



**PEDRO ANTÔNIO NAMORATO BENEVENUTE**

**EFEITOS DO PREPARO DO SULCO DE PLANTIO NOS  
ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO, NO  
DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE PLANTAS E EM  
PARÂMETROS DE PRODUÇÃO DO CITROS.**

**LAVRAS - MG  
2019**

**PEDRO ANTÔNIO NAMORATO BENEVENUTE**

**EFEITOS DO PREPARO DO SULCO DE PLANTIO NOS  
ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO, NO  
DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE PLANTAS E EM  
PARÂMETROS DE PRODUÇÃO DO CITROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Geraldo César de Oliveira  
Orientador

Eng<sup>a</sup> Agra, D.Sc., Pesq. Ester Alice Ferreira  
Coordenadora do Projeto

**LAVRAS - MG**

**2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Benevenute, Pedro Antônio Namorato.

Efeitos do preparo do sulco de plantio nos atributos físico-hídricos do solo, no desenvolvimento radicular de plantas e em parâmetros de produção do citros. / Pedro Antônio Namorato Benevenute. - 2019.

88 p. : il.

Orientador(a): Geraldo César de Oliveira.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Água no solo. 2. Exploração radicular. 3. Geoestatística. I. Oliveira, Geraldo César de. II. Título.

**PEDRO ANTÔNIO NAMORATO BENEVENUTE**

**EFEITOS DO PREPARO DO SULCO DE PLANTIO NOS  
ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO, NO  
DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE PLANTAS E EM  
PARÂMETROS DE PRODUÇÃO DO CITROS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 01 de agosto de 2019.  
Dr. Bruno Montoani Silva  
Dra. Carla Eloize Carducci

UFLA  
UFGD

Prof. Dr. Geraldo César de Oliveira Orientador  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2019**

*A minha querida, amada e guerreira Mãe, Janaina Namorato de Souza, por seu amor constante e por me proporcionar uma vida simplesmente apaixonante e apaixonada.*

*A minha avó Neide Namorato de Souza (in memoriam), por seu exemplo de mulher, serva de Deus, guerreira, por ser a nossa base familiar, por seu amor infinito e incondicional, sobretudo por nunca ter desistido de concretizar os sonhos de todos aqueles que a cercavam.*

*DEDICO*

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e pela certeza de que Ele está sempre comigo, abençoando e protegendo-me;

A Universidade Federal de Lavras; Ao Departamento de Ciência do Solo; Ao CNPq, Fapemig; À CAPES, pela bolsa de mestrado concedida; Aos Professores do DCS por todo auxílio e companheirismo em especial aos meus queridos amigos Dulce, Doroteo e José Roberto;

Ao meu Orientador Geraldo César de Oliveira pelo companheirismo, dedicação, por sempre me escutar e compartilhar comigo experiências que visam o meu crescimento pessoal;

À EPAMIG Sul em Lavras, pelo apoio logístico; A minha Coordenadora de Projeto Ester Alice Ferreira, pelo companheirismo, zelo, conselhos e sobretudo por sua amizade e pela oportunidade de desenvolver uma pesquisa associada à citricultura em uma de suas áreas de pesquisa;

Ao produtor Antônio Walter, pela doação da área experimental e por seu interesse na pesquisa;

À EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical – CNPMF, pela doação das mudas utilizadas;

À minha companheira de projeto Laura, por seu companheirismo na realização deste trabalho;

À minha mãe Janaina, por seu amor imensurável, zelo, carinho e por me proporcionar uma vida simplesmente maravilhosa. Mãe, você é um exemplo de Mulher na minha vida, Te Amo!!!

À minha irmã Geovana pelo carinho e amor infinito;

Aos meus padrinhos Maria Cecília e Ewaldo por todo seu amor, companheirismo e por momentos muito felizes compartilhados juntos;

Às minhas irmãs do coração Rafaela e Gabriela por me amarem intensamente;

À toda minha família que me auxiliou e me amou mesmo eu estando longe de casa;

A todos os integrantes da Família Lasmar, em especial a minha amiga Karina Lasmar por ter me apresentado as melhores pessoas, as quais eu nunca sonharia em conhecer; Carolina Lasmar você faz os meus dias tristes ficarem, suportáveis, maravilhosos e extremamente felizes, Eu amo todos vocês! Vocês são uma família divertida, sincera e honesta, obrigado por tudo!!!

Aos amigos/família de Lavras, Sillas, Jéssica e Filipe, que me acompanharam durante a caminhada do mestrado e me proporcionaram momentos de felicidade e aos amigos do laboratório Mariany, Lucas Ademir e Luiz Filipe por todo auxílio;

Ao Lucas Roberto pela ajuda e pelo excessivo zelo para com este trabalho, principalmente em relação às análises estatísticas;

Aos amigos Isabela; Everton e André pela amizade, experiências e por nossa equipe dinâmica;

À Samara Martins Barbosa por ter me ensinado a ser um pesquisador maior e melhor;

À Érika Andressa da Silva, pela amizade e companhia em todas as etapas deste trabalho;

À Carla Carducci, por ser um referencial de pesquisadora e por nossa amizade, sincera e verdadeira.

**MUITO OBRIGADO!**

*“O mais legal do trabalho em equipe é ver o seu melhor se transformar em excelência com a força dos outros integrantes”*

*“Bem sei que tudo podes Senhor, e nenhum dos teus planos podem ser frustrados.”*

*Jó-42:2*

*“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e seus planos serão bem sucedidos.”*

*Pv-16:3*



## RESUMO

O adensamento presente no horizonte Bt dos Argissolos pode limitar o desenvolvimento radicular de plantas cítricas com prejuízos para a produtividade da cultura. O preparo profundo do solo para o plantio e a escolha correta do porta-enxerto pode ser a solução para este problema, mas esta premissa carece de comprovação científica com base em resultados da relação entre a distribuição espacial radicular e os atributos físico-hídricos do solo. Assim, o presente estudo objetivou avaliar a distribuição espacial do sistema radicular de diferentes porta-enxertos de plantas cítricas, sob Argissolo, onde foram estudadas relações entre atributos físico-hídricos deste solo, associados ao preparo profundo da área realizado com sulcagem e subsolagem, assim como as inter-relações existentes entre fenometria e produtividade das plantas. O experimento foi instalado em fazenda de citricultura no município de Perdões, Mesorregião fisiográfica Campo das Vertentes, MG, em área de Argissolo Vermelho. O preparo da área experimental (AE) consistiu na abertura de sulcos de plantio com 0,40 m de largura e 0,50 m de profundidade, onde foi realizada a correção e fertilização do solo, posteriormente foi realizada a prática da subsolagem a 0,90 m de largura e 0,50 m de profundidade e em seguida foram abertas as covas com dimensões 0,30 m de diâmetro e 0,50 m de profundidade para o plantio das mudas. Os porta-enxertos estudados foram: ‘Cravo Santa Cruz’ (CSC); ‘Sunki Tropical’ (ST) e ‘Citrandarin Índio’ (CI). Tendo por interesse a comparação entre AE e uma área sem preparo, foi então utilizada uma área de mata (AM). Após três anos desde o preparo inicial do solo sob três porta-enxertos. Amostras em anéis volumétricos ( $\approx 90 \text{ cm}^3$ ) com estrutura preservada de solo foram coletadas nas camadas (0-0,05; 0,35-0,40; 0,45-0,50), assim como em posições pré-estabelecidas e afastadas do centro da planta (Esquerda do sulco: E; Sulco de Plantio: S; Direita do sulco: D). Para a AM somente foram coletadas amostras com estrutura preservada em relação às camadas de solo avaliadas. Essa amostragem teve por interesse quantificar a distribuição de poros no solo por diâmetro, potencial de disponibilidade de água e bem como o uso dessa água tanto da AE em relação aos porta-enxertos quanto da AM. O sistema radicular dos diferentes porta-enxertos na AE foi avaliado pelo método do perfil cultural em associação à análise digital 2D, com posterior confecção de mapas de superfície das variáveis radiculares número (NR) e diâmetro de raízes (DR) analisadas por meio de krigagem. Com três anos desde o preparo profundo a partir de sulcagem, seguida de subsolagem e abertura de covas, o Argissolo apresentou alterações significativas nos atributos físico-hídricos tendo em vista alteração estrutural e maior dispersão de argila com expressiva contribuição no volume de microporos. O preparo na AE foi eficaz na distribuição espacial das raízes dos diferentes porta-enxertos estudados, tendo maior destaque para o CSC, que apresentou maior NR e DR, bem como maior uso da água, tendo reflexo em seu crescimento vegetativo e bem como no ganho em produtividade.

**Palavras-Chave:** Ferramentas de diagnóstico. Água no solo. Exploração radicular. Leito de plantio. tangerina Ponkan. Geoestatística.

## ABSTRACT

The dense layer densification present in the Bt horizon of the Argissol (Ultisol) may impair root development of citrus plants promoting damages to the crop yield. The deep tillage for cultivation and the correct choice of rootstock may be the solution to this problem, but this premise needs scientific evidence based on the results of the relationship between root spatial distribution and soil physical-hydric attributes. The present study aimed to evaluate the spatial distribution of the root system of different citric culture rootstocks under Ultisol, where the relationships between the physical-water attributes of this soil, associated with the deep preparation of the area from furrowing, subsoiling, as well as the interrelationships between phenometry and plant yield. The experiment was carried out in a citrus farm in the city of Perdões, physiographic mesoregion Campo das Vertentes, Minas Gerais, in an area of Ultisol. The preparation of the experimental area (EA) consisted of opening planting furrows 0.40 m wide and 0.50 m deep, where the soil was corrected and fertilized, followed by subsoiling at 0.90 m wide and 0.50 m deep and then the pits with dimensions 0.30 m diameter x 0.50 m deep were opened for seedling planting. The rootstocks studied were: 'Cravo Santa Cruz' (CSC); Sunki Tropical (ST) and Citrandarin Índio (CI). In order to compare EA and an unprepared area, a forest area (FA) was then used. Three years after beginning soil preparation under the three rootstocks, volumetric ring samples ( $\approx 90 \text{ cm}^3$ ) with undisturbed soil structure were collected in the layers (0-0.05; 0.35-0.40; 0.45-0.50), as well as in pre-established positions away from the center of the plant (Left Furrow: LF; Planting Furrow: PF; Right Furrow: RF). For FA, only samples with undisturbed structure were collected in relation to the evaluated soil layers. The purpose of this sampling was to quantify the soil pore distribution by diameter, water availability potential, and the use of this water from both EA and FA. The root system of the different rootstocks in the EA was evaluated by the cultural profile method in association with 2D digital analysis, with subsequent surface mapping of root variables number (RN) and root diameter (RD) analyzed by kriging. After three years since the deep preparation from furrowing, followed by subsoiling and digging, the Ultisol showed significant changes in its physical-hydric attributes in terms of structural change and greater clay dispersion with a significant contribution to micropore volume. The preparation in the EA was effective in the roots spatial distribution of the different studied rootstocks, with greater emphasis on the CSC, which presented higher RN and RD, as well as greater water use, reflecting on their vegetative growth and on the gain in yield.

**Keywords:** Diagnostic Tools. Water in the soil. Root exploration. Planting bed. Ponkan tangerine. Geostatistics.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Layout experimental para a avaliação de diferentes porta-enxertos utilizados em um pomar de tangerina Ponkan.....	43
Figura 2 - Delineamento da área experimental, demonstração da uniformidade de amostragem e detalhes da amostragem do Argissolo para a caracterização química e físico-hídrica dos tratamentos estudados, para as diferentes camadas e posições avaliadas.....	46
Figura 3 - Esquema do gride amostral para avaliação do sistema radicular.....	51
Figura 4 - Porosidade total em função dos diferentes tratamentos (A), camadas (B) e posições de amostragem (C).....	55
Figura 5 - Grau de dispersão, grau de floculação e poros bloqueados para os diferentes porta-enxertos utilizados na citricultura e em relação a área de mata.....	57
Figura 6 - Distribuição dos poros do solo por tamanho comparando área de mata e cultivo com três porta-enxertos (A); diferentes camadas do solo (B) e nas três posições de amostragem no solo manejado (C).....	59
Figura 7 - Semivariogramas dos modelos esférico e exponencial ajudados pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), para número e diâmetro de raiz em associação aos diferentes porta-enxertos utilizados na citricultura: CSC: Porta-enxerto ‘Cravo Santa Cruz’; ST: Porta-enxerto ‘Sunki Tropical’; CI: Porta-enxerto ‘Citrandarin Índio’.....	64
Figura 8 - Mapas da distribuição espacial do número (A) e diâmetro de raízes (B) variando em função dos diferentes porta-enxertos utilizados na citricultura.....	66
Figura 9 - Mapa categorizado para a distribuição espacial do diâmetro de raízes variando em função dos diferentes porta-enxertos utilizados na citricultura.....	69
Figura 10 - Altura da planta (A), diâmetro do caule (B) e produtividade (C) da tangerina Ponkan associada aos diferentes porta-enxertos avaliados.....	70
Figura 11 - Água disponível (AD) no solo em função dos diferentes tratamentos, profundidades e posições avaliados.....	71
Figura 12 - Uso da água em função dos diferentes tratamentos, profundidades e posições avaliados.....	73
Figura 13 - Análises de componentes principais entre as variáveis respostas para os porta-enxertos implantados em Argissolo.....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise granulométrica do solo da área sob mata.....	43
Tabela 2 - Atributos químicos do solo da área experimental antes da implantação do experimento.....	44
Tabela 3 - Cronograma das adubações de cobertura desde pós-plantio até o ano de avaliação do experimento.....	48
Tabela 4 - Modelos teóricos testados para cada atributo morfológico de raiz em associação a cada um dos porta-enxertos estudados.....	53
Tabela 5 - Atributos químicos do solo na área experimental, três anos após a implantação do experimento, para todos os tratamentos avaliados.....	62
Tabela 6 - Parâmetros geoestatísticos: efeito pepita ( $C_0$ ); patamar ( $C_0+C_1$ ); alcance ( $a$ ); e índice de dependência espacial ( $C_0/ C_0+C_1$ ), contribuição ( $C_1$ ), em relação aos atributos morfológicos de raiz em função dos diferentes porta-enxertos utilizados na citricultura.....	63

## LISTA DE ABREVIATURAS

(a)	Alcance
(C0)	Efeito pepita
(C0/ C0+C1)	Índice de dependência espacial
(C0+C1)	Patamar
AD	Disponibilidade de água no solo às plantas
AE	Área experimental
AP	Altura da planta
CI	Porta-enxerto ‘Citrandarin Índio’
CSC	Porta-enxerto ‘Cravo Santa Cruz’
D	Posição amostrada a direita do sulco de plantio
DBC	Delineamento em blocos casualizados
DC	Diâmetro do caule à altura do colo
DR	Diâmetro de raízes
E	Posição amostrada à esquerda do sulco de plantio
MAF	Macroporos Finos (147-73 $\mu\text{m}$ )
MAG	Macroporos Grandes (>147 $\mu\text{m}$ )
MEF	Mesoporos Finos (2,9-0,2 $\mu\text{m}$ )
MEG	Mesoporos Grandes (73-49 e 49-29 $\mu\text{m}$ )
MEM	Mesoporos Médios (29-9 e 9-2,9 $\mu\text{m}$ )
MICRO	Microporos (< 0,2 $\mu\text{m}$ )
MO	Matéria Orgânica
NR	Número de raízes
PROD	Produção (Kg/planta)
AM	Área de mata
S	Posição amostrada no sulco de plantio
ST	Porta-enxerto ‘Sunki Tropical’
USO	Uso de água disponível pelas plantas
PT	Volume total de poros
$\theta_{\text{PMP}}$	Umidade no ponto de murcha permanente

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO (SEÇÃO PRIMÁRIA).....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO (SEÇÃO PRIMÁRIA).....	16
2.1	Citricultura.....	16
2.2	Enxertia e porta-enxertos.....	17
2.3	Ponkan.....	19
2.4	Sistema radicular.....	20
2.5	Armazenamento e uso da água.....	22
2.6	Manejo do solo.....	24
	REFERÊNCIAS.....	28
	SEGUNDA PARTE - ARTIGO I.....	38
1	INTRODUÇÃO (SEÇÃO PRIMÁRIA).....	41
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	43
2.1	Descrição da área.....	43
2.2	Preparo do solo.....	45
2.3	Plantio das mudas.....	45
2.4	Delineamento estatístico.....	45
2.5	Caracterização química e físico-hídrica do solo após três anos da implantação	48
2.6	Distribuição de poros do solo por tamanho e porosidade total.....	50
2.7	Avaliação do sistema radicular.....	51
2.8	Avaliação do crescimento e produção das plantas.....	52
2.9	Análise estatística.....	52
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
3.1	Sistema poroso do solo.....	55
3.2	Avaliação química do solo.....	61
3.3	Parâmetros geoestatísticos.....	62
3.4	Distribuição radicular.....	65
3.5	Fenometria da tangerina Ponkan sobre os porta-enxertos estudados.....	70
3.6	Uso de água disponível.....	71
3.7	Análise dos componentes principais.....	74
4	CONCLUSÃO.....	77
	REFERÊNCIAS.....	78

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário internacional como um dos maiores produtores mundiais de frutas cítricas. O estado de São Paulo expressa maior produção e detém grande área cultivada, entretanto, é o estado de Minas Gerais que vem expandindo o cultivo de citros, e experimentando expressivo aumento de produção (BARROS; BARROS; CYPRIANO, 2016).

Em decorrência da ampla expansão citrícola, é premente a adequação de determinadas práticas consideradas indispensáveis à boa condução dos pomares. Dentre essas práticas, destaca-se a escolha de porta-enxerto adequado às condições locais por promover melhor desenvolvimento das plantas, por conferir resistência a determinadas doenças (ALBRECHT; FIEHN; BOWMAN, 2016), melhor absorção de água e nutrientes (MATTOS JÚNIOR et al., 2017) e principalmente tolerância ao déficit hídrico (SANTOS et al., 2017), sendo essa última característica de grande importância, haja vista os veranicos cada vez mais severos na região sudeste do Brasil (COELHO; CARDOSO; FIRPO, 2016; MARENGO et al., 2015).

O uso racional da água na agricultura é fundamental, uma vez que a gestão dos recursos hídricos tem sido cada vez mais afetada pelas modificações climáticas e pela ação do homem no ambiente (ZHAO et al., 2018). Uma vez que a escassez de água afeta a produtividade e declínio dos pomares de citros (PANIGRAHI; SRIVASTAVA, 2017), sendo assim, alternativas envolvendo práticas de manejo associadas à área sem prejuízos para a cultura é de extrema importância (ZHAO et al., 2014; BASTIDA et al., 2017).

O preparo primário do solo agrícola é caracterizado por um processo mecânico do qual resulta o revolvimento e inversão das camadas, principalmente a superficial, causando a quebra de agregados e pulverização do solo (FERNANDES et al., 1999; STARKEY, 2003). Essa inversão é promovida por implementos agrícolas, com o objetivo de favorecer o estabelecimento das culturas (ASAE, 1997).

O revolvimento das partículas oriundo do preparo do solo produz complexas alterações ocasionando respostas variáveis no comportamento desse sistema (GILL; VANDEN BERG, 1968), afetando a qualidade física, química e biologia do ambiente (BARROS; MILAN, 2001), bem como o conteúdo de água (KLADIVKO, 2001). Este é um assunto relevante, pois especificamente em Argissolos, diferentes estudos mostram tempos distintos para o desaparecimento dos efeitos negativos oriundos do revolvimento

(SCHAEFER et al., 2001; CAVICHILO; DEDECEK; GAVA, 2003; REICHERT et al., 2009), bem como aspectos voltados para a ação do sistema radicular e o conhecimento a respeito da relação água-solo-planta (CHEN et al., 2018).

Vários são os detalhamentos necessários nos estudos envolvendo os citros com destaque para a distribuição radicular das plantas associado aos variados porta-enxertos. A avaliação da distribuição radicular é muito importante uma vez que as raízes são os órgãos responsáveis pela absorção de água e nutrientes (WANG et al., 2018), e como podem alcançar profundidades expressivas na ausência de limitações químicas e físicas, seria possível prever quais práticas de manejo do solo melhor se enquadram ao uso da área cultivada (TESTEZLAF; COLETTI; MATSURA, 2007; HONDEBRINK; CAMMERAAT; CERDÀ, 2017). Corroborando com este fato, há trabalhos que usam recursos geoestatísticos associados à avaliação precisa da distribuição de raízes no solo (CARDUCCI et al., 2014a b; 2015), os quais são de grande ajuda principalmente na tomada de decisão em relação aos efeitos do manejo associado ao solo.

Assim, no contexto atual da citricultura onde se tem preconizado a utilização de multi-práticas de manejo do solo, bem como práticas com potencial em promover melhorias no estabelecimento dos citros nos pomares, o estudo conjunto da caracterização dos atributos físico-hídricos do solo, fenometria e produtividade das plantas em associação à avaliação do sistema radicular proveniente de diferentes porta-enxertos utilizados pela citricultura mostra ser muito promissor, pois esse estudo pode caracterizar a real atuação da estrutura do solo em relação ao desenvolvimento da planta e bem como possível previsão de produção dos pomares.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Citricultura

Os citros são representados por um vasto grupo de plantas do gênero *Citrus* entre outros gêneros semelhantes ou híbridos da família *Rutaceae*. Salienta-se que a grande maioria é representada pelas laranjas (*Citrus sinensis*), tangerinas (*Citrus reticulata* e *Citrus deliciosa*), limões (*Citrus limon*), assim como as limas ácidas (Tahiti e Galego), limas doces (Lima da Pérsia), Pomelo, Cidra, Laranja-Azeda e as Toranjas (LOPES et al., 2011).

A citricultura apresenta ampla contribuição à cadeia produtiva do agronegócio brasileiro, sendo assim essa cultura no âmbito nacional tem grande importância particularmente no cenário social e econômico (NASCIMENTO et al., 2010; LOPES et al., 2011; SIMÕES; CABRAL; OLIVEIRA, 2015). Em relação ao retrato da citricultura no Brasil, tem-se que o nosso país apresenta 50% da produção mundial, exporta 98% do que produz e apresenta uma participação de 85% no mercado mundial. Dessa forma, sua produção aproxima-se de 397 milhões de caixas de 40,8 kg, sendo esse rendimento referente aos mais de 3000 municípios, os quais essa cultura se faz presente (NEVES et al., 2010).

Ressalta-se que essa fruta vem ganhando espaço na escolha do produtor rural, com um ganho em produção bastante expressivo nos últimos cinquenta anos. Uma vez que nos anos de 1960 a produção mundial era de 16 milhões de toneladas e no ano de 2012 esse valor subiu para 68 milhões de toneladas. Esse incremento na produção tem relação com o aumento do seu cultivo nos principais países produtores, como Brasil, China e EUA, bem como pela alta demanda de alimentos nutritivos e saudáveis (FAO, 2014).

Destaca-se que a citricultura tem forte predomínio de cultivo em áreas tropicais e subtropicais devido à sensibilidade a baixas temperaturas apresentada por algumas variedades. Salienta-se que essa cultura é caracterizada por apresentar grande produção de frutos bem como alta capacidade produtiva por várias décadas (STEDUTO et al., 2012). Particularmente em clima quente onde há grande demanda hídrica, assim os citros é cultura altamente exigente demandando manejo adequado do solo (QIN et al., 2016).

Com relação ao clima, a citricultura tem preferência por temperaturas que variam entre 23 e 32 °C e alta umidade relativa do ar. Temperaturas acima de 40°C e abaixo de 13°C promovem redução na taxa fotossintética acarretando perdas de produtividade e qualidade dos frutos, pois frutos produzidos em climas mais frios apresentam característica ácida enquanto

aqueles produzidos em climas quentes são doces (MATTOS JUNIOR et al., 2005). Dos problemas levantados na citricultura a sensibilidade à seca tem recebido destaque por ser a falta de água um dos principais fatores promotores da redução de produtividade (SIMPSON et al., 2015).

O Brasil é um dos principais produtores a nível mundial de frutas cítricas e os Estados que mais tem contribuído são: São Paulo, Bahia e Minas Gerais, principalmente na produção de laranja, tangerina e limão respectivamente, tendo por principal objetivo o abastecimento interno, mas também a exportação (MATTOS JUNIOR et al., 2005). Destaca-se que a citricultura brasileira tem passado por alterações relevantes com relação a forma de manejar e conduzir os seus pomares, objetivando maior ganho em produtividade (AZEVEDO et al., 2015).

O estado de Minas Gerais nos últimos anos tem expandido o cultivo de citros e aprimorado o manejo da cultura visando aumentos de produtividade, uma vez que possui clima e condições adequadas para o seu estabelecimento, com destaque para as regiões do Triângulo Mineiro e Centro-Oeste de Minas (CONAB, 2013; SEAPA, 2015).

Objetivando o perfeito estabelecimento e adaptação dessa cultura em várias condições de climas e solos, no Brasil tem-se lançado mão de porta-enxertos adaptados às condições edáficas específicas das áreas de produção. Essa decisão é considerada fundamental por permitir maior absorção de água e nutrientes (MATTOS JÚNIOR et al., 2017) e maior tolerância ao déficit hídrico (CERQUEIRA et al., 2004), maximizando o desenvolvimento da planta e a produção, bem como a qualidade da fruta produzida (DUBEY; SHARMA, 2016).

Destaca-se nesse sentido, a promoção de sistema radicular denso e bem distribuído promovido pelos porta-enxertos que permitem à planta o acesso a água e nutrientes em maiores extensões do solo. No entanto o manejo do solo para cultivo dos *Citrus* pode modificar a distribuição do sistema radicular dessas plantas, pelo prolongamento de suas raízes quando se elimina as restrições físicas e químicas nas maiores profundidades do solo.

## **2.2 Enxertia e porta-enxertos**

A enxertia é uma prática que vem sendo utilizada na citricultura a mais de um século, proporcionando vantagens principalmente associadas ao desenvolvimento e produtividade dessa cultura. O enxerto, também chamado de copa, está diretamente relacionado com aspectos do fruto que melhor atendem ao mercado consumidor. Já o porta-enxerto promove inúmeras respostas à copa como produtividade, qualidade dos frutos, composição orgânica e

inorgânica das folhas, vigor, produção precoce entre outros quesitos (BASTOS et al, 2014).

A alta diversidade no uso de porta-enxertos no Brasil apresenta grande importância, pois há uma expressiva ocorrência de estresses bióticos e abióticos nas diferentes regiões onde é cultivada a cultura dos citros. A utilização de porta-enxerto promove condições consideradas desejáveis como o nanismo, eficiência produtiva e maior qualidade dos frutos (RODRIGUES et al., 2015). Sendo assim a sua utilização na citricultura é considerada de maneira geral bastante compensatória, pois mostra eficiência principalmente em alavancar a produtividade dessa cultura (CASTLE et al 2015; BOWMAN et al., 2016; MCCOLLUM; BOWMAN, 2017), além de promover maior resistência a determinadas doenças, pois há uma intensa relação entre as diferentes variações metabólicas e as características fisiológicas das plantas (ALBRECHT; FIEHN; BOWMAN, 2016).

A propagação eficiente dos variados porta-enxertos em citros reflete diretamente em número e comprimento de raízes, indicando a partir disso, uma diferença estrutural na distribuição espacial das mesmas no solo, uma vez que essa distribuição está diretamente ligada ao crescimento e estabilidade das plantas à campo (BOWMAN; ALBRECHT, 2017). A utilização do porta-enxerto está também associada com o crescimento, rendimento, qualidade da fruta e estado nutricional das folhas de citros. Assim, utilizando o porta-enxerto é possível observar variações no vigor da planta, bem como no rendimento e qualidade dos frutos (SHARMA et al., 2016).

O fator que limita a escolha do porta-enxerto está intimamente ligado às condições ambientais onde esse será implantado. Em se tratando da região sul de Minas, há predomínio do porta-enxerto ‘Limoeiro cravo’, por apresentar tolerância ao vírus-da-tristeza, à morte súbita, ao declínio do citros, tolerância à seca e bom desempenho às cultivares copa (BASTOS et al., 2014). Essa tolerância está associada diretamente com a maior distribuição radicular assumida por determinados porta-enxertos. Assim, tem-se essa tolerância como uma estratégia, pois a planta que apresenta maior distribuição do sistema radicular, tem a capacidade de alcançar altas profundidades no solo, onde há possibilidade de apresentar maior disponibilidade de água, a qual será absorvida por parte das raízes (MESQUITA et al., 2016; MIRANDA et al., 2018) . Sendo assim, tem-se que os diferentes porta-enxertos que apresentam características tolerantes à determinadas situações podem ser utilizados em condições ambientais contrastantes, promovendo melhor desenvolvimento da cultura (SIMPSON et al., 2015).

Muitos são os porta-enxertos associados à citricultura, porém os ananizantes são os mais recorrentes por promoverem menor porte às plantas. Esta redução no porte contribui de

forma vantajosa para a planta, uma vez que irá ocasionar ganho em eficiência produtiva, pois há a partir da utilização desse porta-enxerto, possibilidade de aumentar a densidade de plantas por área, viabilizando maior ganho em produtividade (BASTOS et al., 2014; AZEVEDO et al., 2015).

O porta-enxerto limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, proveniente de mutação da gema do limoeiro ‘Cravo Santa Barbara’, confere à planta, grande rusticidade e adaptação às variadas condições de clima e solo, além de ser compatível com diversas variedades de copa (SOARES FILHO; CUNHA SOBRINHO; PASSOS, 2003). O trabalho de Carvalho et al. (2016), aborda que o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ além de induzir maior eficiência produtiva, proporciona também menor perda de água por evapotranspiração quando submetido a condições de déficit hídrico.

O porta-enxerto ‘Sunki’ (*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka), uma tangerina de origem chinesa, confere à copa precocidade de produção e menor oscilação de safra; tolerância à seca e maturação tardia de frutos (BASTOS et al, 2014), além de maior crescimento e produção, com bom desempenho na região sudeste do Brasil (GIRARDI et al., 2017).

O porta-enxerto ‘Citrandarin Índio’, um híbrido proveniente do cruzamento entre a tangerina 'Sunki, *Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka versus *Poncirus trifoliata* (L.), é alternativo à produção de citros e vem sendo considerado muito promissor principalmente por promover maior eficiência produtiva (CARVALHO et al., 2016) e bem como reduzir o porte das plantas (BASTOS et al., 2014).

Sendo assim, estudar o efeito desta intervenção na planta tem relevância, por permitir a predição da eficiência no uso da água do solo pelas plantas de citros em diferentes ambientes de cultivo, tendo por real interesse o maior rendimento da cultura (FIDALSKI et al., 2010). Desta forma, a decisão da escolha da copa e do porta-enxerto é etapa primordial, por exercer influência nas características agronômicas, bem como, no desempenho das plantas cítricas (BASTOS et al., 2014). Outro fato importante está relacionado à maior adaptação da planta às condições edafoclimáticas desfavoráveis, ou seja, mesmo em situações adversas há na copa ocorrência de características desejáveis (POMPEU JUNIOR, 2005). O que de certa forma auxilia na avaliação sobre a decisão tomada a respeito do manejo agrícola associado à citricultura (CARRER et al., 2015).

### **2.3 Ponkan**

Da família das *Rutáceas*, o *Citrus reticulata* Blanco também conhecido como

tangerina Ponkan representa a cultivar mais produzida no Brasil (DETONI et al., 2009), correspondendo a cerca de 60% dos pomares cultivados (BASTOS et al., 2014). A produção de tangerina no ano de 2010 foi de 17 milhões de toneladas, sendo o Brasil o maior exportador desta fruta (FAO, 2014). Destaca-se que nos últimos dez anos ocorreu um aumento expressivo em área cultivada no mundo cerca de 30% de tangerina, comparado à laranja que foi de 13%, evidenciando a crescente evolução no cultivo e produção dessa fruta (NEVES et al., 2010). Assim, em relação à tangerina, o Brasil apresenta uma área colhida de 50.080 ha; produção de 965.354 t e rendimento de 19,30 t/ha (IBGE, 2017).

A tangerina, dentre os citros que são cultivados, é reconhecida por ter uma vasta faixa adaptativa com relação ao clima. Portanto é considerada adaptada às variações ambientais, sendo a Ponkan a cultivar que mais se sobressai no que se refere à exploração comercial (REIS et al., 2000; OLIVEIRA; BRUNINI; NUNES, 2014).

A copa da tangerina Ponkan apresenta características de meia-estação e tem maior aceitabilidade do mercado consumidor por apresentar paladar agradável e facilidade no descascamento e separação dos gomos de seus frutos. As variedades de copas que a citricultura engloba são variadas, imprimindo maior desenvolvimento e variação entre o florescimento e maturação, o que é dependente da espécie ou variedade utilizada, assim como solo e clima da área de cultivo (MATTOS JUNIOR et al., 2005).

## **2.4 Sistema radicular**

As raízes são definidas como órgãos vegetativos que exercem relação direta da planta com o solo, sendo as principais responsáveis pela absorção de nutrientes e água (DU et al., 2018; CHEN et al., 2018), além de promoverem armazenamento de carboidratos não estruturais para uso posterior (EVERT, 2006). Esses órgãos vegetativos apresentam grande complexidade, apesar de já existir conhecimento suficiente sobre suas funções (HODGE et al., 2009).

As raízes estão longe de ser simplesmente um agente passivo, pois crescem em ambientes adversos por exercerem interação com o solo, o que deve refletir em alterações nas propriedades desse sistema, além de proporcionar aumento do componente biótico (CENTENARO et al., 2017). Esses órgãos também promovem intensa relação com a absorção de água e devido a isso é considerada como parâmetro avaliativo na quantificação da capacidade de disponibilidade de água no solo (COELHO; SANTOS; AZEVEDO, 2007).

No âmbito científico em relação aos órgãos visíveis das plantas como o caule, ramos e

folhas, há maior ocorrência de estudos e avaliações sobre a interação entre folhas e a atmosfera (ZHANG; ZOU; WU, 2018) quando comparado à relação entre solo e raízes, pelo fato de que as partes subterrâneas de uma planta estão longe da percepção visível (CENTENARO et al., 2017). Assim, o estudo do sistema radicular é caracterizado por apresentar dificuldades associadas à sua heterogeneidade e ambiente opaco. Destaca-se que pouco se sabe sobre a real importância das raízes no solo e de que maneira as propriedades físico-químicas e hídricas deste sistema juntamente com os organismos exercem influência à sua presença (CENTENARO et al., 2017). Contudo tem-se que a produtividade das culturas perenes exerce relação direta com os aspectos associados ao sistema radicular bem como com o balanço hídrico do solo (BARCO; MAUCIERI; BORIN, 2018).

O sistema radicular é o principal órgão envolvido na absorção de água, por isso em ambiente de escassez, a resposta associada ao estresse hídrico irá refletir na própria planta (MANZI et al., 2017). As alterações na regulação hormonal e metabólica das plantas estão diretamente relacionadas com escassez de água, portanto, são necessárias medidas que permitam a tolerância por parte da planta em períodos de déficit hídrico. Assim, destaca-se que o conhecimento das alterações no metabolismo da planta associado ao déficit de água principalmente relacionado com o porta-enxerto é de grande importância para o maior esclarecimento dos mecanismos atrelados à tolerância à seca (SANTOS et al., 2017), tendo em vista a maior distribuição de raízes o que vai favorecer na maior absorção de água (MIRANDA et al., 2018).

Salienta-se que a avaliação da disponibilidade hídrica para as plantas associada à distribuição do sistema radicular em diferentes porta-enxertos tem sido utilizada como método para a escolha de sistemas de manejo, principalmente em regiões caracterizadas pelos longos períodos de veranico e então a possibilidade de déficit hídrico pela planta. Devido a isso, ressalta-se que a distribuição radicular da planta é função do porta-enxerto utilizado e exerce influência até mesmo no solo que lhe dá suporte (ALVES JÚNIOR et al., 2012).

O déficit hídrico promove redução na taxa fotossintética por meio do fechamento dos estômatos presentes nas folhas. Portanto, destaca-se que a principal resposta adaptativa das plantas à seca, atrelada à produtividade, está diretamente associada com o ajuste osmótico. Por outro lado, ao favorecer a manutenção osmótica da planta, essa irá propiciar a maior absorção de água pelas raízes quando a água estiver submetida a potenciais menos negativos no solo (BLUM, 2009).

Os tecidos vegetais, com maior ênfase nas folhas, sofrem adaptações em seu metabolismo a partir do desencadeamento de alterações ambientais como radiação,

temperatura, precipitação e umidade. Sendo assim a absorção e manutenção da água representam suma importância para o crescimento, desenvolvimento e sobrevivência das plantas. Uma vez que a comunicação entre os órgãos da planta como folha e raiz é indispensável quando tem por abordagem a absorção e a conservação da água na planta e no solo (CHRISTMANN; GRILL; HUANG, 2013).

## 2.5 Armazenamento e uso da água

As diferentes classes de solos apresentam características contrastantes quanto à capacidade de retenção e disponibilização de água para as plantas (VOGELMANN et al., 2017). Assim, estudos que levam em consideração o comportamento da água no solo são relevantes, particularmente quando visam a melhoria na disponibilidade de água ao longo do perfil, e o seu uso racional, objetivando economia hídrica na agricultura (JING; CHEN, 2011).

Da mesma forma os solos são muito variáveis quanto à reorganização estrutural, o que reflete na porosidade total, mas particularmente na distribuição dos poros por tamanho, afetando a retenção de água e principalmente a disponibilidade da água para as plantas. As plantas crescem na interface solo-atmosfera e dependem totalmente de suas raízes que exploram a porosidade do solo (BLUME et al., 2015). O preparo do solo, por afetar a estrutura, exerce algum efeito na dinâmica da água, mas também no enraizamento das plantas, e dependendo da agressividade das raízes, algumas plantas podem alterar a estrutura do solo (SEVERIANO et al., 2010; LIMA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2018).

Existem trabalhos que atrelam a otimização do uso da água com a qualidade e sanidade das plantas cítricas, gerando assim técnicas de manejo que irão permitir o melhor desenvolvimento das plantas (LI et al., 2007). Corroborando com esse fato, Wang et al. (2015) relatam que os fatores pedoambientais são vitais para o melhor desenvolvimento e estabelecimento dos pomares frutíferos.

Além das características físico-hídricas do solo, o armazenamento e a disponibilidade de água para as plantas é dependente da camada explorada pelo sistema radicular o que independe da profundidade do *solum*<sup>1</sup> e mesmo de sua posição na paisagem, sendo possível o cultivo de citros em solos relativamente rasos localizados em áreas declivosas se acompanhado de práticas agrícolas sustentáveis no âmbito ambiental. Adotando práticas conservacionistas, Tahir et al. (2016), observaram aumento na macroporosidade do solo e

---

<sup>1</sup> Horizontes A e B do solo.

redução do escoamento superficial durante o período de chuva, sendo observado ainda pelo autores que por sombrear o solo, o dossel da planta possibilitou maior conservação da umidade no solo durante a estação seca, o que favoreceu no melhor desenvolvimento e maior crescimento da cultura.

A tensão da água no solo é considerada um indicador acessível para a determinação da disponibilidade de água para a cultura do citros, sendo associada às respostas fisiológicas das plantas e pelo déficit hídrico no solo (CERQUEIRA et al., 2004; RALLO et al., 2017). A forma pela qual a água é absorvida apresenta variações significativas principalmente no que se refere ao tipo de cultivo realizado e estágio de crescimento da planta (ZHAO et al., 2018).

A água exerce influência direta na qualidade das frutas cítricas, sendo assim as condições ambientais nas quais essa cultura se encontra se faz de grande relevância prática, pois exercem influência no fruto produzido. Os fatores que modificam a relação entre água-planta-fruto são a precipitação, porta-enxerto e umidade do solo. No entanto, tem-se que o comportamento hídrico da planta está relacionado com o conteúdo de água no solo e seu estado energético, porta-enxerto utilizado, e condição climática, pois estes fatores juntos promovem modificações nos frutos cítricos (MESEJO et al., 2016).

Qin et al. (2016) ao avaliar a eficiência do uso da água e do nitrogênio na produção de citros, observaram que tanto a água quanto o nitrogênio são fatores indispensáveis à produção dessa cultura. A eficiência no uso desses dois fatores varia de acordo com a cultivar, clima, idade da planta, tipo de solo, e concentrações dos nutrientes. A eficiência do uso desses fatores de produção foi refletida principalmente no rendimento da cultura, qualidade e valor dos frutos colhidos.

As variações sazonais no uso da água pela cultura dos citros estão diretamente associadas à tendência sazonal do dossel, sendo assim tem-se que o monitoramento da reflectância do dossel de citros são passíveis de fornecer informações sobre o comportamento hídrico tanto das plantas quanto do solo, sendo importante na programação da irrigação por ser indicativo de déficit hídrico (DZIKITI et al. 2011).

A escassez de água é um dos fatores principais à baixa produtividade de pomares cítricos, por isso se faz necessário a aplicação de técnicas conservacionistas de solo que possam propiciar economia de água, pelo uso desta em profundidade, com consequências positivas na produção e qualidade dos frutos (PANIGRAHI; SRIVASTA, 2016).

O estudo de sistemas de manejo associados ao impacto do uso da água em relação ao solo é de grande valia (van HARDEVELD et al., 2017; JIANG; LIU; ZHANG, 2017), uma vez que a umidade no solo apresenta grande variação tanto no espaço quanto no tempo (GAO et



al., 2011). Corroborando com este fato, tem-se que os efeitos do clima estão diretamente associados às diferentes formas de uso da terra, principalmente no que diz respeito ao balanço hídrico no solo (FU et al., 2017). Sendo assim, a disponibilidade hídrica está associada intensamente à produtividade das culturas bem como, às condições climáticas e às práticas edáficas incorporadas ao solo. Portanto, tem-se a água como um fator fundamental para a maximização da produtividade, sendo necessário a compreensão da sua dinâmica na zona radicular da cultura, associado ao conhecimento das propriedades físicas do solo, o que vai indicar o estabelecimento de um balanço hídrico adequado para diferentes solos e culturas (CRUZ et al., 2005).

## **2.6 Manejo do solo**

O solo que melhor está associado com o estabelecimento da citricultura são solos profundos, permeáveis, de boa fertilidade, com reserva de nutrientes e pouco ácidos com pH entre 5 - 6, pois esses fatores estão diretamente associados com o melhor crescimento e desenvolvimento das plantas e na promoção da maior produtividade e qualidade dos frutos (MATTOS JUNIOR et al., 2005).

Salienta-se que há determinadas condições desvantajosas relacionadas ao solo no estabelecimento da citricultura, dentre elas destacam-se solos rasos, textura muito argilosa (devido à maior ocorrência de encharcamento), áreas compactadas, arenosas/pedregosas e com baixa retenção de água, nas quais apresentam limitação ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas (MATTOS JUNIOR et al., 2005). Contudo, ressalta-se que no Brasil há uma predominância de solos dotados de excelentes qualidades físicas (RESENDE et al., 2014), mas estes são muito demandados pelas culturas de grãos, em função do relevo suavizado onde estão situados, por favorecer a mecanização (ROQUE et al., 2010).

O manejo pode promover várias alterações nas propriedades físicas e hídricas do solo, com reflexos na segurança e proteção desse importante recurso ambiental. Assim, a análise de atributos como densidade aparente do solo, matéria orgânica (MO), umidade do solo, erosão e escoamento superficial, são utilizadas com sucesso na avaliação de possíveis modificações na estrutura desse sistema (KEESSTRA et al., 2016). Portanto, essa avaliação estrutural tem por objetivo a manutenção e melhorias da estrutura, sendo assim necessária a definição de boas práticas de manejo e bem como o conhecimento multidisciplinar, visando a adoção de estratégias geradas em vários campos científicos como ciência do solo, hidrologia e ecologia

(BREVIK et al., 2015).

De acordo com Tilman et al. (2002) a produção sustentável de alimentos tem forte dependência com o solo e a forma como os ambientes de produção tem sido manejado. O uso racional deste sistema pode promover melhorias na absorção da água e de nutrientes, auxiliando na manutenção da sua fertilidade e economia hídrica, com reflexos na integridade ambiental. Outra função importante do solo é armazenar a água proveniente das chuvas regulando e mitigando os efeitos promovidos pela sua escassez o que torna imperativo a manutenção de sua estrutura (YU et al., 2008; KEESSTRA et al., 2016), que também é responsável pelo desenvolvimento e distribuição do sistema radicular das plantas (CHRISTMANN; GRILL; HUANG, 2013).

Sistema de manejo adequado do solo é aquele que oferece a possibilidade ao solo manter a sua fertilidade química e física para estabelecer rendimento da cultura e promover maior economia de água. Porém, o uso agrícola intensivo de forma contínua e indiscriminada vem promovendo degradação do solo (WANG et al., 2015; KEESSTRA et al., 2017) e reduzindo a produtividade das lavouras, obrigando os produtores a realizarem altos investimentos em suas áreas visando a recuperação das mesmas.

Neste particular destaca-se o tráfego de máquinas nas entrelinhas do pomar de citros. Como o solo nas entrelinhas de pomares cítricos vem sendo coberto por gramíneas e com isto apresentando melhor qualidade física, quando comparado à condição de solo nu (FIDALSKI; TORMENA; SILVA, 2010), a sugestão de uso desta prática é uma alternativa para minimizar os problemas de compactação na citricultura. No mais, estas gramíneas recebem cortes periódicos e seus resíduos passam a proteger o solo, minimizando perdas de água por evaporação (BREVIK et al., 2015), além de efeito nas propriedades bioquímicas associadas aos organismos (PÉREZ-PIQUERES et al., 2017), que ao atuar na decomposição da MO participam na agregação do solo. Desta forma, práticas que preconizam a conservação do solo e da água têm recebido destaque, reforçando a necessidades de sua implementação (HELMS, 2009).

Os sulcos de plantio normalmente são abertos com sulcadores de duas asas, que jogam a terra para cima e para os dois lados (GUERRA; MENDONÇA, 2017) invertendo as camadas do solo, por isso o sulcador tem sido recomendado como complemento na implantação dos citros (MINATEL et al., 2006). Assim, a adoção de determinados implementos no preparo inicial exerce influência na estrutura do solo (SILVA et al., 2003), a qual é dependente de fatores físicos e químicos (BRONICK; LAL, 2005; ABID; LAL, 2008), sendo a estabilidade estrutural associada às propriedades físico-químicas do solo, bem como a

interação entre as partículas e os componentes deste sistema (BOLAN et al., 1999; BAALLOUSHA, 2009).

O preparo profundo do solo por ocasião da implantação de pomares de citros pode afetar o desenvolvimento e a distribuição das raízes de plantas, tendo em vista o crescimento e produtividade da cultura (SOUZA et al., 2008). Por isso tem sido recomendado a realização de covas profundas para o plantio, objetivando o rompimento de barreiras físicas que afetam a distribuição do sistema radicular dessa cultura (SOUZA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2018).

É recorrente nos solos agrícolas a presença de camadas compactadas, situadas logo abaixo da profundidade de preparo do solo. Essa camada na maioria das vezes se torna uma barreira para o desenvolvimento do sistema radicular, assim como para trocas gasosas e drenagem do solo (SPOOR et al., 2003). Desta forma Wells et al. (2005) sugerem medidas que visam a mitigação desses problemas possibilitando o melhor desenvolvimento das culturas, destacando a subsolagem como prática muito utilizada no meio agrícola.

A prática da subsolagem consiste em romper camadas rígidas ou até mesmo impermeáveis do solo, oferecendo condições para o surgimento de pequenas fissuras que favorecem a movimentação de água e penetração de raízes (WILLIAMS et al., 2006). Os subsoladores utilizados no preparo inicial do solo promovem alterações distintas neste sistema (CELIK; RAPER, 2016), sendo de principal interesse alterações nas propriedades físico-hídricas do solo, a exemplo da distribuição de poros do solo, com respostas positivas para o crescimento e rendimento das plantas (AKINCI et al., 2004; GUO et al. (2001), ARVIDSSON; HILLERSTRÖM, 2010).

Vários autores destacam a importância da subsolagem (MAK, CHEN e SADEK, 2012; SHI et al., 2016; FANG et al., 2016), uma vez que a compactação ou adensamento excessivo do subsolo ocasiona redução na permeabilidade e menor absorção de água e nutrientes pelas plantas (ALAKUKKU, 2012), o que leva à quedas de produtividade das culturas.

Minatel et al. (2006) ao avaliar os efeitos da subsolagem em um pomar de citros tendo por base os atributos densidade, porosidade e condutividade hidráulica, não confirmaram efeitos benéficos da descompactação mecânica do solo. Sanches, (1998) e Silva et al. (1999), entretanto defendem esta prática salientando que desde que rompidas as camadas compactadas do solo a condutividade hidráulica deste sistema é aumentada, favorecendo também outros parâmetros físico-hídricos do solo com reflexos no estabelecimento desta cultura.

Neste sentido, Souza, Souza e Ledo, (2004) ao avaliar a disponibilidade de água em pomares de citros implantados com e sem a prática da subsolagem em solo coeso dos

Tabuleiros Costeiros, observaram que o tratamento no qual lançou mão da subsolagem foi o que apresentou melhor disponibilidade de água para as plantas quando comparado ao tratamento sem subsolagem. Corroborando com isto Dias, (2006) aborda que a subsolagem é prática importante na cultura dos citros, uma vez que ela permite o rompimento da camada coesa, aumentando a infiltração de água e permitindo maior exploração do sistema radicular das plantas. Assim, Liu et al. (2016) sugerem a avaliação dos efeitos da subsolagem no preparo profundo do solo, particularmente em regiões sujeitas a condições de déficit hídrico.

## REFERÊNCIAS

- ABID, M.; LAL, R. Tillage and drainage impact on soil quality I. Aggregate stability, carbon and nitrogen pools. **Soil and Tillage Research**, v.100, p.89-98, 2008.
- AKINCI, I.; CAKIR, E.; TOPAKCI, M.; CANAKCI, M.; INAN, O. The effect of subsoiling on soil resistance and cotton yield. **Soil and Tillage Research**, v.77, p.203-210, 2004.
- ALAKUKKU, L. Combating soil degradation. Soil compaction. **Ecosystem Health and Sustainable Agriculture 1**. Sustainable Agriculture (C Jakobsson, eds), The Baltic University Programme, Uppsala University, p.217-221, 2012.
- ALBRECHT, U.; FIEHN, O.; BOWMAN, K. D. Metabolic variations in different citrus rootstock cultivars associated with different responses to Huanglongbing. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.107 p.33-44, 2016.
- ALMEIDA, W. S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P. T. S.; MENEZES, R. S.; SOBRINHO, T. A.; CARVALHO, D. F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil & Tillage Research**, v.175, p.130-138, 2018.
- ALVES JÚNIOR, J., BANDARANAYAKE, W., PARSONS, L. R., EVANGELISTA, A. W. P. *Citrus* root distribution under water stress grown in Sandy soil of central Florida. **Engenharia Agrícola**, v.32, p.1109-1115, 2012.
- ASAE.; **American Society of Agricultural Engineers**. Standards 1997. 1 o Ed. St. Joseph: ASAE, 1997.
- ARVIDSSON, J.; HILLERSTRÖM, O. Specific draught, soil fragmentation and straw incorporation for different tine and share types. **Soil and Tillage Research**, v.110, p.154-160, 2010.
- AZEVEDO, F. A.; PACHECO, C. A.; SCHINOR, E. H.; CARVALHO, S. A.; CONCEIÇÃO, P. M. Produtividade de laranjeira Folha Murcha enxertada em limoeiro Cravo sob adensamento de plantio. **Bragantia**, v.74, n.2, p.184-188, 2015.
- BAALOUSHA, M. Aggregation and disaggregation of iron oxide nanoparticles: Influence of particle concentration, pH and natural organic matter. **Science of the Total Environment**, v.407, p.2093-2101, 2009.
- BARCO, A.; MAUCIERI, C.; BORIN, M. Root system characterization and water requirements of ten perennial herbaceous species for biomass production managed with high nitrogen and water inputs. **Agricultural Water Management**, v.196, p.37-47, 2018.
- BARROS, J. R. M.; BARROS, A. L. M.; CYPRIANO, M P. **O mercado da citricultura no Brasil e as suas novas perspectivas**. *Citrus BR*, Associação Nacional dos Exportadores de sucos cítricos. Trabalho elaborado com dados até fevereiro de 2016.
- BARROS, J. W. D.; MILAN, M. **Planejamento da qualidade do preparo mecanizado do solo para implantação de florestas de Eucalyptus spp. Utilizando o método**

**desdobramento da função qualidade (QFD)**. 135 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

BASTIDA, F.; TORRES, I. F.; ROMERO-TRIGUEROS, C.; BALDRIAN, P.; VETROVSKÝ, T.; BAYONA, J. M.; ALARC, J. J.; HERNÁNDEZ, T. GARCÍA, C.; NICOLÁS, E. Combined effects of reduced irrigation and water quality on the soil microbial community of a citrus orchard under semi-arid conditions. **Soil Biology & Biochemistry**, v.104, p.226-237, 2017.

BASTOS, D. C.; FERREIRA, E. A.; PASSOS, O. S.; SÁ J. F.; ATAÍDE, E. M.; CALGARO, M. Cultivares copa e porta-enxertos para a citricultura brasileira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.35, p.36-45, 2014.

BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, v.112, p.119-123, 2009.

BLUME, H.P., BRÜMMER, G.W., FLEIGE, H., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K., WILKE, B.M. **Scheffer/Schachtschabel Soil Science**. Springer. 2015.

BOLAN, N. S.; NAIDU, R.; SYERS, J. K.; TILLMAN, R. W. Surface charge and solute interactions in soils. **Advances in Agronomy**, v.67, p.87-140, 1999.

BOWMAN, K. D.; ALBRECHT, U. Efficient propagation of citrus rootstocks by stem cuttings. **Scientia Horticulturae**, v.225, p.681-688, 2017.

BOWMAN, K. D.; FAULKNER, L.; KESINGER, M. New citrus rootstocks released by USDA 2001–2010: Field performance and nursery characteristics. **HortScience**, v.51, p.1208–1214, 2016.

BREVIK, E. C.; CERDÀ, A.; MATAIX-SOLERA, J.; PEREG, L.; QUINTON, J. N.; SIX, J.; VAN OOST, K. The interdisciplinary nature of soil. **Soil**, v.1 (1), p.117–129, 2015.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C. de; CURI, N.; HECK, R. J. J.; ROSSONI, D. F. F.; CARVALHO, T. S. S.; COSTA, L. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v.145, p.171-180, 2014a.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; HECK, R. J.; ROSSONI, D. F.; CARVALHO, T. S.; COSTA, A. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v.145, p.171-180, 2015.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; ROSSONI, D. F.; COSTA, A. L.; OLIVEIRA, L. M. Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,

v.18, p.270-278, 2014b.

CARRER, M. J.; SOUZA FILHO, H. M.; BATALHA, M. O.; ROSSI, F. R. Farm Management Information Systems (FMIS) and technical efficiency: An analysis of citrus farms in Brazil. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.119, p105-111, 2015.

CARVALHO, L. M.; CARVALHO, H. W. L.; SOARES FILHO, W. S.; MARTINS, C. R.; PASSOS O. S. Porta-enxertos promissores, alternativos ao limoeiro 'Cravo', nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.2, p.132-141, 2016.

CASTLE, W. S.; GROSSER, J. W.; BOWMAN, K. D.; STOVER, E. An HLB-tolerant *Citrus* Rootstock: What Exactly Does That Mean? **Citrus Industry Magazine**, p.16-19, 2015.

CAVICHIOLO, S. R.; DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L. Avaliação do efeito de métodos de preparo em solos de diferentes texturas, na resistência mecânica e na produtividade de rebrota de *Eucalyptus saligna*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.47, p.83-98, 2003.

CELIK, A.; RAPER, R. L. Comparison of various coulter-type ground-driven rotary subsoilers in terms of energy consumption and soil disruption. **Soil Use and Management**, v.32, p.250-259, 2016.

CENTENARO, G.; HUDEK, C.; ZANELLA, A.; CRIVELLARO, A. Root-soil physical and biotic interactions with a focus on tree root systems: A Review. **Applied Soil Ecology**, 2017.

CERQUEIRA, E. C.; CASTRO NETO, M. T.; PEIXOTO, C. P.; SOARES FILHO, W. S.; LEDO, C. A. S.; OLIVEIRA, J. G. Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, p.515-519, 2004.

CHEN, W.; JIN M.; FERRÉ, T. P. A.; LIU, Y.; XIAN, Y.; SHAN, T.; PING X. Spatial distribution of soil moisture, soil salinity, and root density beneath a cotton field under mulched drip irrigation with brackish and fresh water. **Field Crops Research**, v.215 p.207-221, 2018.

CHRISTMANN, A.; GRILL, E.; HUANG, J. Hydraulic signals in long-distance signaling. **Current Opinion in Plant Biology**, v.16, p.293-300, 2013.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event. **Theoretical and Applied Climatology**, p.769-784, 2016.

COELHO, E. F.; SANTOS, D. B.; AZEVEDO, C. A. V. Sensor placement for soil water monitoring in lemon irrigated by micro sprinkler. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.46-52, 2007.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira Laranja SAFRA 2013/14 **Terceiro Levantamento - São Paulo e Triângulo Mineiro**, 2013.

CRUZ, A. C. R., LIBARDI, L., CARVALHO, L. A., ROCHA, G. C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.1-10, 2005.

- DETONI, A. M.; HERZOG, N. F. M.; OHLAND, T.; KOTZ, T.; CLEMENTE, E. Influência do sol nas características físicas e químicas da tangerina “Ponkan” cultivada do oeste do Paraná. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.2, p.624-628, 2009.
- DIAS, R. C. dos S. **Qualidade do solo e desenvolvimento radicular de citros em Latossolo Amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo**. 2006. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias)-Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2006.
- DU, W.; TAN, W.; YIN, Y.; JI, R.; PERALTA-VIDEA, J. R. GUO, H.; GARDEA-TORRESDEY, J. J. Differential effects of copper nanoparticles/microparticles in agronomic and physiological parameters of oregano (*Origanum vulgare*). **Science of the Total Environment**, v.618, p.306-312, 2018.
- DUBEY, A. K.; SHARMA, R. M. Effect of rootstocks on tree growth, yield, quality and leaf mineral composition of lemon (*Citrus limon* (L.) Burm.). **Scientia Horticulturae**, v.200, p.131-136, 2016.
- DZIKITI, S.; VERREYNNEB, S. J.; STUCKENSD, J.; STREVERC, A.; VERSTRAETEND, W. W.; SWENNENE, R.; THERONA, K. I.; COPPIND, P. Seasonal variation in canopy reflectance and its application to determine the water status and water use by citrus trees in the Western Cape, South Africa. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.151, p.1035-1044, 2011.
- EVERT, R. F. Esau's Plant Anatomy: **Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: Their Structure, Function, and Development**. John Wiley and Sons, 2006.
- FANG, H. M.; JI, C. Y.; AHMED, A. T.; ZHANG, Q. Y.; GUO, J. Analysis of straw movement in straw-soil-rotary blade system. **Chinese Society of Agricultural Engineering**, v.47, n.1, p.60-67, 2016.
- FAO, Food and Agriculture Organization. **FAO Database**. Rome. <http://faostat.fao.org/>. 2014.
- FERNANDES, L. A.; VASCONCELLOS, C. A.; FURTINI NETO, A. E.; ROSCOE, R.; GUEDES, G. A. A. Preparo do solo e adubação nitrogenada na produção de grãos e matéria seca e acúmulo de nutrientes pelo milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.9, p.1691-1698, 1999.
- FIDALSKI, J., AULER, P. A. M., BERALDO, J. M. G., MARUR, C. J., FARIA, R. T., BARBOSA, G. M. C. Availability of soil water under tillage systems, mulch management and *citrus* rootstocks. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p.917-924, 2010.
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Least limiting water range and physical quality of soil under groundcover management systems in citrus. **Scientia Agricola**, v.67, n.4, p.448-453, 2010.
- FU, J.; GASCHÉ, R.; WANG, N.; LU, H.; BUTTERBACH-BAHL, K.; KIESE, R. Impacts of climate and management on water balance and nitrogen leaching from montane grassland soils of S-Germany. **Environmental Pollution**, v.229, p.119-131, 2017.



- GAO, X., WU, P., ZHAO, X., SHI, Y., WANG, J., ZHANG, B. Soil moisture variability along transects over a well-developed gully in the Loess Plateau, China. **Catena**, v.87, p.357–367, 2011.
- GILL, W. R.; VANDEN BERG, G. E. **Soil dynamics in tillage and traction**. 1 o Ed. Washington: USDA, 1968.
- GIRARDI, E. A.; CERQUEIRA, T. S.; CANTUARIAS-AVILÉS, T. E.; SILVA, S. R.; STUCHI, E. S. Sunki mandarin and Swingle citrumelo as rootstocks for rain-fed cultivation of late-season sweet orange selections in northern São Paulo state, Brazil. **Bragantia**, v.76, n. 4, p.501-511, 2017.
- GUERRA, A. G.; MENDONÇA, V. **CULTURA DOS CITROS Aplicação das Boas Práticas Agrícolas na Cultura dos Citros**. Natal, 2 ed, 2017. 123 p.
- GUO, Z.; TONG, J.; ZHOU, Z.; REN, L. Review of subsoling techniques and their applications. **Transactions of the CSAE**, v.17, n.6, p.169-174, 2001.
- HELMS, D. Hugh Hammond Bennett and the creation of the Soil Conservation Service. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.65, p.37A-47A, 2010.
- HODGE, A., BERTA, G., DOUSSAN, C., MERCHAN, F., CRESPI, M. Plant root growth: architecture and function. **Plant Soil**, v.321 (1-2), p.153-187, 2009.
- HONDEBRINK, M. A.; CAMMERAAT, L. H.; CERDÀ A. The impact of agricultural management on selected soil properties in *citrus* orchards in Eastern Spain: A comparison between conventional and organic *citrus* orchards with drip and flood irrigation. **Science of the Total Environment**, v.581-582, p.153-160, 2017.
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, **Produção Agrícola Municipal, 2017**. Consultado em 17/09/2018.
- JIANG, X. J.; LIU, S.; ZHANG, H. Effects of different management practices on vertical soil water flow patterns in the Loess Plateau. **Soil and Tillage Research**, v.166, p.33-42, 2017.
- JING, Y.; CHEN, J. Modelling of Soil Water Movement and Its Application of *Citrus* Garden in Hilly Area of Jiangxi Province. **Procedia Engineering**, v.18, p.145-150, 2011.
- KEESSTRA, S.; PEREIRA, P.; NOVARA, A.; BREVIK, E. C.; AZORIN-MOLINA, C.; PARRAS-ALCÁNTARA, L.; JORDÁN, A.; CERDÀ, A. Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. **Science of the Total Environment**, v.551-552 p.357-366, 2016.
- KEESSTRA, S.; WITTENBERG, L.; MAROULIS, J.; SAMBALINO, F.; MALKINSON, D.; CERDÀ, A.; PEREIRA, P. The influence of fire history, plant species and post-fire management on soil water repellency in a Mediterranean catchment: The Mount Carmel range, Israel **Catena**, v.149, p.857-866, 2017.
- KLADIVKO, E. J. Tillage systems and soil ecology. **Soil and Tillage Research**, v.61, p.61-76, 2001.

- LI, H.; FUTCH, S. H.; SYVERTSEN, J. P.; MCCOY, C W. Time series forecast and soil characteristics-based simple and multivariate linear models for management of *Diaprepes abbreviatus* root weevil in citrus. **Soil Biology & Biochemistry**, v.39, p.2436-2447, 2007.
- LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C. de.; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.71-78, 2012.
- LIU, Z.; QIN, A.; ZHAO, B.; ATA-UL-KARIM, S. T.; XIAO, J.; SUN, J.; NING, D.; LIU, Z.; NAN, J.; DUAN, A. Yield Response of Spring Maize to Inter-Row Subsoiling and Soil Water Deficit in Northern China. **PLoS ONE**, v.11, n.4, 2016.
- LOPES, J. M. S.; DÉO, T. F. G.; ANDRADE, B. J. M.; GIROTO, M.; FELIPE, A. L. S.; JUNIOR, C. E. I.; BUENO, C. E. M. S.; SILVA, T. F.; LIMA, F. C. C. Importância econômica do citros no Brasil. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v.20, n.1, 2011.
- MAK, J.; CHEN, Y.; SADEK, M. A. Determining parameters of a discrete element model for soil-tool interaction. **Soil and Tillage Research**, v.118, n.5, p.117-122, 2012.
- MANZI, M.; PITARCH-BIELSA, M.; ARBONA, V.; GÓMEZ-CADENAS A. Leaf dehydration is needed to induce abscisic acid accumulation in roots of citrus plants. **Environmental and Experimental Botany**, v.139, p.116-126, 2017.
- MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A.; ALVES, L. M.; MENDIONDO, E. M.; OBREGÓN, G.; SAMPAIO, G. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, v. 106, p.31-44, 2015.
- MATTOS JÚNIOR, D.; HIPPLER, F. W. R.; BOARETTO, R. M.; STUCH, E. S.; QUAGGIO, J. A. Soil boron fertilization: The role of nutrient sources and rootstocks in citrus production. **Journal of Integrative Agriculture**, v.16, n.7, p.1609-1616, 2017.
- MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D.; FIGUEIREDO, J. O.; POMPEU JUNIOR, J. **Citros: principais informações e recomendações de cultivo**, Campinas: IAC, 2005.
- MCCOLLUM, G., BOWMAN, K. D. Rootstock effects on fruit quality among ‘Ray Ruby’ grapefruit trees grown in the Indian River District of Florida. **HortScience**, v.52, p.541-546, 2017.
- MESEJO, C.; REIG, C.; MARTÍNEZ-FUENTES, A.; GAMBETTA, G.; GRAVINA, A.; AGUSTÍ, M. Tree water status influences fruit splitting in Citrus. **Scientia Horticulturae**, v.209, p.96-104, 2016.
- MESQUITA, G. L.; ZAMBROSI, F. C. B.; TANAKA, F. A. O.; BOARETTO, R. M.; QUAGGIO, J. A.; RIBEIRO, R. V.; MATTOS JÚNIOR, D. Anatomical and physiological responses of citrus trees to varying boron availability are dependent on rootstock. **Frontiers in Plant Science**, v.4, p.7-224, 2016.
- MINATEL, A. L. G.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F.; NATALE, W. Efeitos da subsolagem e da adubação verde nas propriedades físicas do solo em pomar de citros.

**Engenharia Agrícola**, v.26, n.1, p.86-95, 2006.

MIRANDA, M. T.; SILVA, S. F. da; MOURA, B. B.; HAYASHI, A. H.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Hydraulic redistribution in Citrus rootstocks under drought. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v.30, n.3, p.165-172, 2018.

NASCIMENTO, F. M.; BARROS, Z. X.; CAMPO, S.; RODRIGUES, J. G. L.; BARROS, B. S. X. Expansão citrícola do município de Botucatu - SP, obtidas por meio de fotografias aéreas. **Applied Research & Agrotechnology**, v.3, n.2, p.85-90, 2010.

NEVES, M. F.; TROMBIN, V. G.; MILAN, P.; LOPES, F. F.; CRESSONI, F.; KALAKI, R. O retrato da citricultura brasileira. Ribeirão Preto: **MARKESTRAT**, 2010.

OLIVEIRA, C. A.; BRUNINI, M. A.; NUNES, G. S. Qualidade da tangerina 'ponkan' comercializada na ceagesp-entrepósito de Ribeirão Preto - SP. **Nucleus**, v.11, n.2, 2014.

OLIVEIRA, L. B. DE; COELHO FILHO, M. A.; ARRIERO, S. S.; GOMES JÚNIOR, F. A.; COVA, A. M. W.; SOARES FILHO, W. S.; GESTEIRA, A. S. Ability of Citrus Root System to Overcome a Strong Wax Layer. **Journal of Agricultural Science**, v.10, n.10; 2018.

PANIGRAHI, P.; SRIVASTAVA, A. K. Water and nutrient management effects on water use and yield of drip irrigated citrus in vertisol under a sub-humid region. **Journal of Integrative Agriculture**, v.16, n.5, p.1184-1194, 2017.

PANIGRAHI, P.; SRIVASTAVA, A. K. Effective management of irrigation water in citrus orchards under a water scarce hot sub-humid region. **Scientia Horticulturae**, v.210 p.6-13, 2016.

PÉREZ-PIQUERES, A.; ALBIACH, R.; DOMÍNGUEZ, A.; CANET, R. Effect of soil preparation techniques on the biochemical properties and microbial communities of a citrus orchard after replanting and conversion into organic management. **Applied Soil Ecology**, v.119 p.8-17, 2017.

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D.; FIGUEIREDO, J. O.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). Citros. Campinas: **IAC: FUNDAG**, p.63-104, 2005.

QIN, W.; ASSINCK, F. B. T.; HEINEN, M.; OENEMA, O. Water and nitrogen use efficiencies in citrus production: A metaanalysis. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.222, p.103-111, 2016.

RALLO, G.; GONZÁLEZ-ALTOZANO, P.; MANZANO-JUÁREZ, J.; PROVENZANO, G. Using field measurements and FAO-56 model to assess the eco-physiological response of citrus orchards under regulated deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v.180, p.136-147, 2017.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, p.310-319, 2009.

REIS, J. M. R.; LIMA, L. C.; VILAS BOAS, E. V. B.; CHITARRA, A. B. Relação entre o grau de coloração da casca e algumas características de qualidade de tangerina 'ponkan'. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, p.182-186, 2000.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, SB de.; CORRÊA, G. F.; KER, JC. **Pedologia: base para distinção de ambientes. 6ª ed. Revisada e ampliada.** Lavras: Editora UFLA, 2014. 378 p.

RODRIGUES, M. J. S.; LEDO, C. A. S.; GIRARDI, E. A.; ALMEIDA, L. A. H.; SOARES FILHO, W. S. Caracterização de frutos e propagação de porta-enxertos híbridos de citros em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.37, n.2, p.457- 470, 2015.

ROQUE, A. A. de O.; SOUZA, Z. M. de; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. de. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.744-750, 2010.

SANCHES, A. C. **Conservação do solo em pomares cítricos.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS-TRATOS CULTURAIS, 5., 1998, Bebedouro. Anais... Bebedouro: Fundação Cargill, p.167-87, 1998.

SANTOS I. C.; ALMEIDA, A. F.; PIROVANI, C. P.; COSTA, M. G. C.; SILVA, M. F. G. F.; BELLETE, B. S. FRESCHI, L.; SOARES FILHO, W.; COELHO FILHO, M. A.; GESTEIRA, A. S. Differential accumulation of flavonoids and phytohormones resulting from the canopy/rootstock interaction of citrus plants subjected to dehydration/rehydration. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.119, p.147-158, 2017.

SCHAEFER, C. E. G. R.; SOUZA, C. M.; VALLEJOS M. F. J. VIANA, J. H. M.; GALVÃO, J. C. C.; RIBEIRO, L. M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v.25, n.1, p.765-769, 2001.

SEAPA - Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais, Subsecretaria do Agronegócio. **Laranja**, Belo Horizonte - MG, 2015.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO M. B.; MAGALHÃES, E. M. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.39-45, 2010.

SHARMA, R. M.; DUBEY, A. K.; AWASTHI, O. P.; KAUR C. Growth, yield, fruit quality and leaf nutrient status of grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.): Variation from rootstocks. **Scientia Horticulturae**, v.210, p.41-48, 2016.

SHI, Y.; YU, Z.; MAN, J.; MA, S.; GAO, Z.; ZHANG, Y. Tillage practices affect dry matter accumulation and grain yield in winter wheat in the North China Plain. **Soil and Tillage Research**, v.160, p.73-81, 2016.

SILVA, J. A. A.; DONADIO, L. C.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde em citros.** Boletim Citrícola, Jaboticabal, n.9, p.1-35, 1999.

- SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; SANTOS, F. L.; FRANZ, C. A. B. Influência do preparo inicial sobre a estrutura do solo quando da adoção do sistema plantio direto, avaliada por meio da pressão de preconsolidação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.961-971, 2003.
- SIMÕES, D.; CABRAL, A. C.; OLIVEIRA, P. A. Citriculture economic and financial evaluation under conditions of uncertainty. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.37, n.4, p. 859-869, 2015.
- SIMPSON, C. R.; NELSON, S. D.; MELGAR, J. C.; JIFOND, J.; SCHUSTERB, G.; VOLDER A. Effects of salinity on physiological parameters of grafted and ungrafted citrus trees. **Scientia Horticulturae**, v.197, p.483-489, 2015.
- SOARES FILHO, W. S; CUNHA SOBRINHO, A. P. PASSOS, O. S. **Limoeiro 'Cravo Santa Cruz': variedade com maior número de sementes**. Embrapa Mandioca e Fruticultura - Fôlder / Folheto / Cartilha (INFOTECA-E), 2003.
- SOUZA L. D.; RIBEIRO, L. da; S.; SOUZA, L. da S.; LEDO, C. A. da; S.; SOBRINHO, A. P. da; C. Distribuição das raízes dos citros em função da profundidade da cova de plantio em Latossolo Amarelo dos tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, n.1, p. 87-91, 2006.
- SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S.; LEDO, C. A. S. Disponibilidade de água em pomar de citros submetido a poda e subsolagem em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.1, p.69-73, 2004.
- SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. DE Q.; RODRIGUES, A. C. V.; RIBEIRO, L. DA; S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma toposeqüência de solos de tabuleiro costeiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.503-513, 2008.
- SPOOR, G.; TIJINK, F. G. J.; WEISSKOPF, P. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. **Soil and Tillage Research**, v.73, p.175-182, 2003.
- STARKEY, P.; SIMS, B. **La traccion animal en cuba: una vista panoramica de las encuestas, los temas y las oportunidades**. 1 Ed. Havana: Instituto de Investigaciones de Mecanizacion Agropecuaria, 2003.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E.; RAES, D. Crop Yield Response to Water. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO Irrigation and Drainage Paper 66**, 2012.
- TAHIR, M.; LV, Y.; GAO, L.; HALLETT, P. D.; PENG. X. Soil water dynamics and availability for citrus and peanut along a hillslope at the Sunjia Red Soil Critical Zone Observatory (CZO). **Soil and Tillage Research**, v.163, p.110-118, 2016.
- TESTEZLAF, R., COLETTI, C., MATSURA, E. E. Distribuição de raízes da laranja 'valência' irrigada por autopropelido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.6, p.905-908, 2007.

TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v.418, p.671-677, 2002.

van HARDEVELD H. A.; DRIESSEN, P. P. J.; SCHOT, P. P.; WASSEN, M. J. An integrated modelling framework to assess long-term impacts of water management strategies steering soil subsidence in peatlands. **Environmental Impact Assessment Review**, v.66 p.66-77, 2017.

VOGELMANN, E. S.; REICHERT, J. M.; PREVEDELLO, J.; AWE, G. O.; CERDÀ, A. Soil moisture influences sorptivity and water repellency of topsoil aggregates in native grasslands. **Geoderma**, v.305, p.374-381, 2017.

WANG, J.; HUANG, J.; WUA, P.; ZHAO, X.; GAO, X.; DUMLAO, M.; SI, B. C. Effects of soil managements on surface runoff and soil water content in jujube orchard under simulated rainfalls. **Catena**, v.135, p.193-201, 2015.

WANG, J.; ZHU, Q.; SHAN, Y.; WANG, Y.; SONG, X.; LEI, X. A comparative study on the efficiency of biodegradable EDDS and microelectric field on the promotion of the phytoextraction by *Commelina communis* L. in Cu-contaminated soils. **Geoderma**, v.314, p.1-7, 2018.

WELLS, L. G.; STOMBAUGH, T. S.; SHEARER, S. A. Crop yield response to precision deep tillage. **Transaction of the American Society of the Agricultural Engineers**, 48, 895-901, 2005.

WILLIAMS, J. D.; WUEST, S. B.; SCHILLINGER, W. F.; GOLLANY, H. T. Rotary subsoiling newly planted winter wheat fields to improve infiltration in frozen soil. **Soil and Tillage Research**, v.86, p.141-151, 2006.

YU, D. S.; SHI, X. Z.; WANG, H. J.; WEINDORF, D. C.; ZHANG, X. Y. Function of soils in regulating rainwater in Southern China: impacts of land uses and soils. **Pedosphere**, v.18, p.717-730, 2008.

ZHANG, F.; ZOU, Y.; WU, Q. Quantitative estimation of water uptake by mycorrhizal extraradical hyphae in citrus under drought stress. **Scientia Horticulturae**, v.229, p.132-136, 2018.

ZHAO, X.; LI, F.; AI, Z.; LI, J.; GU, C. Stable isotope evidences for identifying crop water uptake in a typical winter wheat–summer maize rotation field in the North China Plain. **Science of the Total Environment**, v.618, p.121–131, 2018.

ZHAO, X.; WU, P.; GAO, X.; TIAN, L.; LI, H. Changes of soil hydraulic properties under early-stage natural vegetation recovering on the Loess Plateau of China. **Catena**, v.113, p.386-391, 2014.

**SEGUNDA PARTE**

**ARTIGO – I**

(Artigo formatado de acordo com a NBR 6022 (ABNT, 2003))

## **Alterações estruturais do solo, distribuição espacial de raízes e produção da tangerina Ponkan em função do preparo profundo para diferentes porta-enxertos em Argissolo**

### **RESUMO**

A camada adensada intrínseca ao horizonte Bt dos Argissolos pode limitar o desenvolvimento radicular dos citros com prejuízos em sua produtividade, sendo o preparo profundo do solo e a escolha correta do porta-enxerto uma possível solução para este problema. Assim, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a distribuição espacial radicular de três diferentes porta-enxertos relacionados à tangerina Ponkan em associação aos atributos físico-hídricos do Argissolo Vermelho sob preparo profundo, bem como fenometria e produtividade das plantas. A área experimental (AE) está localizada no município de Perdões, Minas Gerais, localizado na Mesorregião Campo das Vertentes, a qual foi preparada a partir da sulcagem do solo (0,40 m de largura e 0,50 m de profundidade) nas linhas destinadas ao plantio, complementada por subsolagem (0,90 m de largura e 0,50 m de profundidade) e posterior abertura das covas para o plantio (0,30 m de diâmetro e 0,50 m de profundidade). Os tratamentos estudados consistiram em três porta-enxertos: ‘Cravo Santa Cruz’ (CSC); ‘Sunki Tropical’ (ST) e ‘Citrandarin Índio’ (CI) e uma área de Mata (AM). Após três anos desde o preparo inicial do solo sob os três porta-enxertos, amostras em anéis volumétricos ( $\approx 90 \text{ cm}^3$ ) com estrutura preservada de solo foram coletadas nas camadas (0-0,05; 0,35-0,40; 0,45-0,50 m), assim como em posições pré-estabelecidas e afastadas do centro da planta (Esquerda do sulco: E; Sulco de Plantio: S; Direita do sulco: D). Para a AM somente foram coletadas amostras com estrutura preservada em relação às camadas de solo avaliadas. Essa amostragem teve por interesse quantificar a distribuição de poros no solo por diâmetro. Foi também avaliado o grau dispersivo do solo, água disponível, o uso dessa água, caracterização fenométrica e produtividade das plantas. O sistema radicular foi avaliado pelo método do perfil cultural e pela análise de imagem 2D, com posterior confecção de mapas de superfície das seguintes variáveis radiculares: número (NR) e diâmetro de raízes (DR), analisadas por meio de krigagem via análise geoestatística. Com três anos desde o preparo inicial, a partir de sulcagem, seguida de subsolagem e abertura de covas, o Argissolo apresentou alterações significativas nos atributos físico-hídricos tendo em vista alteração estrutural e maior dispersão de argila com expressiva contribuição no volume de microporos. O preparo profundo foi eficaz na distribuição espacial das raízes dos diferentes porta-enxertos estudados, tendo maior destaque para o CSC, que apresentou maior NR e DR, bem como maior uso da água, tendo reflexo em seu crescimento vegetativo e produtividade.

**Palavras-chave:** Água no solo. Distribuição de poros. Preparo do solo. Sistema radicular. Porta-enxertos cítricos. Geoestatística.



**Soil structural changes, root distribution and Ponkan tangerine yield as a function of deep tillage for different rootstock in Ultisol**

**ABSTRACT**

The dense layer intrinsic to the Bt horizon of Argissol (Ultisol) may limit the root development of citrus with yield losses, so deep soil preparation and correct rootstock choice are a possible solution to this problem. The present work aimed to evaluate the root spatial distribution of three different Ponkan tangerine related rootstocks in association with the physical-hydric attributes of the Red Ultisol under deep preparation, as well as phenometry and yield. The experimental area (EA) is in the municipality of Perdões, Minas Gerais, located in the Campo das Vertentes Mesoregion, which was prepared from the soil furrowing (0.40 m wide and 0.50 m deep) in the rows intended for planting, complemented by subsoiling (0.90 m wide and 0.50 m deep) and subsequent pits opening for planting (0.30 m diameter and 0.50 m deep). The treatments studied consisted of three rootstocks: 'Cravo Santa Cruz' (CSC); 'Sunki Tropical' (ST) and 'Citrandarin Índio' (CI) and a forest area (FA). Three years after the initial soil preparation under the three rootstocks, volumetric ring samples ( $\approx 90 \text{ cm}^3$ ) with preserved soil structure were collected in the layers (0-0.05; 0.35-0.40; 0.45-0.50 m), as well as in pre-established positions away from the center of the plant (Left Furrow: LF; Planting Furrow: PF; Right Furrow: RF). For FA, only samples with preserved structure were collected in relation to the evaluated soil layers. This sampling was intended to quantify soil pore distribution by diameter. It was also evaluated the dispersive degree of the soil, available water, the use of this water, phenomenological characterization and plant yield. The root system was evaluated by the cultural profile method and 2D image analysis, with subsequent surface mapping of the following root variables: number (RN) and root diameter (RD), analyzed by kriging via geostatistical analysis. With three years since the initial preparation, from furrowing, followed by subsoiling and digging, the Ultisol showed significant changes in its physical-hydric attributes in view of structural change and greater clay dispersion with significant contribution to the volume of micropores. The deep preparation was effective in the spatial distribution of the roots of the different studied rootstocks, with greater emphasis on the CSC, which presented higher RN and RD, as well as greater use of water, reflecting its vegetative growth and yield.

**Keywords:** Water in the soil. Pore distribution. Soil preparation. Root system. Citrus rootstocks. Geostatistics.

## 1 INTRODUÇÃO

Os Argissolos são a segunda classe de maior abrangência no Brasil, ocupando 20% do território nacional (MANZATTO; FREITAS JUNIOR; PERES, 2002). Como característica, estes solos apresentam gradiente textural e horizonte B adensado que pode condicionar limitação ao crescimento radicular dos citros (ALBUQUERQUE; REINERT, 2001). De acordo com Castle, (1978) e Gerard et al. (1982) o maior conteúdo de argila no horizonte Bt pode promover redução drástica na elongação radicular, além da estrutura típica em blocos, condicionando aumento no volume de poros pequenos, que afetam o crescimento das raízes, porém com boa retenção de água (SUZUKI, 2005).

O preparo adequado do solo objetivando maior exploração do sistema radicular de plantas com vistas à potencialização do uso da água armazenada vem sendo cada vez mais valorizado (SANTOS et al., 2014; SILVA et al., 2015b; CARDUCCI et al., 2015a). Com o agravamento das mudanças climáticas há uma busca constante pela maior eficiência no uso da água pelas plantas cítricas, por ser este um fator de extrema importância na produtividade desta cultura (FIDALSKI et al., 2010). É fato que o uso eficiente da água presente no solo se dá também por mecanismos de sobrevivência da planta em períodos de secas prolongadas (FANG; XIONG, 2015), que no caso dos citros tem relação com o porta-enxerto utilizado e sua capacidade de extrair a água do solo. Sendo essa extração altamente depende da existência da água em poros dotados de tamanho adequado e nas proximidades da zona radicular (van LIER, 2010).

Além de exercer controle sobre a tensão com que a água é retida, o tamanho dos poros do solo afeta a distribuição e o comprimento das raízes, alterando, portanto o crescimento da cultura (YU et al., 2008; WHITMORE; WHALLEY, 2009), além da qualidade dos frutos, particularmente quando há escassez de água para as plantas (GIL et al., 2012). Uma forma de amenizar este problema é utilizando porta-enxertos adequados ao ambiente edáfico (FERREYRA et al., 2011) e uso do preparo profundo do solo, com vistas a melhor exploração do sistema radicular do citrus, promovida pelo uso de sulcadores, subsoladores e preparo de covas.

A arquitetura, o diâmetro e expansão das raízes, apresentam funções como absorção de nutrientes, transporte e sustentação, assim como outras atividades associadas ao metabolismo da planta (SANTOS et al., 2017). A capacidade de absorção de água e nutrientes é totalmente dependente de raízes finas (WELLER, 1971), que quando associadas a plantas perenes, apresentam grande variabilidade quanto ao número, e são muito dependentes da

heterogeneidade do solo (HODGE, 2004; RYSER, 2006).

O potencial de absorção de água pelas plantas tem sido correlacionado com a presença de raízes finas no solo (MA et al., 2013; SILVA et al., 2015a), porém uma gama de variáveis podem interferir no crescimento e distribuição dessas raízes (SCHENK, 2005). Por outro lado, é difícil avaliar com precisão a distribuição das raízes no solo (CARDUCCI et al., 2014a, 2014b; CARDUCCI et al., 2015a), devido as amplas variações espaciais e temporais desta variável, associadas às condições internas e externas do ambiente (VANELLA et al., 2018). Dessa forma o uso de ferramentas de geoestatística é sugerido em sua avaliação para melhor entendimento de sua distribuição no perfil do solo (CARDUCCI et al., 2014a, 2014b; CARDUCCI et al., 2015a; SILVA et al., 2015a; BARKER et al., 2017).

Diante do exposto, o presente trabalho teve o objetivo avaliar a distribuição espacial radicular de diferentes porta-enxertos relacionados à tangerina Ponkan em associação aos atributos físico-hídricos do Argissolo Vermelho sob preparo profundo, bem como fenometria e produtividade das plantas cítricas.

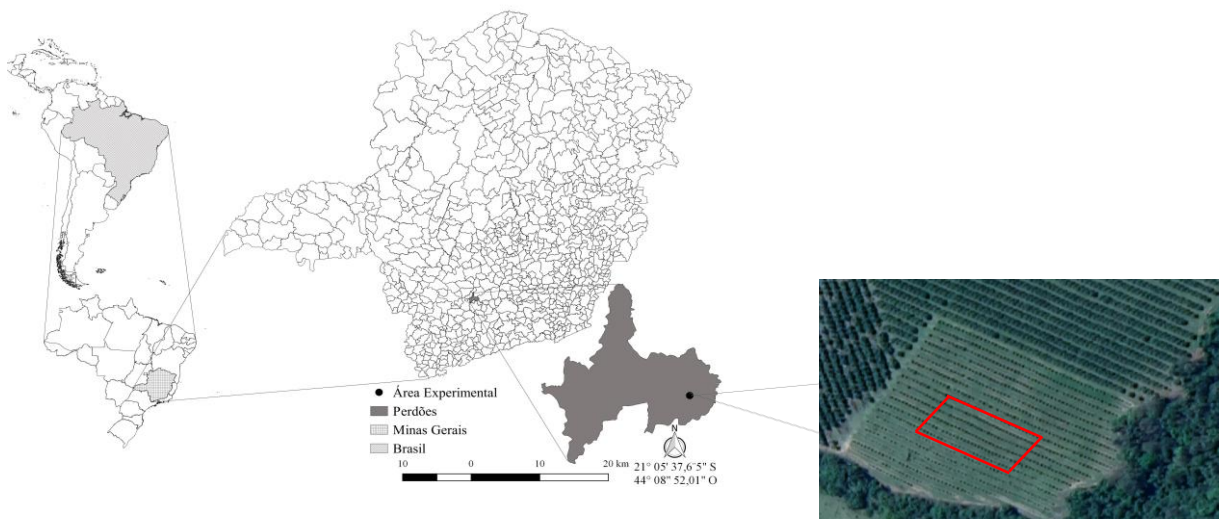
Nossa pesquisa baseou-se em três hipótese, a primeira é de que o preparo inicial do solo, utilizando-se de sulcador e subsolador seguido do preparo de covas, é efetivo no alívio estrutural do solo a longo prazo, proporcionando condições para maior exploração radicular, além de condicionar a disponibilidade adequada de água para as plantas. A segunda é que existe efeito residual do preparo profundo após três anos desde a sua implementação. A terceira é que o porta-enxerto 'Cravo Santa Cruz', que é proveniente do limão-cravo, apresenta maior efetividade na espacialização radicular com consequências na morfologia da planta e produção de frutos. A expectativa é que informações adicionais sobre a relação existente entre solo, água e plantas cítricas poderão subsidiar técnicos e produtores, promovendo o desenvolvimento da citricultura no país.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Descrição da área

O experimento foi instalado em uma fazenda produtora de citros, no município de Perdões, Minas Gerais, localizado na Mesorregião Campo das Vertentes, tendo por coordenadas 21° 5'37.65" S e 44°58'52.01" O, e altitude de 988 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Cwa, que se caracteriza por apresentar invernos frios e secos e verões quentes e chuvosos. A temperatura média da região é de 20,4°C e a precipitação média anual é de 1455 mm.

Figura 1 - Layout experimental para a avaliação de diferentes porta-enxertos utilizados em um pomar de tangerina Ponkan.



O experimento instalado em área de 550 m<sup>2</sup> (22 x 25 m) foi montado no terço inferior de encosta com declividade máxima de 13%, e face de exposição para sudoeste. O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho distrófico Tb de textura argilosa (Tabela 1) (SANTOS et al., 2018).

Tabela 1 - Análise granulométrica do solo da área sob mata.

Camada -----m-----	Argila -----	Silte -----g.kg <sup>-1</sup> -----	Areia -----
0,00 - 0,05	370	160	470
0,35 - 0,40	380	130	490
0,45 - 0,50	430	120	450

Legenda: 0-0,05 m: Camada Superficial; 0,35-0,40 m: Camada Subsuperficial; 0,45-0,50 m: Camada Profunda.

Antes da implantação do experimento, o solo da área experimental apresentava acidez nas diferentes camadas, e apesar da baixa saturação por alumínio e média saturação por bases na camada de 0-0,20 m, apresentava baixa capacidade de troca de cátions, em parte devido aos baixos conteúdos de matéria orgânica (MO) (TABELA 2), provavelmente em função da ocorrência de erosões na forma de sulcos rasos na área.

Tabela 2 - Atributos químicos do solo da área experimental antes da implantação do experimento.

Elementos químicos	Camada (m)	
	0,00-0,20	0,20-0,40
pH (H <sub>2</sub> O)	5,00	4,70
MO (dag.kg <sup>-1</sup> )	1,58	0,92
Ca <sup>2+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	1,40	1,01
Mg <sup>2+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,59	0,41
Al <sup>3+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	0,16	0,30
H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	1,98	1,70
SB (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	2,16	1,54
t (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	2,32	1,84
T (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	4,14	3,24
P (mg.dm <sup>-3</sup> )	1,43	0,55
K (mg.dm <sup>-3</sup> )	66,00	47,00
S (mg.dm <sup>-3</sup> )	8,44	22,82
Zn (mg.dm <sup>-3</sup> )	0,70	0,30
Cu (mg.dm <sup>-3</sup> )	1,22	1,22
Fe (mg.dm <sup>-3</sup> )	53,14	34,88
Mn (mg.dm <sup>-3</sup> )	15,30	9,20
B (mg.dm <sup>-3</sup> )	1,26	1,31
m (%)	6,90	16,30
V (%)	52,17	47,53
P-rem (mg.L <sup>-1</sup> )	38,60	30,80

Legenda: pH: potencial hidrogênio determinado em água; MO: Matéria Orgânica; Ca<sup>2+</sup>: Cálcio; Mg<sup>2+</sup>: Magnésio; Al<sup>3+</sup>: Alumínio; H<sup>+</sup>: Hidrogênio; SB: Soma de bases; t: capacidade de troca de cátions efetiva; T: capacidade de troca de cátions potencial; P: Fósforo; K: Potássio; S: Enxofre; Zn: Zinco; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn Molibdênio; B: Boro; m: saturação por alumínio; V: saturação por bases; P-rem: fósforo remanescente. Fonte: Análise química realizada pelo produtor da área, Antônio Walter Pereira, no ano de 2013.

Atualmente a área é protegida de processos erosivos por prática vegetativa: capim braquiária nas entrelinhas da cultura. Esta gramínea além de proteger o solo do impacto direto das gotas de chuva, ao ser cortada periodicamente é disposta na linha de plantio, sendo que esta prática tem o potencial de elevar gradualmente os conteúdos de MO, o que irá contribuir para a agregação do solo.

## 2.2 Preparo do solo

Tendo em vista as limitações químicas (TABELA 2), o solo foi corrigido com calcário dolomítico em área total ( $2,0 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ). Posteriormente foi feita a abertura de sulcos de plantio com dimensões de 0,40 m de largura e 0,50 m de profundidade, utilizando sulcador alado de uma haste, em seguida foi incorporado no fundo do sulco aberto uma dosagem adicional de calcário dolomítico ( $200 \text{ g.m}^{-1}$ ) e superfosfato simples ( $400 \text{ g.m}^{-1}$ ) de forma manual.

Para complementar o preparo do solo na linha de plantio, após a abertura dos sulcos seguido de sua correção e fertilização, foi realizada a prática da subsolagem. Para isso foi utilizado um subsolador provido de três hastes, equidistantes 0,45 m e com potencial de abertura até 0,60 m de profundidade. Porém, no ato da avaliação visual à campo, foi notado efetividade em relação à subsolagem apenas até 0,50 m de profundidade. Essa prática foi realizada em duas passadas, no mesmo sentido, na linha de plantio do citros. Por fim foi utilizada a grade niveladora com a finalidade de quebrar torrões maiores e uniformizar a superfície do solo, particularmente no leito de plantio.

## 2.3 Plantio das mudas

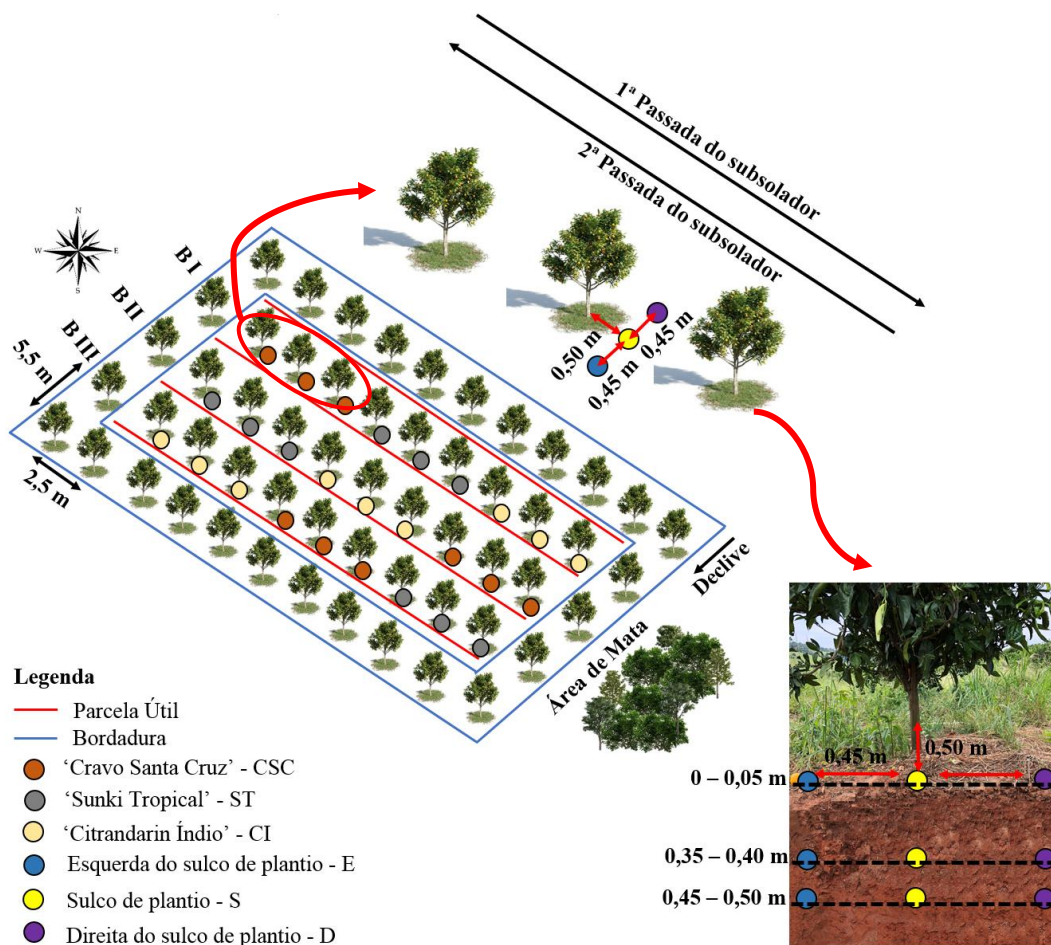
O plantio realizado em dezembro de 2014 foi feito em covas com dimensões de 0,30 m de diâmetro e 0,50 m de profundidade. As mudas de tangerina Ponkan, enxertadas nos três porta-enxertos selecionados, foram provenientes de viveiro certificado, que se utilizou de sementes e borbulhas cedidas pela EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical - CNPMF. Nas entrelinhas do pomar foi realizado o plantio da gramínea *Brachiaria decumbens* (Syn. Urochloa), que é controlada periodicamente com a roçadeira tratorizada, que direciona o material cortado para a lateral da planta. A cobertura vegetal nas entrelinhas da cultura além de proteger o solo da ação erosiva provocada pelo impacto das gotas de chuva, também minimiza a ação da enxurrada.

## 2.4 Delineamento estatístico

O delineamento da área experimental foi feito em blocos casualizados (DBC) com três repetições e quatro tratamentos (três combinações de porta-enxerto e uma área de mata), em esquema fatorial triplo (porta-enxertos *versus* camadas amostradas *versus* posições de amostragem) com a utilização de um tratamento adicional (área de mata), sendo a parcela útil

de cada bloco da área experimental constituída de uma linha de plantio (5,5 x 2,5 m), com nove plantas (FIGURA 2). Ressalta-se que apenas uma única copa (Ponkan) foi utilizada para ambos porta-enxertos, sendo eles: ‘Cravo Santa Cruz’ (CSC), ‘Sunki Tropical’ (ST) e ‘Citrandarin Índio’ (CI). Em cada parcela, a combinação dos porta-enxertos muda a cada três plantas.

Figura 2 - Delineamento da área experimental, demonstração da uniformidade de amostragem e detalhes da amostragem do Argissolo para a caracterização química e físico-hídrica dos tratamentos estudados, para as diferentes camadas e posições avaliadas.



A escolha desses três porta-enxertos teve cunho totalmente voltado à questão prática e mercadológica, pois há o real interesse em avaliar o comportamento do ST e CI em relação ao CSC, que é o mais utilizado pelos citricultores de Minas Gerais (BASTOS et al., 2014). A copa Ponkan foi escolhida em função da demanda de mercado por esta fruta.

Ao longo dos anos foram realizadas práticas de manutenção do pomar, como adubações, desbrotas do porta-enxerto, e o controle de plantas daninhas com roçadeira manual

na linha de plantio, além do controle químico, glifosato em pós-emergência, sendo a dose aplicada teve dependência com a composição motoflorística e com o estágio de desenvolvimento. Também foi realizado o controle de pragas e doenças para a cultura.

Salienta-se que o manejo da fertilidade do solo foi o mesmo em toda a área experimental de acordo com as recomendações para a cultura do citros (RIBEIRO et al., 1999). No que diz respeito às adubações estas foram realizadas em cobertura pós-plantio, e estão apresentadas na Tabela 3.



Tabela 3 - Cronograma das adubações de cobertura desde pós-plantio até o ano de avaliação do experimento.

Primeiro ano agrícola após o plantio: <b>2014/2015</b>		
Fonte	Total aplicado	Período de Aplicação
Formulado 30.00.18	80 g/pé	10 dias após o plantio
Sulfato de Amônio (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	120 g/pé	35 dias após o plantio
Formulado 30.00.18	80 g/pé	65 dias após o plantio
Sulfato de Amônio (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	120 g/pé	65 dias após o plantio
Segundo ano agrícola após o plantio: <b>2015/2016</b>		
Fonte	Total aplicado	Período de Aplicação
Calcário	Dispensada	-
FH 460	450 g/pé	Set/2015
Formulado 30.00.18	180 g/pé	Out/2015
Formulado 30.00.18	200 g/pé	Dez/2015
Formulado 30.00.18	250 g/pé	Fev/2016
Terceiro ano agrícola após o plantio: <b>2016/2017</b>		
Fonte	Total aplicado	Período de Aplicação
Calcário	2,0 ton/ha	-
FH 460	450 g/pé	Set/2016
Formulado 30.00.18	200 g/pé	Out/2016
Formulado 20.00.20	250 g/pé	Dez/2016
Formulado 20.00.20	250 g/pé	Fev/2017
Quarto ano agrícola após o plantio: <b>2017/2018</b>		
Fonte	Total aplicado	Período de Aplicação
Calcário	Dispensada	-
Super Simples	600 g/pé	Set/2017
Formulado 30.00.20	250 g/pé	Out/2017
Formulado 30.00.20	300 g/pé	Dez/2017
Formulado 20.00.20	300 g/pé	Fev/2018

Legenda: FH 460 refere-se ao fertilizante que apresenta 42% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 18% de Ca<sup>2+</sup>; 8% de S; 0,2% de B; 0,2% de Cu; 0,8% de Mn; 0,8% de Zn. Seguindo recomendações para a cultura do citros (RIBEIRO et al., 1999).

## 2.5 Caracterização química e físico-hídrica do solo após três anos da implantação

Em abril de 2018, três anos após a implantação e quando a cultura já apresentava idade de produção, foram realizadas amostragens para a caracterização do solo na área de mata

(AM) e avaliação do solo e das raízes de plantas na área experimental (AE). Para tanto, foram abertas mini trincheiras com dimensões de 0,90 m de largura e 0,50 m de profundidade.

Para a amostragem foi escolhida a segunda planta de cada porta-enxerto, sendo essa realizada transversalmente à linha de plantio, a partir da qual foi medido 0,50 m de distância do tronco da planta, na direção da linha da cultura, ou seja, onde foi realizado a abertura do sulco de plantio (S), e 0,45 m para cada lado na direção das entrelinhas, ou seja, onde somente foi realizado a prática da subsolagem (Esquerda do sulco: E e à Direita do sulco: D) (FIGURA 2). A profundidade do sulco de plantio foi detectada pela ação efetiva da sulcagem, subsolagem e preparo das covas como sendo de 0,50 m de profundidade, e em relação às entrelinhas foi adotado o alcance horizontal do subsolador (0,90 m de largura). A partir disso, foi retirada uma amostra no centro do sulco, englobando assim efeito do preparo a partir da sulcagem, subsolagem (duas passadas) e preparo da cova. Duas outras amostras foram coletadas, uma à direita (D) e a outra à esquerda (E), onde somente foi realizada a prática da subsolagem. Essas medições foram padronizadas para todas as plantas a fim de se garantir uma amostragem uniforme.

Em relação à caracterização física do solo tanto da AM quanto da AE, foi feita a análise granulométrica utilizando o método da pipeta (DONAGEMMA et al., 2017). O grau de floculação ( $G_{Flo}$ ) foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Donagemma e Viana, (2017). O grau de dispersão do solo ( $G_{Disp}$ ) foi calculado a partir da de equação  $G_{Disp} = 100 - G_{Flo}$ . A densidade do solo ( $D_s$ ) foi calculada pelo método do cilindro volumétrico (ALMEIDA et al., 2017a, 2017b) e a densidade de partículas (DP) foi obtida pelo método do balão volumétrico (VIANA; TEIXEIRA; DONAGEMMA, 2017).

De acordo com as especificações da Figura 2, foram coletadas amostras indeformadas de solo utilizando anéis volumétricos (0,063 m de diâmetro e 0,025 m de altura) com o auxílio de um amostrador do tipo Uhland para cada um dos porta-enxertos estudados e também na AM, nas camadas de 0-0,05 (camada superficial); 0,35-0,40 (camada subsuperficial); 0,45-0,50 m (camada profunda), considerando três repetições (FIGURA 2). As camadas de solo estudadas foram estabelecidas de acordo com a avaliação da análise visual e pela distribuição do sistema radicular, feitas à campo na trincheira aberta. Assim, para essas mesmas camadas foram também coletadas amostras deformadas de solo para a caracterização química, sendo as duas formas de amostragem (indeformada e deformada) contempladas nas posições E, S e D (FIGURA 2) na AE. Para a AM, somente foram coletas amostras indeformadas e deformadas nas camadas de solo estabelecidas.

Para a caracterização físico-hídrica do solo as amostras indeformadas, após a toaleta

foram colocadas em bandeja com água destilada, e gradativamente os poros foram preenchidos até a saturação, mantendo-se o nível da água a 2/3 da altura da amostra. Após saturação, as amostras foram submetidas aos potenciais matriciais ( $\Psi_m$ ) de -2, -4, -6, -10, -33 kPa, na mesa de tensão automatizada e aos  $\Psi_m$  de -100, -500 e -1500 kPa no extrator de Richards (TEIXEIRA; BEHRING, 2017). Após atingirem o equilíbrio, as amostras foram pesadas e colocadas em estufa de circulação forçada à temperatura de 105 à 110°C por 24 horas para obtenção da umidade ( $\theta$ ) das amostras nos diferentes  $\Psi_m$ .

A capacidade de campo (CC) foi obtida pelo equilíbrio das amostras indeformadas na mesa de tensão referente ao  $\Psi_m$  de -33 kPa (JABRO et al., 2009).

A água disponível para as plantas (AD) foi estimada a partir da adaptação do trabalho proposto por Reynolds et al. (2009), pela equação  $AD = \theta_{cc} - \theta_{PMP} (\Psi = -1500 \text{ kPa})$ ;  $0 \leq AD \leq \theta_{CC}$ , sendo  $\theta_{cc}$  o conteúdo de água na capacidade de campo obtido no  $\Psi_m$  de -33 kPa;  $\theta_{PMP}$  o conteúdo de água no solo obtido no ponto de murcha permanente a 1500 kPa nas câmaras de Richards (OLIVEIRA et al., 2004). O uso da água disponível (USO), tanto da AE quanto da AM, foi determinado pela equação:  $USO = 1 - (\theta_A - \theta_{PMP}) / (\theta_i - \theta_{PMP})$  (RIBEIRO et al., 2017).

## 2.6 Distribuição de poros do solo por tamanho e porosidade total

A quantificação por tamanho e distribuição dos poros do solo, foi feita a partir da expressão matemática proposta por Bouma (1973), descrita em Oliveira et al. (2004) como:  $D = 4 \sigma \cos \theta / \Psi_m$ , sendo  $D$  o diâmetro do poro ( $\mu\text{m}$ );  $\sigma$  a tensão superficial da água (73,43 kPa  $\mu\text{m}$  a 20 °C);  $\theta$  o ângulo de contato entre o menisco e a parede do tubo capilar (considerado como 0) e  $\Psi_m$  o potencial matricial de água no solo (kPa). O diâmetro do poro foi relacionado ao  $\Psi_m$ , (OLIVEIRA et al., 2004). A classificação dos poros (Carducci et al., 2015b), foi adaptada de critérios micromorfológicos propostos por Bullock et al. (1985) onde macroporos grandes (MAG) (>147  $\mu\text{m}$ ); macroporos finos (MAF) (147-73  $\mu\text{m}$ ); mesoporos grandes (MEG) (73-49 e 49-29  $\mu\text{m}$ ); mesoporos médios (MEM) (29-9 e 9-2,9  $\mu\text{m}$ ); mesoporos finos (MEF) (2,9-0,2  $\mu\text{m}$ ); e microporos (MICRO) (<0,2  $\mu\text{m}$ ). A porosidade total do solo (PT), foi determinada a partir do somatório de todas as classes de poros estudadas, sendo  $PT = MAG + MAF + MEG + MEM + MEF + MICRO$ . Já para o estudo dos poros bloqueados, esse atributo foi calculado a partir da equação  $PT_{Calculada} - PT_{Determinada}$ , onde:  $PT_{Calculada} = 1 - D_s/D_p$  e  $PT_{Determinada} = \text{Porosidade total de Saturação} = PT$  (CAMARGO et al., 2009).

## 2.7 Avaliação do sistema radicular

As mesmas trincheiras abertas para amostragem de solo da AE foram utilizadas para o estudo da distribuição espacial das raízes, utilizando-se do método do perfil cultural (BRASIL et al., 2007). Após a coleta das amostras indeformadas, foi mantida uma parede a 0,20 m da planta de citros onde foi realizada a escarificação do solo e exposição das raízes com o auxílio de uma lâmina cortante, removendo 0,10 m de solo até a exposição completa das raízes. Com o intuito de se obter um contraste com o solo, as raízes receberam uma fina camada de tinta branca (CARDUCCI et al., 2015a).

Um gride com quadrículas de 0,05 x 0,05 m foi colocado à frente da parede da trincheira com as raízes expostas e com a fina camada de tinta branca. Em seguida usando uma câmera fotográfica com alta resolução (12 megapixels) foram obtidas imagens digitais 2D. Como já definida a profundidade efetiva da abertura do sulco de plantio, subsolagem e preparo das covas como 0,50 m de profundidade e o alcance horizontal do subsolador de 0,90 m de largura, foram então processados 180 pontos de amostragem, onde cada quadrícula do gride consiste em uma unidade amostral (FIGURA 3).

Figura 3 - Esquema do gride amostral para avaliação do sistema radicular.



As imagens foram corrigidas quanto à coloração e sombreamento e alinhadas com auxílio do programa Adobe Photoshop CS6 e posteriormente submetidas ao programa Safira (JORGE; SILVA, 2010), gerando as variáveis radiculares: número (NR) e diâmetro (DR) de raízes (mm).

## 2.8 Avaliação do crescimento e produção das plantas

No mesmo período de amostragem do solo e das raízes, realizou-se para todas as plantas da área experimental a determinação da altura da planta (AP), diâmetro do caule à altura do colo (DC) e produtividade dos frutos (PROD). Para a medição da AP, essa foi feita com o auxílio de uma régua graduada em metros e adaptada à medição de plantas à campo. Para o DC, esse foi feito com o auxílio de uma fita métrica para os três porta-enxertos avaliados. A PROD foi quantificada em relação tanto ao número, quanto ao peso dos frutos de todas as plantas da AE para cada um dos três porta-enxertos estudados.

## 2.9 Análise estatística

Para avaliação dos dados de raiz, tendo como base o comportamento e a interpretação desses dados, foi utilizado contagem para NR e média para DR em cada unidade amostral do gride (0,05 x 0,05 m).

A dependência espaço-temporal do NR e DR para cada um dos porta-enxertos avaliados, foi realizada a partir da construção de semivariograma, representado pelo gráfico  $\gamma(h)$  versus  $h$ , pelo pacote geoR no programa R (R CORE TEAM, 2019), sendo calculado a partir da equação  $\gamma(h) = 1/2N(h) \sum_{x_i, x_j} [Z(x_i) - Z(x_j)]^2$  tal que  $|x_i - x_j| = h$ , onde:  $N(h)$  é o número de pares experimentais de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_j)$  são os valores da variável  $Z$  nos respectivos pontos  $i$  e  $j$ , e  $n$  refere-se ao número total de dados.

Os dados foram submetidos à retirada de tendência e teste de anisotropia, em seguida ajustados a um modelo teórico escolhido, sendo a escolha do mesmo feita com base no menor erro médio reduzido (ER) entre os modelos testados (TABELA 4). A partir disso foram determinados o efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C_1$ ) e o alcance ( $a$ ). Para análise da dependência espacial, foi utilizada a relação  $C/(C_0 + C)$ , bem como a classificação proposta por Zimback (2001), onde a dependência espacial é forte para valores de  $C/(C_0 + C) > 0,75$ ; moderada 0,25 à 0,75 e fraca  $< 0,25$ . De posse desses parâmetros, foram gerados os mapas de superfície a partir do auxílio dos pacotes geoR e ggplot2, segundo a krigagem ordinária pelo Método dos Quadrados Mínimos Ordinários (MQO) a partir do programa R (R CORE TEAM, 2019).

Tabela 4 - Modelos teóricos testados para cada atributo morfológico de raiz em associação a cada um dos porta-enxertos estudados.

Tratamento	Variável	Método	Modelo	ER	S.ER
CSC	NR	MQO	Esférico	-0,0025	0,9344
		MQO	Gaussiano	-0,0025	0,9342
		MQO	Exponencial	-0,0024	0,9457
CSC	DR	MQO	Esférico	-0,0025	0,9677
		MQO	Gaussiano	-0,0025	0,9704
		MQO	Exponencial	-0,0026	0,9786
ST	NR	MQO	Esférico	-0,0011	0,9018
		MQO	Gaussiano	-0,0011	0,9326
		MQO	Exponencial	-0,0010	0,9195
ST	DR	MQO	Esférico	-0,0016	0,9477
		MQO	Gaussiano	-0,0016	0,9501
		MQO	Exponencial	-0,0019	0,9732
CI	NR	MQO	Esférico	-0,0006	1,002
		MQO	Gaussiano	-0,0006	1,0088
		MQO	Exponencial	-0,0005	0,9893
CI	DR	MQO	Esférico	-0,0002	0,9722
		MQO	Gaussiano	-0,0002	0,9745
		MQO	Exponencial	-0,0003	0,9533

Legenda: CSC: Porta-enxerto 'Cravo Santa Cruz'; ST: Porta-enxerto 'Sunki Tropical'; CI: Porta-enxerto 'Citrandarin Índio'; NR: Número de raízes; DR: Diâmetro de raízes; MQO: Método dos Quadrados Mínimos Ordinários ER: Erro médio reduzido; S.ER: Desvio padrão do erro reduzido.

Para confecção do mapa categorizado em relação ao DR, foi utilizada a classificação de Böhm (1979), apresentada por Coelho et al. (2002) considerando seis diferentes classes de diâmetros para as raízes do citros, sendo > 0,5 mm considerada muito fina; 0,5 - 2,0 mm fina; 2,0 - 5,0 mm pouco fina; 5,0 - 10,0 mm média; 10,0 - 20,0 mm grossa e > 20,0 mm muito grossa.

Também pelo programa estatístico R (R CORE TEAM, 2019), foram investigadas as possíveis relações entre as variáveis analisadas a partir da análise dos componentes principais (PCA) pelo pacote FactoMineR (LE et al., 2008). Os dados para a realização da PCA foram escalonados (R CORE TEAM, 2019) e todas as repetições foram plotadas na PCA para delinear os intervalos de confiança em torno do centroide de cada porta-enxerto estudado ( $p <$

0,05), utilizando o pacote factextra (KASSAMBARA; MUNDT, 2017).

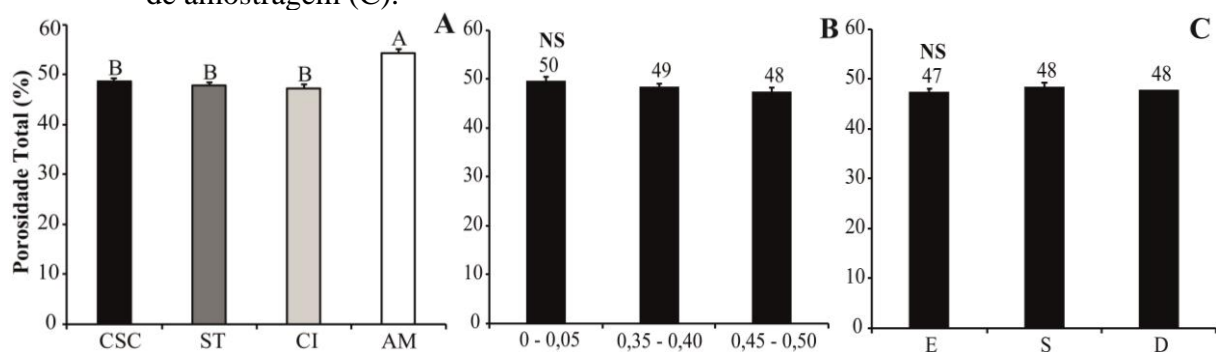
Para a avaliação dos atributos físico-hídricos do solo, grau de dispersão e floculação, poros bloqueados bem como para fenometria e produtividade das plantas cítricas, foi realizada análise de variância para os porta-enxertos (CSC; ST e CI), sendo a mata utilizada como tratamento adicional e quando significativo aplicou-se o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), utilizando o programa estatístico R (R CORE TEAM, 2019).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Sistema poroso do solo

Na Figura 4 são apresentados os dados de porosidade total (PT). Não foi encontrada interação significativa entre os fatores estudados (tratamentos, camadas e posições de amostragem). Assim, tendo em vista a avaliação separada de cada fator, para a PT, pode-se observar que passados três anos do preparo do Argissolo, foram encontradas diferenças significativas dos porta-enxertos de citros na área experimental (AE) quando comparado à área de mata (AM). Portanto em relação à AE, observa-se decréscimo da PT, sendo esse resultado associado ao revolvimento oriundo do preparo profundo, uma vez que esse promoveu alteração estrutural do solo.

Figura 4 - Porosidade total em função dos diferentes tratamentos (A), camadas (B) e posições de amostragem (C).



Legenda: CSC: Porta-enxerto ‘Cravo Santa Cruz’; ST: Porta-enxerto ‘Sunki Tropical’; CI: Porta-enxerto ‘Citrandarin Índio’; AM: Área de Mata; 0-0,05 m: Camada Superficial; 0,35-0,40 m: Camada Subsuperficial; 0,45-0,50 m: Camada Profunda. E: Posição à esquerda do sulco de plantio; S: Posição no sulco de plantio; D: Posição à direita do sulco de plantio. Barras seguidas de letras iguais não difere entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). NS: Não significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Considerando os três porta-enxertos associados à tangerina Ponkan, não foram encontradas diferenças na PT tanto para as camadas quanto para as posições de amostragem (FIGURA 4), esse resultado homogêneo entre camadas e posições, possivelmente pode estar relacionado ao fato de que o preparo profundo do Argissolo foi eficiente em quebrar os agregados do solo, deixando-os com um mesmo padrão em relação ao seu tamanho.

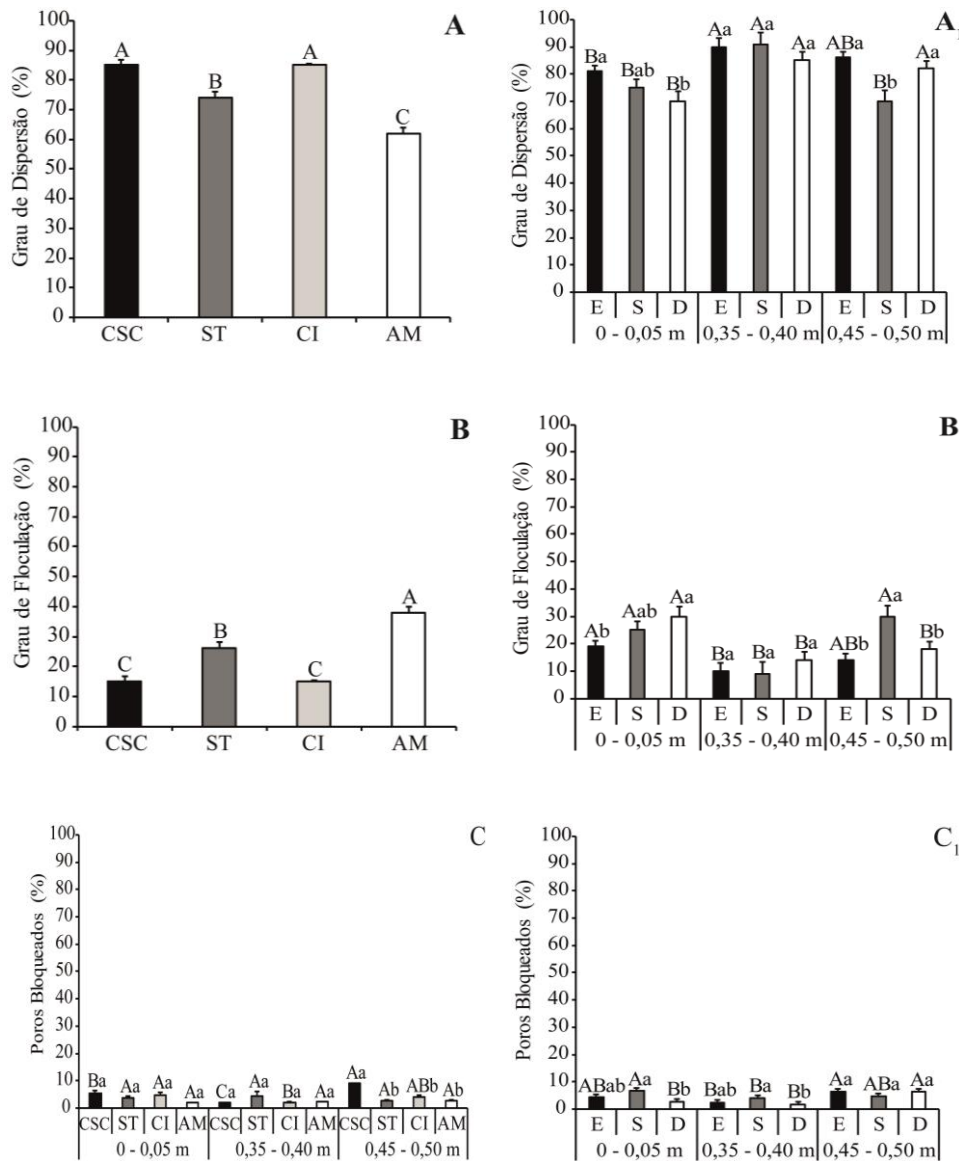
É assumido que houve alívio estrutural por ocasião do preparo do solo e implantação da cultura. Entretanto, a inversão das camadas devido à ação do sulcador seguido da subsolagem, que promoveu a quebra de agregados, e posterior mistura de materiais de solo proveniente das várias camadas por ocasião do preparo das covas, promoveram maior grau de



dispersão ( $G_{DISP}$ ) na AE em relação à AM (FIGURA 5A), o que contribuiu de maneira direta na alteração estrutural do solo (MINHAS; SHARMA, 1986; ALAOUI; LIPIEC; GERKE, 2011; BERISSO et al., 2013). Resultados semelhantes foram encontrados por Brady (1979) e Benites e Mendonça (1998). Já Guimarães et al. (2014), ao avaliar o impacto do cultivo de citros sobre a qualidade física de um Argissolo, destacaram que quando há redução da PT em relação à AM, provavelmente essa redução terá efeito na capacidade de retenção de água no solo, assim como no desenvolvimento radicular das plantas (BARCO; MAUCIERI; BORIN, 2018).

Não foi encontrado interação significativa para tratamentos em relação às camadas de solo e posições de amostragem (FIGURA 5A), já para a Figura 5A<sub>1</sub> foi observada interação significativa entre posições de amostragem e as camadas avaliadas ao longo do perfil do solo. Assim, nota-se para os tratamentos estudados, maior  $G_{DIS}$  (FIGURA 5A) e menor  $G_{FLO}$  (FIGURA 5A<sub>1</sub>) para os porta-enxertos CSC e CI. Tendo em vista o estudo da interação, para as camadas, observa-se que a partir da camada subsuperficial do solo (0,35-0,40 m), a posição D apresentou maior  $G_{DIS}$ . Já em relação ao estudo das posições de amostragem, observa-se que todas as posições amostradas (E; S e D) contribuíram de forma significativa na maior dispersão do Argissolo principalmente na camada subsuperficial.

Figura 5 - Grau de dispersão, grau de flocculação e poros bloqueados para os diferentes porta-enxertos utilizados na citricultura e em relação à área de mata.



Legenda: CSC: Porta-enxerto ‘Cravo Santa Cruz’; ST: Porta-enxerto ‘Sunki Tropical’; CI: Porta-enxerto ‘Citrandarin Índio’; AM: Área de Mata; 0-0,05 m: Camada Superficial; 0,35-0,40 m: Camada Subsuperficial; 0,45-0,50 m: Camada Profunda. E: Posição à esquerda do sulco de plantio; S: Posição no sulco de plantio; D: Posição à direita do sulco de plantio. Letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos dentro da mesma profundidade e letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em profundidades diferentes. Letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Para poros bloqueados (PB) observou-se interação significativa entre tratamentos e as camadas de solo (FIGURA 5C) e há também interação entre posições e camadas amostradas (FIGURA 5C<sub>1</sub>). Assim, notou-se expressivo PB tanto para a camada superficial (0-0,05 m) quanto para a camada subsuperficial, para todos os porta-enxertos, os quais se igualaram às

condições de mata. Contudo para a camada mais profunda (0,45-0,50 m), notou-se que o porta-enxerto CSC foi o que apresentou maior quantidade de PB em relação aos demais tratamentos estudados. Esses resultados estão associados à própria condição natural do Argissolo (AM), uma vez que estes atributos, além de servirem para a classificação do solo, foram utilizados no diagnóstico de possível adensamento existente na camada subsuperficial.

Este solo naturalmente apresenta expressivo volume de PB o que vai de encontro ao seu alto  $G_{DIS} > 60\%$  (FIGURA 5A), já em relação à AE, principalmente para o CSC o preparo profundo favoreceu a dispersão, a qual contribuiu no bloqueio de poros (GONÇALVES; STAPE, 2000; PRADO et al., 2016), podendo restringir a circulação de água e ar, bem como no estabelecimento das plantas (KRISTA, 2003). Em contrapartida observa-se que tanto o CSC quanto o CI apresentaram redução no volume de PB quando associados à camada subsuperficial do Argissolo. Esses resultados possivelmente refletem a ação do preparo profundo, podendo também refletir a ação do sistema radicular, tendo em vista a agressividade de algumas raízes de plantas (SEVERIANO et al., 2010; LIMA et al., 2012; ALMEIDA et al., 2018). Uma vez que as raízes exploram intensamente os poros do do solo (BLUME et al., 2015), é de se esperar que estas possam modificar o solo (NYE, 1981).

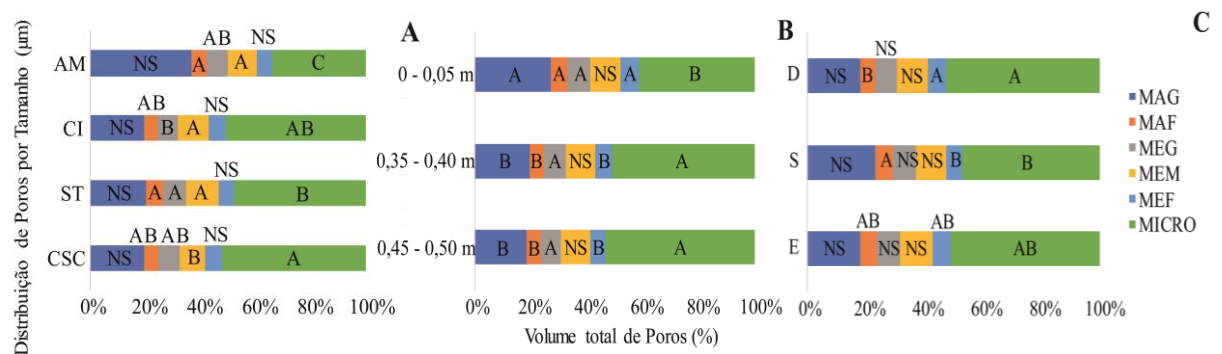
Ainda para o estudo dos PB, em relação às posições de amostragem (FIGURA 5C<sub>1</sub>), nota-se diferença significativa para a posição D, mesmo na camada subsuperficial com contribuição significativa no maior bloqueio de poros. Esses resultados possivelmente estão associados à alteração da estrutura do Argissolo com reflexos na modificação da dinâmica da água ao longo do perfil.

Portanto, a discriminação dos poros por tamanho, pode ser considerada atributo mais indicado para afirmações sobre modificações estruturais e possíveis consequências para o desenvolvimento radicular dos diferentes porta-enxertos estudados, pois segundo Carducci et al. (2014a, 2014b) a caracterização da porosidade do solo é fundamental para a melhor compreensão da distribuição espacial das raízes. Da mesma forma, a discriminação dos poros é também muito importante para o entendimento dos processos físico-hídricos que ocorrem no solo, decorrentes de alterações promovidas pelo manejo (MORET-FERNÁNDEZ; ARRÚE, 2007b), assim como, possível interação existente entre a dispersão da argila e os poros do solo tendo em vista uma possível obstrução (CONDÉ et al., 2012; PRADO et al., 2016).

Para a Figura 6, não houve interação entre os fatores estudados (tratamentos, camadas e posições de amostragem), indicando que após três anos do preparo profundo do Argissolo, o efeito desapareceu, ou seja, não há indícios de efeito residual por parte do mesmo. Ainda no

que se refere à Figura 6, a discriminação da porosidade revelou que o revolvimento do solo oriundo da abertura do sulco, subsolagem e preparo da cova, ao promover a quebra dos agregados do solo alterou sua estrutura, promovendo maior volume de poros menores (MICRO), assim como relatado por Malone et al. (2003) e Oorts et al. (2007), sendo observado para MICRO efeito de porta-enxerto, com destaque para o CSC (FIGURA 6A). Este fato pode estar associado à maior concentração de raízes finas e muito finas, pois as mesmas além de promoverem heterogeneidade do espaço poroso são promotoras do desenvolvimento de poros menores (BODNER; KAUL, et al., 2014).

Figura 6 - Distribuição dos poros do solo por tamanho comparando área de mata e cultivo com três porta-enxertos (A); diferentes camadas do solo (B) e nas três posições de amostragem no solo manejado (C).



Legenda: CSC: Porta-enxerto ‘Cravo Santa Cruz’; ST: Porta-enxerto ‘Sunki Tropical’; CI: Porta-enxerto ‘Citrandarin Índio’; AM: Área de Mata; 0-0,05 m: Camada Superficial; 0,35-0,40 m: Camada Subsuperficial; 0,45-0,50 m: Camada Profunda. E: Posição à esquerda do sulco de plantio; S: Posição no sulco de plantio; D: Posição à direita do sulco de plantio. MAG: Macroporos Grandes (>147 μm); MAF: Macroporos Finos (147-73 μm); MEG: Mesoporos Grandes (73-49 e 49-29 μm); MEM: Mesoporos Médios (29-9 e 9-2,9 μm); MEF: Mesoporos Finos (2,9-0,2 μm); MICRO: Microporos (<0,2 μm). Barras seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). NS: Não significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Para o solo em questão, isto ocorreu particularmente nas camadas amostradas (FIGURA 6B) e para as posições laterais (E e S) em relação ao sulco de plantio (FIGURA 6C), o que reflete a ação do preparo profundo realizado por ocasião da implantação da cultura, particularmente a ação do sulcador que abre o sulco, inverte as camadas e direciona o material para os lados, salientando resultados significativos do  $G_{DIS}$  da AE (FIGURA 5A). Esta ação do sulcador condiciona maior possibilidade de entupimento dos poros nas laterais do sulco aberto.

Em relação à classe dos MAG, MAF e MEF não houve diferença estatística para os tratamentos estudados (FIGURA 6A). Para a mesoporosidade, destaca-se que entre porta-

enxertos foi observado maior volume de MEG para ST e menor para o CI. Contudo para MEM os porta-enxertos ST e CI foram os que apresentaram maior volume para esta classe de poros, os quais se igualaram à área de mata.

Os mesoporos, que são poros inter-agregados (OTHMER et al., 1991), além de contribuírem na condutividade hidráulica (DEXTER et al., 2004), também armazenam a água prontamente disponível para as plantas (DALMAGO et al., 2009). Esses resultados possivelmente estão associados ao preparo profundo do Argissolo, pois segundo Bescansa et al. (2006) o revolvimento do solo favorece o aumento de mesoporos, além de promover melhorias nas propriedades físicas, consideradas indispensáveis ao maior rendimento das culturas (ARVIDSSON; HILLERSTRÖM, 2010), sendo também favoráveis ao enraizamento das plantas (GATTO et al., 2003). Ou seja, o maior volume de mesoporos encontrados provavelmente está associado ao tempo decorrido a partir do preparo, o que pode ter contribuído para o melhor armazenamento e redistribuição de água às plantas (SANTOS, 2008; ZHANG et al., 2016).

Com relação às camadas amostradas (FIGURA 6B), nota-se que não houve diferença significativa para a classe de MEM. De forma geral, a camada superficial apresenta maior volume de MAG; MAF e MEF. Em relação a MICRO, ressalta-se que essa mesma camada apresenta menor volume para esta classe de poros. Esses resultados são coerentes com as melhores condições observadas para o desenvolvimento das plantas na camada superficial, o que se deve ao aumento do volume de MAG e MEF, mas também pelos incrementos nos teores de Matéria Orgânica (DI PRIMA et al., 2018), promovido tanto pela queda de folhas e morte de raízes do citros quanto pelo corte da braquiária que é adicionada na linha de plantio pela roçadeira.

O aumento da mesoporosidade e da macroporosidade em detrimento da microporosidade do solo é muito importante para o desenvolvimento do sistema radicular e aproveitamento de água pelas plantas (LU; WILSON; YU, 1997; ZHANG et al., 2016), enquanto o aumento da microporosidade se relaciona com a dificuldade para o enraizamento e crescimento dos citros, o que leva à diminuição da produção (LU et al., 2014). Desta forma, modificações estruturais decorrentes do preparo profundo podem potencializar o fornecimento de água às plantas (ROMERO-TRIGUEROS et al., 2017), pelo fato da rede de poros gerada ter influência na sua retenção e movimento, trazendo benefícios para o crescimento das raízes (BRADY; WEIL, 2001).

Analisando os resultados do experimento, nas posições de amostragem (FIGURA 6C), verificou-se que não houve diferenças significativas para as classes de MAG; MEG e MEM.

Porém para todas as outras classes de poros avaliadas a posição S se igualou à posição E, e a posição D no que diz respeito à redução no volume da classe MAF e aumento no volume de MEF e MICRO. Assim, a posição no centro do sulco de plantio e à esquerda deste apresentam maior percentual de MAF e menor de MICRO, sendo indicativo não somente de melhor estruturação nessas posições com benefícios para a infiltração de água no solo, mas também para a condutividade hidráulica, como observado por Moret-Fernández; Arrúe, (2007a).

### **3.2 Avaliação química do solo**

Os resultados da avaliação química do solo em todos os três porta-enxertos estudados e camadas de amostragem são apresentados na Tabela 5, onde se observa expressivas alterações quando comparado à condição do solo antes da implantação do pomar (TABELA 2). Assim para a Tabela 5, nota-se alterações até mesmo para a camada profunda avaliada (0,45 - 0,50), o que demonstra a efetividade da adubação e correção. Portanto em relação à Tabela 5, observa-se que ocorreram alterações no pH, MO, nas bases ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^{+}$ ), acidez potencial, CTC e fósforo disponível, promovendo a amenização de todas as limitações químicas outrora existentes no solo (TABELA 2).

Tabela 5 - Atributos químicos do solo na área experimental, três anos após a implantação do experimento, para todos os tratamentos avaliados.

Tratamento	CSC			ST			CI		
	0,05	0,35	0,50	0,05	0,35	0,50	0,05	0,35	0,50
Profundidade (m)									
pH (H <sub>2</sub> O)	6,3	5,4	5,5	7,2	5,7	5,4	6,3	6,3	5,5
MO (dag.kg <sup>-1</sup> )	2,6	1,1	1,0	2,5	1,3	1,0	2,3	1,0	0,9
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	6,0	2,3	2,1	5,0	2,3	1,7	7,4	2,9	2,0
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	1,4	0,6	0,6	1,3	0,7	0,5	1,0	0,6	0,5
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,1
H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	1,8	2,5	2,4	1,3	2,4	2,4	1,9	1,8	2,2
SB (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	8,0	3,0	2,8	6,9	3,1	2,2	9,0	3,6	2,6
t (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	8,0	3,1	2,9	7,0	3,2	2,4	9,0	3,7	2,7
T (cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	9,7	5,5	5,2	8,2	5,4	4,6	10,8	5,4	4,8
P (mg.dm <sup>-3</sup> )	167,8	2,5	1,2	21,4	3,8	1,7	404,6	9,1	2,1
K (mg.dm <sup>-3</sup> )	241,9	42,7	36,6	232,3	50,5	32,0	216,9	62,5	41,2
m (%)	0,4	3,9	3,4	0,6	5,3	6,8	0,3	2,5	2,8
V (%)	81,6	54,5	53,8	84,0	56,1	48,3	82,9	64,3	54,7
P-rem (mg.l <sup>-1</sup> )	44,2	26,7	25,2	45,3	36,2	32,2	48,8	30,9	25,5

Legenda: pH: potencial hidrogênio determinado em água; MO: Matéria Orgânica; Ca<sup>2+</sup>: Cálcio; Mg<sup>2+</sup>: Magnésio; Al<sup>3+</sup>: Alumínio; H<sup>+</sup>: Hidrogênio; SB: Soma de bases; t: capacidade de troca de cátions efetiva; T: capacidade de troca de cátions potencial; P: Fósforo; K<sup>+</sup>: Potássio; m: saturação por alumínio; V: saturação por bases; P-rem: fósforo remanescente; 0,05 m: Camada Superficial; 0,35 m: Camada Subsuperficial; 0,50 m: Camada Profunda; CSC: 'Cravo Santa Cruz'; ST: 'Sunki Tropical'; CI: 'Citrandarin Índio'.

A partir da análise química da Tabela 5, é sugerido que os resultados subsequentes relacionados à distribuição espacial das raízes se devem exclusivamente à diferenciação morfológica dos porta-enxertos estudados. O que sustenta tal afirmação, é que todos os porta-enxertos estudados foram colocados sob uma mesma condição química.

### 3.3 Parâmetros geoestatísticos

Os parâmetros do modelo e os semivariogramas ajustados estão apresentados respectivamente na Tabela 6 e Figura 7. O modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos semivariogramas para o atributo morfológico número de raízes (NR), já para diâmetro de raízes (DR) o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o exponencial, sendo para ambos considerado uma distância máxima de 50%. Crawford e Hergert (1997) relatam que a escolha da melhor forma de interpretação de determinado dado deve-se basear no modelo que melhor descreva a natureza associada à causa de sua variação, uma vez que a geoestatística está associada a variabilidade espacial de fenômenos ligados a informações georreferenciadas, as

quais apresentam expressiva correlação espacial.

Tabela 6 - Parâmetros geoestatísticos: efeito pepita ( $C_0$ ); patamar ( $C_0+C_1$ ); alcance ( $a$ ); e índice de dependência espacial ( $C_0/ C_0+C_1$ ), contribuição ( $C_1$ ), em relação aos atributos morfológicos de raiz em função dos diferentes porta-enxertos utilizados na citricultura.

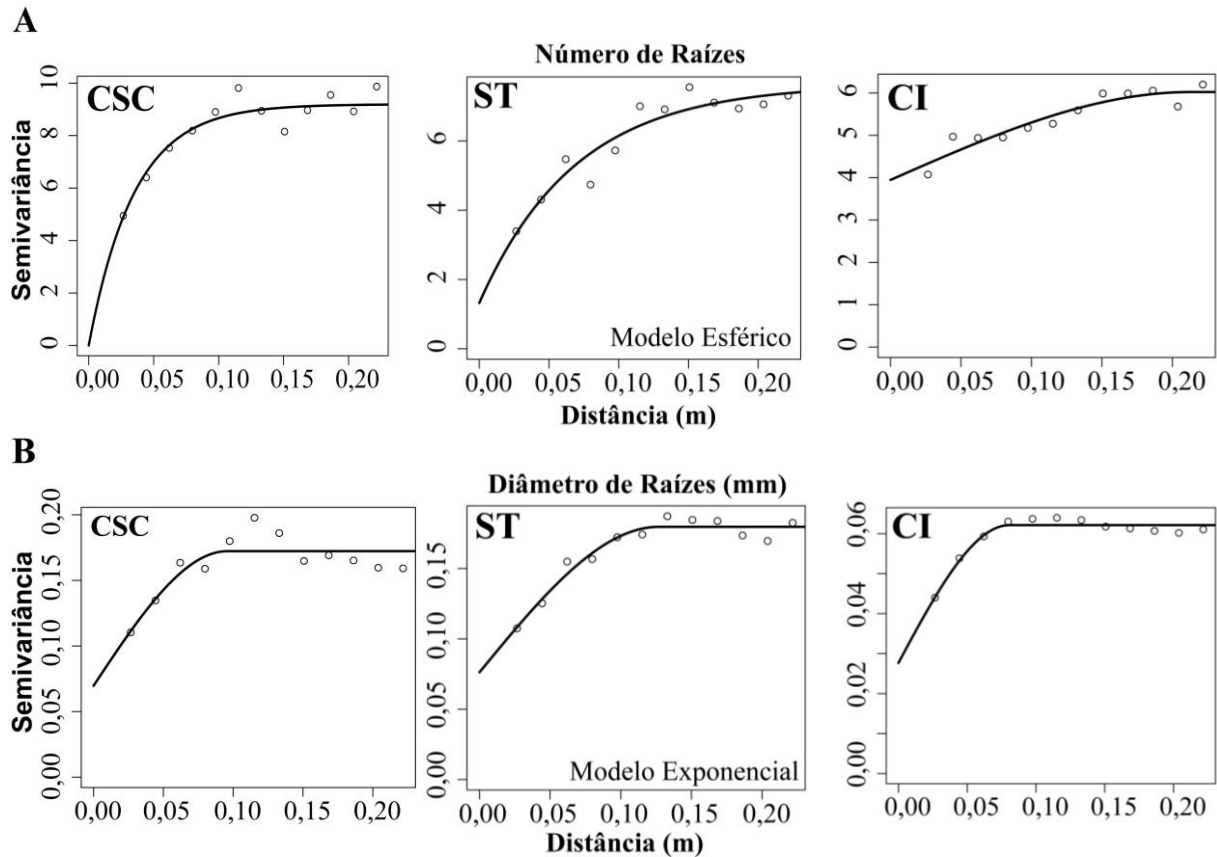
Trat	Atributo	Modelo	$C_0$	$C_1$	$a$	$C_0+C_1$	$C_0/C_0+C_1$
CSC	NR	Esférico	0,04	9,27	0,04	9,31	1
	DR (mm)	Exponencial	0,07	0,1	0,1	0,17	0,6
ST	NR	Esférico	1,32	6,31	0,07	7,63	0,83
	DR (mm)	Exponencial	0,08	0,1	0,13	0,18	0,58
CI	NR	Esférico	3,71	2,8	0,12	6,51	0,43
	DR (mm)	Exponencial	0,03	0,03	0,08	0,06	0,56

Legenda: Trat: Tratamento; CSC: Porta-enxerto ‘Cravo Santa Cruz’; ST: Porta-enxerto ‘Sunki Tropical’; CI: Porta-enxerto ‘Citrandarin Índio’; NR: Número de raízes; DR: Diâmetro de raízes.

O semivariograma esférico evidencia a estrutura de correlação espacial com a distância, até um determinado limite, ou seja, o alcance, onde posteriormente a semivariância torna-se constante. Já o modelo exponencial atinge o patamar e torna-se constante (KAMIMURA, 2011; ROSSONI, 2011). Corroborando com isso, Vieira (2000) aborda que todos os cálculos da geoestatística dependem do modelo ajustado referente ao semivariograma. Por isso é necessário o modelo ajustado ter boa qualidade de estimação, para então a krigagem associada à construção dos mapas também apresentar expressiva qualidade.



Figura 7 - Semivariogramas dos modelos esférico e exponencial ajudados pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), para número e diâmetro de raiz em associação aos diferentes porta-enxertos utilizados na citricultura: CSC: Porta-enxerto ‘Cravo Santa Cruz’; ST: Porta-enxerto ‘Sunki Tropical’; CI: Porta-enxerto ‘Citrandarin Índio’.



A partir da Tabela 6, podemos observar maior  $C_0$  para NR e menor para DR. Esse comportamento está associado à continuidade da própria variável, sendo ela diferenciável ou descontínua (DIGGLE; RIBEIRO JÚNIOR, 2006). Sendo que quando o variograma é descontínuo na origem (FIGURA 7A) tem-se para pequenas distâncias mudança abrupta do  $C_0$ , como observado para o atributo número de raízes (TABELA 6).

Salienta-se que o atributo morfológico DR apresenta efeito pepita puro, pois há no semivariograma (FIGURA 7B) indícios de valores constantes assim como ausência de dependência espacial para esse atributo (TABELA 6).

Para  $C_0+C_1$  (TABELA 6), esse parâmetro está associado a uma estimativa sem tendência da variância dos dados (VIEIRA, 2000). Já o  $a$ , se faz de um parâmetro importante no estudo do semivariograma, o qual representa a distância a partir da qual uma variável não está mais auto correlacionada (KAMIMURA, 2011) e ainda para esse parâmetro deve ser levado em consideração o manejo da área (OLIVEIRA et al., 1999).

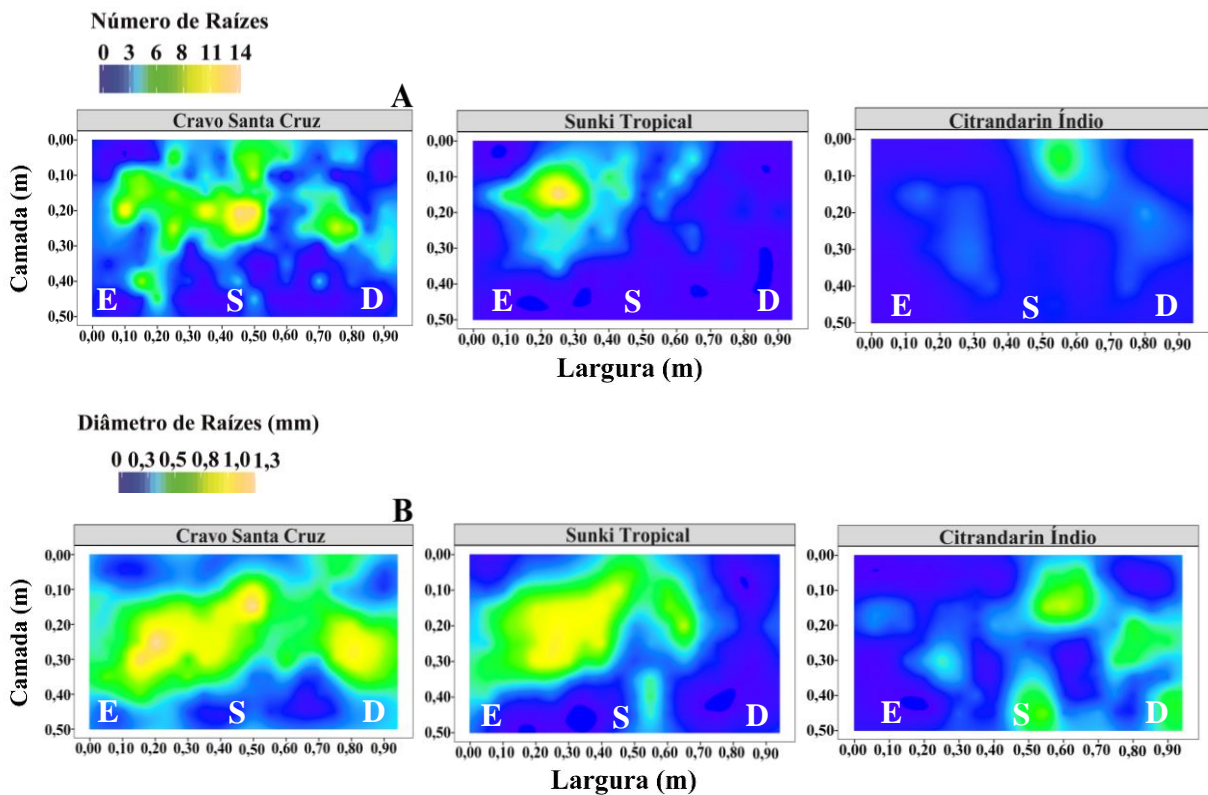
Os valores de  $C/C_0+C_1$  (TABELA 6) variam entre 0,43 e 1, indicando moderada (0,25

à 0,75) e forte ( $> 0,75$ ) dependência espacial em associação às condições de campo (ZIMBACK, 2001). Grego et al. (2014), bordam que o índice de dependência espacial apresenta por objetivo melhor contribuição na definição do manejo a ser adotado, bem como na tomada de outras decisões em relação à área trabalhada.

### **3.4 Distribuição radicular**

O conhecimento da distribuição radicular das plantas é muito importante, pois além de revelar o caráter morfológico de cada porta-enxerto, também pode indicar a capacidade das raízes em alterar o sistema poroso do solo (CARDUCCI et al., 2014a, 2014b). Analisando a Figura 8A e B, é possível observar que as raízes dos porta-enxertos avaliados apresentaram diferentes padrões de desenvolvimento e crescimento ao longo do perfil do solo, tanto para número quanto para diâmetro de raízes, ou seja, foram observadas diferenças relacionadas à espacialização radicular dos diferentes porta-enxertos em resposta ao manejo adotado na área experimental, bem como no seu estabelecimento à campo (BOWMAN; ALBRECHT, 2017).

Figura 8 - Mapas da distribuição espacial do número (A) e diâmetro de raízes (B) variando em função dos diferentes porta-enxertos utilizados na citricultura.



Legenda: A: Corresponde à variável morfológica número de raízes para os três porta-enxertos estudados; B: Corresponde à variável morfológica diâmetro de raízes para os três porta-enxertos estudados; E: Posição à esquerda do sulco de plantio; S: Posição no sulco de plantio; D: Posição à direita do sulco de plantio; 0-0,05 m: Camada Superficial; 0,35-0,40 m: Camada Subsuperficial; 0,45-0,50 m: Camada Profunda.

Crawford e Hergert (1997) afirmam que a variação espacial do sistema radicular em relação aos parâmetros de solo, está associada a causas naturais ou à prática de manejo adotado na área. Corroborando com isto, Bhunia; Shit e Chattopadhyay (2018), expõem que práticas de manejo consideradas inadequadas, como uso intensivo do solo sem preocupação com o desenvolvimento sustentável e manejo dos recursos hídricos, afetam a produtividade da cultura por degradar a estrutura do solo. Esses autores relatam que o modelo geoestatístico pode revelar respostas das raízes à variabilidade espacial do solo, o que auxiliaria os agricultores na tomada de decisão em relação à melhoria do sistema de manejo, o que é oportuno tendo em vista a preocupação em melhorar o aproveitamento da água armazenada no solo.

Observou-se maior NR ao longo do perfil analisado (FIGURA 8A), para o CSC, seguido de ST e CI, cujos valores foram aumentando de forma gradativa das extremidades (0 a 3) e para o centro do sulco (8 a 14). Assim, em relação à distribuição das raízes (FIGURA

8A), notou-se que o CSC além de apresentar maior NR, é também o que possui melhor distribuição dessas raízes até a camada profunda do solo, de forma abrangente englobando todas as posições de coleta amostradas em relação ao preparo profundo do Argissolo E; S e D. O porta-enxerto ST apresentou condição intermediária em relação ao NR quando comparado aos demais porta-enxertos, com presença de raízes até a camada subsuperficial e essa distribuição se deu nas posições S e E. Quanto ao CI, nota-se que esse apresentou menor NR e promoveu expansão do seu sistema radicular até a camada subsuperficial, ocupando as posições S e D. Esses resultados confirmam a heterogeneidade do desenvolvimento e crescimento radicular entre os porta-enxertos avaliados, bem como, a diferenciação entre sua morfologia e espacialização (BOWMAN; ALBRECHT, 2017).

Sharma et al. (2016), abordam que os efeitos associados à modificação das plantas de citros estão na seleção do porta-enxerto. Por isso, o conhecimento sobre as condições que favorecem o crescimento das raízes e como estas podem se relacionar com o porta-enxerto e a classe de solo, é de suma importância, tendo em vista ser o sistema radicular que mais afeta o desempenho produtivo da planta (ALVES JÚNIOR et al., 2012; CASTLE et al., 2015). De acordo com Webber (1948), as plantas cítricas apresentam alto potencial de desenvolvimento, sendo esse amplamente influenciado pelo porta-enxerto. Portanto, estes efeitos condicionados pelo porta-enxerto, podem elucidar os mecanismos associados à tolerância à seca, pois a escassez de água, pode provocar modificações drásticas na regulação metabólica e hormonal da planta cítrica afetando diretamente seu desenvolvimento (SANTOS et al., 2017).

Foi relatado por Kozlowski (1971), que o citros apresenta uma tendência natural em promover uma distribuição radicular bimorfa, caracterizada por uma gama de raízes laterais rasas (na superfície), que permitem um suporte para a densa camada de raízes fibrosas e um conjunto vasto de pequenas raízes que crescem em várias direções a partir da base do caule, sendo essas facilmente categorizadas em relação ao seu tamanho (CASTLE, 1978).

Para a variável DR (FIGURA 8B), existe predominância de raízes menores ou iguais a 0,8 mm para todos os porta-enxertos estudados. Porém, para o CSC observa-se maior amplitude de classes de diâmetro distribuídas lateralmente e verticalmente no perfil do solo, quando as raízes de maior diâmetro estão dispostas ao centro e é possível verificar em seu entorno as raízes mais finas, o que representa suas ramificações. Este porta-enxerto apresenta uma distribuição homogênea de diâmetros maiores ou iguais a 0,5 mm nas posições E; S e D até a camada subsuperficial. Para o ST observaram-se raízes de diâmetros maiores ou iguais a 0,5 mm distribuídas nas posições do S e E até a camada subsuperficial, e que não se estenderam até D. Já para o CI, raízes com diâmetros menores ou iguais a 0,5 mm estão

distribuídas nas posições S e D até a camada profunda, mas que não se estenderam até a posição E. Portanto, a qualidade estrutural do solo associado à posição de amostragem influenciou o desenvolvimento das raízes, o que corrobora com os trabalhos de Turra et al. (2014) e Zhao et al. (2015), os quais demonstraram a necessidade da adoção de práticas adequadas que proporcionem melhorias físicas do solo nas áreas de produção, não esquecendo de aspectos voltados à ação do sistema radicular, tendo por base a relação água-solo-planta (CHEN et al., 2018).

Em nossa pesquisa notou-se que a distribuição das raízes no perfil do solo foram diferenciadas entre os diferentes porta-enxertos tanto em relação ao NR quanto ao DR, particularmente quando se analisa a posição de amostragem, ou seja, o centro do sulco de plantio, está diretamente relacionado ao preparo do solo por ocasião do plantio (abertura de sulco, subsolagem e preparo da cova) como sugerido por alguns autores (SOUZA et al., 2006; SOUZA et al., 2008). Assim, é possível imaginar que por ocasião do preparo, o alívio estrutural do solo favoreceu a exploração do sistema radicular dos diferentes porta-enxertos estudados (FIGURA 8A e B), mesmo que após algum tempo tenha ocorrido entupimento dos poros (FIGURA 5C E C<sub>1</sub>).

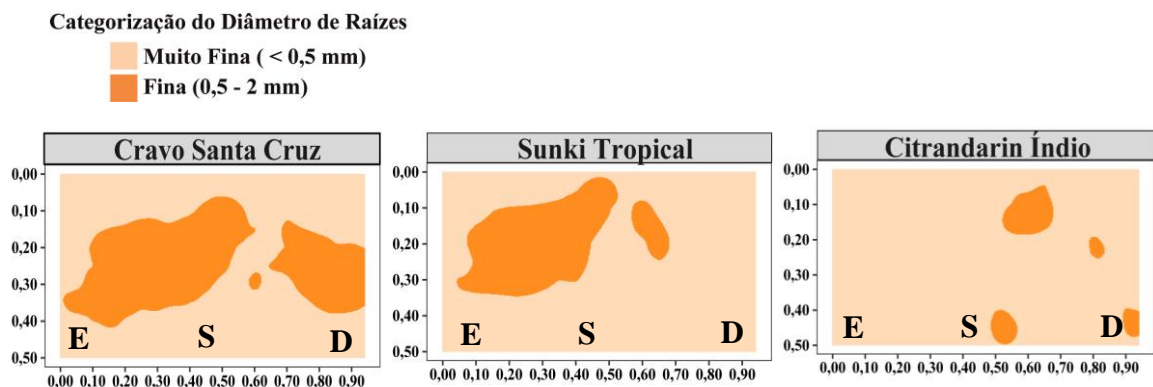
Neves et al. (1998) abordam que além do fator genético dos porta-enxertos, os diferentes diâmetros de raízes estão diretamente associados com o preparo da cova, o que faz desta operação uma das etapas mais importantes na implantação de pomares (GOMES, 2007). Corroborando com esse fato, Souza et al. (2006), expõem que essa é uma estratégia em romper camadas restritivas, a qual permite o aumento do volume de solo ocupado pelas raízes, pois o crescimento radicular é seriamente prejudicado quando há presença de alguma limitação física, a exemplo da camada adensada presente no horizonte Bt do Argissolo em estudo (REZENDE, 2000). Mas é preciso destacar o papel dos porta-enxertos, pois segundo Bowman e Albrecht (2017) nos citros há diferenças na espacialização e no crescimento das raízes, particularmente em camadas mais profundas do solo.

Souza et al. (2008) relatam que o aprofundamento do sistema radicular do citros é de grande importância na promoção de sua produtividade e longevidade, principalmente em solos com presença de horizontes coesos subsuperficiais. No estudo os autores encontraram predominância de raízes com diâmetro menor que 1 mm, confirmando que mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicas do meio afetam diretamente o crescimento e distribuição radicular.

Em se tratando da categorização dos diâmetros das raízes da tangerina Ponkan em relação aos porta-enxertos estudados, observa-se que o padrão de distribuição é similar para

ambos (FIGURA 9). Existe um predomínio de raízes finas e muito finas ao longo do sulco de plantio. No entanto, elas encontram-se em maior quantidade respectivamente no perfil do CSC e CI. Neves et al. (1998), abordaram que a maior presença de raízes muito finas e finas no perfil do solo é positiva, tendo em vista que estas são as mais ativas, desempenhando papel importante na absorção de água e nutrientes (WELLER, 1971; RYLTER, 1997). Santos; Coelho e Azevedo (2005) consideram as raízes de citros com diâmetros compreendidos entre 0,5 a 2 mm como as mais eficientes no suprimento de água e nutrientes para as plantas.

Figura 9 - Mapa categorizado para a distribuição espacial do diâmetro de raízes variando em função dos diferentes porta-enxertos utilizados na citricultura.



Legenda: CSC: Porta-enxerto 'Cravo Santa Cruz'; ST: Porta-enxerto 'Sunki Tropical'; CI: Porta-enxerto 'Citrandarin Índio'. Categorização do diâmetro realizada segundo a classificação de Bohm (1979), apresentado por Coelho et al. (2002) onde há a separação em diferentes classes de diâmetros para as raízes dos citros, sendo (< 0,5 mm) muito fina; (0,5 – 2,0 mm) fina; E: Posição à esquerda do sulco de plantio; S: Posição no sulco de plantio; D: Posição à direita do sulco de plantio.

No CSC as raízes finas ficaram distribuídas até os 0,40 m ocupando todo o sulco de plantio, diferentemente do ST que direcionou estas raízes para a esquerda do sulco nos primeiros 0,30 m. O CI apresentou menor volume de raízes finas que ocuparam o centro e a lateral direita do sulco até os 0,50 m. Esses resultados mais uma vez comprovam o comportamento diferenciado dos porta-enxertos, com prováveis consequências na absorção de água e nutrientes (COELHO et al., 2002; DU; WEI, 2018).

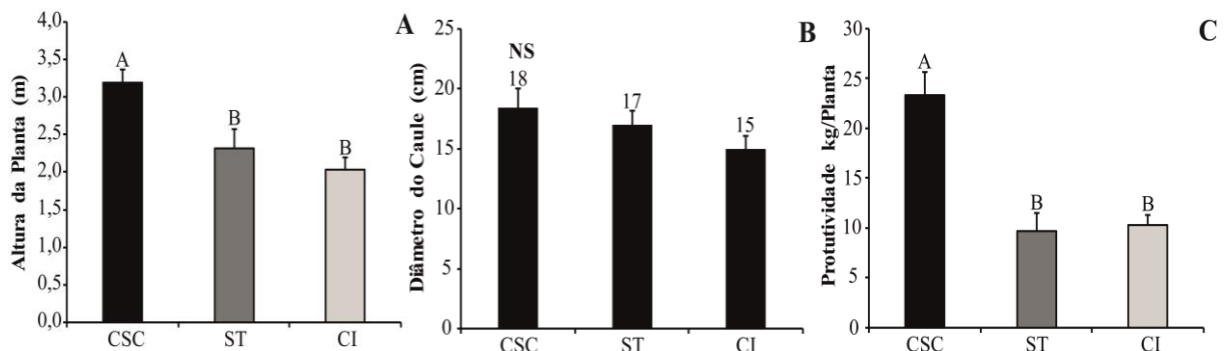
É também digno de destaque o fato das raízes apresentarem potencial de se ajustar às partículas do solo ao se desenvolverem em profundidade e para as laterais, favorecendo a agregação com consequências na modificação da porosidade do solo (BRADY; WEIL 2001; KAESTNER et al., 2006). Desta forma, a escolha do porta-enxerto a ser utilizado em pomares cítricos comerciais é uma das decisões mais importantes assumidas pelo produtor, tendo em vista a influência exercida pelo mesmo na capacidade fotossintética, distribuição de carboidratos para o desenvolvimento vegetativo e produtivo das plantas (MARTÍNEZ-

CUENCA; PRIMO-CAPELLA; FORNER-GINER, 2016), além do potencial diferenciado de absorção de água e nutrientes e a capacidade de modificação estrutural, influenciando diretamente na produção da cultura.

### 3.5 Fenometria da tangerina Ponkan sobre os porta-enxertos estudados

Para os dados de fenometria, esses não apresentaram interação entre os fatores (altura, diâmetro do caule e produtividade). Assim, ao avaliar cada fator separadamente, tem-se que a tangerina Ponkan enxertada sobre CSC apresenta maior altura (AP) e maior produção (PROD) em relação ao ST e CI aos três anos de idade (FIGURA 10A e C), apesar de não apresentar diferença significativa para diâmetro do caule (DC) (FIGURA 10B).

Figura 10 - Altura da planta (A), diâmetro do caule (B) e produtividade (C) da tangerina Ponkan associada aos diferentes porta-enxertos avaliados.



Legenda: CSC: Porta-enxerto ‘Cravo Santa Cruz’; ST: Porta-enxerto ‘Sunki Tropical’; CI: Porta-enxerto ‘Citrandarin Índio’. Barras seguidas de letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). NS: Não significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

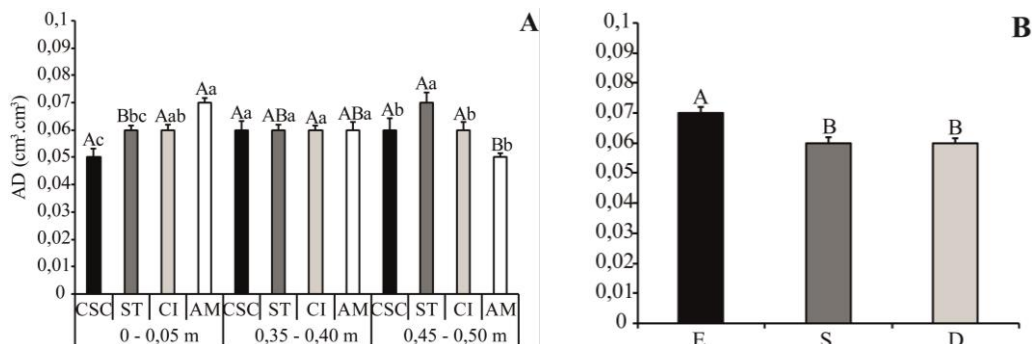
Silva et al. (2012), afirmam que as diferenças encontradas entre porta-enxertos podem estar associadas com as condições ambientais, à variedade de copa relacionada ao genótipo, bem como com suas interações. Sendo assim, os porta-enxertos induzem diferenças associadas ao tamanho da copa e à sua produção. Nascimento et al. (2018), expõe que o porta-enxerto ‘Santa Cruz’ possui maior crescimento vegetativo (altura), pois o mesmo apresenta maior vigor de crescimento, uma vez que esse é resultante da mutação natural de gema selecionada pela EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, o que permite uma alta carga genética proveniente do limão-cravo. Assim, Barco; Maucieri e Borin (2018) abordam que a produtividade das culturas perenes se deve à relação direta com aspectos associados ao

sistema radicular bem como ao balanço hídrico no solo, maior número e exploração de raízes e no estabelecimento das plantas em campo (BOWMAN; ALBRECHT, 2017).

### 3.5 Uso de água disponível

Os dados relacionados à disponibilidade de água (FIGURA 11), bem como com o uso da água ao longo do perfil do solo (FIGURA 12), apresentaram interação significativa entre tratamentos e camadas com exceção apenas para as posições de amostragem. As figuras indicam que independente do porta-enxerto utilizado, o preparo profundo realizado no Argissolo sob tangerina Ponkan alterou de forma considerável os atributos físico-hídricos deste solo quando comparado à área de mata.

Figura 11 - Água disponível (AD) no solo em função dos diferentes tratamentos, profundidades e posições avaliados.



Legenda: CSC: Porta-enxerto ‘Cravo Santa Cruz’; ST: Porta-enxerto ‘Sunki Tropical’; CI: Porta-enxerto ‘Citrandarin Índio’; 0-0,05 m: Camada Superficial; 0,30-0,35 m: Camada Subsuperficial; 0,40-0,45 m: Camada Profunda. E: Posição à esquerda do sulco de plantio; S: Posição no sulco de plantio; D: Posição à direita do sulco de plantio; AD: Água disponível às plantas. Letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos dentro da mesma profundidade e letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em profundidades diferentes. Letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Nota-se na Figura 11A que na camada superficial há menor AD para a AE entre os porta-enxertos estudados, quando comparado à AM, o que está diretamente associado à expressiva quantidade de PB encontrada para essa mesma camada (FIGURA 5C). Contudo para a camada subsuperficial foi observada que os porta-enxertos se igualaram à condição de mata, apresentando expressiva AD, sendo na mesma encontrado menor volume de PB (FIGURA 5C).

Já em relação à camada profunda, tem-se que os porta-enxertos CSC e CI,

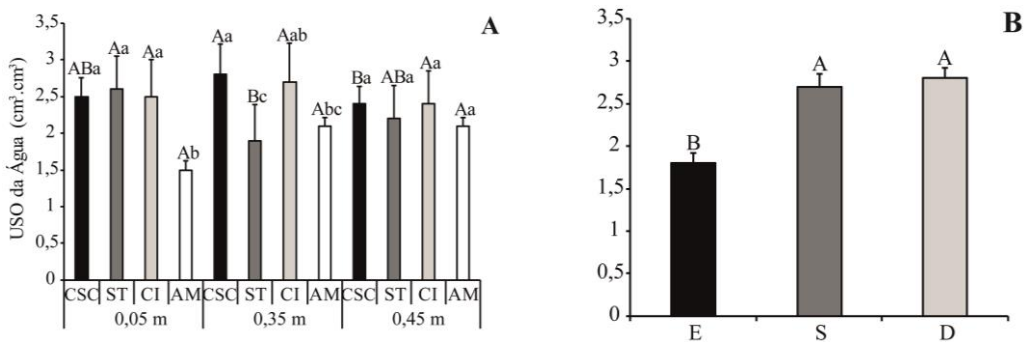


apresentaram menor AD, os quais se igualaram à mata. Esses resultados vão de encontro ao estudo da porosidade do solo (Figura 6), sendo observado redução da meso e incremento na microporosidade para CSC e CI, a qual contribui na menor capacidade em redistribuir e disponibilizar água às plantas. O ST foi o único diferenciado em relação à camada profunda, o qual apresentou grande contribuição de AD para essa referida camada. De acordo com Tahir et al. (2016), ao avaliarem um pomar de citros sob Argissolo, os autores expõem que a expansão radicular juntamente com a alteração na porosidade do solo, favoreceram a utilização de água por parte da planta em camadas profundas do solo.

Tendo em vista a menor AD para os porta-enxertos na camada superficial em relação à mata (FIGURA 11A), ressalta-se que a disponibilidade de água no solo determina a maior ou menor facilidade com que as plantas apresentam em extrair essa água e em relação à suas demandas fisiológicas (REICHARDT, 1990). Bronick; Lal, (2005), abordam que as principais características e propriedades físicas do solo como textura, teor de MO, estrutura e a distribuição do tamanho e diâmetro dos poros, afetam de forma direta a disponibilidade de água às culturas. A estrutura é o atributo mais manipulável do solo por se referir ao tamanho, forma e arranjo dos sólidos e vazios e continuidade dos poros, o que afeta o crescimento e desenvolvimento das raízes (BRONICK; LAL, 2005). A avaliação da estrutura define a qualidade física do solo (DORAN; PARKIN, 1994).

Para as posições de amostragem (FIGURA 11B), observou-se maior AD à esquerda do sulco de plantio do quem em relação ao próprio sulco e a direita deste. Esses resultados vão de encontro à efetividade do preparo profundo do Argissolo, bem como a distribuição espacial das raízes, sendo observada expressiva expansão radicular na posição E, principalmente para CSC e ST (FIGURA 8 e 9). Esses resultados também vão de encontro àqueles apresentados na Figura 6C e com o trabalho de Zhao et al. (2015), que abordaram que as características intrínsecas das áreas cultivadas têm associação direta com a posição amostrada na paisagem. Assim, modificações morfológicas e estruturais apresentam relação direta com o potencial hídrico atingido pelo solo sob citricultura (ROMERO-TRIGUEROS et al., 2017). Uma vez que o processo dinâmico da água no solo bem como a sua disponibilidade para a cultura do citros é dependente do declive do terreno (TAHIR et al., 2016).

Figura 12 - Uso da água em função dos diferentes tratamentos, profundidades e posições avaliados.



Legenda: S: Posição no sulco de plantio; D: Posição à direita do sulco de plantio; 0,05 m: Camada Superficial; 0,35 m: Camada Subsuperficial; 0,45 m: Camada Profunda; E: Posição à esquerda do sulco de plantio; USO: Uso da água. Letras minúsculas comparam os diferentes tratamentos dentro da mesma profundidade e letras maiúsculas comparam o mesmo tratamento em profundidades diferentes. Letras iguais não se diferenciam pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

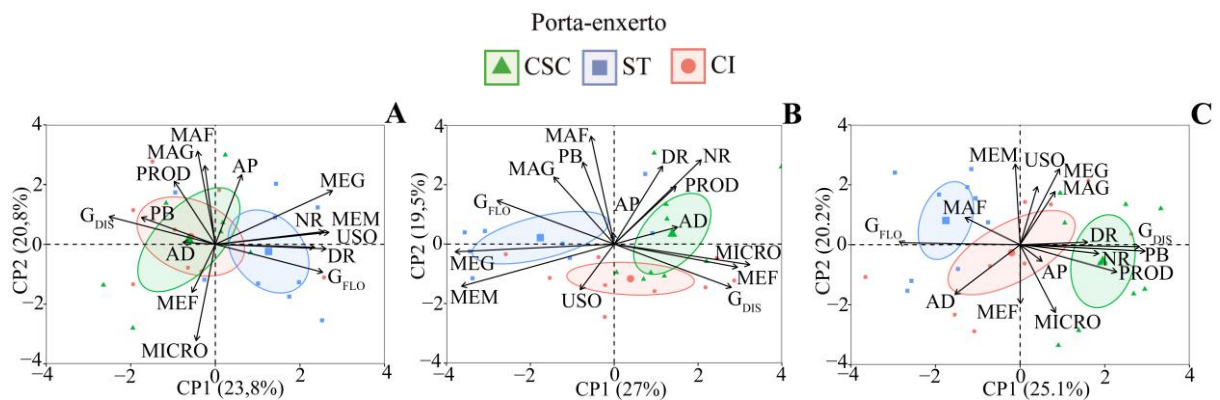
Tendo por base a Figura 12A, de forma geral há maior potencialidade em relação ao uso da água (USO) para a AE sob os porta-enxertos em comparação à AM, tendo em vista principalmente a camada superficial do solo. Esses resultados associam-se com a melhor resposta relacionada às propriedades físico-hídricas na camada de 0-0,05 m (FIGURA 6B). Em relação à camada de 0,30-0,35 m (FIGURA 12A) o CSC apresenta melhor USO da água, sendo este resultado de grande valia, pois o CSC apresenta maior distribuição espacial em relação ao número e diâmetro de raízes (FIGURA 8A e B), e o que possui maior relação de raízes finas e muito finas (FIGURA 9), indicando maior absorção de água e nutrientes pelas mesmas. Assim, a maior atividade associada ao USO da água da área manejada em relação à área de mata, está associado com a alteração promovida pelo preparo do solo (DIAS, 2006; SOUZA; SOUZA; LEDO, 2004; LIU et al., 2016) e também ao próprio sistema radicular, uma vez que esse cresce no sentido onde há predominância de condições físico-hídricas e nutricionais favoráveis (BRITO, LIBARDI; GHIBERTO, 2009).

Para as posições de amostragem (FIGURA 12B), tem-se que independente da camada amostrada, S e D apresentam melhor comportamento em relação ao USO da água pelo citros, quando comparado à E. Esses resultados concordam com o desenvolvimento e especialização radicular observada na Figura 8A e B, pois foi constatada maior exploração de raízes tanto para as posições S quanto D. Em relação à planta, Carlesso (1995), aborda que o consumo de água em profundidade por raízes é caracterizado pela extração de água ao longo do perfil do solo em função do tempo e do crescimento e desenvolvimento radicular. Corroborando com esses resultados van LIER (2010), aborda que a facilidade em extrair a água do solo depende da sua disponibilidade e proximidade dessa com a zona radicular das plantas.

### 3.5 Análise dos componentes principais

Na Figura 13 são apresentados os componentes principais deste estudo, analisados em conjunto, sendo observada para a camada de 0-0,05 m sobreposição dos intervalos de confiança, indicando igualdade entre os porta-enxertos avaliados. Já para as camadas de 0,35-0,40 m e 0,45-0,50 m, observa-se que algumas variáveis são explicadas quanto ao uso de determinado porta-enxerto. Assim, de forma geral, nota-se correlações expressivas entre as variáveis analisadas o que evidencia a real importância de seu estudo de forma individual e agrupada, principalmente em relação às propriedades físico-hídricas do solo (VASQUES et al., 2019), fenometria de plantas e atributos morfológicos de raízes.

Figura 13 - Análises de componentes principais entre as variáveis respostas para os porta-enxertos implantados em Argissolo.



Legenda: CSC: Porta-enxerto ‘Cravo Santa Cruz’; ST: Porta-enxerto ‘Sunki Tropical’; CI: Porta-enxerto ‘Citrandarin Índio’. Análise de componentes principais relacionados às camadas de amostragem A: 0-0,05 m Camada Superficial; B: 0,35-0,40 m Camada Subsuperficial; C: 0,45-0,50 m Camada Profunda; MAG: Macroporos Grandes (>147  $\mu\text{m}$ ); MAF: Macroporos Finos (147-73  $\mu\text{m}$ ); MEG: Mesoporos Grandes (73-49 e 49-29  $\mu\text{m}$ ); MEM: Mesoporos Médios (29-9 e 9-2,9  $\mu\text{m}$ ); MEF: Mesoporos Finos (2,9-0,2  $\mu\text{m}$ ); MICRO: Microporos (< 0,2  $\mu\text{m}$ ); DR: Diâmetro de raiz; NR: Número de raiz; AP: Altura da Planta; PROD: Produção (kg/planta); AD: Água disponível para a planta; USO: Uso de água disponível pelas plantas; G<sub>FLO</sub>: Grau de floculação; G<sub>DIS</sub>: Grau de dispersão; PB: Poros bloqueados.

Para a camada superficial do solo (FIGURA 13A), observa-se que a PROD plantas enxertadas sobre os diferentes porta-enxertos teve correlação positiva com MAG; MAF e negativa com a MICRO, o que é realístico tendo em vista a importante atuação dos macroporos nas trocas gasosas do solo com a atmosfera externa e facilitando o crescimento de raízes, enquanto a microporosidade age retendo fortemente a água, a qual por apresentar uma alta força de retenção, faz com que essa água não esteja disponível à planta. Desta forma,

estes dois atributos do solo podem alterar de forma positiva ou negativa o metabolismo das plantas. Guimarães et al. (2014) ao avaliarem um pomar de citros implantado em Argissolo, abordam que a redução na macroporosidade reflete negativamente no desenvolvimento e produtividade dessa cultura. Souza et al. (2008) avaliando a distribuição radicular de citros, observaram menores concentrações de raízes em profundidade do solo relacionado ao maior volume de micro em relação a macroporos, corroborando com Libardi (2005).

Quanto a camada subsuperficial (FIGURA 13B), a PROD correlacionou-se positivamente com NR e DR, principalmente para o CSC, o que está condizente com o maior número de raízes e a expressiva quantidade de raízes finas e muito finas encontradas neste porta-enxerto (FIGURA 9). É de se destacar que esse porta-enxerto também promoveu melhor distribuição do sistema radicular até a camada de 0,45-0,50 m (FIGURA 8A e B). Ainda para esta mesma camada, observa-se que a PROD apresenta correlação positiva com AP (FIGURA 13C). Estes resultados são coincidentes com as afirmações de Soares Filho; Cunha Sobrinho e Passos (2003), de que o porta-enxerto CSC apresenta grande rusticidade e adaptação a variadas condições de clima e solo, além de ser compatível com diversas variedades de copa, induzindo maior eficiência produtiva devido menor perda de água por evapotranspiração quando submetido a condições de déficit hídrico (CARVALHO et al., 2016).

De forma geral, observa-se que independente da profundidade (FIGURA 13) a PROD houve correlação positiva com AD e negativa com o USO da água disponível, o que está de acordo com os resultados das Figuras 8B; 9 e 12A, e se justifica pelo fato do incremento em PROD induzir o USO intensivo de água. À medida que as raízes das plantas absorvem água, estas reduzem o conteúdo de água no perfil do solo, exaurindo assim o potencial de água de forma imediata ao redor das mesmas. Vellame; Fraga Júnior e Coelho, (2015) abordam que as plantas de citros respondem ao ambiente em função de sua aclimação e a presença de raízes proporciona alta extração de água em um curto período. Uma vez que a continuidade do crescimento radicular sob condições dadas como limitantes em relação à disponibilidade hídrica depende de características celulares advindas da própria planta, as quais são suficientes para permitir a alongação das raízes (HSIAO; XU, 2000), bem como à maior absorção de água por parte das mesmas (BLUM, 2009).

O grau de Dispersão  $G_{Dis}$  correlacionou de forma positiva com PB, exceto para a camada subsuperficial. Esses resultados mais uma vez comprovam o reflexo do preparo profundo, o qual teve efetividade até a camada de 0,35-0,40 m. Esses resultados comprovam o que foi observado para a Figura 5A, pois o preparo profundo do Argissolo favoreceu a dispersão da argila o que contribuiu no maior PB, com reflexo negativo principalmente em

relação à planta (PRADO et al., 2016; KRISTA, 2003)

Em relação aos MEG e MEM (FIGURA 13), esses apresentam correlação positiva em relação ao USO, o que é muito coerente, pois estes são os poros responsáveis pela água prontamente disponível às plantas (BARBOSA et al., 2014), o que provavelmente favoreceu a melhor exploração sorção de água por parte das raízes e certamente a produção dos citros (ALVES JÚNIOR et al., 2012; CRUZ et al., 2005).

Assim, todos os resultados convergem para a necessidade da escolha correta do porta-enxerto, associado à adequação do preparo do solo. A prévia caracterização do solo é outro cuidado relevante, uma vez que, a exemplo do Argissolo do estudo, o revolvimento promoveu dispersão de argila, ocasionando no entupimento dos poros, levando à alteração da estrutura (GONÇALVES; STAPE, 2000), com consequências em alterações no comportamento hídrico do solo (REZENDE, 2013; SILVA et al., 2015c).

#### 4 CONCLUSÃO

Os três porta-enxertos relacionados à tangerina Ponkan em associação ao preparo profundo do Argissolo apresentaram diferente distribuição espacial de raízes.

O preparo inicial do solo a partir da abertura de sulcos, subsolagem e preparo de covas, não apresentou efeito residual, tendo em vista a expressiva porosidade bloqueada promovida pela maior dispersão da argila, facilitada pelo próprio preparo, o que refletiu na distribuição de poros por diâmetro, com destaque no maior volume de microporos para o Argissolo.

O porta-enxerto ‘Cravo Santa Cruz, foi o que apresentou melhor desempenho radicular, tanto para número quanto para diâmetro de raízes, sendo as raízes finas e muito finas as mais ocorrentes, havendo a partir disso maior uso da água disponível, com resposta imediata no seu crescimento vegetativo e em sua produtividade.

A tomada de decisão em relação às práticas (sulcagem, subsolagem e preparo de cova), deve ser feita com bastante cautela pelo produtor, principalmente quando realizadas sobre Argissolo, pois este solo por mais que exija reparação profunda em associação ao desenvolvimento radicular do citros, para o estudo em questão, a junção dessas práticas desencadeou alterações estruturais as quais refletiram no comportamento hídrico do solo.

Em relação à escolha do porta-enxerto, há indícios suficientes nesse trabalho para afirmar que o ‘Cravo Santa Cruz’ é o melhor, sendo, portanto, o mais indicado para o plantio quando associado à tangerina Ponkan.

## REFERÊNCIAS

- ALAOUI, A.; LIPIEC, J.; GERKE, H. H. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: A hydrodynamic perspective. **Soil and Tillage Research**, v.115, n.116, p.1-15, 2011.
- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J. Densidade radicular do milho considerando os atributos de um solo com horizonte B textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.539-549, 2001.
- ALMEIDA, B. G.; FREITAS, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M.; DONAGEMMA, G. K. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3ª edição revista e ampliada, Capítulo 9 - POROSIDADE. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 575 p, 2017b.
- ALMEIDA, B. G.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3ª edição revista e ampliada, Capítulo 7 - DENSIDADE DO SOLO. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 575 p, 2017a.
- ALMEIDA, W. S.; PANACHUKI, E.; OLIVEIRA, P. T. S.; MENEZES, R. S.; SOBRINHO, T. A.; CARVALHO, D. F. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil & Tillage Research**, v.175, p.130-138, 2018.
- ALVES JÚNIOR, J.; BANDARANAYAKE, W.; PARSONS, L. R.; EVANGELISTA, A. W. P. *Citrus* root distribution under water stress grown in Sandy soil of central Florida. **Engenharia Agrícola**, v.32, p.1109-1115, 2012.
- ARVIDSSON, J.; HILLERSTRÖM, O. Specific draught, soil fragmentation and straw incorporation for different tine and share types. **Soil and Tillage Research**, v.110, p.154-160, 2010.
- BARBOSA, S. M.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, B. M. Potencialidade de uso de Zeólitas na atenuação do déficit hídrico em Latossolo do cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.4, p.2357-2368, 2014.
- BARCO, A.; MAUCIERI, C.; BORIN, M. Root system characterization and water requirements of ten perennial herbaceous species for biomass production managed with high nitrogen and water inputs. **Agricultural Water Management**, v.196, p.37-47, 2018.
- BARKER, J. B.; FRANZ, T. E.; HEEREN, D. M.; NEALE, C. M. U.; LUCK, J. D. Soil water content monitoring for irrigation management: A geostatistical analysis. **Agricultural Water Management**, v.88, p.36-49, 2017.
- BASTOS, D. C.; FERREIRA, E. A.; PASSOS, O. S.; SÁ J. F.; ATAÍDE, E. M.; CALGARO, M. Cultivares copa e porta-enxertos para a citricultura brasileira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.35, p.36-45, 2014.
- BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo

influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.215-221, 1998.

BERISSO, F. E.; SCHJØNNING, P.; KELLER, T.; LAMANDÉ, M.; SIMOJOKI, A.; IVERSEN, B. V.; ALAKUKKU, L.; FORKMAN, J. Gas transport and subsoil pore characteristics: Anisotropy and long-term effects of compaction. **Geoderma**, v.195, n.196, p.184-191, 2013.

BESCANSÀ, P.; IMAZ, M. J.; VIRTO, I.; ENRIQUE, A.; HOOGMOED, W. B. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. **Soil and Tillage Research**, v.87, n. 1, p.19-27, 2006.

BHUNIA, G. S.; SHIT, P. K.; CHATTOPADHYAY, R. Assessment of spatial variability of soil properties using geostatistical approach of lateritic soil (West Bengal, India). **Annals of Agrarian Science**, v.16, n.4, p.436-443. 2018.

BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, v.112, p.119-123, 2009.

BLUME, H. P.; BRÜMMER, G. W.; FLEIGE, H.; HORN, R.; KANDELER, E.; KÖGEL-KNABNER, I.; KRETZSCHMAR, R.; STAHR, K.; WILKE, B. M. **Scheffer/Schachtschabel Soil Science**. Springer, 2015.

BODNER, G.; LEITNER, D.; KAUL, H P. Coarse and fine root plants affect pore size distributions differently. **Plant and Soil**, v.380, p.133-151, 2014.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. In: W.D.(Ed.) Ecological studies 33. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 189 p, 1979.

BOUMA, J. Guide to the study of water movement in soilpedons above the watertable. Madison: **University of Wisconsin**, 194 p, 1973.

BOWMAN, K. D.; ALBRECHT, U. Efficient propagation of citrus rootstocks by stem cuttings. **Scientia Horticulturae**, v.225, p.681-688, 2017.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 5. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 467 p, 1979.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. 13<sup>a</sup> ed. Editora Prentice Hall, 2001.

BRASIL, F. C.; ZONTA, E.; OLIVEIRA, M. R. G. Métodos de amostragem e quantificação para estudos do sistema radicular em condições de campo – Uma revisão crítica. **Revista Ciência da Vida**, v.27, p.14-33, 2007.

BRITO, A. dos; S.; LIBARDI, P. L.; GHIRBERTO, P. J. Componentes do balanço de água no solo com cana de açúcar, com e sem adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.295-303, 2009.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v.124, p.3-



22, 2005.

BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. Handbook for soil thin section description. **Edinburgh: Waine Research Publications**, 152 p, 1985.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas, Instituto Agronômico, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C. de; CURI, N.; HECK, R. J. J.; ROSSONI, D. F. F.; CARVALHO, T. S. S.; COSTA, L. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v.145, p.171-180, 2014a.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; CURI, N.; HECK, R. J.; ROSSONI, D. F.; CARVALHO, T. S.; COSTA, A. L. Gypsum effects on the spatial distribution of coffee roots and the pores system in oxidic Brazilian Latosol. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 171-180, 2015a.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M.; ROSSONI, D. F.; COSTA, A. L.; OLIVEIRA, L. M. Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.270-278, 2014b.

CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, L.; BARBOSA, S. M.; SILVA, E. A. da. Retenção de água do solo sob sistema conservacionista de manejo com diferentes doses de gesso. **Revista de Ciências Agrárias**, v.58, n.3, p.284-291, 2015b.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, v.25, p.183-188, 1995.

CARVALHO, L. M. de; CARVALHO, H. W. L. de; SOARES FILHO, W. S. dos; MARTINS, C. R.; PASSOS, O. S. Porta-enxertos promissores, alternativos ao limoeiro 'Cravo', nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.2, p.132-141, 2016.

CASTLE, W. S. Citrus root systems: their structure, functions, growth and relationship to tree performance. **Proceedings of the International Society for Citriculture**, v.1, p.62-9, 1978.

CASTLE, W. S.; GROSSER, J. W.; BOWMAN, K. D.; STOVER, E. An HLB-tolerant Citrus Rootstock: What Exactly Does That Mean? **Citrus Industry Magazine**, p.16-19, 2015.

CHEN, W.; JIN M.; FERRÉ, T. P. A.; LIU, Y.; XIAN, Y.; SHAN, T.; PING X. Spatial distribution of soil moisture, soil salinity, and root density beneath a cotton field under mulched drip irrigation with brackish and fresh water. **Field Crops Research**, v.215 p.207-221, 2018.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. das; C.; ARAUJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L. Root distribution of "Pêra" orange trees under non-irrigated and irrigated conditions in a sandy soil.

**Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.37, p.603-611. 2002.

CONDÉ; MARISA S.; HOMEM, BRUNO G. C.; ALMEIDA NETO, ONOFRE B.; SANTIAGO, ALBERTO M. F. Influência da Aplicação de Águas Residuárias de Criatórios de Animais no Solo: Atributos Químicos e Físicos. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.2, n.1, p.99-106, 2012.

CRAWFORD, C. A. G.; HERGERT, G. W. Incorporating spatial trends and anisotropy in geostatistical mapping of soil properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n.1, p.298-309, 1997.

CRUZ, A. C. R., LIBARDI, L., CARVALHO, L. A., ROCHA, G. C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.1-10, 2005.

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H. BERGONCI, J. I.; KRÜGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.855-864, 2009.

DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A.; GATE, O. P. Soil structure and the saturated hydraulic conductivity of subsoils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.79, p.185-189, 2004.

DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Model-based geostatistics**. New York: Springer, 2006. 230 p.

DI PRIMA, S.; RODRIGO-COMINO, J.; NOVARA, A.; IOVINO, M.; PIRASTRU, M.; KEESSTRA, S.; CERDA, A. Soil Physical Quality of Citrus Orchards Under Tillage, Herbicide, and Organic Managements. **Pedosphere**, v.28, n.3, p.463-477, 2018.

DIAS, R. C. dos S. **Qualidade do solo e desenvolvimento radicular de citros em Latossolo Amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo**. 2006. 54 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias)-Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2006.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3ª edição revista e ampliada, Capítulo 11 - ARGILA DISPERSA EM ÁGUA E GRAU DE FLOCULAÇÃO. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 575 p, 2017.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G. DE. RUIZ, H. A.; KLEIN V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3ª edição revista e ampliada, Capítulo 10 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 575 p, 2017.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W., COLEMAN, D. C., BEZDICEK, D. F., STEWART, B. A. (Eds.). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Special Publication 35, **Soil Science Society of America**, Madison, WI. p.3-21. 1994.

DU, X.; WEI, X. Definition of fine roots on the basis of the root anatomy, diameter, and branch orders of one-year old *Fraxinus mandshurica* seedlings. **Journal of Forestry Research**, v. 29, n.5, p.1321-1327, 2018.

FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v.72, n.4, p.673-689, 2015.

FERREYRA, R., G. SELLES, M. PINTO, M. MORALES, AND O. SEGUEL. Effect of soil air capacity on water relations and vegetative growth of 'Thompson Seedless' grafted on different rootstocks. Preliminary results. **Acta Horticulturae**, v.889, p.145-150, 2011.

FIDALSKI, J., AULER, P. A. M., BERALDO, J. M. G., MARUR, C. J., FARIA, R. T., BARBOSA, G. M. C. Availability of soil water under tillage systems, mulch management and *citrus* rootstocks. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p.917-924, 2010.

GATTO, A.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de; COSTA, L. M. da; NEVES, J. C. L. Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.635-646, 2003.

GERARD, C. J.; SEXTON, P.; SHAW, G. Physical factors influencing soil strength and root growth. **Agronomy Journal**, v.74, p.875-879, 1982.

GIL, P. M.; BONOMELLI, C.; SCHAFFER, B.; FERREYRA, R.; GENTINA, C. Effect of soil water-to-air ratio on biomass and mineral nutrition of avocado trees. **Journal of Soil Science Plant Nutrition**, v.12, p.609-30, 2012.

GOMES, P. **Fruticultura Brasileira**. São Paulo: AMPUB-NOBEL, 2007. 446p.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. **Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores**. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). *Nutrição e fertilização florestal*. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 1-57.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VIEIRA, S. R. **Geoestatística aplicada a agricultura de precisão**. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília, Embrapa, cap. 5, p. 74-83, 2014.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I. S.; ARAÚJO E. M.; MELO NETO, J. de; O.; TÍNEL JÚNIOR, J. I. Impacto do cultivo de citros sobre a qualidade física de um Argissolo amarelo em Sergipe. **Revista Caatinga**, v.27, n.3, p.183-189, 2014.

HODGE, A. The plastic plant: root responses to heterogeneous supplies of nutrients. **New Phytologist**, v.162, n.1, p.9-24, 2004.

HSIAO, T. C.; XU, L. K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p.1595-1616, 2000.

- JABRO, J. D.; EVANS, R. G.; KIM, Y.; IVERSEN, W. M. Estimating in situ soil-water retention and field water capacity in two contrasting soil textures. **Irrigation Science**, v.27, p.223-229, 2009.
- JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **SAFIRA: Manual de utilização**. São Carlos: Embrapa CPDIA, 2010. 29p.
- KAESTNER, A.; SCHNEEBELI, M.; GRAF, F. Visualizing threedimensional root networks using computed tomography. **Geoderma**, v.136, p.459-469, 2006.
- KAMIMURA, M. K. **Variabilidade espacial de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Amarelo em lavoura cafeeira**. 2011. 129p. Tese (Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, Minas Gerais, 2011.
- KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. **factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses**. R package version 1.0.5, 2017.
- KOZLOWSKI, T. T. **Growth and development of trees**. Academic Press, New York. 1971, 514p.
- KRISTA, P. E. **The Basics of Salinity and Sodicity Effects on Soil Physical Properties (Information Highlight for the General Public)**. Adapted from a paper by NIKOS, J. W.; KRISTA E. P.; JAMES W. B. in: [http://waterquality.montana.edu/docs/methane/basics\\_highlight.shtml](http://waterquality.montana.edu/docs/methane/basics_highlight.shtml) (NIKOS WARRENCE, JAMES W. BAUDER, AND KRISTA E. PEARSON, 2002. Department of Land Resources and Environmental Sciences, Montana State University-Bozeman, 2003.
- LE, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, v.25, n.1, p.1-18, 2008.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335p.
- LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C. de.; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.71-78, 2012.
- LIU, Z.; QIN, A.; ZHAO, B.; ATA-UL-KARIM, S. T.; XIAO, J.; SUN, J.; NING, D.; LIU, Z.; NAN, J.; DUAN, A. Yield Response of Spring Maize to Inter-Row Subsoiling and Soil Water Deficit in Northern China. **PLoS ONE**, v.11, n.4, 2016.
- LU, J.; WILSON, J.; YU, J. Effects of trench planting and soil chiselling on soil properties and citrus production in hilly Ultisols of China. **Soil and Tillage Research**, v.43, p.309-318, 1997.
- LU, S-G.; MALIK, Z.; CHEN, DAN-PING.; WU, CHENG-FENG. Porosity and pore size distribution of Ultisols and correlations to soil iron oxides. **Catena**, v.123, p.79-87, 2014.
- MA, L-H.; LUI, X-L.; WANG, Y-K.; WU, P-T. Effects of drip irrigation on the deep root distribution, rooting depth, and soil water profile of jujube in a semiarid region. **Plant and**

**Soil**, v.373, n.1, p.995-1006, 2013.

MALONE, R. W.; LONGSDON, S.; SHIPITALO, M. J.; WEATHERINGTON-RICE, J.; AHUJA, L.; MA, L. Tillage effect on macroporosity and herbicide transport in percolate. **Geoderma**, v.116, n.1, p.191-215, 2003.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, 2002 (174 p.). Disponível em [http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/uso\\_agricola\\_solos\\_brasileiros.pdf](http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/pdfs/uso_agricola_solos_brasileiros.pdf)

MARTÍNEZ-CUENCA, M-R.; PRIMO-CAPELLA, A.; FORNER-GINER, M. A. Influence of Rootstock on Citrus Tree Growth: Effects on Photosynthesis and Carbohy, drate Distribution, Plant Size, Yield, Fruit Quality and Dwarfing Genotypes. **Plant Growth**, Chapter, 2016, 269 Reads.

MINHAS, P. S.; SHARMA, D. R. Hydraulic conductivity and clay dispersion as affected by application sequence of saline and simulated rain water. **Irrigation Science**, v.63, p.159-167, 1986.

MORET-FERNÁNDEZ, D.; ARRUE, J. L. Characterizing Soil Water-Conducting Macro and Mesoporosity as Influenced by Tillage Using Tension Infiltrometry. **Soil Science Society of America Journal**, v.71, p.500-506, 2007b.

MORET-FERNÁNDEZ, D.; ARRUE, J. L. Dynamics of soil hydraulic properties during fallow as affected by tillage. **Soil Tillage Research**, v.96, p.103-113, 2007a.

NASCIMENTO, C. A. F. DO; MARTEL, J. H. I.; PLÁCIDO JÚNIOR, C. G. **Comportamento de porta-enxertos cítricos submetidos em composições de diferentes substratos**. Estação Científica (UNIFAP), Macapá, Ahead of print, v.8, n.2, 2018.

NEVES, C. S. V. J.; DECHEN, A. R.; FELLER, C.; SAAB, O. J. G. A.; PIEDADE, S. M. de S. Efeito do manejo do solo no sistema radicular de tangerina ‘Poncã’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’ em Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.20, n.2, p.246-253, 1998.

NYE, P. H. Changes of pH across the rhizosphere induced by roots, **Plant Soil**, v.61, p.7-26, 1981.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.327-336, 2004.

OLIVEIRA, J. J.; CHAVES, L. H. G.; QUEIROZ, J. E.; LUNA, J. G. de. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.4, p.783-789, 1999.

OORTS, K.; BOSSUYT, H.; LABREUCHE, J.; MERCKX, R.; NICOLARDOT, B. Carbono and nitrogen stocks in relation to organic matter fractions, aggregation and pore size distribution in no-tillage and conventional tillage in northern France. **European Journal of Soil Science**, v.58, n.1, p.248-259, 2007.

OTHMER, H.; DIEKKRUGER, B.; KUTILEK, M. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, Baltimore, v.152, n.3, p.139-150, 1991.

PRADO, B.; GASTELUM STROZZI, A.; HUERTA, E.; DUWIG, C.; ZAMORA, O.; DELMAS, P.; CASASOLA, D.; MÁRQUEZ, J. 2,4-D mobility in clay soils: Impact of macrofauna abundance on soil porosity. **Geoderma**, v.279, p.87-96, 2016.

R Core Team (2019) **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

REYNOLDS, W.D.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; FOX, C.A.; YANG, X.M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, v.152, p.252-263, 2009.

REZENDE, J. O. Plantio direto de citros: mito ou realidade? **Revista Bahia Agrícola**, v.4, p.72-85, 2013.

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

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; V. ALVAREZ, V. H. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999.

RIBEIRO, I. C. A.; SILVA, B. M.; MAGNO, F. S.; OLIVEIRA, G. C. Uso de água disponível ao longo do perfil do solo em função da aplicação de gesso agrícola. **In: XXXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2017, Belém. XXXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2017.

ROMERO-TRIGUEROS, C.; NORTES, P. A.; ALARCÓN, J. J.; HUNINK, J. E.; PARRA, M.; CONTRERAS, S.; DROOGERS, P.; NICOLÁS E. Effects of saline reclaimed waters and deficit irrigation on Citrus physiology assessed by UAV remote sensing. **Agricultural Water Management**, v.183 p.60-69, 2017.

ROSSONI, D. F. **Análise de variância para experimentos com dependência espacial**. 2011. 108p. Tese (Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, Minas Gerais, 2011.

RYLTER, R. M. **Fine root production and carbon and nitrogen allocation in basket willows**. 1997. Thesis (Doctoral) - Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 1997.

RYSER, P. The mysterious root length. **Plant and Soil**, v.286, n.1, p.1-6, 2006.

SANTOS, D. B.; COELHO, E. F.; AZEVEDO, C. A. V. Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.327-333, 2005.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de. OLIVEIRA, J. B. de. CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. revisada e ampliada, Brasília, DF: Embrapa, 2018, 356 p.

SANTOS, R. **Propriedades de retenção e condução de água em solos, sob condições de campo e em forma de agregados, submetidos aos plantios convencional e direto**. 2008. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Área de Concentração: Física). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2008.

SANTOS, W. J. R.; SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; VOLPATO, M. M. L.; LIMA, J. M.; CURI, N.; MARQUES, J. J. Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. **Geoderma**, v.221, p.91-95, 2014.

SANTOS, I. C. D.; ALMEIDA, A. F.; PIROVANI, C. P.; COSTA, M. G. C.; SILVA, M. F. D. G. F.; D.; BELLETE, B. S.; FRESCHI, L.; SOARES FILHO, W. COELHO FILHO, M. A.; GESTEIRA, A. D. S. Differential accumulation of flavonoids and phytohormones resulting from the canopy/rootstock interaction of citrus plants subjected to dehydration/rehydration. **Plant Physiol Biochemistry**, v.119, p.147-58, 2017.

SCHENK, H. J. Vertical vegetation structure below ground: scaling from root to globe. **Progress in Botany**, v.66, p.341-373, 2005.

SEVERIANO EC, OLIVEIRA GC, DIAS JUNIOR MS, COSTA KAP, CASTRO MB., MAGALHÃES EM. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.39-45, 2010.

SHARMA, R. M.; DUBEY, A. K.; AWASTHI, O. P.; KAUR C. Growth, yield, fruit quality and leaf nutrient status of grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.): Variation from rootstocks. **Scientia Horticulturae**, v.210, p.41-48, 2016.

SILVA, B. M.; G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, É. A.; FERREIRA, M. M.; NORTON, L. D.; CURI, N. Critical soil moisture range for a coffee crop in an oxidic latosol as affected by soil management. **Soil and Tillage Research**, Lavras, v.154, p.103-113, 2015b.

SILVA, B. M.; SANTOS, W. J. R.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, J. M. DE; CURI, N., MARQUES, J. J. G. S. M. Soil moisture space-time analysis to support improved crop management. **Ciência e Agrotecnologia**, v.39, p.39-47, 2015a.

SILVA, E. J. da. SILVA, P. C. C.; AMORIM, F. F.; BRITO, R. B. F.; PAMPONET, B. M.; REZENDE, J. O. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo distrófico coeso e crescimento radicular de *Brachiaria decumbens* submetido à subsolagem e fertilização. **Comunicata Scientiae**, v.6, n.4, p.385-395, 2015c.

SILVA, F. V. da; SOARES, F. A. L.; GHEYI, H. R.; TRAVASSOS, K. D.; SUASSUNA, J. F.; CARDOSO, J. A. F. Produção de citros irrigados com água moderadamente salina. **Irriga**, Edição Especial, p.396-407, 2012.

SOARES FILHO, W. S; CUNHA SOBRINHO, A. P. PASSOS, O. S. **Limoeiro 'Cravo**

**Santa Cruz': variedade com maior número de sementes.** Embrapa Mandioca e Fruticultura - Fôlder / Folheto / Cartilha (INFOTECA-E), 2003.

SOUZA L. D.; RIBEIRO, L. da; S.; SOUZA, L. da S.; LEDO, C. A. da; S.; SOBRINHO, A. P. da; C. Distribuição das raízes dos citros em função da profundidade da cova de plantio em Latossolo Amarelo dos tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, n.1, p. 87-91, 2006.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S.; LEDO, C. A. S. Disponibilidade de água em pomar de citros submetido a poda e subsolagem em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.1, p.69-73, 2004.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. DE Q.; RODRIGUES, A. C. V.; RIBEIRO, L. DA; S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.503-513, 2008.

SUZUKI, L. E. A. S. **Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

TAHIR, M.; LV, Y.; GAO, L.; HALLETT, P. D.; PENG, X. Soil water dynamics and availability for citrus and peanut along a hillslope at the Sunjia Red Soil Critical Zone Observatory (CZO). **Soil and Tillage Research**, v.163, p.110-118, 2016.

TEIXEIRA, W. G.; BEHRING, S. B. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3ª edição revista e ampliada, Capítulo 4 - RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO PELOS MÉTODOS DA MESA DE TENSÃO E DA CÂMARA DE RICHARDS. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 575 p, 2017.

TURRA, C.; VIAN, C. E. F.; NIELSEN F, A. G.; SANTOS, P. S.; PENTEADO, L. F. F. Overview of the Brazilian citriculture certification. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**. v.27, n.4, p.663-679, 2014.

VAN LIER, Q. J. **Física do solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2010.

VANELLA, D.; CASSIANI, G.; BUSATO, L.; BOAGA, J.; BARBAGALLO, S.; BINLEY, A.; CONSOLI, S. Use of small scale electrical resistivity tomography to identify soil-root interactions during deficit irrigation, **Journal of Hydrology**, v.556, p.310-324, 2018.

VASQUES, I. C. F.; SOUZA, A. A.; MORAIS, E. G. BENEVENUTE, P. A. N.; SILVA, L. de C. M. DA.; HOMEM, B. G. C.; CASAGRANDE, D. R.; SILVA, B. M. Improved management increases carrying capacity of Brazilian pastures. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.282, p.30-39, 2019.

VELLAME, L. M.; FRAGA JUNIOR, E. F.; COELHO, R D. Effect of partial soil wetting on transpiration, vegetative growth and root system of young orange trees. **Scientia Agricola**, v.72, n.5, p.377-384, 2015.



VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 3ª edição revista e ampliada, Capítulo 8 - DENSIDADE DE PARTÍCULAS. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Solos Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 575 p, 2017.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.1, p.1-55, 2000.

WEBBER, H. J. Rootstocks: Their character and reactions. p.69-168. In **Batchelor, L. D.; Webber, H. J. (eds.), The citrusindustry**, University of California Press, Berkeley.109, 1948.

WELLER, F. A method for studying the distribution of absorbing roots of fruit trees. **Experimental Agriculture**, v.7, p.351-361, 1971.

WHITMORE, A. P.; WHALLEY, W. R. Physical effects of soil drying on roots and crop growth, **Journal of Experimental Botany**, v.60, p.2845-2857, 2009.

YU, D. S.; SHI, X. Z.; WANG, H. J.; WEINDORF, D. C.; ZHANG, X. Y. Function of soils in regulating rainwater in Southern China: impacts of land uses and soils. **Pedosphere**, v.18, p.717-730, 2008.

ZHANG, Z.; LIN, L.; WANG, Y.; PENG, X. Temporal change in soil macropores measured using tension infiltrometer under different land uses and slope positions in subtropical China. **Journal Soil Sediments**, v.16, p.854-863, 2016.

ZHAO, X., WU, P., GAO, X., PERSAUD, N. Soil quality indicators in relation to land use and topography in a small catchment on the loess plateau of China. **Land Degradation & Development**, v.26, p.54-61, 2015.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 p. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.