al., 2012). O NDVI apresenta correlação com a biomassa da vegetação em casos que a área apresente cobertura vegetal satisfatória (Meneses et al., 2012). Na cultura do amendoim, observou-se que o sensor óptico ativo GreenSeeker®, pode ser utilizado para estimativa de produtividade e da população de plantas (Zerbato et al., 2016).

As diferentes práticas de manejo, estabelecimento da cultura, cultivares utilizadas, entre outros parâmetros, podem afetar as correlações entre o NDVI e os atributos do solo, o que pode comprometer o seu potencial como variável no mapeamento de atributos do solo (Trevisan et al., 2015).

Outro índice ainda pouco utilizado na avaliação das culturas é o Inverse Ratio Vegetation Index (IRVI), proposto por Kapp Júnior et al., (2016) (equação 2). Devido à saturação do NDVI, o IRVI pode ser mais preciso na previsão da produtividade da safra em determinado momento (Li et al., 2017).

$$IRVI = \frac{RED}{NIR} \quad (2)$$

Em que:

NIR: Valor de reflectância na faixa do infravermelho próximo

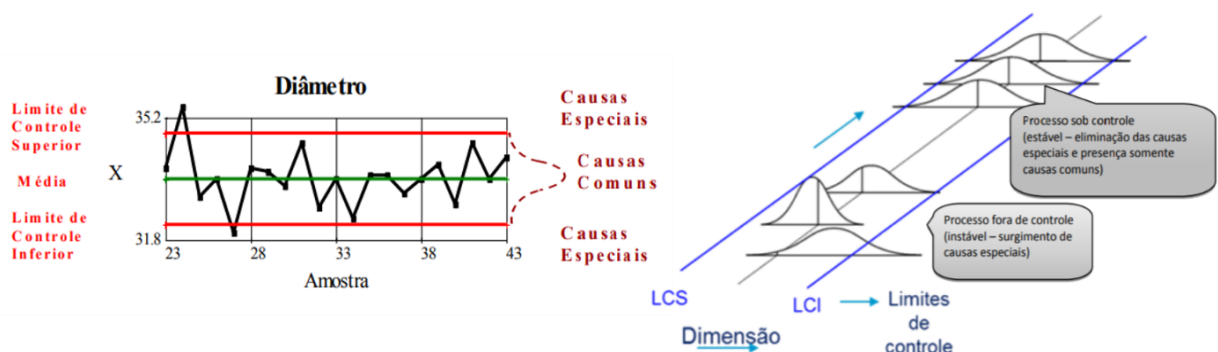
RED: Valor de reflectância na faixa do vermelho

Controle estatístico de processo

O Controle estatístico de processo (CEP) é uma técnica estatística aplicada à produção, que permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse contribuindo para a melhoria da qualidade intrínseca, da produtividade, da confiabilidade e do custo do que está sendo produzido (Ribeiro e Ten Caten, 2012). Utilizando o CEP podemos monitorar, analisar, prever, controlar a variabilidade de certa característica de qualidade (Sancho et al., 2013), melhorando a qualidade, a produtividade e a confiabilidade do que está sendo produzido ou fornecido (Henning et al., 2014).

Segundo Mingoti e Fidelis (2001), o objetivo do CEP é detectar as alterações dos parâmetros de determinados processos para corrigir os problemas antes que muitos itens não-conformes sejam produzidos. O CEP é operacionalizado por meio de cartas de controle, que são utilizadas para acompanhar o desempenho de um processo (Henning et al., 2014; Madanhire e Mbohwa, 2016). As cartas de controle foram desenvolvidas nos Estados Unidos pelo Dr. Walter Shewhart na década de 20.

Utilizando as cartas de controle é possível determinar se o processo está operando em controle estatístico. São representadas por um gráfico que inclui estatisticamente limites de controle superior e inferior (Figura 6). O objetivo da carta de controle é detectar quaisquer alterações indesejadas em um processo, sendo que quando ocorrem mudanças, estas são sinalizadas por pontos anormais no gráfico, (Silveira, 2012). Estes pontos ultrapassam os limites de controle, são conhecidos como *outliers*, provenientes de causas especiais ao processo.



Fonte: Ribeiro e Ten Caten, (2012).

Figura 6. Exemplo de carta de controle estatístico de processo.

As cartas de controle são gráficos que consistem na plotagem de três linhas, o limite superior de controle (LSC), limite inferior de controle (LIC) e uma linha central (X) que é a média da variável estudada. Os pontos que se encontram fora destes limites de controle são chamados de *outliers*, que são pontos que representam causas especiais que desestabilizam o processo.

A qualidade é inversamente proporcional a variabilidade, portanto, a melhoria da qualidade é estabelecida quando essa variabilidade apresentada pelo processo é reduzida (Montgomery, 2009). As cartas de controle permitem uma distinção com maior precisão das causas que interferem na qualidade do processo (Gejdoš, 2015) e devem ser adaptadas de acordo com as necessidades da operação que se estiver monitorando (Mucidas, 2010).

As variabilidades podem ser causadas por causas comuns ou causas especiais. As causas comuns atuam continuamente sobre o processo, são de natureza aleatória e de difícil controle. As causas especiais são anômalas, não fazem parte do processo ou sistema, podendo ser prejudiciais à qualidade do produto final (Ribeiro e Ten Caten, 2012). Para verificar a estabilidade do processo e se o mesmo está sob controle, existem oito testes para as análises de causas especiais (Minitab, 2016) (Tabela 2).

Tabela 2. Testes para verificar a presença de causas especiais.

Teste	Descrição
1	O ponto está localizado acima do Limite Superior de Controle – LSC ou abaixo do Limite Inferior de Controle – LIC;
2	Presença de nove pontos consecutivos localizados acima ou abaixo do Limite Central – LC;
3	Seis ou mais pontos consecutivos crescentes ou decrescentes;
4	Quatorze pontos alternados em uma linha;
5	Dois de três pontos localizados no mesmo lado a dois desvios padrão acima ou abaixo do LC;
6	Quatro de cinco pontos localizados no mesmo lado a um desvio padrão acima ou abaixo do LC;
7	Quinze pontos consecutivos localizados, em qualquer lateral, a menos de um desvio padrão do LC;

Fonte: Minitab 2016.

Um ponto detectado em pelo menos um dos testes pode estar sob a influência de causas especiais. A ausência de pontos fora de controle indica que o processo está sob influência somente de causas comuns, podendo ser considerado como estando em controle estatístico (Oliveira et al., 2018).

Nas atividades agrícolas podemos citar como causas comuns, situações não controláveis, com pouca influência individualmente, como por exemplo, vibrações, temperatura, umidade, falhas na sistemática do processo, entre outras. As causas especiais são consideradas falhas ocasionais que ocorrem durante o processo, com grande influência individualmente, como por exemplo, erros de execução durante as operações agrícolas, como a quebra de algum componente da máquina, regulagem inadequada, falta de experiência do operador, desgastes de ferramentas entre outros, sendo que estes problemas quando detectados devem ser corrigidos rapidamente pelo monitoramento das operações (Portal Action, 2019).

Geoestatística

A geoestatística foi desenvolvida inicialmente por Krige (1951), trabalhando com dados referentes à concentração de ouro na África do Sul, não conseguia encontrar sentido nas variâncias calculadas se não levasse em conta também a distância entre as amostras (Vieira, 2000). Baseando-se nas observações de Krige, Matheron (1970) desenvolveu a Teoria das variáveis regionalizadas, que foi definida como uma função espacial que varia de um local para outro, com uma continuidade espacial aparente que é estimada pelo semivariograma.

O semivariograma é considerado um “medidor” da dependência espacial entre as amostras (Vieira et al., 1983). Calculado de acordo com Vieira (2000), com base no cálculo da semivariância $\gamma(h)$ por meio da equação 3:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

Em que:

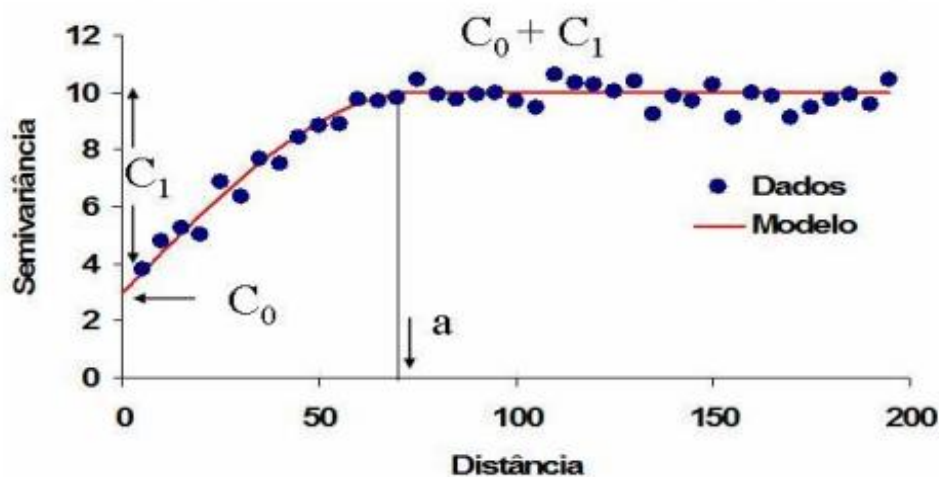
$\gamma(h)$ = Semivariância estimada a partir dos dados experimentais

Z = Valores medidos nos pontos x_i e $x_i + h$

$N(h)$ = Número de pares de valores medidos separados por uma distância h

No semivariograma (Figura 7), à medida que h tende para 0 (zero), $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado efeito pepita (C_0), que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores, geralmente devida a erros de medição (Delhomme, 1976).

À medida que h aumenta a $\gamma(h)$ também aumenta até um valor máximo no qual ele se estabiliza. Este valor no qual $\gamma(h)$ se estabiliza chama-se patamar, é representado por $(C_0 + C_1)$, e é aproximadamente igual à variância dos dados. O C_1 é chamado de variância estrutural, e representa o valor da semivariância entre o efeito pepita e o patamar. A distância na qual $\gamma(h)$ atinge o patamar é chamada de alcance (a) e representa a distância limite da dependência espacial.



Fonte: Guedes Filho, 2009.

Figura 7. Representação de um semivariograma e seus componentes

À medida que h aumenta a $\gamma(h)$ também aumenta até um valor máximo no qual ele se estabiliza. Este valor no qual $\gamma(h)$ se estabiliza chama-se patamar, é

representado por $(C0 + C1)$, e é aproximadamente igual à variância dos dados. O $C1$ é chamado de variância estrutural, e representa o valor da semivariância entre o efeito pepita e o patamar. A distância na qual $\gamma(h)$ atinge o patamar é chamada de alcance (a) e representa a distância limite da dependência espacial.

Medições localizadas em distâncias maiores que a estabelecida pelo alcance, têm distribuição espacial aleatória e por isso podem ser consideradas independentes entre si. Neste caso, a Estatística Clássica pode ser aplicada sem restrições. Por outro lado, amostras separadas por distâncias menores que o alcance são correlacionadas umas às outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores do que os amostrados (Guedes Filho, 2009).

Segundo Vieira (2000), os estudos que envolvem variáveis de interesse agrônomo, tais como solo e planta, os principais modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas experimentais são: esférico, exponencial e gaussiano. O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte para a técnica de krigagem, que é um método de interpolação que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço, através da estimativa de valores para os locais não amostrados (Huijbregts, 1975). A partir dos semivariogramas são gerados, por meio de softwares, mapas temáticos que auxiliam na interpretação do comportamento das variáveis em uma determinada área.

Esta ferramenta é bastante utilizada nos parâmetros de produção visando a projeção de zonas de manejo, que uma vez demarcadas auxiliam na gestão dos recursos utilizados na produção das lavouras. Economicamente, funcionam como unidades de operação para a aplicação localizada de insumos, indicador para amostragem de solo e da cultura, entre outros (Rodrigues e Zimback, 2002 e Bazzi et al., 2012). A aplicabilidade desta ferramenta pode ser inserida em grandes e pequenas propriedades, visando sempre a otimização das operações agrícolas e aumento da produtividade.

REFERÊNCIAS

Adamchuk VI, Hummel JW, Morgan MT, Upadhyaya SK (2004) On-the go soil sensors for precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture** 44:71-91.

Albuquerque JA, Reinert DJ, Fiorin JE (1996) Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 20:151-157.

Amado TC, Pontelli CB, Santi AL, Viana HM, Sulzbach LAS (2007) Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília: v. 42, n. 8.

Ambrosano EJ, Cantarella H, Ambrosano GMB, Schammas EA, Dias FLF, Rossi F, Trivelin PCO, Muraoka T, Sachs RCC & Azcón R (2011) Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia** 70:810-818.

American Society of Agricultural Engineers (1997) **Terminology and definitions for soil tillage and soil-tool relationships**. St. Joseph, 1997. 117p. (ASAE. EP, 229-1).

Andrade CB, Oliveira LMM, Omena, JAM, Gusmão L, Villar AC, Rodrigues, DFB (2018) Avaliação de índices de vegetação e características fisiográficas no Sertão Pernambucano. **Revista Brasileira de Meio Ambiente** v.4, n.1.

Arruda MI, Moda-Cirino V, Buratto SJ, Ferreira MJ (2015) Crescimento e produtividade de cultivares e linhagens de amendoim submetidas a déficit hídrico. Goiânia. **Pesquisa Agropecuária Tropical** v. 45, n. 2, p. 146-154.

Asibuo JY, Akromah R, Safo-Kantanka O, Adu-Dapaah HK, Ohemeng-Dapaah S, Agyeman A (2010). Chemical composition of groundnut, *Arachis hypogaea* (L.) landraces. **African Journal of Biotechnology** 7(13).

Barbosa RM, Homem, BFM, Tarsitano MAA (2014) Custo de produção e lucratividade da cultura do amendoim no município de Jaboticabal, São Paulo. **Revista Ceres [online]**. vol.61, n.4, p.475-481.

Batchelor B, Whigham K, Dewitt J (1997) **Precision agriculture: introduction to precision agriculture**. Iowa Cooperative Extension, 4p.

Batistella M, Andrade RG, Bolfe É L, Victoria DC, Silva GBS (2011) Geotecnologias e gestão territorial da bovinocultura no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia** v. 40, p. 251-260, 2011.

Bazzi CL, Souza EG, Opazo MAU, Carnieletto JC, Rocha DM (2012) Software para definição e avaliação de unidade de manejo em agricultura de precisão. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de precisão. **Anais...** Ribeirão Preto, São Paulo.

Bernardi ACC, Bettiol GM, Grego CR, Andrade RG, Rabello LM, Inamasu RY (2015) **Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo.** Cadernos de Ciência & Tecnologia. Brasília. v. 32, n. 1/2, p. 205-221.

Bernardi ACC, Perez N B (2014) **Agricultura de precisão em pastagens. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.** Brasília, DF: Embrapa, p. 492-499.

Bernardi ACC, Andrade RG, Grego CR, Inamasu RY, Rabello LM (2014a) Variabilidade espacial de parâmetros físico-químicas do solo e biofísicos de superfície em cultivo do sorgo. Campina Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 18, p. 623-630.

Bernardi ACC, Bettiol GM, Ferreira RP, Santos KEL, Rabello LM, Inamasu RY (2014b) Spatial variability of soil properties and yield of an alfalfa pasture under grazing in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 12, 2014, Sacramento. **Abstracts...** New York: ISPA, 1 CD-ROM.

Bolonhezi D, Mutton MA, Martins ALM (2007) Sistemas conservacionistas de manejo do solo para amendoim cultivado em sucessão à cana crua. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.939-947.

Brady NC & Weil RR (2002) **The nature and properties of soils.** 13 ed. New Jersey, Pearson Education, 960p.

Cañavete JO, Hernanz JL (1989) **Técnica de la mecanización agrária.** Madrid: Mundi-presa, 756p.

Cândida A (2016) Rib Strip é destaque da KBM na Agrishow 2016 Disponível em < <https://www.grupocultivar.com.br/noticias/rib-strip-e-destaque-da-kbm-na-agrishow-2016>>. Acesso em: Jul. 2019.

Carvalho JLN, Nogueirol RC, Menandro LMS, Bordonal RO, Borges CD, Cantarella H, Franco, HCJ (2017) Agronomic and Environmental Implications of Sugarcane Straw Removal: A Major Review. **GCB Bioenergy**, Amsterdam, v.9, n.7, p.1181-1195.

Carvalho LA, Silva Junior AA, Nunes WAGA, Meurer I, Souza Júnior WS (2011) Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo no centro-oeste do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v.34, n.1, p.200-211.

Carvalho TL, Da Rocha AC, Bastos FJC, Cunha FN, Da Silva NF, Soares FAL (2014) Genótipos de amendoim cultivados em semeadura direta e convencional sob regime hídrico do sudoeste goiano. Fortaleza. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v. 8, n. 6, p. 432-443.

Centeno LN, Guevara MDF, Cecconello ST, Sousa ROD, Tim LC (2017) Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v.4, n.1, p.31-37.

Cerri CEP, Sparovek G, Bernoux M, Easterling WE, Melillo JM, Cerri CC (2007) Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientia Agricola** (64):83-99.

Chaer GM, Totola MR (2007) Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucaliptos sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** 31: 1381-1396.

Cogo NP (1981) **Effect of residue cover, tillage induced-roughness, and slope lenght on erosion and related parameters**. West Lafayette, Purdue University. 346p. (Tese de Doutorado).

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2018) **Acompanhamento da safra brasileira de grãos. 12º Levantamento – safra 2017/18**. Brasília, CONAB.

Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 17 fev, 2019.

Cordeiro APA, Berlato MA, Fontana DC, Melo RWDE, Shimabukuro YE, Fior CS (2017) Regiões homogêneas de vegetação utilizando a variabilidade do NDVI. **Ciência Florestal** 27(3).

Deering DW, Rouse JW, Haas RH, Schell JA (1975) Measuring "forage production" of grazing units from Landsat MSS data. In: International symposium on remoting sensing of environment, IO, Ann Arbor, **Proceedings...** Ann Arbor, MI: ERIM, v2: p1169-1178.

Delbari M, Loiskandl W & Afrasiab P (2010) Uncertainty assessment of soil organic carbon content spatial distribution using geostatistical stochastic simulation. **Aust. Journal Soil Research** 48:27-35.

Delhomme JP (1976) Kriging in hydrosiences. Centre D'Informatique Geologique, Fontainebleau, France. For estimating leaf and canopy chlorophyll contents of cereal crops. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 129:103–117.

Filippini Alba JM (2014) **Modelagem SIG em agricultura de precisão: conceitos, revisão e aplicações**. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa. p. 84-95.

Franchini JC, Balbinot Júnior AA, Debiasi H, Costa JM, Sichieri FR, Teixeira LC (2016) **Soja em solos arenosos: papel do sistema Plantio Direto e da integração lavoura-pecuária**. Embrapa Soja: Londrina. 10 p.

Freddi OS, Centurion JF, Duarte AP, Peres FSC (2009) Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. II - Intervalo hídrico ótimo e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.33, p.805-818.

Freitas PL (2005) **Sistema Plantio Direto: Conceitos, Adoção e Fatores Limitantes**. Comunicado técnico 31. Embrapa solos. Rio de Janeiro.

Gebbers R, Adamchuk VI (2010) Precision agriculture and food security. **Science** v. 327, n. 5967, p. 828-31.

Gejdoš P (2015) **Continuous Quality Improvement by Statistical Process Control**. Procedia Economics and Finance, 34, p. 565-572. Recuperado em 02 abril, 2018, de 10.1016/S2212-5671(15)01669-X.

Gillier P, Silvestre P (1970) **El Cacahuete**. Trad, E. Riambau. Barcelona: Blume. 281 p.

Godoy OP, Marcos Filho J, Câmara GMS (1981) **Tecnologia de produção**. In: Câmara GMS et al. Amendoim: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, P. 1-38.

Gomes C, Galdino M (2017) **Desempenho de cultivares IAC de amendoim é apresentado em Pindorama**. IAC- Instituto Agronômico de Campinas. Disponível em:< <http://www.iac.sp.gov.br/noticiasdetalhes.php?id=1153>>. Acesso em: 06 mai. 2017.

Gonçalves JLM, Stape JL, Benedetti V, Fessel VAG, Gava JL (2000) Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. Piracicaba: IPEF. **Nutrição E Fertilização Florestal** p3-57.

Grego C R, Oliveira RP, Vieira SR (2014b) **Geoestatística aplicada a agricultura de precisão**. In: Bernardi ACC, Naime JM, Resende AV, Bassoi LH, Inamasu RY. (Ed.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa. cap. 5, p.74-83.

Gubiani PI, Reichert JM, Reinert DJ (2014) Interação entre disponibilidade de água e compactação do solo no crescimento e na produção de feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.38, p.765-773.

Guedes Filho O (2009) **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. Campinas: Instituto Agronômico. 97 fls.

Heckler JC, Salton JC (2002) Palha: fundamento do sistema plantio direto. Dourados-MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 26 p.

Henning E, Walter OMC, Souza NS, Samohyl RW (2014) Um estudo para a aplicação de gráficos de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável. **Revista Sistemas & Gestão** 9(1), 2-13.

Huijbregts CJ (1975) **Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data**. In.: Davis JC, McCullagh MJ. Display and analysis of spatial data. New York: John Wiley, p.38-53.

Instituto Agronômico de Campinas – IAC. **Centro de grãos e fibras** (2018) Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/graos/amendoim.php>>. Acesso em: 13 set. 2018.

Jensen JR (2011) **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. Ed. São José dos Campos: Parênteses, 598p. Tradução de: Epiphany, J. C. N.; Formaggio, A. R.; Santos, A. R. dos; Rudorff, B. F. T.; Almeida, C. M. de; Galvão, L. S.

Kapp Junior C, Guimarães AM, Caires EF (2016) Use of active canopy sensors to discriminate wheat response to nitrogen fertilization under no-tillage. **Engenharia Agrícola** 36:886-894.

KBM – Equipamentos agrícolas. **Rip Strip** (2018) Disponível em:<<http://www.bmdumont.com.br/demais-equipamentos/item/13-rip-strip>>. Acesso em: 04 jul. 2019.

Ketring DL, Reid JL (1995) Peanut growth and Development. In: Melouk HA, Shokes FM. (ed.). **Peanut Health Management**. St. Paul: The American Phytopathological Society. p. 11-18.

Krige DG (1951) A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. J. Chem. Metall. Johannesburg. **Min. Soc. S. Afri.** 52:119-139.

La Scala N, Bolonhezi D, Pereira GT (2006) Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil & Tillage Research** (91):244- 248.

Lal, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. (2009) **European Journal of Soil Science** (60):158-169.

Li D, Cheng T, Zhou K, Zheng H, Yao X, Tian Y, Zhu Y, Cao W (2017) **WREP: A wavelet-based technique for extracting the red edge position from reflectance spectral.**

Lima RP, Leon MJ, Silva AR (2013) Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. **Revista Ceres** 60:577-581.

Lombardi Neto F, Belinazzi JR, Lepsch IF, Oliveira JB, Bertolini DGPA, Drugowich MI (1994) **Terraceamento Agrícola**. Campinas: Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, CATI. 39 p. (Boletim Técnico, 206).

Machado JL, Tormena CA, Fidalski J, Scapim CA (2008) Interrelações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. Viçosa –MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (32)2:495-502.

Machado PLOA (2005) Soil carbon and the mitigation of global climate change. São Paulo. **Química Nova** v. 28, n. 2, p. 329-334.

Madanhire I, Mbohwa C (2016). **Use application of statistical process control (SPC) in manufacturing Industry in a developing country**. Procedia CIRP 40:580-583.

Martins R. (2018) Instituto de Economia Agrícola – IEA. **Amendoim em grão: Rússia é o principal destino das exportações brasileiras**. Disponível em:< <http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=14508>>. Acesso em: jul. 2019.

Matheron G (1970) - **La théorie des variables régionalisées, et ses applications**. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau. École Nationale Supérieure des Minas de Paris, Fascicule 5. 212p.

Mauri J, Ruiz HA, Fernandes RBA, Ker JC, Rezende LRM (2011) Dispersantes químicos na análise granulométrica de latossolos. Viçosa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.35 n.4.

Meneses PR, Almeida T, Rosa ANCS, Sano EE, Souza EB, Baptista GMM, Brites RS (2012). **Introduction to processing of remote sensing images**. Brasília: UnB, p 266.

Mingoti SA, Fidelis MT, (2001) Aplicando a geoestatística no controle estatístico de processos. **Produto & Produção** (5)2:55-70.

Minitab 16 (2016). Suporte **ao Minitab 16: Distribuição normal**. Disponível em: <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/probability-distributions-and-random-data/supporting-topics/distributions/normal-distribution/>>. Acesso em: 27 jul. 2019.

Molina Júnior WF (2017) **Comportamento mecânico do solo em operações agrícolas**. Piracicaba: ESALQ/ USP, 223p.

Montgomery DC (2009) **Introduction to Statistical Quality Control**, 6th ed.; Arizona State University: John Wiley & Sons, Inc., 754p.

Mucidas JH (2010) **Aplicação do controle estatístico do processo no envase de leite UHT em uma indústria de laticínios**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

Nakagawa J, Rosolem C (2011) **O amendoim: tecnologia de produção**. Botucatu: FEPAF. 325p.

Nogueira RJMC, Távora FJAF (2005) **Ecofisiologia do amendoim (*Arachis Hypogaea* L.)**. In: Santos RC. O agronegócio do amendoim no Brasil. Campina grande: Embrapa – Cnpa. 451p.

Oliveira GD, Santos JD, Silva VL, Röder C (2018) **Aplicação do controle estatístico do processo em uma indústria de autoadesivos**. Exacta – EP, São Paulo. v.16, n. 2, p.135-154.

Pacheco EP, Cantalice JRB (2011) Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um argissolo amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo** 35:403-415.

Portal Action (2019) **Causas comuns e especiais de variação**. Disponível em:<<http://www.portalaction.com.br/controle-estatistico-do-processo/causas-comuns-e-especiais-de-variacao>>. Acesso em 09 jul. 2019.

Radambrasil (1983) Folha SE.22, Goiânia: **Pedologia**. Rio de Janeiro. 764p.

Ramanatha Rao, Murty UR (1994) **Botany- morphology and anatomy**. In: SMARTT, J. (Ed.) The groundnut crop: a scientific basis for improvement, London: Chapman & Hall. p.43-95.

Ribeiro JLD, Ten Caten CS (2012) **Controle estatístico do processo**, (Série monográfica qualidade). Porto Alegre: FEENG/UFRGS. 172p.

Rodrigues JBT, Zimback CRL (2002) Delimitação de zonas de manejo através da análise e classificação de mapas de produtividade e milho e soja. Botucatu. **Energia Na Agricultura** (7)1:4-61.

Rosolem CA, Calonego JC, Foloni JSS (2003) Lixiviação de potássio da palha de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. Viçosa-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (27):355-362.

Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW, Harlan JC (1973) **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation**. Greenbelt: National aerospace spatial administration, 371p. MD, NASA/GSFC Type III, Final Report. Disponível em:<<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19730017588.pdf>>. Acesso em 12 fev, 2019.

Santos RC, Freire RMM, Lima LM (2013) **O agronegócio do amendoim no Brasil**. 2. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa.

Sancho J, Pastor JJ, Martínez J, García MA (2013) Evaluation of harmonic variability in electrical power systems through statistical control of quality and functional data analysis. **Procedia Engineering** 63, p. 295-302. Recuperado em 27 setembro, 2016, de 10.1016/j.proeng.2013.08.224.

Savage GP, Keenan JI (1994). The composition and nutritive value of groundnut kernels. In The Groundnut Crop, **Springer Netherlands** 173-213.

Scarpin LJ, Mundo Neto M, Malagolli GA (2013) O sistema de rotação entre amendoim e cana-de-açúcar em áreas controladas por indústrias. Taquaritinga. **Revista interface Tecnológica** (1)1:95-103.

Secco D, Reinert DJ, Reichert JM, Ros CO (2004) Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista brasileira de Ciência do solo** 28:797-804.

Shiratsuchi LS, Brandao ZN, Vicente LE, Victoria DC, Ducati JR, Oliveira RP, Vilela M (2014) **Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão**. In: Bernardi ACC, Naime JM, Resende AV, Bassoi LH, Inamasu RY. (Ed.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa. 58-73.

Silveira CB (2012) **7 Ferramentas da qualidade. Cartas de controle**. Disponível em: < <https://www.citisystems.com.br/cartas-de-controle/>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

Silveira DC, Melo Filho JF, Sacramento JAAS, Silveira ECP (2010) Relação umidade versus resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. Viçosa. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo** (34)3:659-667.

Sloneker LL, Moldenhauer WC (1977) Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. **Journal Soil Water Conservation** 32:231-236.

Srivastava AK, Goering CE, Rohrbach RP (1993) **Engineering principles of agricultural machines**. St. Joseph: Pamela de Vore-Hasen. 601p.

Stone LF, Guimarães CM, Moreira JAA (2002) Compactação do solo na cultura do feijoeiro - I Efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. Campina Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (6)2:207-212.

Trevisan RG, Eitelwein MT, Colaço AF, Garzella TC, Molin JP (2015) **Imagens de satélite da vegetação nativa no mapeamento da variabilidade espacial de atributos do solo**. X CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMATICA. XSBIAGRO, Curitiba.

United States Department of Agriculture - USDA (2019) **Foreign agricultural service**. USDA. Disponível em:<

<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home/statsByCountry>>.

Acesso em: 04 jul. 2019.

Valls JFM, Simpson CE (1994) **Taxonomy, natural distribution, and attributes of Arachis**. Biology and agronomy of forage Arachis, 1-18.

Veiga RFA, Queiroz-Voltan RB, Valls JFM, Fávero AP, Barbosa W (2001) Caracterização morfológica de acesos de germoplasma de quatro espécies brasileiras de amendoim-silvestre. **Bragantia** 60:167-17.

Vieira SR (2000) Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais RF, Alvarez VVH, Schaefer CE (ed.) **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa: Sociedade brasileira de ciência do solo. p.1-54.

Vieira SR, Hatfield JL, Nielsen DR, Biggar JW (1983) Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, (51):1-75.

Wang Q, Otsubo K, Ichinose T (2005) **Digital map sets for evaluation of land productivity**. Disponível em: <<http://www.iscgm.org/html4/pdf/forum2000/DrQinxueWang.pdf>> Acesso em: jul. 2019.

Zerbato C, Rosalen DL, Furlani CEA, Deghaid J, Voltarelli MA (2016) Agronomic characteristics associated with the normalized difference vegetation index (NDVI) in the peanut crop. **Australian Journal of Crop Science** 10:758-764.

Zhao CX, Jia LH, Wang YF, Wang ML, McGiffen JR ME (2015) **Effects of different soil texture on peanut growth and development**. Communications in soil science and plant analysis, (46):2249-2257.

CAPÍTULO 2 – Índices de vegetação associados às características agronômicas da cultura do amendoim em duas condições de preparo do solo

RESUMO – A utilização das ferramentas da agricultura de precisão tem sido importante para o monitoramento das culturas, os sensores proximais permitem agilidade na obtenção de dados, além de ser um método não destrutivo. Objetivou-se avaliar o comportamento espectral dos índices de vegetação na cultura do amendoim e sua correlação com variáveis agronômicas. O experimento foi realizado na safra 2017/2018 em área agrícola do município de Jaboticabal, estado de São Paulo, Brasil, localizada próximo as coordenadas geográficas 21°14'S e 48°16'O, com altitude média de 615 m. Foram realizados dois preparos de solo, o conservacionista e o convencional. O delineamento experimental foi baseado nas premissas básicas do Controle Estatístico de Qualidade – CEQ, contendo 60 pontos amostrais com GRID de 15 x 15 m. As avaliações ocorreram aos 30, 45, 80, 90 e 110 dias após a semeadura (DAS) por meio de coletas a campo e sensoriamento proximal utilizando sensor GreenSeeker. As análises estatísticas utilizadas foram a estatística descritiva, correlação de Pearson e cartas de controle individual. Os índices de vegetação NDVI e IRVI apresentaram correlações mais expressivas com as variáveis agronômicas aos 30 e 45 DAS. A saturação do NDVI foi observada aos 95 DAS. As cartas de controle se mostraram ótima ferramenta para o monitoramento dos índices durante o desenvolvimento da cultura do amendoim.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; *Arachis hypogaea* L.; rip strip

Vegetation indexes associated with agronomic characteristics of peanut crop under two tillage conditions

ABSTRACT - The use of precision agriculture tools has been important for crop monitoring, proximal sensors allow agility in obtaining data, and is a non-destructive method. The objective of this study was to evaluate the spectral behavior of vegetation indices in peanut crop and its correlation with agronomic variables. The experiment was carried out in the 2017/2018 crop in an agricultural area of Jaboticabal, São Paulo State, Brazil, located near the geographic coordinates 21°14'S and 48°16'O, with an

average altitude of 615 m. Two soil tillage were done, the conservationist and the conventional one. The experimental design was based on the basic assumptions of the Statistical Quality Control - CEQ, containing 60 sampling points with 15 x 15 m GRID. Evaluations took place at 30, 45, 80, 90 and 110 days after sowing (DAS) by field collections and proximal sensing using GreenSeeker sensor. Statistical analyzes used were descriptive statistics, Pearson correlation and individual control charts. The NDVI and IRVI vegetation indices showed more significant correlations with the agronomic variables at 30 and 45 DAS. NDVI saturation was observed at 95 DAS. Control charts proved to be a great tool for monitoring indexes during peanut crop development.

Keywords: Precision Agriculture; *Arachis hypogaea* L.; rip strip

Introdução

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma oleaginosa de grande importância econômica, cultivada em grande parte do mundo tem a sua relevância relacionada a diversidade de uso dos seus grãos (Scarpin et al., 2013). Nessa cultura é tradicionalmente realizado o preparo convencional (aração e gradagens), que de acordo com Gabriel Filho et al., (2000), pode trazer problemas como erosão, compactação, empobrecimento progressivo do solo e diminuição da produtividade. A adoção de práticas conservacionistas ainda não é realizada por grande parte dos produtores de amendoim, devido a semeadura ser realizada em áreas de reforma de cana-de-açúcar.

A agricultura de precisão (AP) é amplamente utilizada no gerenciamento dos sistemas de produção agrícola. O monitoramento das culturas tem auxiliado no aumento da produtividade e uso consciente do solo. A aplicação da AP é baseada nos princípios da caracterização da variabilidade espacial e gestão de informações (Montanari et al., 2012).

Essas informações permitem o maior conhecimento da área e da cultura a ser manejada. De acordo com Grohs et al., (2009), dentro de uma lavoura têm-se áreas com diferentes potenciais de produtividade que precisam de manejos distintos. Este

potencial produtivo pode ser estimado por meio de variáveis agronômicas em qualquer momento do ciclo de desenvolvimento (Girma et al., 2006).

Os índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto são modelos matemáticos que relacionam a assinatura espectral vegetal com os parâmetros mensuráveis no campo (Barbosa, 2006). De acordo com Ponzoni (2001), estes índices são indicadores de crescimento e vigor da vegetação, podendo ser utilizados no diagnóstico de parâmetros biofísicos como a biomassa, produtividade, índice de área foliar e porcentagem de cobertura do solo, com os quais apresentam altas correlações.

Por meio de sensores ativos de dossel como o GreenSeeker, obtêm-se os índices de vegetação, tais como o índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI (Rouse et al., 1973) que é o mais utilizado no monitoramento das culturas, na estimativa de biomassa e produtividade (Xavier e Vettorazzi, 2004) e o Inverse Ratio Vegetation Index –IRVI (Kapp Júnior et al., 2016), um índice pouco utilizado em pesquisas.

O crescente uso de tecnologias associadas à agricultura de precisão, permite que o produtor compreenda o comportamento da variabilidade das variáveis agronômicas nos sistemas de produção e adote estratégias para maximizar a produtividade em suas lavouras, tendo em vista, as restrições ambientais e a capacidade do uso do solo da região. O conhecimento das causas da variabilidade da produção é que subsidiará as decisões sobre o manejo do solo e da cultura (Amado et al., 2007; Milani et al., 2006; Molin, 2002).

Objetivou-se avaliar o comportamento dos índices de vegetação (NDVI e IRVI) aos 30, 45, 80, 95 e 110 DAS (dias após a semeadura) e sua correlação com variáveis agronômicas em dois preparos de solo.

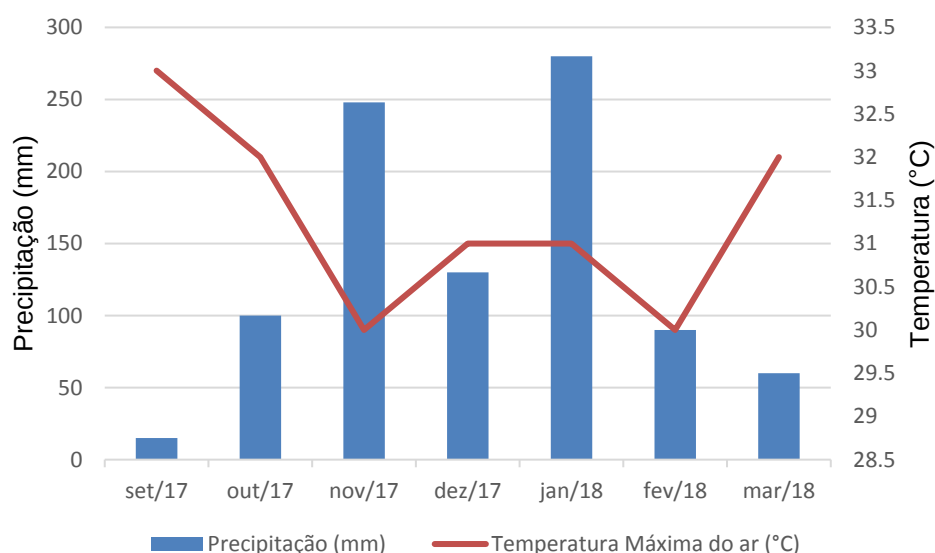
Material e métodos

Descrição da área experimental

O experimento foi realizado na safra 2017/2018, em área agrícola do município de Jaboticabal, estado São Paulo, Brasil, localizada próximo as coordenadas

geográficas 21°14'S e 48°16'O, com altitude média de 615 m. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, A moderado, textura argilosa e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2013).

O clima da região é do tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen (1923), definido como tropical com estação chuvosa no verão e inverno seco. O período de chuvas é compreendido entre meses de outubro a março, apresentando média anual de temperatura e precipitação de 22°C e 1.424,6 mm, respectivamente (Alvares et al., 2014). Na figura 1 estão representados os dados de precipitação e temperatura máxima do ar no período de condução do experimento.



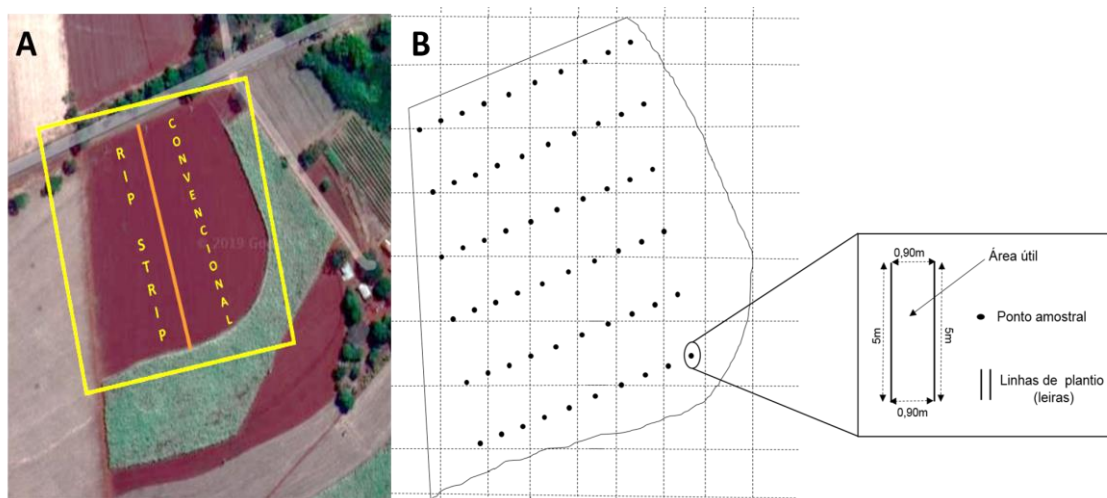
Fonte: Estação agroclimatológica – FCAV/Unesp-Jaboticabal. Adaptado por Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 1. Temperatura máxima e precipitação do município de Jaboticabal- SP, no período de condução do experimento.

Delineamento experimental

A área utilizada para a semeadura do amendoim compreendeu aproximadamente 4 hectares (Figura 2A), anteriormente utilizada em ciclos intercalados de milho safrinha e amendoim. Antes do preparo de solo para instalação da cultura do amendoim, a área experimental apresentava restos culturais, principalmente a palhada remanescente da cultura do milho. Foram realizados dois

preparos de solo, o convencional composto por aração e gradagens e o preparo conservacionista utilizando o equipamento Rip Strip.



Fonte: Google Maps. Adaptado por Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 2. (A) Localização da área experimental no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil; (B) croqui da distribuição dos pontos na área experimental.

O delineamento experimental foi baseado no Controle estatístico de Qualidade – CEQ (Montgomery, 2009). Pontos amostrais foram demarcados nas duas áreas de preparo de solo, com grid de 15m x 15 m). A área útil (Figura 2B) para análise das variáveis durante o desenvolvimento do cultivar compreendeu duas linhas com 5 metros de comprimento com 0,90 metros de espaçamento entre linhas. Em cada área de preparo de solo foram georreferenciados 30 pontos, representando no total 60 pontos amostrais.

Operações agrícolas

Foram realizados dois preparos de solo, o convencional com uma operação de escarificação e duas gradagens e o preparo conservacionista utilizando o implemento Rip Strip. Na operação de escarificação, com intuito de romper camadas compactadas, utilizou-se um escarificador composto por três hastes, com profundidade de trabalho de 30 cm, acoplado a um trator o Valtra Valmet 1780 com potência de 122,828 kW (167 cv) (Figura 3 A e B).



Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 3. Preparo Convencional de solo. (A) Trator utilizado na operação de escarificação do solo, (B) escarificador, (C) grade pesada, (D) grade média, (E) área antes do preparo, (F) área após a finalização do preparo.

Em seguida foram realizadas duas gradagens, a primeira com intuito de quebrar os torrões maiores deixados pela subsolagem, para esta operação utilizou-se uma grade pesada, composta por 10 discos de 30 polegadas cada e espaçamento entre discos de 46 centímetros (Figura 3C), acoplada a um trator Valtra Valmet 1780 com potência de 122,828 kW (167 cv). Para o nivelamento da área trabalhada, utilizou-se uma grade média composta de 40 discos de 24 polegadas cada, com espaçamento entre discos de 19,3 centímetros (Figura 3D), acoplada a um trator Valtra Valmet turbo 985 com potência de 80,9049 kW (110 cv).

O preparo mínimo foi realizado utilizando o equipamento Rip Strip de 4 linhas de preparo, sendo cada linha composta por disco de corte, disco abridor da palha, haste subsoladora, discos destorreadores (disco recortado e disco ondulado) e rolo

nivelador, acoplado a um trator Valtra Valmet 1780, com potência de 122,828 kW (167 cv). A massa do equipamento é de 2.850 kg e a profundidade de trabalho foi de 30 cm. O solo foi preparado somente na linha de plantio (Figura 4).



Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 4. Preparo de solo utilizando o Rip Strip.

Na operação de semeadura do amendoim utilizou-se uma semeadora modelo PHT A3 Suprema, da marca TATU (plantio direto) com marcadores de linhas, acoplada a um trator Valtra Valmet turbo 985 com potência de 80,9049 kW (110 cv) (Figura 5).



Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 5. Semeadora PHT A3 Suprema, marca TATU (plantio direto)

O espaçamento entre linhas foi de 0,90 m e a densidade de semeadura de 22 sementes por metro. A semente utilizada foi da cultivar IAC OL3, safra 2016/2017 com padrão mínimo de 98% para pureza e 70% para germinação (Tabela 1).

Tabela 1. Principais características da cultivar IAC OL3.

Características	IAC OL3
Grupo vegetativo	Runner
Ciclo	125 – 130 dias
Hábito de crescimento	Rasteiro
Produtividade máxima	7000 kg ha ⁻¹
Qualidade dos grãos	“Alto oleico” (70 a 80% de ácido oleico) – Maior “vida de prateleira” do produto.
Mercado	Grãos aptos para o mercado de confeitaria
Observação	Suscetível a doenças foliares

Fonte: Instituto Agronômico de Campinas, IAC.

Índices de Vegetação – NDVI e IRVI

Para a obtenção dos Índices de Vegetação NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Motomiya et al., 2014; Amaral et al., 2015a) e IRVI – Inverse Ratio Vegetation, utilizou-se um sensor óptico ativo GreenSeeker® Model 500, da marca Trimble® (Figura 6), com coletor de dados modelo Nomad (Figura 6D), um computador portátil que coleta e armazena os dados captados pelo sensor, integrado ao software Farm Works Mobile (GeoAgri, 2012; Trimble, 2016). Dados de temperatura e umidade também foram coletados por meio de um aparelho medidor de temperatura e de umidade do ar, modelo HT-350 da marca Instrutherm (Figura 6E). As coletas de dados foram realizadas no mesmo período das coletas dos índices de vegetação, nos pontos amostrais dos dois tratamentos.

Foram realizadas cinco coletas durante o ciclo do amendoim, aos 30 DAS (Florescimento), 45 DAS (Formação da vagem), 80 DAS (Final da Floração), 95 DAS (Maturação da vagem) e 110 DAS (Maturação completa da vagem). As leituras foram realizadas sobre a planta de amendoim a uma distância de 0,8 a 1,0 m entre o sensor e o alvo (Trimble, 2010).



Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 6. Sensor GreenSeeker®. (A) Visão geral, (B) sensor, (C) detalhe das lentes, (D) Nomad, (E) Medidor de temperatura e umidade da marca Instrutherm, modelo HT-350.

O NDVI foi calculado a partir da equação 1, proposta por Rouse et al., (1973) e Deering et al., (1975). O IRVI foi calculado pela equação 2, proposta por Kapp Júnior et al., (2016):

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (1)$$

Em que:

NIR: Valor de reflectância na faixa do infravermelho próximo

RED: Valor de reflectância na faixa do vermelho

$$IRVI = \frac{RED}{NIR} \quad (2)$$

Em que:

NIR: Valor de reflectância na faixa do infravermelho próximo

RED: Valor de reflectância na faixa do vermelho

Parâmetros de desenvolvimento da cultura – Biomassa fresca, biomassa úmida, altura e largura do dossel da planta.

Com uma armação metálica quadrada de 0,25 m de lado foram coletadas amostras de biomassa da parte aérea das plantas de amendoim. Após colocar as armações nas duas linhas avaliadas, correspondentes ao ponto amostral, que possuiu 5 metros de comprimento, cortou-se a planta rente ao solo com auxílio de uma faca, descartando as raízes (Figura 7A e 7B).

As plantas coletadas foram colocadas em sacos de papel, identificadas, pesadas, obtendo-se a massa úmida (biomassa fresca – figura 8C), em seguida foram colocados em estufa com circulação forçada de ar por 3 dias a $60^{\circ} \pm 5^{\circ}$ C, até massa constante (Gassi et al, 2009), para a obtenção da massa seca. Após este período, as amostras tiveram suas massas aferidas por meio de uma balança semi-analítica (modelo BL3200H), obtendo-se a massa seca (biomassa seca). Foram realizadas cinco coletas durante o ciclo do amendoim, aos 30 DAS (Florescimento), 45 DAS (Formação da vagem), 80 DAS (Final da Floração), 95 DAS (Maturação da vagem) e 110 DAS (Maturação completa da vagem).

Nos mesmos períodos de coleta da biomassa da parte aérea, foram mensuradas a altura e a largura das plantas de amendoim, utilizando uma trena graduada em centímetros. Foram escolhidas plantas no começo, meio e no fim da área útil nas duas fileiras, totalizando 6 plantas para cada ponto amostral. A altura das plantas foi medida do solo até o ponto mais alto da planta, e a largura do dossel mediu-se de uma extremidade a outra da planta (Figura 7D).



Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 7. Coleta de biomassa. (A) armação; (B) coleta da parte aérea da planta; (C) acondicionamento em saco de papel; (D) mensuração da altura e largura da planta.

Análises estatísticas

As variáveis agronômicas e os índices de vegetação foram monitorados durante todo o período do ciclo da cultura por meio do Controle Estatístico de Qualidade. Utilizou-se cartas de controle de valores individuais, uma ferramenta do Controle Estatístico de Processo (CEP), as cartas são compostas pela média aritmética da amostra e pelos limites de controle inferior (LCI) e superior (LCS) (Toledo et al., 2008).

Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva calculando-se a média, desvio padrão e o coeficiente de variação, utilizando-se o programa Minitab 16. Com o mesmo programa realizou-se a análise de correlação entre os índices de vegetação (NDVI e IRVI) e as variáveis agronômicas da cultura do amendoim.

O coeficiente de Pearson (r) possui valores entre -1 e 1 , segundo a classificação de Dancey e Reidy (2006) o coeficiente de correlação de Pearson com valores compreendidos entre $0,10$ até $0,30$ é considerado fraco, de $0,40$ até $0,6$ é moderado e com valores de $0,70$ até 1 é considerado forte.

Resultados e discussão

Nas tabelas 2 e 3 estão descritos os valores referentes a correlação de Pearson das variáveis estudadas para os dois preparos de solo. No preparo conservacionista os maiores valores do coeficiente de correlação para as variáveis analisadas foram aos 30 e 45 DAS, de acordo com a classificação de Dancey e Reidy (2006) a correlação é considerada forte ($r = 0,7$ até 1). Neste período as plantas de amendoim, encontram-se no estágio de florescimento avançando para o estágio de frutificação (formação da vagem) (Tabela 2).

No preparo convencional somente aos 30 DAS, houve correlação considerada fraca ($r = 0,10$ até $0,30$), de acordo com a classificação de Dancey e Reidy (2006) (Tabela 3).

Tabela 2. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as leituras de NDVI, IRVI, altura, largura, biomassa fresca e seca, temperatura e umidade aos 30, 45, 80, 95 e 110 dias após a semeadura - DAS (n = 30).

Preparo Conservacionista										
IV	Biomassa Fresca (kg ha ⁻¹)					Biomassa Seca (kg ha ⁻¹)				
	30	45	80	95	110	30	45	80	95	110
	-----DAS -----					-----DAS -----				
NDVI	0,53**	0,53**	ns	ns	ns	0,46*	0,49**	ns	ns	ns
IRVI	-0,51**	-0,57**	ns	ns	ns	-0,44*	-0,50**	ns	ns	ns
	Altura (cm)					Largura (cm)				
	30	45	80	95	110	30	45	80	95	110
	-----DAS -----					-----DAS -----				
NDVI	0,82**	0,72**	0,47**	ns	0,33*	0,81**	0,75**	ns	0,55**	ns
IRVI	-0,82**	-0,74**	-0,53**	ns	-0,37*	-0,83**	-0,76**	ns	-0,54**	ns
	Temperatura do ar (°C)					Umidade do ar (%)				
	30	45	80	95	110	30	45	80	95	110
	-----DAS -----					-----DAS -----				
NDVI	-0,60**	-0,47**	ns	ns	ns	0,62**	0,40*	ns	ns	ns
IRVI	0,59**	0,46**	ns	-0,36*	ns	-0,61**	-0,38*	ns	ns	ns

IV: índices de vegetação; NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; IRVI: Inverse Ratio Vegetation; (*) significativo a $p < 0,10$; (**) significativo a $p < 0,01$; (*) significativo a $p < 0,05$; (ns) não significativo a $p > 0,05$.

Os parâmetros altura e largura da planta aos 30 e 45 DAS obtiveram os maiores valores de correlação. Cortinove (2013) avaliando diferentes índices de vegetação obtidos por sensores de dossel em milho, observou uma correlação alta e significativa entre NDVI e altura nos estádios iniciais e decréscimo nos estádios seguintes, indicando que o sensor pode ser eficiente para prever altura e biomassa para diferentes culturas.

Os valores das leituras de NDVI são influenciados pela altura do dossel, já que plantas menores possuem proporcionalmente estrutura menor, o que resulta em uma exposição maior do solo entre as linhas de semeadura, que tende a menores valores de NDVI. Deghaid et al., (2014), avaliando o NDVI na cultura do amendoim justificaram os baixos valores de NDVI à exposição de solo nu entre fileiras de plantas.

Tabela 3. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as leituras de NDVI, IRVI, altura, largura, biomassa fresca e seca, temperatura e umidade aos 30, 45, 80, 95 e 110 dias após a semeadura - DAS (n = 30).

Preparo Convencional										
IV	Biomassa Úmida (kg ha ⁻¹)					Biomassa Seca (kg ha ⁻¹)				
	30	45	80	95	110	30	45	80	95	110
	-----DAS -----					-----DAS -----				
NDVI	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IRVI	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	Altura (cm)					Largura (cm)				
	30	45	80	95	110	30	45	80	95	110
	-----DAS -----					-----DAS -----				
NDVI	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IRVI	ns	ns	ns	ns	ns	-0,34*	ns	ns	ns	ns
	Temperatura (°C)					Umidade (%)				
	30	45	80	95	110	30	45	80	95	110
	-----DAS -----					-----DAS -----				
NDVI	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IRVI	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

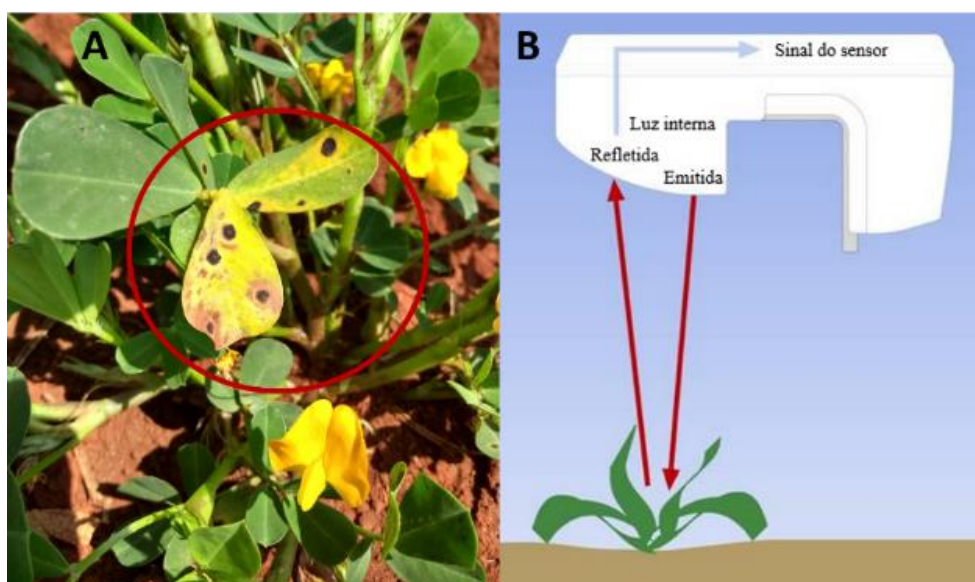
IV: índices de vegetação; NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; IRVI: Inverse Ratio Vegetation; (•) significativo a $p < 0,10$; (**) significativo a $p < 0,01$; (*) significativo a $p < 0,05$; (ns) não significativo a $p > 0,05$.

A biomassa fresca e seca obtiveram valores de correlação considerados moderados (Dancey e Reidy 2006). Os resultados encontrados por Amaral et al., (2015b), confirmaram que a biomassa é o parâmetro que mais influencia nas leituras dos sensores para o cálculo dos índices de vegetação. Quanto maiores os valores do NDVI, maiores as diferenças entre a reflectância do infravermelho com o vermelho, o que indica maior quantidade de clorofila e biomassa seca e, conseqüentemente, maior o potencial produtivo da planta (Rissini et al., 2015).

A correlação das variáveis temperatura e umidade do ar com o NDVI foram significativas aos 30 e 45 DAS. Estudos realizados por Leong e Ong (1983), constataram que o crescimento vegetativo do amendoim está diretamente relacionado com a temperatura, de tal forma que a velocidade e o surgimento das folhas na haste principal aumenta com a temperatura, encontrando a maior temperatura em torno dos 30°C. A exposição da planta do amendoim a altas temperaturas pode ter efeito sobre os estágios de desenvolvimento influenciando na produção.

Vara Prasad et al., (2000) concluíram que altas temperaturas reduziram significativamente a produção total de matéria seca e a produção de vagens. Apesar dos pesquisadores não terem encontrado relação significativa de altas temperaturas do ar com a produção total de flores, foi constatado a redução significativa da produção de estacas de fixação de flores (frutificação), que reduziu o número de frutos. Em relação a umidade observa-se que áreas com maiores valores, as plantas de amendoim estão mais propícias a doenças causadas por fungos, que reduzem a área foliar devido à queda de folhas e interferem nas leituras do sensor, uma vez que o sensor vai captar diferentes valores para folhas saudáveis e folhas lesionadas com as manchas causadas por fungos (Figura 8).

Sensores ópticos permitem o rápido diagnóstico de condições de estresse das plantas (Motomiya et al., 2012), a descoloração das folhas é uma evidência comum desta situação, a reflectância destas folhas irá diferir das folhas saudáveis que são mais pigmentadas. Com o auxílio dos índices de vegetação é possível detectar estas plantas e corrigir os problemas existentes no desenvolvimento da cultura (Fowler, 2018). A necessidade da planta quanto a umidade do solo pode variar de acordo com o estágio do ciclo e com a cultivar, sendo menos exigente no período após emergência até início da formação dos órgãos florais (Nakagawa e Rosolem, 2011).



Fonte: <http://www.odonovanagri.com> e adaptado por Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 8. (A) Planta de amendoim da área experimental aos 45 DAS, com doença causada por fungos e (B) sensor em funcionamento.

Os resultados referentes à análise estatística descritiva dos parâmetros avaliados nos dois preparos de solo estão nas tabelas 4 e 5. Os valores médios do NDVI 30 DAS nos dois preparos de solo estão entre 0,22 e 0,25, considerando que a cultura na área onde foi realizada o estudo, neste período ainda não representava uma boa cobertura vegetal, como podemos observar nos valores de biomassa de ambos os preparos.

Weir e Herring (2012) consideram que estes valores de NDVI atribuem a representatividade de áreas com menor porte vegetativo e mais dessecadas. A vegetação rala e esparsa comum nos primeiros estágios de desenvolvimento do amendoim até seu estabelecimento apresentam valores positivos mais não próximo a 1, situação que segundo Poeking et al., (2007), ocorre a absorção da radiação do infravermelho próximo justificando o baixo valor do NDVI nessas áreas.

Analizando os valores de biomassa nos dois preparos de solo (Tabelas 4 e 5) observou-se que o aumento de biomassa é acompanhado pelo aumento do NDVI em todos os DAS avaliados, exceto aos 110 DAS onde apresentou uma redução. Este comportamento pode ser explicado pela saturação do sinal do sensor, indicada pelo aumento da biomassa que não é acompanhada pelo aumento do NDVI medido, uma vez que o comportamento entre essas variáveis não é linear (Ciganda et al., 2009).

Geralmente, o NDVI atinge a saturação em condições de média à alta quantidade de biomassa e para certos índices de área foliar (Gitelson et al., 2002). Os valores de NDVI aumentaram com o acréscimo de biomassa até o valor da saturação em trabalho realizado por Grohs et al., (2009). Liu (2006) por meio de imagens orbitais, encontrou o valor máximo de saturação do NDVI de 0,84, sendo que neste trabalho o maior valor encontrado foi de 0,86 no preparo convencional aos 95 DAS.

O IRVI tem sido utilizado para a predição da biomassa em áreas com alta intensidade vegetativa, e este índice é menos suscetível a saturação (Hatfield e Prueger, 2010; Li et al., 2010b; Bolfe et al., 2012). Neste trabalho os valores de IRVI nos dois preparos de solos foram inversamente proporcionais ao NDVI. Em relação com a biomassa, quanto maior o valor de IRVI, menores foram os valores de biomassa, os valores de IRVI foram decrescendo durante o desenvolvimento da cultura chegando a valores médios de 0,14 e 0,09 aos 110 DAS.

Tabela 4. Análises estatísticas: coeficiente de variação (CV), desvio padrão e média aritmética simples para NDVI, IRVI, largura e altura da planta, temperatura e umidade, biomassa úmida e seca, aos 30, 45, 80, 95 e 110 dias após a semeadura - DAS (n=30).

Preparo Conservacionista					
Variáveis	30 DAS	45 DAS	80 DAS	95 DAS	110DAS
----- Médias -----					
NDVI	0,25	0,49	0,79	0,80	0,76
IRVI	0,60	0,36	0,11	0,10	0,14
Altura (cm)	15,62	23,02	10,30	26,22	25,01
Largura (cm)	22,84	42,08	29,07	81,52	81,91
Biomassa úmida (kg ha ⁻¹)	888,00	3060	6104	6494	5497
Biomassa Seca (kg ha ⁻¹)	368,80	1232,60	2154	1912	3862
Temperatura (°C)	26,90	26,10	32,11	31,40	31,78
Umidade (%)	61,14	62,78	53,18	58,47	56,59
-----Desvio Padrão -----					
NDVI	0,06	0,13	0,05	0,04	0,05
IRVI	0,07	0,12	0,04	0,03	0,04
Altura (cm)	1,84	2,27	1,52	4,50	2,37
Largura (cm)	2,80	4,73	3,91	10,16	4,29
Biomassa úmida (kg ha ⁻¹)	256,00	863	1232	1837	1053
Biomassa Seca (kg ha ⁻¹)	82,10	504,60	1010	707	746
Temperatura (°C)	0,92	0,36	3,33	1,10	1,48
Umidade (%)	2,79	1,31	3,17	2,41	3,36
-----CV (%) -----					
NDVI	24,66	27,64	6,76	5,34	6,63
IRVI	12,73	33,84	38,42	31,07	28,27
Altura (cm)	11,80	9,88	14,80	17,18	9,50
Largura (cm)	12,26	11,25	13,48	12,46	5,24
Biomassa úmida (kg ha ⁻¹)	28,83	28,21	20,18	28,29	19,15
Biomassa Seca (kg ha ⁻¹)	22,28	40,94	46,89	36,99	19,33
Temperatura (°C)	3,44	1,40	10,39	3,52	4,66
Umidade (%)	4,57	2,09	5,98	4,13	5,94

Tabela 5. Análises estatísticas: coeficiente de variação (CV), desvio padrão e média aritmética simples para NDVI, IRVI, largura e altura da planta, temperatura e umidade, biomassa úmida e seca, aos 30, 45, 80, 95 e 110 dias após a semeadura - DAS (n=30).

Preparo Convencional					
Variáveis	30 DAS	45 DAS	80 DAS	95 DAS	110DAS
----- Médias -----					
NDVI	0,22	0,46	0,83	0,86	0,82
IRVI	0,63	0,38	0,09	0,07	0,09
Altura (cm)	15,74	23,70	17,76	26,39	24,28
Largura (cm)	24,14	44,11	72,78	26,39	80,65
Biomassa úmida (kg ha ⁻¹)	1055,50	3618	6933	7571	6946
Biomassa Seca (kg ha ⁻¹)	367,60	1464	2220	2782	4898
Temperatura (°C)	28,06	31,01	35,38	30,65	29,18
Umidade (%)	59,04	62,68	49,97	62,46	65,50
-----Desvio Padrão -----					
NDVI	0,04	0,07	0,03	0,01	0,02
IRVI	0,05	0,07	0,02	0,01	0,01
Altura (cm)	0,90	1,67	1,26	1,87	2,05
Largura (cm)	1,96	2,95	3,62	1,87	3,36
Biomassa úmida (kg ha ⁻¹)	217,40	642	1682	2038	1490
Biomassa Seca (kg ha ⁻¹)	55,10	618	875	911	1084
Temperatura (°C)	158	0,38	1,67	0,66	1,17
Umidade (%)	3,53	1,17	3,98	2,24	2,50
-----CV (%) -----					
NDVI	17,86	16,54	4,29	1,93	1,93
IRVI	8,76	19,70	30,43	14,61	14,33
Altura (cm)	5,73	7,05	7,12	7,11	8,45
Largura (cm)	8,15	6,70	4,98	7,11	4,18
Biomassa úmida (kg ha ⁻¹)	20,59	17,75	24,26	26,91	21,44
Biomassa Seca (kg ha ⁻¹)	14,98	42,25	39,42	32,74	22,14
Temperatura (°C)	5,64	1,25	4,74	2,17	4,03
Umidade (%)	5,98	1,87	7,97	3,60	3,82

De acordo com Coelho et al., (2018), como o IRVI é a razão entre a reflectância vermelha e reflectância de infravermelho, os valores diminuem com o aumento da biomassa, porque quanto maior o valor da biomassa, menor será a reflectância da banda vermelha (650 nm) e maior a reflectância da banda de infravermelho (770 nm).

Observando o coeficiente de variação (CV) do NDVI em todos os períodos e nos dois preparos de solo tem-se variação de 1,93 a 27,64, que segundo Pimentel Gomes e Garcia (2002), valores de coeficiente de variação até 30% são bons indicativos da coleta de dados em trabalhos de campo. Os valores do IRVI nos dois preparos de solo tiveram variação de 8,76 a 38,42, sendo os maiores valores encontrados 33,84 e 38,42 aos 45 DAS e 80 DAS, respectivamente, no preparo conservacionista.

De acordo com a classificação de Pimentel Gomes e Garcia (2002), são considerados CV baixos, valores menores ou iguais a 10% e moderados CV entre 10 e 20%. Valores elevados de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados (Frogbrook et al., 2002).

Aspectos da fenologia, que envolvem fases de crescimento e desenvolvimento da planta de amendoim (Tabela 6), são particularmente definidos, mas podem variar, dependendo do local e das condições climáticas, onde são cultivadas (Santos et al., 1997b).

Tabela 6. Descrição dos estádios fenológicos das plantas de amendoim

Estádios (Boote, 1982)	Denominação	Descrição
V _E	Emergência	6 DAS *
R ₁	Florescimento	29 DAS
R ₄	Formação da vagem (frutificação)	47 DAS
R ₅	Final da floração	74 DAS
R ₈	Maturação completa da vagem	99 DAS

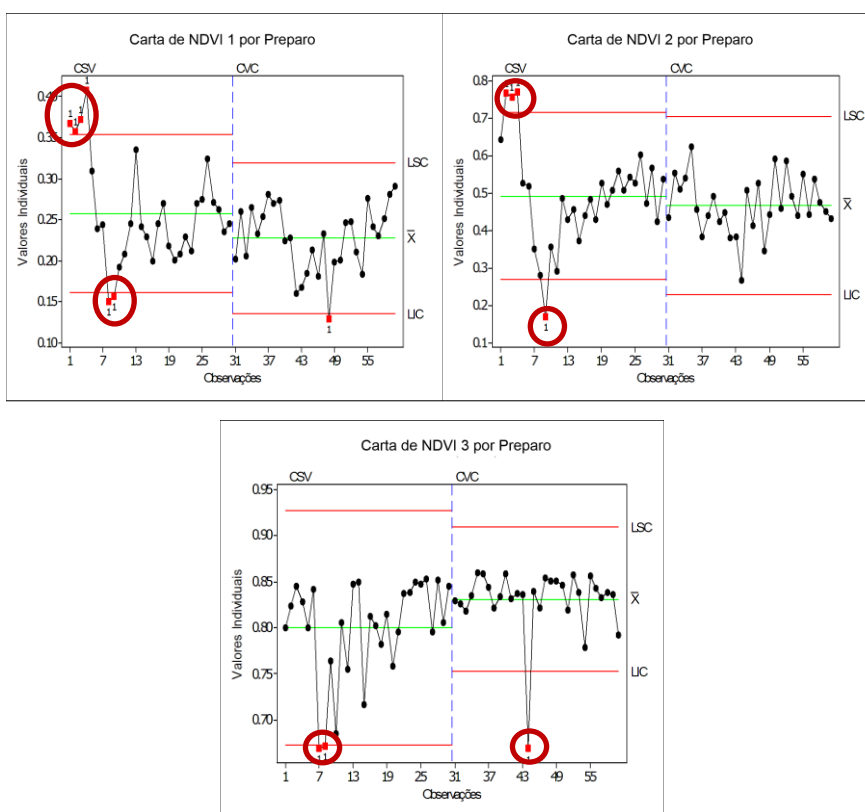
Fonte: Santos et al. (1997b), adaptado por Peixoto et al. (2008). Boote (1982).

(*) O número de dias após a semeadura (DAS) pode variar de acordo com as condições climáticas. Estádio Vegetativo (V), Estádio Reprodutivo (R).

Avaliando a variabilidade temporal do desenvolvimento do amendoim observa-se a partir dos 30 DAS, as plantas de amendoim estão passando da fase de início do aparecimento do ginóforo avançando para fase de formação da vagem. Neste período reprodutivo a planta demanda maior potencial fisiológico, apresentando elevada

exigência nutricional, uma vez que esta desenvolve simultaneamente, estruturas vegetativas e reprodutivas (Nogueira e Távora, 2005). Aos 80 DAS em ambos preparos (tabelas 4 e 5), observamos que as altas temperaturas registradas neste período, afetaram o desenvolvimento das plantas, evidenciados pela redução dos valores de altura e largura. Liu (2006), afirma que quanto maior o valor do NDVI, maior vigor de crescimento da cultura e quanto menor for o índice NDVI, mais problemas poderão ocorrer no estabelecimento da cultura.

No monitoramento dos índices de vegetação por meio das cartas de controle, observa-se que em ambos preparos de solo o NDVI 1, 2 e 3 (Figura 9), apresentaram maior variabilidade na distribuição dos valores, devido as maiores amplitudes e ao menor número de pontos próximos à média.



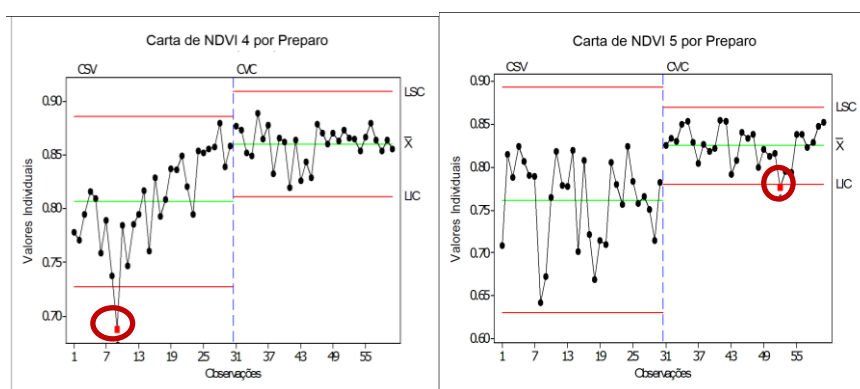
CSV: preparo conservacionista; CVC: Preparo convencional; NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; LIC: Limite inferior de controle; X: Média; DAS: Dias após semeadura; NDVI 1 (30 DAS), NDVI 2 (45 DAS); NDVI 3 (80 DAS); NDVI 4 (95 DAS); NDVI 5 110 DAS).

Figura 9. Cartas de controle de valores individuais para NDVI aos 30 DAS (Florescimento), 45 DAS (Formação da vagem), 80 DAS (Final da Floração), nos preparos de solo conservacionista (CSV) e convencional (CVC).

As causas especiais são corrigidas por ação local e, por isso são de responsabilidade dos operadores e produtores responsáveis pelo manejo da cultura

durante o seu ciclo (Ribeiro e Ten Carten, 2012). As causas especiais devem ser identificadas e neutralizadas, por alterarem as características da qualidade final do produto. Na carta de controle para NDVI 3 (Figura 9), o preparo convencional apresenta qualidade no processo satisfatória, devido ao aumento do número de pontos próximos a média e a menor amplitude dos pontos.

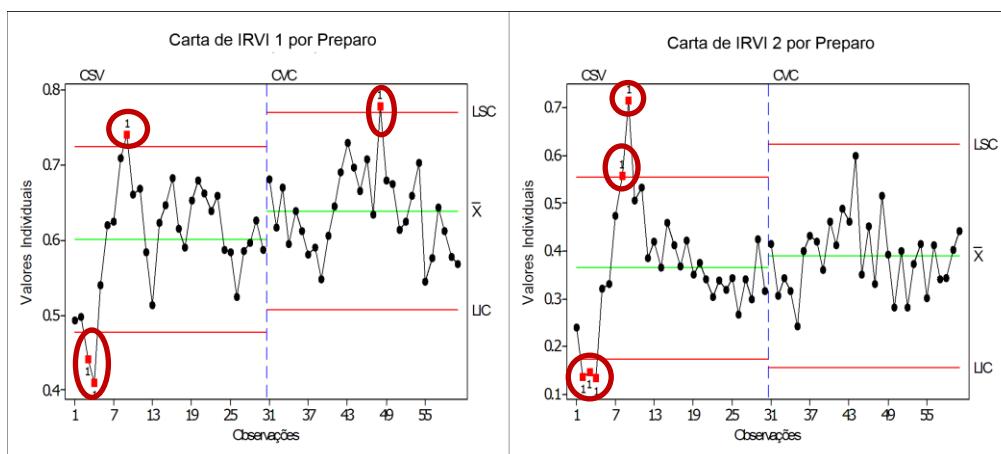
Durante os estádios seguintes (Cartas de controle de NDVI 4 e NDVI 5), o preparo convencional (Figura 10), continua apresentando melhor qualidade no processo, diminuindo ainda mais a sua variabilidade na distribuição dos pontos, quando comparado ao preparo conservacionista, isso também pode ser observado nas tabelas 4 e 5, pelos menores valores dos coeficientes de variação e desvio padrão.



CSV: preparo conservacionista; CVC: Preparo convencional; NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; LIC: Limite inferior de controle; X: Média; DAS: Dias após semeadura; NDVI 1 (30 DAS), NDVI 2 (45 DAS); NDVI 3 (80 DAS); NDVI 4 (95 DAS); NDVI 5 110 DAS).

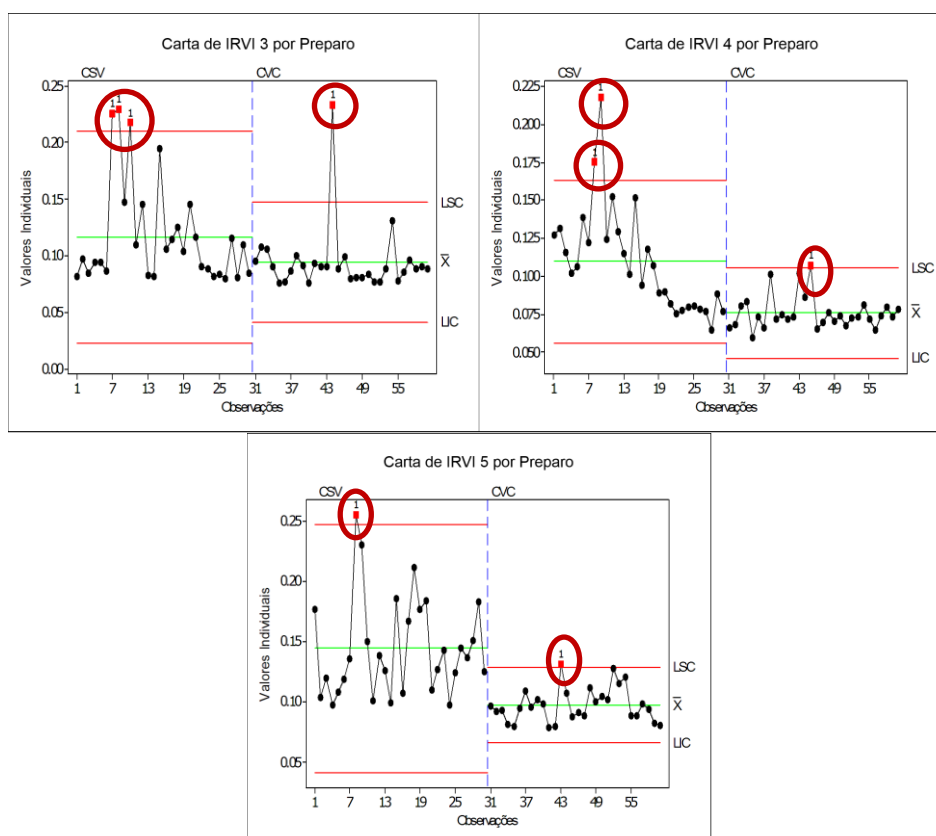
Figura 10. Cartas de controle de valores individuais para NDVI aos 95 DAS (Maturação da vagem) e 110 DAS (Maturação completa da vagem), nos preparos de solo conservacionista (CSV) e convencional (CVC).

As cartas de controle para o índice IRVI apresentam distribuição dos pontos semelhantes as cartas de NDVI: altas amplitudes e a presença de *outliers* (Figura 11). Nas cartas de IRVI 3,4 e 5 (Figura 12), os pontos próximos a média indicam a menor variabilidade e consequentemente melhor qualidade no processo do índice nestes períodos de coleta. Mas ao contrário do NDVI, o índice IRVI não apresenta saturação, sendo observado nas médias que seguem uma ordem decrescente de valores. De acordo com Kulig et al., (2014), o IRVI é mais preciso que o NDVI para a estimativa de área foliar.



CSV: preparo conservacionista; CVC: Preparo convencional; LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle; $\bar{X}$: Média; IRVI: Inverse ratio vegetation index; DAS: Dias após semeadura; IRVI 1 (30 DAS), IRVI 2 (45 DAS); IRVI 3 (80 DAS); IRVI 4 (95 DAS); IRVI 5 110 DAS).

Figura 11. Cartas de controle de valores individuais para IRVI aos 30 DAS (Florescimento), 45 DAS (Formação da vagem), nos preparos de solo conservacionista (CSV) e convencional (CVC).



CSV: preparo conservacionista; CVC: Preparo convencional; LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle; $\bar{X}$: Média; IRVI: Inverse ratio vegetation index; DAS: Dias após semeadura; IRVI 1 (30 DAS), IRVI 2 (45 DAS); IRVI 3 (80 DAS); IRVI 4 (95 DAS); IRVI 5 110 DAS).

Figura 12. Cartas de controle de valores individuais para IRVI aos 80 DAS (Final da Floração), 95 DAS (Maturação da vagem) e 110 DAS (Maturação completa da vagem), nos preparos de solo conservacionista (CSV) e convencional (CVC).

O IRVI ainda não é um índice muito estudado em pesquisas, mas ele é eficaz na avaliação das culturas no momento em que as leituras do NDVI realizadas pelo sensor saturam. Myneni et al. (2002), analisando o NDVI para diferentes dosséis verificaram que a saturação não permite a diferenciação das zonas que caracterizem a variação do dossel e que podem ser correlacionadas com a produtividade.

Conclusões

Os índices de vegetação NDVI e IRVI apresentaram correlações mais expressivas com as variáveis agronômicas aos 30 e 45 DAS.

As variáveis largura e altura da planta e biomassa apresentaram os melhores valores de correlação aos 30 e 45 DAS.

A saturação do NDVI foi observada aos 95 DAS.

As cartas de controle estatístico foram ferramentas eficazes para o monitoramento dos índices de vegetação durante o desenvolvimento da cultura do amendoim.

REFERÊNCIAS

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2014) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22:711-728.

Amado TJC, Pontelli CB, Santi AL, Viana JHM, Sulzbach LAS (2007) Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 42:1101-1110.

Amaral LR, Molin JP, Portz G, Finazzi FB, Cortinove L (2015a) Comparison of crop canopy reflectance sensors used to identify sugarcane biomass and nitrogen status. **Precision Agriculture** 16:15–28.

Amaral LR, Molin JP, Schepers JS (2015b) Algorithm for variable-rate nitrogen application in sugarcane based on active crop canopy sensor. **Agronomy Journal** 107:1513-1523.

Barbosa KMN (2006) **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado, 131 p.

Bolfe EL, Batistella M, Ferreira MC (2012) Correlação de variáveis espectrais e estoque de carbono da biomassa aérea de sistemas agroflorestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 47(9), 1261-1269.

Boote KJ (1982) Growth stages of peanut (*Arachis hypogaea* L.). Raleigh. **Peanut Science** 9:35-40.

Ciganda V, Gitelson A, Schepers J (2009) Non-destructive determination of maize leaf and canopy chlorophyll content. **Journal of Plant Physiology** 166:157–161.

Coelho AP, Rosalen DL, Faria RT (2018) Vegetation indices in the prediction of biomass and grain yield of white oat under irrigation levels. Goiânia. **Pesquisa Agropecuária Tropical** (48)2:109-117

Cortinove L (2013) **Comparação de índices de vegetação obtidos por sensor de refletância de dossel em milho sob diferentes doses de nitrogênio**. Trabalho de conclusão de curso, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

Dancey C, Reidy J (2006) Estatística sem matemática para psicologia: Usando SPSS para windows, 3rd ed.; Artmed: Porto Alegre, 608p.

Deering DW, Rouse JW, Haas RH, Schell JA (1975) Measuring "forage production" of grazing units from Landsat MSS data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTING SENSING OF ENVIRONMENT, IO, Ann Arbor, **Proceedings...**Ann Arbor, MI: ERIM, 2:1169-1178.

Deghaid J, Rosalen DI, Zerbato C, Furlani CEA (2014) Correlação entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e características agronômicas da cultura do Amendoim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 43,

Campo Grande. Estratégias para a redução do custo Brasil no agronegócio. Jaboticabal: SBEA, 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos, 3rd ed. Rev. ampl.; Brasília: EMBRAPA, 353p.

Fowler, J (2018) NDVI: conheça tudo sobre a tecnologia que vem ajudando os agricultores. Tecnologia no campo. Disponível em: <<https://tecnologianocampo.com.br/ndvi/>>. Acesso em: jul. 2019.

Frogbrook ZL et al (2002) Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. **Soil Use And Management, Oxon**, (18)1:1-9.

Gabriel Filho, A, Pessoa ACS, Strohhaecker L, Helmich JJ (2000) Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura da mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia. **Ciência Rural** 30:953-957.

Gassi RP, Heredia Zárate NA, Vieira MC, Gomes HE, Minarin EEO, Rech J (2009) Espaçamentos entre plantas e número de fileiras no canteiro na produção da ervilha. **Horticultura Brasileira**. (27)4:549-552.

GeoAgri - Tecnologia agrícola (2012) Greenseeker manual para mapeamento. Disponível em: <<http://www.lojageoagri.com.br/greenseeker-manual-para-mapeamento/>>. Acesso em: 27 julh. 2019.

Girma K, Martin KL, Anderson RH, Arnall DB, Brixey KD, Casillas MA, Chung B, Dobey BC, Kamenidou SK, Kariuki SK, Katsalirou EE, Morris JC, Moss JQ, Rohla CT, Sudbury BJ, Tubana BS, Raun WR (2006) Midseason prediction of wheat-grain yield potential using plant, soil, and sensor measurements. New York. **Journal Of Plant Nutrition** (29)5:873-897.

Gitelson AA, Kaufman YJ, Stark R, Rundquist D (2002) Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. **Remote Sensing of Environment** 80:76-87.

Grohs Ds, Bredemeier C, Mundstock CM, Poletto N (2009) Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor Greenseeker. **Engenharia Agrícola** 29:101-112.

Hatfield JL, Prueger JH (2010). Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices. **Remote Sensing** (2)2:562-578.

Kapp Junior C, Guimarães AM, Caires EF (2016) Use of active canopy sensors to discriminate wheat response to nitrogen fertilization under no-tillage. **Engenharia Agrícola** 36:886-894.

Kulig, B, Głąb T, Oleksy A, Klimek-Kopyra A, Kołodziejczyk M, Zajac T (2014) Effect of the method of plant protection on the yield, root development and formation of vegetation indices of faba bean canopy. Bulgarian **Journal of Agricultural Science** (20) 2: 381-390.

Leong SK, Ong CK (1983) The influence of temperature and soil water deficit on the development and morphology of groundnut. Oxford. **Journal of Experimental Botany** (34)148:1551-1561.

Li, F., Miao, Y., Henning, S. D., Gnyp, M. L., Chen, X., JIA, L. et al. (2010b). Evaluating hyperspectral vegetation indices for estimating nitrogen concentration of winter wheat at different growth stages. **Precision Agriculture** 11(4):335-357. doi:10.1007/s11119-010-9165-6.

Liu WTH (2006) Aplicações de sensoriamento remoto. 2nd ed.; UNIDERP: Campo Grande, 908p.

Milani L, Souza EG, Uribe-Opazo MA, Gabriel Filho A, Johann JA, Pereira JO (2006) Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy** 28:591-598.

Myneni RB, Knyazikhin Y, Privette JL, Glassy J, Tian Y, Wang Y, Song X, Zhang Y, Smith GR, Lotsch A, Fried M, Morisette JT, Votava P, Nemani RR, Running SW (2002) Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. New York. **Remote Sensing of Environment** (28)2:214-231.

Molin JP (2002) Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola** 22:83-92.

Montanari R, Souza GSA, Pereira GT, Marques Junior J, Siqueira DS, Siqueira GM (2012) The Use Of Scaled Semivariograms To Plan Soil Sampling In Sugarcane Fields. **Precision Agriculture** 13:542-552.

Montgomery DC (2009) Introduction to Statistical Quality Control, 6th ed.; Arizona State University: John Wiley & Sons, Inc., 754p.

Motomiya AVA, Molin JP, Motomiya WR, Baio FHR (2012) Mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada em lavoura de algodão. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 42:112-118.

Motomiya AVA, Valente IMQ, Molin JP, Motomiya WR, Biscaro GA, Jordan RA (2014) Índice de vegetação no algodoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e regulador de crescimento. **Semina: Ciências Agrárias** 35:169-178.

Nakagawa J, Rosolem C (2011) O amendoim: tecnologia de produção. Botucatu: FEPAF. 325 p.

Nogueira RJMC, Távora FJAF (2005) Ecofisiologia Do Amendoim (*Arachis Hypogaea* L.). In: Santos, R. C. O Agronegócio Do Amendoim No Brasil. Campina Grande: Embrapa – Cnpa, 451 p.

Pimentel-Gomes FP, Garcia CH (2002) Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ. 309 p.

Poelking EI, Lauermann A, Dalmolin, R (2007) Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4145-4150.

Ponzoni FJ (2001) Comportamento Espectral Da Vegetação. In: Meneses, P. R., Netto, J. S. M. (Org) **Sensoriamento Remoto, Reflectância Dos Alvos Naturais**. Brasília – Df: Editora Universidade De Brasília - Unb, Embrapa Cerrados, P 157-199.

Ribeiro JLR e Ten Caten CS (2012) Controle Estatístico do Processo (Série Monográfica Qualidade) Porto Alegre: FEENG/UFRGS 172p.

Rissini, ALL, Kawakami J, Genú AM (2015) Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. Viçosa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (39)6.

Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW, Harlan JC (1973) **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation**. Greenbelt: National Aerospace Spatial Administration, 371p. MD, NASA/GSFC Type III, Final Report. Disponível em:<
<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19730017588.pdf>.> Acesso em 12 fev, 2019.

Santos RC, Melo Filho PA, Brito SF, Moraes JS (1997b) Fenologia de genótipos de amendoim dos tipos botânicos Valência e Virgínia. Brasília. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** (32)6:607- 612.

Scarpin LJ, Mundo Neto M, Malagolli GA (2013) O Sistema De Rotação Entre Amendoim E Cana-De-Açúcar Em Áreas Controladas Por Industrias. Taquaritinga. **Revista Interface Tecnológica** (1)1:95-103.

Toledo A, Tabile RA, Silva RP, Furlani CEA, Magalhães SC, Costa BO (2008) Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. **Engenharia Agrícola** 28:710-719.

Trimble - Transforming the way the world works (2016) Nomad 900 series Handheld Computer. Disponível em: <<http://www.trimble.com/Mobile-Computing/Nomad-Product-Page.aspx>>. Acesso em: 1 out. 2017.

TRIMBLE. Greenseeker® 505 Handheld Sensor User Guide (2010) **Trimble Navigation Limited**. Trimble Agriculture. 10355 Westmoor Drive. Suite #100. Westminster, CO 80021, USA. May, 2010. Disponível em:<
Http://Avidorhightech.Com/Wp-Content/Files/Manuel_Utilisateur_Greenseeker_Handheld.Pdf.> Acesso em: 14 fev, 2019.

Vara Prasad P, Craufurd P, Summerfield R (2000) **Plant e Soil** 222: 231.

Weir J, Hering D, (2012) Measuring vegetation (NDVI & EVI). NASA Earth Observatory.

Xavier, A.C.; Vettorazzi, C.A. 2004 Monitoring leaf area index at watershed level through NDVI from LANDSAT-7/ETM+data. **Scientia Agricola** 61:243-252.

CAPÍTULO 3 – Variabilidade espacial de atributos do solo e sua correlação com o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na cultura do amendoim

RESUMO – A agricultura de precisão dispõe de tecnologias que auxiliam a produção agrícola. O uso de ferramentas como os índices de vegetação e a variabilidade espacial dos atributos nos permitem monitorar o desenvolvimento das culturas. Objetivou-se analisar a variabilidade espacial dos teores de areia e argila, resistência mecânica do solo a penetração (RMSP) e correlacioná-los com o índice de vegetação (NDVI). O experimento foi realizado na safra 2017/2018 em área agrícola do município de Jaboticabal, estado de São Paulo, Brasil, localizada próximo as coordenadas geográficas 21°14'S e 48°16'O, com altitude média de 615 m. Foram realizados dois preparos de solo, o conservacionista e o convencional. As avaliações ocorreram aos 110 dias após a semeadura (DAS) por meio de coletas a campo e sensoriamento proximal utilizando sensor GreenSeeker. A partir de uma malha georreferenciada, foram estudados os atributos do solo (areia, argila, RMSP na linha e entrelinha de plantio) e parâmetros relacionados com a colheita do amendoim como perdas totais e produtividade. O NDVI foi coletado nos mesmos locais do mapeamento, possibilitando a avaliação da correlação espacial entre ele e os demais parâmetros estudados. Realizou-se análise estatística descritiva, correlação de Pearson e geração de mapas de variabilidade espacial por meio dos softwares GS+ e Surfer. O NDVI apresentou correlação com a produtividade, perdas totais, areia e resistência mecânica do solo à penetração na linha de semeadura somente no preparo conservacionista. A dependência espacial foi forte na maioria das variáveis estudadas, apenas resistência mecânica do solo a penetração na linha de semeadura do preparo conservacionista, NDVI do preparo convencional e areia de ambos preparos não apresentaram dependência espacial. Os maiores alcances das variáveis perdas totais do amendoim e argila foram observados nos mapas temáticos, apresentando zonas de maior continuidade espacial e menor variabilidade.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, *Arachis hypogaea* L., geoestatística

Spatial variability of soil attributes and their correlation with normalized difference vegetation index (NDVI) in peanut crop

ABSTRACT - Precision agriculture has technologies that help agricultural production. The use of tools such as vegetation indices and spatial variability of attributes allow us to monitor crop development. The objective was to analyze the spatial variability of sand and clay contents, soil mechanical resistance to penetration (RMSP) and correlate them with the vegetation index (NDVI). The experiment was carried out in the 2017/2018 crop in an agricultural area of Jaboticabal, São Paulo State, Brazil, located near the geographic coordinates 21°14'S and 48°16'O, with an average altitude of 615 m. Two soil tillage were done, the conservationist and the conventional one. Evaluations occurred at 110 days after sowing (DAS) by field collections and proximal sensing using GreenSeeker sensor. From a georeferenced mesh, soil attributes (sand, clay, RMSP in row and row) were studied and parameters related to peanut harvest as total losses and yield. The NDVI was collected at the same locations of the mapping, allowing the evaluation of the spatial correlation between it and the other studied parameters. Descriptive statistical analysis, Pearson correlation and spatial variability maps were generated using GS + and Surfer software. NDVI was correlated with yield, total losses, sand and mechanical resistance of the soil to seeding line penetration only in conservation tillage. Spatial dependence was strong in most of the studied variables, only mechanical resistance of the soil to the penetration of the conservation tillage seeding line, NDVI of conventional tillage and sand of both tillage showed no spatial dependence. The highest ranges of the total losses of peanut and clay were observed in the thematic maps, showing zones of greater spatial continuity and less variability.

Keywords: *Arachis hypogaea* L., Precision Agriculture, geostatistics

Introdução

No Brasil as exportações de amendoim em grãos e óleo vem crescendo desde 2013, comparando o ano de 2018 com 2017, o crescimento foi de 43% na quantidade exportada (Martins, 2018). De acordo com o Instituto de Economia Agrícola (IEA),

cerca de 6% das exportações mundiais de amendoim são do Brasil. A safra 2017/2018 representou uma produção total de amendoim de 511,5 mil toneladas, um aumento de 9,7% comparado à safra 2016/2017, que apresentou produção de 466,2 mil toneladas. O Estado de São Paulo possui aproximadamente 95% da produção nacional, apresentando um total de 484,2 mil toneladas (Conab, 2018).

Na cultura do amendoim o preparo convencional ainda é predominante na maioria das áreas produtoras, porém devido à importância da manutenção e melhoria dos atributos físicos do solo, vários estudos têm sido realizados na utilização de práticas conservacionistas de manejo de solo. A agricultura de precisão (AP) dispõe de técnicas para a análise de parâmetros que interferem no desenvolvimento das culturas, auxiliando na escolha de alternativas que reduzam o efeito variabilidade sobre a produção. A análise dos atributos de solo por meio da geoestatística, pode indicar alternativas de manejo para a redução dos efeitos da variabilidade destes atributos na produção das culturas (Trangmar et al., 1985).

As geotecnologias empregadas pela AP, como o sensoriamento remoto são capazes por meio de comprimentos de onda específicos, calcular índices de vegetação para estimar componentes da produção agrícola (Zerbato et al., 2016). O índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI), é o principal índice utilizado para a avaliação de parâmetros agrônômicos, ele foi proposto por Rouse et al., (1973), baseado na diferença entre os comprimentos de onda da faixa do infravermelho próximo e do vermelho divididos pela sua soma (Zerbato et al., 2016).

A utilização de sensores para propriedades do solo ou parâmetros biofísicos vegetais têm encontrado cada vez mais aplicações nos sistemas de produção agropecuários (Bernardi et al., 2014a, 2014b; Bernardi e Perez, 2014). O conhecimento dos padrões dos atributos de solo e da planta permite a criação de zonas de manejo, que consiste na divisão de áreas em subáreas homogêneas para definir as estratégias de condução das atividades agrícolas na área, visando diminuir a variabilidade e otimizar a produção.

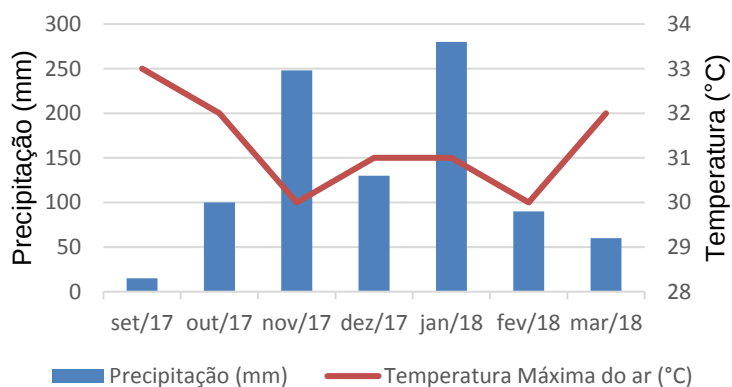
Partindo da hipótese que a variação da resposta espectral da cultura (indicador fisiológico) é em função da variação de fatores de produção e da própria planta, objetivou-se analisar a variabilidade espacial dos atributos do solo e de parâmetros de colheita e correlaciona-los com o índice de vegetação NDVI.

Material e métodos

Descrição da área experimental

O experimento foi realizado na safra 2017/2018, em área agrícola do município de Jaboticabal, estado São Paulo, Brasil, localizada próximo as coordenadas geográficas 21°14'S e 48°16'O, com altitude média de 615 m. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, A moderado, textura argilosa e relevo suave ondulado (EMBRAPA, 2013).

O clima da região é do tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen (1923), definido como tropical com estação chuvosa no verão e inverno seco. O período de chuvas é compreendido entre meses de outubro a março, apresentando média anual de temperatura e precipitação de 22°C e 1.424,6 mm, respectivamente (Alvares et al., 2014). Na figura 1 estão representados os dados de precipitação e temperatura da área experimental no período de condução do experimento.



Fonte: Estação agroclimatológica – FCAV/Unesp-Jaboticabal. Adaptado por Estevam, F.N.L., (2019).

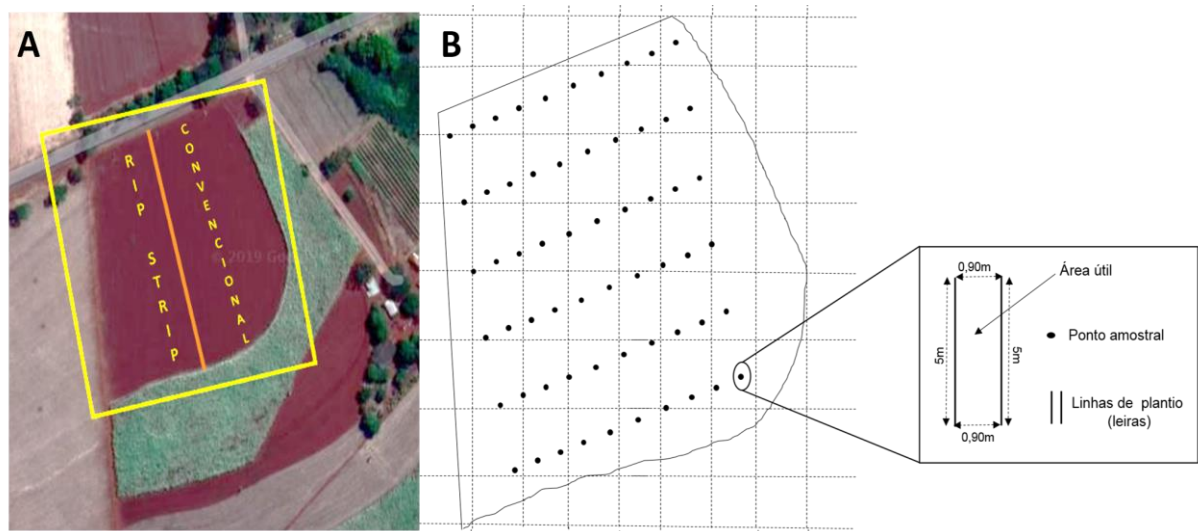
Figura 1. Temperatura máxima e precipitação do município de Jaboticabal- SP, no período de condução do experimento.

Delineamento experimental

A área utilizada para o plantio do amendoim compreendeu aproximadamente 4 ha (Figura 2), anteriormente utilizada em ciclos intercalados de milho safrinha e

amendoim. Antes do preparo de solo para instalação da cultura do amendoim, a área experimental apresentava restos culturais, principalmente a palhada remanescente da cultura do milho. Foram realizados dois preparos de solo, o convencional composto por aração e gradagens e o preparo conservacionista utilizando o implemento Rip Strip.

Pontos amostrais foram demarcados nas duas áreas de preparo de solo, onde entre um ponto e outro se manteve um espaçamento de 15 metros (grid de 15 m x 15 m). A área útil (Figura 2) para análise das variáveis durante o desenvolvimento do cultivar compreendeu duas linhas com 5 metros de comprimento com 0,90 metros de espaçamento entre linhas. Em cada área de preparo de solo foram georreferenciados 30 pontos, representando no total 60 pontos amostrais.



Fonte: Google Maps. Adaptado por Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 2. (A) Localização da área experimental no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil; (B) croqui da distribuição dos pontos na área experimental.

Operações agrícolas

Foram realizados dois preparos de solo, o convencional com uma operação de escarificação e duas gradagens e o preparo conservacionista utilizando o implemento Rip Strip. Na operação de escarificação, com intuito de romper camadas compactadas, utilizou-se um escarificador composto por três hastes, com

profundidade de trabalho de 30 cm, acoplado a um trator o Valtra Valmet 1780 com potência de 122,828 kW (167 cv). Para quebrar os torrões maiores deixados pela escarificação, utilizou-se uma grade pesada, composta por 10 discos de 30 polegadas cada e espaçamento entre discos de 46 centímetros, acoplada a um trator Valtra Valmet 1780 com potência de 122,828 kW (167 cv). Em seguida, para o nivelamento da área trabalhada, utilizou-se uma grade média composta de 40 discos de 24 polegadas cada, com espaçamento entre discos de 19,3 centímetros, acoplada a um trator Valtra Valmet turbo 985 com potência de 80,9049 kW (110 cv).

O preparo mínimo foi realizado utilizando o equipamento Rip Strip de 4 linhas de preparo, sendo cada linha composta por disco de corte, disco abridor da palha, haste subsoladora, discos destorreadores (disco recortado e disco ondulado) e rolo nivelador, acoplado a um trator Valtra Valmet 1780, com potência de 122,828 kW (167 cv). A massa do equipamento é de 2850kg e a profundidade de trabalho varia entre 25 a 30 cm. O solo foi preparado somente na linha de plantio.

Na operação de semeadura do amendoim utilizou-se uma semeadora modelo PHT A3 Suprema, da marca TATU (plantio direto) com marcadores de linhas, acoplada a um trator Valtra Valmet turbo 985 com potência de 80,9049 kW (110 cv). O espaçamento entre linhas foi de 0,90 m e a densidade de semeadura de 22 sementes por metro.

A semente utilizada foi da cultivar IAC OL3, safra 2016/2017 com padrão mínimo de 98% para pureza e 70% para germinação. Pertencente ao grupo vegetativo Runner, com ciclo de 125 – 130 dias, produtividade máxima de 7000 kg ha⁻¹, alto padrão oleico (70 a 80% de ácido oleico – maior “vida de prateleira” do produto), grãos aptos para o mercado de confeitaria (IAC, 2018).

Índice de Vegetação – NDVI

Para a obtenção dos Índices de Vegetação NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Motomiya et al., 2014; Amaral et al., 2015a), utilizou-se um sensor óptico ativo GreenSeeker® Model 500, da marca Trimble® (Figura 3), com coletor de dados modelo Nomad (Figura 3D), um computador portátil que coleta e

armazena os dados captados pelo sensor, integrado ao software Farm Works Mobile (GeoAgri, 2012; Trimble, 2016). Dados de temperatura e umidade também foram coletados por meio de um aparelho medidor de temperatura e de umidade do ar, modelo HT-350 da marca Instrutherm (Figura 3).



Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 3. Sensor GreenSeeker®. (A) Visão geral, (B) sensor, (C) detalhe das lentes, (D) Nomad, (E) Medidor de temperatura e umidade da marca Instrutherm, modelo HT-350.

As leituras foram realizadas aos 110 DAS (Maturação completa da vagem), posicionando o equipamento sobre a planta de amendoim a uma distância de 0,8 a 1,0 m entre o sensor e o alvo (Trimble, 2010). O NDVI foi calculado a partir da equação 1, proposta por Rouse et al., (1973) e Deering et al., (1975).

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (1)$$

Em que:

NIR: Valor de reflectância na faixa do infravermelho próximo

RED: Valor de reflectância na faixa do vermelho

Atributos do solo

Amostras de solo foram coletadas nos pontos amostrais nas áreas com preparo convencional e com preparo conservacionista, para a avaliação dos atributos físicos do solo. Os parâmetros estudados foram teor de areia, teor de argila, resistência mecânica do solo a penetração (RMSP) na linha e na entrelinha de semeadura.

Coleta e preparo das amostras deformadas de solo

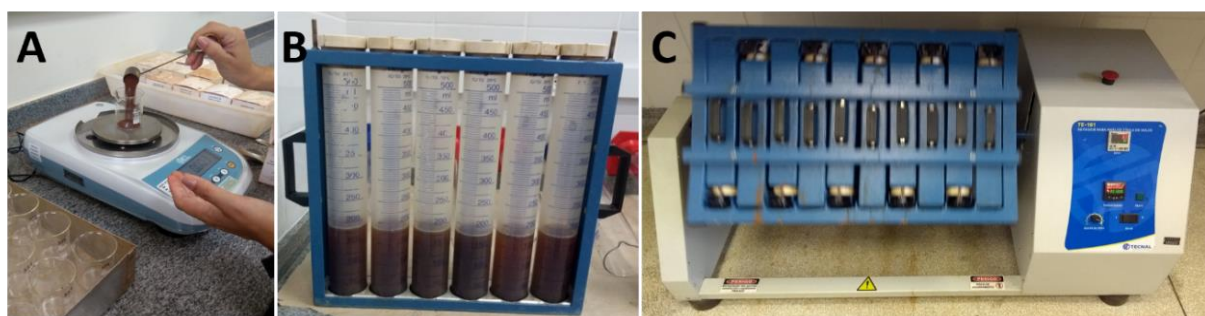
Utilizando um enxadão, amostras com torrões bem desuniformes foram coletadas e acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e levadas com cuidado para o laboratório. Após a retirada das amostras, o solo foi seco à sombra e em seguida passaram pelo processo de peneiramento. Utilizou-se um conjunto de peneiras para cada tipo de amostra, agregado graúdo (AG), agregado miúdo (AM) e terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras obtidas (peneiramento de 6 e 4 mm) corresponderam as amostras de agregados graúdos (AG – agregados de 4:6), as amostras obtidas do peneiramento de 2 e 1 mm, corresponderam as amostras de agregados miúdos (AG – agregados de 2:1) e as amostras de terra fina seca ao ar (TFSA), foram obtidas do peneiramento utilizando peneira de 2 mm. Com as amostras de terra fina seca ao ar, o solo seco ao ar foi passado em peneira com abertura de malha de 2 mm e foi submetido às análises de granulometria do solo (Claessen et al., 1997). Todas as amostras foram acondicionadas em embalagens plásticas, identificadas e levadas para laboratório para a realização das análises de solo).

Análise Textural do Solo

Inicialmente foram identificados e pesados todos os béqueres que seriam utilizados para a quantificação da areia, argila e umidade. Utilizando uma balança de precisão modelo M1203 – classe II, marca Bel Engineering, foram pesados 10 gramas de solo da amostra TFSA, em béqueres correspondentes para a quantificação da areia e da umidade do solo. As amostras de umidade foram colocadas em estufa

durante 24 horas a uma temperatura de 105°C, após este período são novamente pesadas para obtenção da massa seca.

As amostras para quantificação da areia foram transferidas para provetas de 500 mL, onde adicionou-se 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH) e água deionizada (adicionado um pouco mais de 1/3 do volume da proveta de 500 mL, valor entre 175 a 200 mL). A proveta foi vedada e colocada em um agitador para análise física de solos, modelo TE – 161, marca Tecnal, durante 16 horas, a uma velocidade constante de 60 rpm (Figura 4) (EMBRAPA, 2017).



Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 4. (A) Pesagem das amostras, (B) amostras + hidróxido de sódio (NaOH) e água deionizada, (C) amostras no agitador para análise física de solos.

Após o período de 16 horas, retirou-se as provetas do agitador para o processo de lavagem das amostras (Figura 5).



Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 5. Etapas da análise de textura do solo. (A e B) Lavagem da amostra, (C) separação da fração de areia da amostra, (D) conteúdo remanescente da separação da fração areia, (E) pipetagem da fração de argila.

Para a separação da areia utilizou-se uma peneira de 0,053 mm, um funil e outra proveta de 1.000 mL, que armazenou o restante do conteúdo para a próxima etapa, a separação da argila. A amostra foi lavada utilizando uma pisseta com água deionizada, até atingir o volume da proveta de 1.000 mL e o que restou na peneira foi transferido para um béquer identificado, e colocado em estufa durante 24 horas a uma temperatura de 105°C (Figura 5).

A próxima etapa consistiu na separação da amostra de argila. O conteúdo das provetas de 1.000 mL foi agitado 15 vezes, com um bastão, tendo este, na sua extremidade inferior uma tampa de ferro contendo vários furos e de diâmetro um pouco menor do que a proveta (Figura 5). Após a primeira agitação, utilizando um termômetro na suspensão de solo em três amostras, foi mensurada a temperatura e calculado o tempo de sedimentação da argila (de acordo com a tabela 2, metodologia da EMBRAPA, 2013), em seguida foi realizada a segunda agitação e cronometrado o tempo de sedimentação.

Tabela 2. Período de sedimentação das argilas em função da temperatura.

Temperatura (°C)	Tempo	Temperatura (°C)	Tempo
10	5h 11'	23	3h 43'
11	5h 03'	24	3h 38'
12	4h 55'	25	3h 33'
13	4h 47'	26	3h 28'
14	4h 39'	27	3h 24'
15	4h 33'	28	3h 19'
16	4h 26'	29	3h 15'
17	4h 20'	30	3h 10'
18	4h 12'	31	3h 07'
19	4h 06'	32	3h 03'
20	4h 00'	33	2h 58'
21	3h 54'	34	2h 55'
22	3h 48'	35	2h 52'

Fonte: EMBRAPA, 1997.

Finalizado o período de sedimentação, introduziu-se uma pipeta de 10 mL até a profundidade de 5 cm e coletou-se a amostra da suspensão. Cada amostra pipetada teve seu conteúdo transferido para um béquer, que foi colocado em estufa por 24 horas a uma temperatura de 105 °C (Figura 5). Após retirada da estufa as amostras

foram colocadas em dessecador para esfriar (devido a quantidade ser muito pequena, a amostra não pode pegar umidade do ar) e logo em seguida foram pesadas em balança de precisão modelo M214Ai – classe I, marca Bel Engineering, para a determinação da fração argila. Ressaltando que foi realizada a prova em branco. Foram utilizados cálculos para a determinação da fração areia, silte e argila.

Coleta e preparação das amostras indeformadas de solo – anéis volumétricos

A coleta das amostras indeformadas de solo ocorreu aos 118 DAS, período que antecedeu a operação de arranquio do amendoim. As amostragens foram realizadas nas linhas e entrelinhas de semeadura, assim representando os dois preparos de solo utilizados na área experimental.

Utilizou-se anéis volumétricos metálicos de dimensões 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro, previamente identificados, que foram colocados em amostrador tipo Uhland, fincados no solo e retirados com as amostras. Logo em seguida, as amostras foram colocadas em caixa térmica para preservação da umidade, encaminhadas ao laboratório e acondicionadas em ambiente refrigerado a uma temperatura de 5°C (Figura 6).

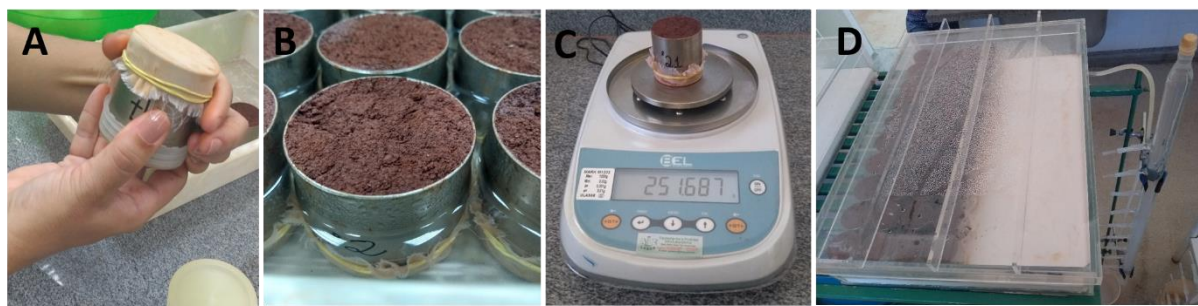


Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 6. Sequência da coleta e preparação das amostras de solo com o anel volumétrico - amostra indeformada.

Para a determinação da distribuição de poros por tamanho, foi utilizado o método da Mesa de Tensão (EMBRAPA, 2017). Segundo Kiehl (1979), a mesa de tensão constitui-se de uma mesa de madeira com tampa de vidro, tendo um furo central que se comunica com um tubo de plástico transparente, e este, por sua vez, está conectado a um frasco cheio de água. O frasco liga-se a uma torneira, que fornecerá água à mesa, tendo ainda um tubo por onde sairá o ar, e na sua lateral, um tubo de descarga. A altura da coluna de água que exerce a sucção pode variar, no caso, a mesa de tensão utilizada, poderia ser aplicada de 10 a 100 cm.

Antes de ir para a mesa de tensão, a amostra foi colocada com uma das faces do anel volumétrico envolta por um pedaço de tecido preso por um elástico, de modo a obter a perda mínima de solo. Em uma bandeja com água até dois terços da altura do anel, a amostra permaneceu durante um período, até a saturação. Após este período utilizando-se uma balança de precisão modelo M1203 – classe II, as amostras foram pesadas (P1 – peso correspondente a saturação) e colocadas sobre a mesa de tensão, durante um período de 24 horas, sob uma tensão de 30 cm de coluna de água (Figura 7).



Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 7. Preparação das amostras (A), amostras na bandeja para saturação (B), pesagem da amostra (C), amostras na mesa de tensão (D).

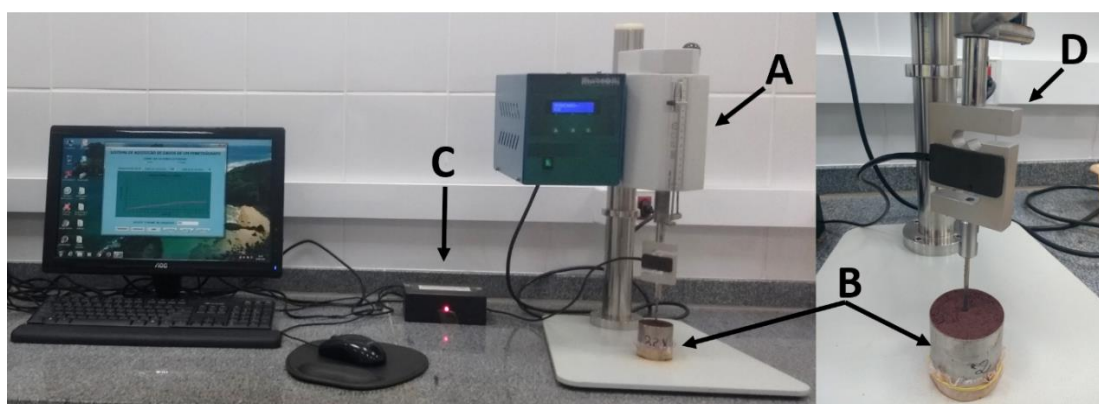
Depois do período necessário, as amostras são retiradas da mesa de tensão e pesadas (P2 – peso correspondente a tensão de 30 cm), retornando em seguida para a mesa de tensão, onde é aplicado a tensão de 60 cm de coluna de água, durante um período de 24 horas. Após o período necessário da tensão de 60 cm as amostras são retiradas da mesa e pesadas (Obtendo-se o P3 – peso correspondente a tensão de 60

cm). As amostras retornam para a mesa, onde é aplicada a última tensão de 100 cm, por um período de 48 horas. Terminado o período necessário, as amostras são retiradas da mesa pesadas (Obtendo-se o P4 – peso correspondente a tensão de 100 cm), e colocadas em seguida na estufa por 24 horas a 65°C.

Ao retirar da estufa pesou-se novamente as amostras, obtendo o peso seco (P5). Com os valores de P1, P3, P5 e do volume do anel, obteve-se a porosidade total, microporosidade, macroporosidade.

Resistência mecânica do solo a penetração (RMSP)

Para a avaliação da resistência mecânica do solo a penetração (RMSP) de acordo com Tormena et al., (1998a), utilizou-se um penetrógrafo eletrônico estático de bancada, da marca Marcone, modelo: MA 933. Equipamento composto de célula de carga de 20 kgf, diâmetro da ponta utilizada de 4 mm, semiângulo de 30°C e área de 3,14 cm², composto de software para aquisição de dados (Figura 8).



Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 8. Penetrógrafo de bancada. (A) Penetrógrafo, (B) amostra indeformada, (C) sistema de aquisição de dados, (D) célula de carga.

Após as amostras indeformadas serem retiradas da estufa e pesadas, obtendo-se o peso seco, as mesmas foram submetidas a avaliação de RMSP. Durante a movimentação da haste, a força de resistência mecânica do solo a penetração foi registrada do começo ao fim do anel volumétrico de solo e os dados salvos pelo

software. Estes dados foram analisados e para cada amostra foi gerado um valor correspondente à sua RMSP na linha e entrelinha de semeadura.

Arranquio do amendoim

Nesta etapa utilizou-se um arrancador-invertedor de amendoim – 2 linhas, modelo AIA BM2, marca BM Dumont, acoplado a um trator Valtra Valmet 1780 com potência de 122,828 kW (167 cv) (Figura 9). Após a passagem da máquina, em cada ponto amostral foram coletadas as perdas referentes ao processo de arranquio, classificadas em perdas visíveis, perdas invisíveis e perdas totais, segundo Silva e Malh, (2008).



Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 9. Operação de arranquio do amendoim.

Perdas no arranquio

Após a passagem do arrancador utilizou-se uma armação com área de 2 m² (1,80 m x 1,11m), medida correspondente a largura do arrancador de amendoim na leira (duas linhas de semeadura). Em cada ponto amostral recolheu-se todo material que estava presente dentro da armação (planta inteira + vagens), que foram colocadas em sacos e identificados.

Para estimar a produtividade de acordo com Silva e Mahl (2008), após a passagem do arrancador utilizou-se uma armação de 2m², coletando-se todas as

plantas de amendoim contidas na área da armação. Em seguida todas as vagens foram separadas, colocadas em sacos de papel e pesadas para a obtenção da produtividade, os valores foram convertidos para kg ha^{-1} . O teor de água das vagens foi corrigido para 8% (teor de água de armazenamento do amendoim).

Após a retirada das plantas de amendoim da armação, as vagens remanescentes (perdas visíveis do amendoim – PVA), foram coletadas, colocadas em sacos de papel, identificadas e pesadas, obtendo-se a massa úmida. Posteriormente foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar durante 24 horas a $105^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Após este período, as amostras tiveram suas massas aferidas por meio de uma balança semi-analítica (modelo BL3200H), obtendo-se a massa seca.

Para a quantificação das perdas invisíveis do amendoim (PIA), com auxílio de um enxadão foi retirado solo até 15 cm (profundidade do arrancador), as vagens encontradas foram coletadas, colocadas em sacos de papel, identificadas e pesadas, obtendo-se a massa úmida. Em seguida foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar durante 24 horas a $105^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Após este período, as amostras tiveram suas massas aferidas por meio de uma balança semi-analítica (modelo BL3200H), obtendo-se a massa seca. As perdas totais do amendoim (PTA), foram obtidas pelo somatório das perdas visíveis e invisíveis.

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva calculando-se a média, desvio padrão e coeficiente de variação, e a análise de correlação utilizando-se o programa Minitab 16. O coeficiente de Pearson (r) possui valores entre -1 e 1 , segundo a classificação de Dancey e Reidy (2006) o coeficiente de correlação de Pearson com valores compreendidos entre $0,10$ até $0,30$ é considerado fraco, de $0,40$ até $0,6$ é moderado e com valores de $0,70$ até 1 é considerado forte.

O padrão de variabilidade espacial foi caracterizado por meio de análise geoestatística (Vieira 2000). Os semivariogramas foram construídos com base no cálculo da semivariância $\gamma(h)$ por meio da equação 1:

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

Em que:

$\gamma(h)$ = Semivariância estimada a partir dos dados experimentais

Z = Valores medidos nos pontos x_i e $x_i + h$

$N(h)$ = Número de pares de valores medidos separados por uma distância h

O ajuste dos modelos dos semivariogramas foi realizado por meio do programa GS+ versão 10.0, o modelo que mais se ajustou foi o esférico. A confecção dos mapas de krigagem foi feita utilizando o programa Surfer versão 09. O grau de dependência espacial foi analisado de acordo com Cambardella et al. (1994), em que são considerados semivariogramas de dependência forte os que têm efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar, moderada entre 25 e 75% e fraca quando for maior que 75%.

Resultados e discussão

Nas Tabelas 3 e 4 estão descritos os valores correspondentes a análise de correlação de Pearson referente aos preparos conservacionista (CSV) e convencional (CVC) de solo. No preparo conservacionista, o NDVI apresentou correlação com as variáveis referentes a operação de colheita (produtividade e perdas totais do amendoim) e correlação com os atributos teor de areia e resistência mecânica do solo na linha de semeadura (RMSP 1).

As correlações não foram significativas para os atributos teor de argila e resistência mecânica do solo a penetração na entrelinha de plantio (RMSP 2) (Tabela 3), esses dados são divergem de Zanzarini et al., (2013), que encontraram correlação positiva e significativa do NDVI com a argila. No preparo convencional o NDVI não apresentou nenhuma correlação entre as variáveis. De acordo com a classificação de Dancey e Reidy (2006) as correlações encontradas são consideradas moderadas ($r > 0,3$ até $0,6$). Os coeficientes de correlação entre o NDVI e as variáveis produtividade e PTA foram de 0,33 e 0,41, respectivamente, estes valores foram baixos em

comparação aos valores encontrados por Deghaid et al., (2014), que avaliando a correlação entre o NDVI e a produtividade do amendoim obtiveram coeficiente de correlação de 0,71, estabelecendo forte correlação entre eles.

Correlações positivas e significativas de 0,56 e 0,48 entre produtividade e NDVI foram encontradas por Boechat (2012) na cultura do feijoeiro. Segundo Silva et al. (2009), a boa correlação entre medidas de reflectância e produtividade está relacionada à quantidade de radiação interceptada pela cultura, a reflectância correlaciona com quantidade de tecido foliar fotossinteticamente ativo presente por unidade de área capaz de interceptar a radiação solar.

Tabela 3 Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as leituras de NDVI, produtividade, perdas totais do amendoim, resistência mecânica do solo a penetração, teores de areia e argila (n = 30).

Preparo conservacionista							
Variáveis	NDVI	Prod.	PTA	RMSP1	RMSP2	Areia	Argila
NDVI	-						
Prod.	0,33*	-					
PTA	0,41*	0,37*	-				
RMSP 1	0,33*	0,36*	0,32*	-			
RMSP 2	ns	ns	ns	ns	-		
Areia	0,35*	ns	ns	ns	ns	-	
Argila	ns	ns	ns	ns	ns	-0,45*	-

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; Prod.: Produtividade (kg ha⁻¹); PTA: perdas totais do amendoim (%); RMSP 1: resistência mecânica ao solo na linha de semeadura (MPa); RMSP 2: resistência mecânica ao solo na entrelinha de semeadura (MPa); Areia: teor de areia (%); Argila: teor de argila (%); (•) significativo a p < 0,10; (**) significativo a p < 0,01; (*) significativo a p < 0,05; (ns) não significativo a p > 0,05.

Alguns pesquisadores não encontraram relação direta com o NDVI e a produtividade, como o que foi observado nesta pesquisa no preparo convencional. Rudorff et al., (2003), avaliando NDVI na estimativa da produtividade de milho safrinha, observaram que em produtividades acima de 5 tha⁻¹ não houve relação direta entre as variáveis. Esses autores afirmaram que o elevado índice de área foliar pode ter interferido nas leituras pelo sensor e isso ter limitado o NDVI na estimativa da produtividade.

Neste trabalho a cobertura vegetal do preparo convencional foi superior ao do preparo conservacionista, o que pode ter interferido nos valores de NDVI e resultando na inexistência de relação entre as variáveis. O aumento da área foliar aumenta a reflectância da cultura podendo ocasionar a saturação do índice NDVI. A variabilidade da cobertura vegetal deve ser vista com cuidado, uma vez que os valores podem variar independente da saturação do NDVI. Macedo e Rudorff (2003) avaliando a variação da produtividade do milho safrinha, observaram que o NDVI explicou 54% dessa variação, e os valores de NDVI variaram de 0,60 a 0,90 em produtividades de 0,5 a 5 tha^{-1} .

Tabela 4. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as leituras de NDVI, produtividade, perdas totais do amendoim, resistência mecânica do solo a penetração, teores de areia e argila (n = 30).

Variáveis	Preparo convencional						
	NDVI	Prod.	PTA	RMSP1	RMSP2	Areia	Argila
NDVI	-						
Prod.	ns	-					
PTA	ns	ns	-				
RMSP 1	ns	ns	0,33*	-			
RMSP 2	ns	ns	ns	ns	-		
Areia	ns	ns	ns	-0,38*	-0,34*	-	
Argila	ns	ns	ns	ns	ns	-0,64**	-

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; Prod.: Produtividade (kg ha^{-1}); PTA: perdas totais do amendoim (%); RMSP 1: resistência mecânica ao solo na linha de semeadura (MPa); RMSP 2: resistência mecânica ao solo na entrelinha de semeadura (MPa); Areia: teor de areia (%); Argila: teor de argila (%); (•) significativo a $p < 0,10$; (**) significativo a $p < 0,01$; (*) significativo a $p < 0,05$; (ns) não significativo a $p > 0,05$.

Os resultados referentes à análise estatística descritiva dos parâmetros avaliados nos dois preparos de solo estão nas tabelas 5 e 6. Os valores médios do NDVI estão entre 0,76 e 0,82, para o preparo conservacionista e convencional, respectivamente. No período que antecede a colheita, a planta encontra-se já finalizando o estágio de maturação do fruto, este período segundo Nogueira e Távora (2005) ocorre a redução da área foliar devido a fatores ambientais e a ocorrência de doenças foliares.

Os valores dos coeficientes de variação (CV) do NDVI nos 2 preparos de solo não ultrapassaram 30%, valores que segundo Pimentel Gomes & Garcia (2002), são bons indicativos da coleta de dados em trabalhos de campo. As variáveis produtividade e PTA nos dois preparos tiveram valores de CV maiores que 30%, alguns autores justificam os altos valores a grande variabilidade das perdas do amendoim (que são contabilizadas na produtividade final) em função do local amostrado e da produção das parcelas (Campos et al., 2005; Mesquita et al., 2001; Mesquita, 2001). Valores elevados de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados (Frogbrook et al., 2002).

Tabela 5. Análises estatísticas como coeficiente de variação (CV), desvio padrão e média aritmética simples para NDVI, produtividade, perdas totais do amendoim, resistência mecânica do solo a penetração na linha e na entrelinha, teor de areia e argila (n=30).

Variáveis	Preparo conservacionista		
	Médias	Desvio Padrão	CV (%)
NDVI	0,76	0,05	6,63
Prod. (kg ha ⁻¹)	2497	1244	49,80
PTA (%)	8,22	3,44	41,88
RMSP 1 (MPa)	1,52	0,83	54,82
RMSP 2 (MPa)	3,91	0,99	25,37
Teor de argila (%)	59,36	13,45	22,65
Teor de areia (%)	16,33	1,43	8,77

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; Prod.: Produtividade (kg ha⁻¹); PTA: perdas totais do amendoim (%); RMSP 1: resistência mecânica ao solo na linha de semeadura (MPa); RMSP 2: resistência mecânica ao solo na entrelinha de semeadura (MPa).

Nos dois preparos de solo os valores médios de RMSP variaram entre 1,32 MPa e 3,91 MPa, os menores valores foram atribuídos a resistência mecânica ao solo na linha de semeadura, onde o valor não ultrapassou 2 MPa. De acordo com Merotto Júnior e Mundstock, (1999) e Tormena et al., (1998), valores superiores a este indicam a presença de camadas compactadas, que impedem o desenvolvimento radicular e da parte aérea das culturas. Os valores de resistência mecânica ao solo na linha de semeadura nos dois preparos e resistência mecânica ao solo na linha de semeadura no preparo convencional, estão dentro da faixa que varia de 1 a 3,5 MPa, que segundo Merotto Júnior e Mundstock, (1999), podem restringir ou mesmo impedir o

crescimento e o desenvolvimento das raízes. Estes valores podem variar de acordo com a cultura e o tipo de solo e profundidade analisadas.

Ribeiro (2009) estabeleceu uma classificação para o índice de cone: baixo (0 a 2MPa); médio (2 a 4 MPa) e muito alto (acima de 6 MPa), segundo esta classificação neste trabalho o índice de cone foi considerado baixo na resistência mecânica ao solo na linha de semeadura nos dois preparos e na resistência mecânica ao solo na entrelinha de semeadura no convencional e médio para a resistência mecânica ao solo na linha de semeadura do preparo conservacionista. Valores que se aproximam dos encontrados por Bertonha (2011), que na área de arranquio de amendoim aos 120 DAS encontrou valor de 3,7 MPa, considerado médio segundo esta classificação.

Tabela 6. Análises estatísticas como coeficiente de variação (CV), desvio padrão e média aritmética simples para NDVI, produtividade, perdas totais do amendoim, resistência mecânica do solo a penetração na linha e na entrelinha, teor de areia e argila (n=30).

Variáveis	Preparo convencional		
	Médias	Desvio Padrão	CV (%)
NDVI	0,82	0,02	1,93
Prod. (kg ha ⁻¹)	1857	740	39,86
PTA (%)	10,46	7,73	73,93
RMSP 1 (MPa)	1,32	0,58	44,08
RMSP 2 (MPa)	2,00	0,47	23,79
Teor de argila (%)	57,37	1,56	2,72
Teor de areia (%)	17,58	0,72	4,4

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; Prod.: Produtividade (kg ha⁻¹); PTA: perdas totais do amendoim (%); RMSP 1: resistência mecânica ao solo na linha de plantio (MPa); RMSP 2: resistência mecânica ao solo na entrelinha de plantio (MPa).

O modelo esférico permitiu o melhor ajuste dos semivariogramas para maioria das variáveis estudadas. Muitos autores consideram que o modelo esférico é o que mais se ajusta aos atributos de solo (Siqueira et al., 2008; Guedes Filho et al., 2010), característico de variáveis que apresentam mudanças abruptas no espaço (Zanzarini et al., 2013). Neste estudo o modelo exponencial apresentou o melhor ajuste para apenas para a variável RMSP 2, no preparo conservacionista (Tabela 7).

Os dados apresentaram diferentes índices de dependência espacial (IDE), as variáveis estudadas foram classificadas segundo Cambardella et al., (1994) que

propuseram os seguintes intervalos para classificar a dependência espacial: $IDE \leq 25\%$ (forte); IDE entre 25% e 75% (moderado) e $IDE \geq 75\%$ (fraca). Em relação ao alcance de dependência espacial, PTA e o teor de argila do preparo conservacionista apresentaram maiores alcances, 70,8 m e 76 m, respectivamente. No preparo convencional os maiores alcances foram para as PTA (61,3 m) e RMSP 1 (62,1m) (Tabela 7).

Tabela 7. Modelos e parâmetros estimados de semivariogramas para os dados de NDVI, biomassa e produtividade dos dois preparos de solo.

	Variável	Modelo	C_0	$C_0 + C_1$	A (m)	R^2	VC
Conservacionista	NDVI	ESF	0,00009	0,00247	30	0,91	$0,07+0,90x$
	PROD	ESF	415000	1838000	56,6	0,94	$418+0,82x$
	PTA	ESF	2,340000	9,196000	70,8	0,98	$1,73 + 0,80x$
	Areia	EPP	-	-	-	-	-
	Argila	ESF	3,648200	6,127576	76,0	0,88	$27 + 0,52x$
	RMSP 1	EPP	-	-	-	-	-
	RMSP 2	EXP	0,00800	0,037	31,5	0,67	$1,67 + 0,60x$
Convencional	NDVI	EPP	-	-	-	-	-
	PROD	ESF	24000	464000	30,5	0,98	$542,53+0,71x$
	PTA	ESF	0,08400	0,44700	61,3	0,94	$1,85 + 0,81x$
	Areia	EPP	-	-	-	-	-
	Argila	ESF	1,00E-006	4,180E-004	33,3	0,92	$3,19 + 0,95x$
	RMSP 1	ESF	0,013700	0,047900	62,1	0,97	$0,27 + 0,81x$
	RMSP 2	ESF	0,024800	0,2553600	50,8	0,99	$0,37 + 0,82x$

Efeito pepita (C_0), Patamar ($C_0 + C_1$); Alcance (A); Coeficiente de determinação (R^2) Efeito Pepita Puro (EPP); Validação Cruzada (VC); Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI); Perdas totais do amendoim (PTA); Produtividade (PROD); Esférico (ESF); Exponencial (EXP); Resistência mecânica do solo a penetração na linha (RMSP 1); Resistência mecânica do solo a penetração na entrelinha (RMSP 2).

No preparo conservacionista às variáveis NDVI (3,64%), produtividade (22,57%), e resistência mecânica ao solo na entrelinha de semeadura (21,62%), apresentaram índice dependência espacial forte ($IDE \leq 25\%$). O IDE foi considerado moderado para as variáveis PTA (25,44%) e Argila (59,53%). Zanzarini et al., (2013), encontraram para o índice de vegetação NDVI, IDE de 14% indicando um grau de dependência espacial forte, e para a argila o grau de dependência espacial encontrado foi classificado como moderado. Souza et al., (2004) também observaram ocorrência de

dependência espacial moderada para argila em um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar.

Não apresentaram dependência espacial as variáveis areia e resistência mecânica ao solo na linha de semeadura, evidenciaram o efeito pepita puro. No preparo convencional, também variação na dependência espacial das variáveis estudadas. Apresentaram dependência espacial forte a produtividade (5,17%), PTA (18,79%), argila (23,92%) e o RMSP 2 (9,71%). Apenas a resistência mecânica ao solo na linha de semeadura (28,60%) apresentou dependência espacial moderada e as variáveis NDVI e areia não apresentaram dependência espacial (EPP).

O efeito pepita puro indica a variabilidade não explicada, podendo ser decorrente de erros de medidas ou microvariações não detectadas, considerando a distância de amostragem utilizada (Cambardella et al., 1994; Paz et al., 1995; Salviano et al., 1998); é necessário, portanto, menor distância entre os pontos de amostragem para se detectar a dependência. Guimarães (2004), relata que o efeito pepita puro indica que a distribuição espacial do atributo na área de estudo é homogênea, aleatória ou a malha amostral utilizada não possui pontos suficientes para detectar a dependência que, se existir, será manifestada a distância menores que o espaçamento entre as amostras.

Os modelos que apresentaram dependência espacial obtiveram valores de coeficiente de determinação (R^2) altos, variando de 0,67 a 0,99, demonstrando que os modelos ajustados obtiveram uma boa precisão na estimativa de valores das variáveis em locais não amostrados. Quanto mais R^2 se aproximar de 1, melhor será a qualidade das estimativas obtidas (Souza, 1992).

Nos mapas geostatísticos do NDVI (Figura 10), é possível observar as diferenças do comportamento do NDVI nos dois preparos de solo, essas diferenças segundo Salvador & Antuniassi (2011) são devido a fatores relacionados à planta, solo e as condições do meio. Por meio dos índices de vegetação podemos visualizar áreas com menor desenvolvimento vegetativo e detectar situações de alerta que podem exigir medidas corretivas, eles fornecem uma boa medida da atividade dos cultivos nas diferentes fases do ciclo (Abadi e Silva, 2018).

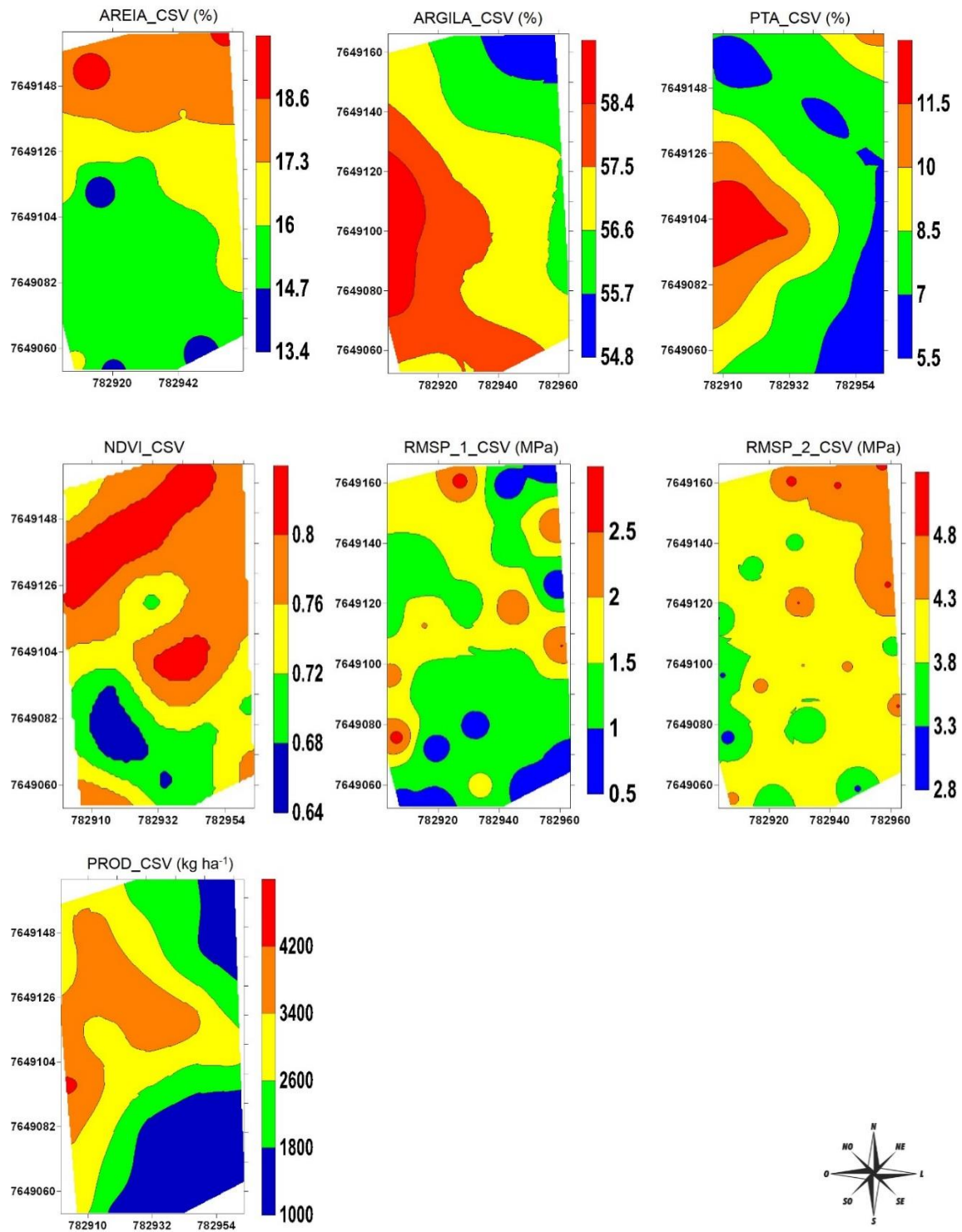
Nos mapas de distribuição espacial obtidos (Figuras 10 e 11), observa-se que o padrão de distribuição espacial da argila é semelhante à distribuição espacial das

variáveis PTA e produtividade no preparo conservacionista. A dependência espacial para estas variáveis é classificada como forte e moderada. De acordo com a distribuição espacial dos mapas, as áreas que apresentam as maiores quantidades de argila, possuem maiores valores de PTA, mostrando que as perdas diminuem a produtividade, de acordo com a distribuição encontrada no mapa Produtividade do sistema conservacionista (Figura 10). Além da força de resistência do ginóforo, a estrutura do solo está relacionada com as perdas na colheita do amendoim. Em estudo realizado por dos Santos et al., (2013) foi observado que as perdas totais são maiores em áreas com valores médios acima de 2 MPa.

A argila e PTA do sistema conservacionista tiveram os maiores alcances, dentre as variáveis analisadas, no mapa pode-se observar que ambos apresentam menor variabilidade e maior continuidade espacial (Figura 10), garantindo a melhor precisão nas estimativas em locais não amostrados. Em trabalho realizado por Bottega et al., (2013) em área de sistema de plantio direto, afirmaram que uma das possíveis causas da continuidade da argila, estaria associado a origem do solo e ação do processo de intemperismo, em áreas com relevo levemente ondulado, a ação resultante do transporte de sedimentos principalmente pelo vento é irrelevante.

A distribuição espacial da argila apresenta-se contrária à distribuição dos valores de areia, ou seja, onde se observam maiores concentrações de areia, estão as menores as concentrações de argila e vice-versa. De acordo com Souza et al., (2004a), as frações do solo geralmente apresentam comportamento inverso, principalmente de distribuição, pois como são medidos em porcentagem quando há acréscimo de um ocorre redução de outro.

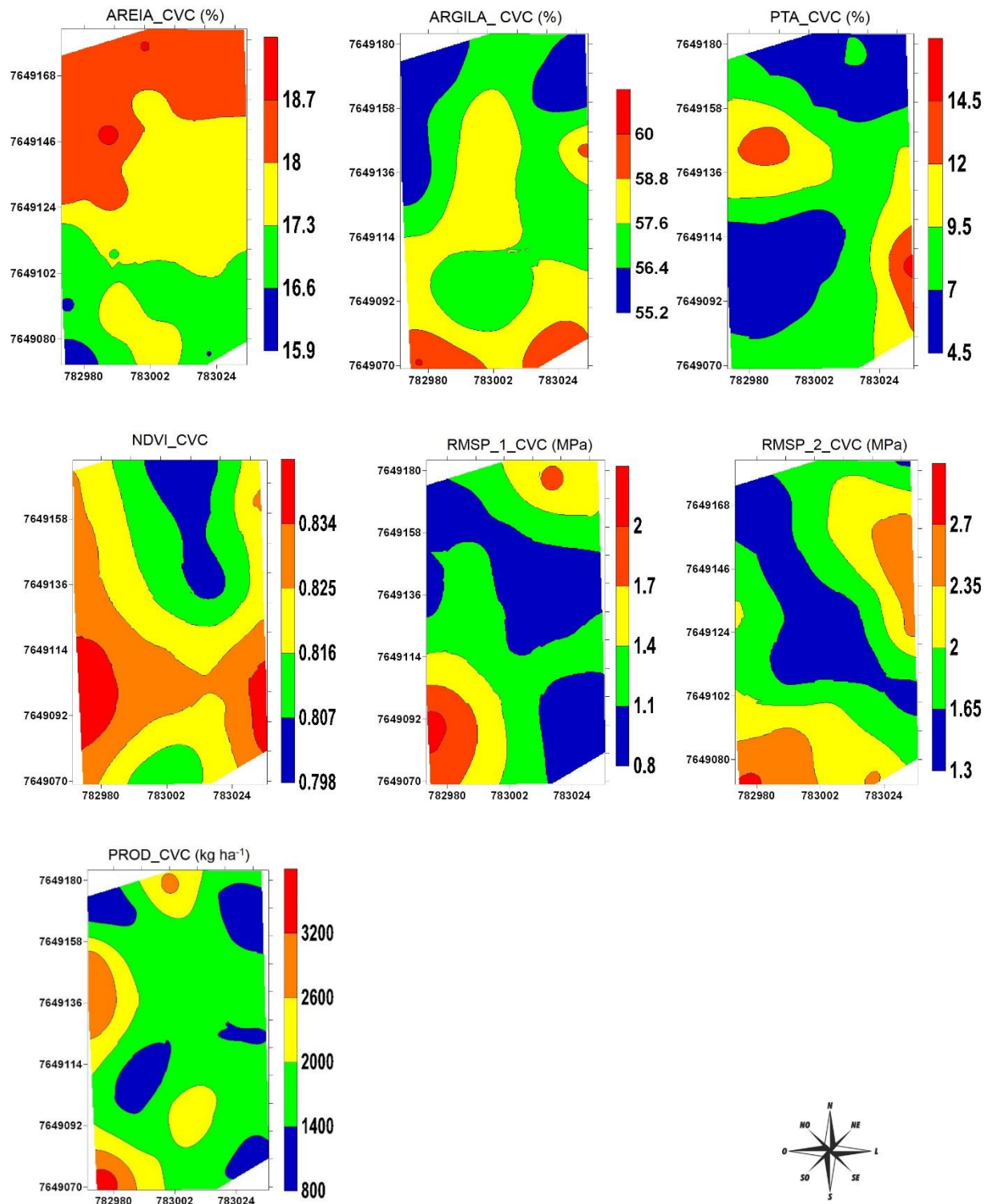
Analisando os mapas de resistência mecânica ao solo na linha e entrelinha de semeadura de ambos preparos observamos que no preparo convencional a dependência espacial é forte, existem zonas mais delimitadas se comparado aos mapas do preparo conservacionista onde a variabilidade é maior no mapa de resistência mecânica ao solo na linha de semeadura, que não apresenta dependência espacial (Figuras 10 e 11).



NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; Prod.: Produtividade (kg ha⁻¹); PTA: perdas totais do amendoim (%); RMSP 1: resistência mecânica ao solo na linha de plantio (MPa); RMSP 2: resistência mecânica ao solo na entrelinha de plantio (MPa).

Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 10. Mapas de distribuição espacial das variáveis da área de preparo conservacionista (CSV)



NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada; Prod.: Produtividade (kg ha⁻¹); PTA: perdas totais do amendoim (%); RMSP 1: resistência mecânica ao solo na linha de plantio (MPa); RMSP 2: resistência mecânica ao solo na entrelinha de plantio (MPa).

Fonte: Estevam, F.N.L., (2019).

Figura 11. Mapas de distribuição espacial das variáveis da área de preparo convencional (CVC)

A variabilidade espacial nos atributos do solo também foi observada por Carvalho et al., (2004), que concluíram que a distribuição espacial não é ao acaso e sim resultante de processos naturais e de práticas culturais. De acordo com Canarache (1990), a RMSP é afetada pela textura, nos mapas temáticos percebe-se que as manchas que indicam maiores valores de RMSP, estão em área onde a concentração de argila é maior, principalmente nos mapas do preparo convencional. Solos com maiores quantidades de argila apresentam valores mais elevados para RMSP (Assis et al., 2009).

Os valores de RMSP encontrados neste trabalho (1,52 MPa; 3,91 MPa no sistema conservacionista e 1,32 MPa; 2 MPa no sistema convencional) foram maiores do que os obtidos por Carvalho et al., (2004), que encontraram valores variando entre 1,3 e 2,9 MPa. Os mesmos autores relatam que estes valores não restringiram a produtividade na cultura do feijão.

Na cultura do amendoim, Leonel et al., (2007); Beutler et al., (2008) afirmaram que valores acima de 2 MPa são limitantes à cultura e além disso constataram que a produtividade decresceu linearmente com o aumento da compactação. Em trabalho realizado por Grotta et al., (2008), não houve diferenças na produtividade em diferentes compactações, porém as avaliações foram feitas em valores abaixo de 1 MPa.

Ao relacionar os mapas geoestatísticos encontrados, pode-se estabelecer critérios para a tomada de decisão nos manejos nas áreas agrícolas. Observa-se que em uma mesma área encontra-se valores diferentes para um mesmo atributo ou variável estudada. O intuito de cruzar todas as informações geradas por meio de mapas temáticos é diminuir a variabilidade e aumentar a qualidade nos processos agrícolas.

Com o auxílio dos mapas de NDVI, foi possível observar áreas valores maiores onde espera-se obter o máximo de vigor da cultura do amendoim. Porém estas diferenças ocorrem segundo Salvador e Antuniassi (2011), devido a fatores relacionados à planta, solo e as condições do meio. Por meio dos índices de vegetação podemos visualizar áreas com menor desenvolvimento vegetativo e detectar situações de alerta que podem exigir medidas corretivas, eles fornecem uma

boa medida da atividade dos cultivos nas diferentes fases do ciclo (Abadi e Silva, 2018).

Conforme observa-se nos mapas de produtividade (Figuras 10 e 11), existem zonas de produtividade baixa, essas informações nos auxiliam, segundo Molin et al., (2002), vasculhar todos os atributos que afetam a produtividade da cultura, com o objetivo de aumentar a precisão no manejo para obter maior retorno econômico.

Nos mapas gerados observamos a variabilidade espacial na área estudada, devido a difícil homogeneização. Menegatti e Molin (2002) definiram como Unidade de Gestão Diferenciada (UGD), regiões dentro dos campos de produção que apresentam mínima variabilidade espacial e permanentes ao longo do tempo, essas UGDs podem ser definidas ainda segundo os mesmos autores como áreas delimitadas, dentro de um talhão, com mínima variabilidade interna.

As UGDs também são conhecidas como de zonas de manejo (ZM), estas uma vez demarcadas auxiliam na gestão dos recursos utilizados na produção das lavouras. Economicamente, funcionam como unidades de operação para a aplicação localizada de insumos, indicador para amostragem de solo e da cultura, entre outros (Rodrigues e Zimback, 2002 e Bazzi et al., 2012). Na cultura do amendoim, o estabelecimento de ZM, possibilitaria redução dos custos nas operações agrícolas, enfatizando o manejo de acordo com a variável, em áreas de maior demanda, otimizando a gestão da lavoura e assim melhorando seu desempenho que reflete no produto final.

Conclusões

O NDVI apresentou correlação com a produtividade, perdas totais, areia e resistência mecânica ao solo na linha de semeadura somente no preparo convencional.

O preparo conservacionista apresentou os maiores valores de RMSP.

A dependência espacial foi forte na maioria das variáveis estudadas, apenas resistência mecânica ao solo na linha de semeadura do preparo conservacionista, NDVI do preparo convencional e areia de ambos preparos não apresentaram dependência espacial.

Os maiores alcances das variáveis PTA e argila foram observados nos mapas temáticos, apresentando zonas de maior continuidade espacial e menor variabilidade.

A geoestatística foi ferramenta eficaz na criação de mapas temáticos para o estudo do comportamento das variáveis.

REFERÊNCIAS

Abadi E Silva SA (2018) **Manejo da população de plantas na cultura do milho a partir do NDVI obtido por imagens de satélite**. Universidade Federal De Santa Maria. Dissertação De Mestrado, Santa Maria, Rio Grande Do Sul, Brasil, 46p.

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2014) Köppen's Climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22:711-728.

Amaral LR, Molin JP, Schepers JS (2015b) Algorithm for variable-rate nitrogen application in sugarcane based on active crop canopy sensor. **Agronomy Journal** 107:1513-1523.

Assis RL, Lazarini GD, Lancas KP, Cargnelutti Filho A (2009) Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. Jaboticabal. **Engenharia Agrícola** (29)4:558-568.

Bazzi CL, Souza EG, Opazo MAU, Carnieletto JC, Rocha DM (2012) Software para definição e avaliação de unidade de manejo em agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. Ribeirão Preto, São Paulo. **Anais...**

Bernardi ACC, Perez NB (2014) Agricultura de precisão em pastagens. In: Bernardi, A. C. C.; Naime, J. M.; Resende, A. V.; Bassoi, L. H.; Inamasu, R. Y. (Ed.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, p492-499.

Bernardi ACC, Andrade RG, Grego CR, Inamasu RY, Rabello LM (2014a) Variabilidade espacial de parâmetros físico-químicas do solo e biofísicos de superfície

em cultivo do sorgo. Campina Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 18:623-630.

Bernardi ACC, Bettiol GM, Ferreira RP, Santos KEL, Rabello LM, Inamasu RY (2014b) Spatial variability of soil properties and yield of an alfalfa pasture under grazing in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, Sacramento. **Abstracts...** New York: ISPA.

Bertonha RS (2011) **Variabilidade de perdas no arranquio mecanizado de amendoim: estudo de caso**. Dissertação, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal. Jaboticabal – São Paulo.

Beutler NA, Freddi OS, Leone CL, Centurion JF (2008) Densidade do solo relativa e parâmetro “s” como indicadores da qualidade física para culturas anuais. **Revista De Biologia e Ciências Da Terra** (8)2:27-36.

Boechat LT (2012) **Técnicas de sensoriamento remoto na detecção do morfo-branco e da mancha-angular do feijoeiro**. Tese De Doutorado. Universidade Federal De Viçosa. Minas Gerais.

Bottega EL, Queiroz DM, Carvalho Pinto FA, Souza, CM (2013) Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. Fortaleza, CE. **Revista Ciência Agronômica** (44)1:1-9.

Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Karlen DL, Turco RF, Konopka AE (1994) Field-Scale variability of soil properties in central iowa soils. **Soil Science Society of America Journal** 58:1501-1511.

Campos MAO, Silva RP, Mesquita HCB, Zabani S (2005) Perdas na colheita mecanizada de soja no estado de Minas Gerais. Jaboticabal. **Engenharia Agrícola** (25)1:207-213.

Caranache A (1990) Penetr: A generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. Amsterdam. **Soil Tillage Research** (16)1:51-70.

Carvalho JRP, Dechen SCF, Dufranc G (2004) Variabilidade espacial da agregação do solo avaliada pela geometria fractal e geoestatística. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 28:1- 9.

Claessen MEC (1997) Manual de métodos de análise de solo. 2. Ed. Rev. Atual. Rio De Janeiro: EMBRAPA-CNPS. 212p.

CONAB – Companhia Nacional De Abastecimento (2018) acompanhamento da safra brasileira de grãos. 12º Levantamento – Safra 2017/18. Brasília, CONAB. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/gaos/boletim-da-safra-de-gaos>>. Acesso em: 17 fev, 2019.

Dancey C, Reidy J (2006) Estatística sem matemática para psicologia: usando spss para windows, 3 ed.; Artmed: Porto Alegre, 608p.

Deering DW, Rouse JW, Haas RH, Schell JA (1975) Measuring "Forage Production" Of Grazing Units From Landsat MSS Data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTING SENSING OF ENVIRONMENT, L0, Ann Arbor, **Proceedings...**Ann Arbor, MI: ERIM, 2:1169-1178.

Deghaid J, Rosalen DL, Zerbato C, Furlani CEA (2014) Correlação entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e características agronômicas da cultura do amendoim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Campo Grande. Estratégias para a redução do custo brasil no agronegócio. Jaboticabal: SBEA.

EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (2013) Sistema brasileiro de classificação de solos, 3 ed. Rev. Ampl.; Brasília: EMBRAPA, 353p.

EMBRAPA (2017) Manual de métodos de análise de solo. Paulo César Teixeira et al. Editores Técnicos. – 3. ed. Rev. e Ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 574p.

Frogbrook ZL, Oliver MA, Salahi M, Ellis RH (2002) Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. **Soil Use and Management** (18)1:1-9.

GEOAGRI - Tecnologia Agrícola (2012) Greenseeker: Manual para mapeamento. Disponível Em:< <https://www.geoagri.com.br/produtos/sensores-opticos/greenseeker/greenseeker-manual-para-mapeamento>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

Grotta DCC et al (2008) Influência da profundidade de semeadura e da compactação do solo sobre a semente na produtividade do amendoim. **Ciência e Agrotecnologia** (32)2:547-552.

Guedes Filho O (2009) **Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta**. Campinas: Instituto Agronômico. 97 fls.

Guimarães EC (2004) Geoestatística básica e aplicada. Uberlândia: Universidade Federal De Uberlândia, Minas Gerais, 76p.

Instituto Agronômico de Campinas – IAC. **Centro de grãos e fibras** (2018) Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/graos/amendoim.php>>. Acesso em: 13 set. 2018.

Kapp Junior C, Guimarães AM, Caires EF (2016) Use of active canopy sensors to discriminate wheat response to nitrogen fertilization under no-tillage. **Engenharia Agrícola** 36:886-894.

KBM – Equipamentos Agrícolas. Rip Strip. Disponível em:<<http://www.bmdumont.com.br/demais-equipamentos/item/13-rip-strip>>. Acesso em: 28 jan. 2019.

Kiehl EJ (1979) Manual de edafologia. São Paulo. **Agronômica Ceres**. Cap. 13, 264p.

Leonel CL et al (2007) Relação da compactação do solo com a cultura do amendoim. **Bioscience Journal** (23)2:70-81.

Martins R. (2018) Instituto de Economia Agrícola – IEA. **Amendoim em grão: Rússia é o principal destino das exportações brasileiras**. Disponível em:<<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=14508>>. Acesso em: jul. 2019.

Menegatti LAA, Molin JP (2002) Metodologia para identificação e caracterização de erros de mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (7)2:367-374.

Merotto A, Mundstock CM, (1999) Wheat root growth as affected by soil strenght. Viçosa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 23:197-202.

Mesquita CM (2001) Caracterização da colheita mecanizada da soja no Paraná. Jaboticabal. **Engenharia Agrícola** (21)2:197-205.

Mesquita CM, Costa NP, Pereira JE, Maurina AC, Andrade JG (2001) Perfil da colheita mecânica da soja no Brasil: perdas e qualidades físicas do grão relacionadas às características operacionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. **Anais...**, Foz Do Iguaçu.

Mesquita CM, Costa NP, Pereira JE, Maurina AC, Andrade JGM (2001) Caracterização da colheita mecanizada da soja no Paraná. **Engenharia Agrícola** 21:197-205.

Minitab 16 (2019) Suporte ao Minitab 16: Distribuição normal. Disponível em: <<https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/probability-distributions-and-random-data/supporting-topics/distributions/normal-distribution/>>. Acesso em: 27 jul. 2019.

Molin JP (2002) Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola** 22:83-92.

Motomiya AVA, Molin JP, Motomiya WR, Baio FHR (2012) Mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada em lavoura de algodão. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 42:112-118.

Nogueira RJMC, Távora FJAF (2005) Ecofisiologia do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) In: Santos, R. C. O Agronegócio do amendoim no Brasil. Campina Grande: Embrapa – CNPA, 451p.

Paz A, Taboada MT e Gomez MJ (1996) Spatial Variability In Topsoil Micronutrient Contents In A One-Hectare Cropland Plot. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 3:479-503.

Pimentel-Gomes FP, Garcia CH (2002) Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ. 309p.

Ribeiro JLD, Caten CST (2012) Controle Estatístico Do Processo, (Série Monográfica Qualidade). Porto Alegre: FEENG/UFRGS. 172p.

Rodrigues JBT, Zimback CRL (2002) Delimitação de zonas de manejo através da análise e classificação de mapas de produtividade e milho e soja. **Energia na Agricultura**. Botucatu (7)1:4-61.

Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW, Harlan JC (1973) Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. greenbelt: national aerospace spatial administration, 371p. MD, NASA/GSFC Type III, Final Report. Disponível em: <<http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19730017588.pdf>>. Acesso em: 12 fev, 2019.

Rudorff BFT, Moreira MA, Adami M, Freitas JG (2003) Resposta espectral do milho e sua relação com altos níveis de produtividade de grãos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE. p.2597-2603.

Salvador A & Antuniassi UR (2011) Imagens aéreas multiespectrais na delimitação de zonas de manejo em áreas de algodão para a aplicação localizada de insumos. Botucatu, São Paulo. **Revista Energia na Agricultura** (2):1-19.

Salviano AAC, Vieira SR & Sparovek G (1998) Variabilidade espacial de atributos de solo e de crotalaria juncea L. em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 22:115-122.

Santos EP, Silva RP, Bertonha RS, Noronha RHF, Zerbato C (2013) Produtividade e perdas de amendoim em cinco diferentes datas de arranquio. Fortaleza, CE. **Revista Ciência Agronômica** (44)4:695-702.

Silva AJ, Canteri MG, Santiago DC, Hikishima M, Silva AL (2009) A refletância na estimativa do efeito de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. Botucatu. **Summa Phytopathol** (35)1:53-56.

Silva RP, Mahl D (2008) Relatório do projeto de pesquisa: perdas na colheita mecanizada do amendoim safra 2007/2008. Relatório De Pesquisa. Laboratório De Máquinas e Mecanização Agrícola – LAMMA. Jaboticabal, 47p.

Siqueira GM, Vieira SR, Ceddia MB (2008) Variabilidade espacial de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. Campinas. **Bragantia** (67)2:693-699.

Souza LS (1992) **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. Porto Alegre. Tese de doutorado - Faculdade de Agronomia/UFRGS, 162p.

Souza ZM, Marques Júnior J, Pereira GT, Barbieri DM (2004a) Variabilidade espacial da textura de um latossolo vermelho amarelo eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola** (24)2:309-319.

Tormena Ca, Silva Ap, Libardi PI (1998a) Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (22):573-581.

Trangmar BB Et Al (1985) Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. San Diego. **Advances in Agronomy** (38)1:45-94.

TRIMBLE - Transforming the way the world works (2016) Nomad 900 Series Handheld Computer. Disponível em:< <https://mcs.trimble.com/products-and-solutions/nomad-5>>. Acesso em: 15 fev, 2019.

TRIMBLE. Greenseeker® 505 Handheld sensor user guide (2010) Trimble Navigation Limited. Trimble Agriculture. 10355 Westmoor Drive. Suite #100. Westminster, CO 80021, USA. May, 2010. Disponível em:< http://avidorhightech.com/wp-content/files/manuel_utilisateur_greenseeker_handheld.pdf>. Acesso em: 14 fev, 2019.

Vieira SR (2000) Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais RF, Alvarez VVH, Schaefer CE (Ed.) **Tópicos em Ciências do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p1-54.

Zanzarini FV, Pissarra, TCT, Brandão, F J C, Teixeira DDB (2013) Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. Campina Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (17)6:608–614.

Zerbato C, Rosalen DL, Furlani CEA, Deghaid J, Voltarelli MA (2016) Agronomic characteristics associated with the normalized difference vegetation index (NDVI) in the peanut crop. **Australian Journal of Crop Science** 10:758-764.

CAPÍTULO 4 – Considerações Finais

A agricultura de precisão por meio de suas geotecnologias permite ao produtor o monitoramento de suas lavouras e a detecção de fatores que interferem na produtividade das mesmas. Por meio deste trabalho foi possível observar que as diferenças nos comportamentos dos parâmetros agronômicos nos diferentes preparos de solo. Apesar da maioria das áreas onde se cultiva amendoim serem áreas remanescentes da reforma de canaviais ou áreas de rotação de culturas, muitas vezes com o milho safrinha, o preparo conservacionista se mostra eficaz tanto na diminuição do número de operações realizadas como na produtividade da cultura.

Neste trabalho as correlações positivas foram em sua maioria associadas ao preparo conservacionista. Os índices de vegetação NDVI e IRVI apresentaram correlações mais expressivas com as variáveis agronômicas aos 30 e 45 DAS. As variáveis largura e altura da planta e biomassa apresentaram os melhores valores de correlação aos 30 e 45 DAS.

Os índices de vegetação foram ferramentas importante na avaliação da cultura nos dois preparos de solo. Os sensores ópticos são eficazes na detecção do potencial das culturas, baixos valores de NDVI são indicativos de problemas na condução das lavouras, como por exemplo, doenças, estresse hídrico, ataque de fungos, entre outros.

O controle estatístico de processo foi uma ferramenta eficaz no monitoramento dos índices de vegetação, por meio de cartas de controle individuais, foi observado o momento de saturação do índice NDVI, este momento é caracterizado pelo máximo valor alcançado durante a coleta de dados pelo sensor, muitos trabalhos explicam este índice associando com a biomassa e continua aumentando os valores, porém quando o NDVI satura ele passa a não acompanhar o crescimento da biomassa e decresce. Pelas análises realizadas observou-se que o índice IRVI é inversamente proporcional ao NDVI, este índice é pouco utilizado para a avaliação das culturas, mesmo com a sua particularidade de não saturar como o NDVI.

O NDVI apresentou as melhores correlações entre algumas as variáveis relacionadas com os atributos de solo e parâmetros de colheita, no preparo

conservacionista. No preparo convencional em todas as análises de correlação não foram encontradas correlações com os índices NDVI e IRVI entre as variáveis.

Nos mapas temáticos foi forte a dependência espacial na maioria das variáveis estudadas, apenas a resistência mecânica ao solo na linha de semeadura do preparo conservacionista, NDVI do preparo convencional e areia de ambos preparos não apresentaram dependência espacial. Os maiores alcances das variáveis PTA e argila foram observados nos mapas temáticos, apresentando zonas de maior continuidade espacial e menor variabilidade.

A geoestatística foi ferramenta eficaz na criação de mapas temáticos para o estudo do comportamento das variáveis. Foi possível observar a distribuição das variáveis estudadas e concluir que em uma mesma área existem comportamentos diferentes para uma mesma variável. A partir desde mapas, o produtor poderá traçar estratégias para a melhor condução de sua lavoura nos próximos anos. A escolha do manejo de solo mais apropriado, observando os fatores de produção como a produtividade e as perdas.

Outro aspecto relevante foi a demarcação de zonas com maior compactação, que podem ocasionar problemas durante a operação de colheita, já que em solos compactados, durante a colheita ocorre a quebra dos implementos, devido à dificuldade de rompimento do solo e outro problema que diminui a produtividade, são as perdas, que acontecem devido o desprendimento das vagens da planta, no momento do arranquio.

Diante disso, as ferramentas a agricultura de precisão devem ser implementadas em áreas de grande e de pequeno produtor, devido a facilidade de coleta e agilidade das informações. O conhecimento das áreas produtivas faz toda diferença na condução das operações agrícolas nas lavouras, a gestão agrícola se faz necessária para o ganho de produtividade e o correto uso do solo.

No futuro, espera-se que grande parte dos produtores de amendoim adotem as práticas conservacionistas, para garantir que as áreas produtoras continuem respondendo satisfatoriamente em cada nova safra. É preciso mais investimentos em assessoria técnica aos produtores, que ainda desconhecem os benefícios que as mudanças trazidas pela tecnologia agregam a produção final.