

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE DOUTORADO**

**TOLERÂNCIA À SECA E ADAPATAÇÃO A SOLOS COM
CAMADAS COESAS DE GENÓTIPOS DE CITROS EM
ESTÁDIOS JOVENS DE DESENVOLVIMENTO**

LEANDRA BRITO DE OLIVEIRA

**CRUZ DAS ALMAS / BAHIA
2017**

TOLERÂNCIA À SECA E ADAPATAÇÃO A SOLOS COM CAMADAS COESAS DE GENÓTIPOS DE CITROS EM ESTÁDIOS JOVENS DE DESENVOLVIMENTO

LEANDRA BRITO DE OLIVERIA

Engenheira Agrônoma
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2004

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutora em Engenharia Agrícola (Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos).

Orientador: Dr. Maurício Antônio Coelho Filho
Coorientador: Dr. Abelmon da Silva Gesteira

**CRUZ DAS ALMAS / BAHIA
2017**

FICHA CATALOGRÁFICA

O48t	<p>Oliveira, Leandra Brito de. Tolerância à seca e adaptação a solos com camadas coesas de genótipos de citros em estádios jovens de desenvolvimento / Leandra Brito de Oliveira. – Cruz das Almas, BA, 2017. 81 f.; il.</p> <p>Orientador: Mauricio Antônio Coelho Filho. Coorientador: Abelmon da Silva Gesteira.</p> <p>Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas.</p> <p>1.Cítricos – Cultivo – Mudas. 2.Cítricos – Variabilidade genética. 3.Estresse hídrico – Avaliação. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 634.3</p>
------	--

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE DOUTORADO**

**TOLERÂNCIA À SECA E ADAPATAÇÃO A SOLOS COM CAMADAS
COESAS DE GENÓTIPOS DE CITROS EM ESTÁDIOS JOVENS DE
DESENVOLVIMENTO**

**Comissão Examinadora da Defesa de Tese de
Leandra Brito de Oliveira**

Aprovada em: 06 de Março de 2017

Orientador – Prof. Dr. Maurício Antônio Coelho Filho
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB
Membro interno: (Orientador)

Prof. Dr. Francisco Adriano de C. Pereira
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB
Membro interno

Prof. Dr. Luciano da Silva Souza
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB
Membro interno

Pesquisador, Dr. Walter dos Santos Soares Filho
Universidade Federal de Sergipe / UFS
Membro externo

Pós-Doc: Viviane Guzzo de Carli Poelking
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB
Membro externo

DEDICO

A meu filho Pablo de Oliveira Amorim, pela sua paciência e compreensão em todos os períodos em que estive ausente. A meus pais, (Ana Maria e Pedro). Mãe, pelo seu apoio e dedicação que me deram a esperança para seguir. E aos meus queridos irmãos, Ada, Luziléa, Leoclaúdio e Pedro Júnior pelo apoio nos momentos de dificuldades.

AGRADECIMENTOS

À Deus por cada segundo de vida, pelas vitórias alcançadas e pela sua misericórdia.

À Capes, pela concessão da bolsa de doutorado.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura pela infraestrutura e apoio durante a realização deste trabalho. Ao orientador Dr. Maurício Antônio Coelho Filho pela transferência de conhecimento.

Aos pesquisadores colaboradores, deste trabalho, Dr. Walter dos Santos Soares Filho, Dr. Abelmon da Silva Gesteira e Dr. Eugênio Ferreira Coelho.

À todos os colegas, estagiários e técnicos da Embrapa Mandioca e Fruticultura que apoiaram na realização deste trabalho. Não podia deixar de citar, personagens fundamentais na gestão dos experimentos, Tibério Santos, Magno Guimarães, Antônio Santana, Antônio Hélder Sampaio, Reinaldo de Jesus, Jair Almeida, Lucas Aragão, Hélio Godin, Stephanie Arriero, que foram todos fundamentais para a conclusão da tese.

Aos meus amigos, pelas alegrias, tristezas e dores compartilhadas, Cleia Gomes Patrícia Silva, Alide Watanabe, Francisco Júnior, Thais Nascimento, Tatiane Keyty, Paula Viana, Denise Sampaio, Marina Costa, Lenilson Wisner, Adailton Conceição, Marcos Campos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro através da concessão da bolsa de Doutorado.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente, que apoiaram e torceram por mim e que porventura não foram citados, meus sinceros agradecimentos.

TOLERÂNCIA À SECA E ADAPTAÇÃO A SOLOS COM CAMADAS COESAS DE GENÓTIPOS DE CITROS EM ESTÁDIOS JOVENS DE DESENVOLVIMENTO

RESUMO - Identificação de genótipos de citros tolerante a fatores de estresse, como a deficiência hídrica e estresse mecânico é de suma importância para a citricultura brasileira. Experimentos foram conduzidos nas instalações da Embrapa Mandioca e Fruticultura - Cruz das Almas – BA para avaliar tanto as características de tolerância ao déficit hídrico como ao estresse mecânico em genótipos de citros. Para tanto, foi instalados um experimento para testar o estresse hídrico e cinco outros experimentos para avaliar o estresse mecânico. A avaliação sobre deficiência hídrica foi feita no Fitotec (ambiente controlado: luz, temperatura e umidade relativa do ar) avaliando-se o efeito de dois manejos hídricos (controle e déficit hídrico) em 15 genótipos obtidos pelo programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura, potencial de uso como porta-enxertos. Nos experimentos sobre estresse mecânicos, conduzidos em casa de vegetação, avaliou-se uma metodologia de camada coesa artificial com várias resistências. Em dois experimentos testaram-se sistemas de plantio sementeira direta {(plantio direto – PD) e plantio de mudas (plantio convencional - PC)} sob cinco níveis de impedimento físico artificial (0,14; 1,04; 1,67; 1,92 e 2,05). Em três outros experimentos avaliou-se a penetração do sistema radicular sobre as seguintes resistências: 0,14; 0,24; 0,31; 0,59; 0,80; 1,05; 1,67; 1,92 e 2,05 MPa. Os delineamentos experimentais utilizados foram em blocos e inteiramente casualizados. Nos experimentos foram determinados a umidade do solo, parâmetros de crescimento, parâmetros fisiológicos e densidade de raiz. Entre os genótipos avaliados os que apresentaram tolerância moderadamente (MT) ao estresse hídrico foram os TSKC x CTSW 028, 064; LVK x LCR 018, 017. Na avaliação dos sistemas de plantio sob impedimento físico artificial, constatou-se que estruturas compactadas diminuem o sistema radicular com resistências \geq a 1,67 em ambos os sistemas de plantio. Na avaliação do sistema radicular sobre a camada coesa artificial os genótipos que apresentaram melhor desempenho ao estresse mecânico, com resistências inferiores a 1,67 foram: TSKC x (LCR x TR) 059, 073, 040; LVK x LCR 038, 030. Os resultados obtidos destes estudos têm implicações no processo de seleção de porta-enxertos adaptados a ambientes sujeitos ao estresse hídrico e à solos que apresentam camadas coesas, compactadas.

Palavras chaves: *Citrus*; Estresse hídrico; Estresse mecânico

TOLERANCE TO DROUGHT AND ADAPTATION TO COATED SOILS OF CITRUS GENOTYPES IN YOUNG DEVELOPMENT STAGES

ABSTRACT- Identification of citrus genotypes tolerant to stress factors such as water deficiency and mechanical stress is of paramount importance for Brazilian citriculture. Experiments were conducted at Embrapa Mandioca and Fruticultura - Cruz das Almas - BA facilities to evaluate both water deficit tolerance and mechanical stress characteristics in citrus genotypes. For this, an experiment was installed to test the water stress and five other experiments to evaluate the mechanical stress. The evaluation of water deficiency was done in Fitotec (controlled environment: light, temperature and relative humidity), evaluating the effect of two water management (control and water deficit) on 15 genotypes obtained by Embrapa's Citrus Genetic Improvement program Yucca and Fruticultura, potential of use as rootstocks. In the mechanical stress experiments conducted under greenhouse conditions, an artificial cohesive layer methodology with several resistances was evaluated. In two experiments we tested systems of direct sowing {(no-till) and planting of seedlings (conventional planting - PC) under five levels of artificial physical impediment (0.14, 1.04, 1.67, 1.92 and 2.05). In three other experiments the penetration of the root system was evaluated on the following resistances: 0.14; 0.24; 0.31; 0.59; 0.80; 1.05; 1.67; 1.92 and 2.05 MPa. The experimental designs used were in blocks and completely randomized. In the experiments, soil moisture, growth parameters, physiological parameters and root density were determined. Among the evaluated genotypes, those with moderate tolerance (MT) to water stress were TSKC x CTSW 028, 064; LVK x LCR 018, 017. In the evaluation of planting systems under artificial physical impediment, it was found that compacted structures decrease the root system with resistance ≥ 1.67 in both systems of planting. In the evaluation of the root system on the artificial cohesive layer the genotypes that presented the best performance to the mechanical stress, with resistance below 1.67 were: TSKC x (LCR x TR) 059, 073, 040; LVK x LCR 038, 030. The results obtained from these studies have implications for the selection of rootstocks adapted to environments subject to water stress and to soils with cohesive, compacted layers.

Key words: *Citrus*; Water stress; Mechanical stress

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1.** Duração em dias da imposição de estresse hídrico em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] - 040, 059 e 073.....12
- Figura 1.2.** Condutância estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e teor de umidade (%) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) dos seguintes citros: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC), tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' 'Maravilha' (TSKMA); (TSKC) [tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka, seleção comum] x [LCR x TR *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] - 040, 059 e 073; TSKC x CTSW (Citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*) - 019, 028, 041 e 064; LVK (limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq.) x LCR (limoeiros 'Cravo') 010, 017, 030 e 038.....14
- Figura 1.3.** Potencial hídrico foliar (ψ_w) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) - 019, 028, 041 e 064; TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] - 040, 059 e 073. Sob os tratamentos (trat.): controle e déficit hídrico. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=4). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,01$) entre tratamentos para um mesmo genótipo, enquanto diferentes letras minúsculas representam diferenças estatísticas para genótipos dentro de um tratamento14

Figura 1.4. Altura de planta (cm) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=4). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística (p<0,01) entre tratamentos para um mesmo genótipo, enquanto diferentes letras minúsculas representam diferenças estatísticas entre genótipos dentro de um tratamento.....16

Figura 1.5. Densidade de comprimento de raiz (DCR - cm cm^{-3}) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=4). Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística (p<0,01) entre os genótipos.....18

Figura 1.6. Comprimento específico de raiz (SRL - cm g^{-1}) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=4). Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=4). Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística (p<0,01) entre os genótipos.....19

- Figura 1.7.** Comprimento de raiz (cm) nas classes de diâmetro de 0-1,0 mm, 1,5-2,0 mm, e maior que 2,0 mm, em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=4). Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,01$) entre os manejo.....19
- Figura 1.8.** Matriz de correlação de variáveis biométricas e trocas gasosas (MSR, massa seca de raiz; MSPA, massa seca de parte aérea; MST, massa seca total; gs, condutância estomática; R.S, relação entre raiz/parte área; DCR, densidade de comprimento de raiz; AFI e AFF, aérea foliar inicial e final; DCI e DCF, diâmetro do caule inicial e final; API e APF, altura de planta inicial e final; DR, diâmetro de raiz; NFI e NFF, número de folhas inicial e final, diâmetro de raiz nas classes 0-0,5 mm (RC1), 0,5-1,0 mm (RC2), 1,0-1,5 mm (RC3), 1,5-2,0 mm (RC4) e >2,0 mm (RC5) determinadas em 15 genótipos de citros e submetidos a dois regimes hídricos (plantas submetidas à deficiência hídrica contínua e controle).....25
- Figura 2.1.** Relação entre concentração da parafina dura (%) nos valores de resistência à penetração das raízes determinados em penetrômetro de bancada (modelo MA933). Cada ponto corresponde à média de três medidas.....32
- Figura 2.2.** Sistema de crescimento, mostrado a disposição da camada de parafina no núcleo de areia em dois sistemas de plantio.....33
- Figura 2.3.** Área foliar em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade da tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], com potencial de uso como porta-enxerto, sob sistemas de plantio. Barras indicam erro padrão da média (n=4). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,05$) entre os sis/temas de plantio (PD e PC).....35
- Figura 2.4.** Altura de planta em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade da tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], com potencial de uso como porta-enxerto, em função dos níveis de impedimento aplicados.....36

- Figura 2.5.** Efeito da concentração da parafina no comprimento total de raiz na camada coesa artificial nos plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade da tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C.sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], com potencial de uso como porta-enxerto.....37
- Figura 2.6** Efeito da concentração da parafina no diâmetro de raiz acima (DR AC) e abaixo (DR AB) na camada coesa artificial nos plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade da tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C.sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], com potencial de uso como porta-enxerto.).....37
- Figura 2.7.** Comprimento de raiz nas classes de diâmetro, 0-1,5 e 1,5-3,0 (mm), nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade no limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (*C. limonia* Osbeck). Barras indicam erro padrão da média sob os níveis de impedimento (n=6). Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística (p<0,05) entre os níveis de impedimento.....39
- Figura 2.8.** Comprimento de raiz nas classes de diâmetro, 0-1,5 e 1,5-3,0 (mm), nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade no limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (*C. limonia* Osbeck). Barras indicam erro padrão da média sob os níveis de impedimento (n=6). Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística (p<0,05) entre os sistemas de plantio.....39
- Figura 3.1.** Relação entre concentração da parafina dura (%) nos valores de resistência à penetração das raízes determinados em penetrômetro de bancada. Cada ponto corresponde à média de três medidas.....50
- Figura 3.2.** Sistema de crescimento, mostrado a disposição da camada da parafina no núcleo de areia.....50
- Figura 3.3.** Altura de planta de tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C.sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], em função dos níveis de impedimento aplicados.....52
- Figura 3.4.** Efeito da concentração da parafina na tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C.sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], no diâmetro do caule em função dos níveis de impedimento aplicados.....52
- Figura 3.5.** Condutância estomática (g_s) dos seguintes genótipos de citros: TSKC [tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka, seleção comum] x [LCR x TR *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] – 017, TSKC (tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka), x (Citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*) – 041, LVK (limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq.) x LCR (limoeiros 'Cravo') - 017 e no LCRSTC (limoeiro 'Cravo Santa Cruz'), submetidos aos tratamentos de

impedimento físicos. Barras indicam o erro padrão da média. Letras minúsculas comparam médias entre os genótipos.....54

Figura 3.6. Densidade de comprimento de raiz (DCR - cm cm^{-3}) dos seguintes genótipos de citros: Limão Cravo Comum x Poncirus trifoliata; Tangerina Sunki Comum x Citrumelo Swingle, Limão Cravo Santa Cruz; Limão Volkameriano Comum x Limão Cravo Comum, submetidos aos tratamentos de impedimento físicos. Barras indicam o erro padrão da média. Letras minúsculas comparam médias entre os genótipos.....55

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.1.** Classificação quanto à tolerância á seca em campo dos seguintes genótipos avaliados, limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC), tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' 'Maravilha' (TSKMA); (TSKC) [tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka, seleção comum] x [LCR x TR *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] - 040, 059 e 073; TSKC x CTSW (Citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*) - 019, 028, 041 e 064; LVK (limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq.) x LCR (limoeiros 'Cravo') 010, 017, 030 e 038, separados pelos principais cruzamentos, enxertadas com laranjeira 'Valência', segundo Ramos *et al.* (2015).....9
- Tabela 1.2.** Efeito estatístico e médias da área foliar (AF), diâmetro do caule (DC), número de folha (NF), massa seca da parte área (MSPA) e altura de planta (ALT) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073. Cruz das Almas – BA. 2014.....11
- Tabela 1.3.** Efeito estatístico e médias de comprimento de raiz (CTR), diâmetro da raiz (DR), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e relação entre a massa seca da raiz/massa seca da parte área (MSR/MSPA) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073. Cruz das Almas – BA. 2014.....13
- Tabela 1.4.** Classificação quanto à tolerância, baseada no rendimento relativo (%), pela redução da fitomassa total, em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata)

hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073, separados pelos principais cruzamentos, segundo Fageria *et al.* (1997).....17

Tabela 1.5. Classificação quanto à tolerância, baseada no rendimento relativo (%), pela redução da fitomassa total, em genótipos de porta-enxertos de citros, sob estresse hídrico.....20

Tabela 2.1. Efeito estatístico e médias de altura de planta (ALT), da área foliar (AF) e massa seca da parte área (MSPA), em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade da tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C.sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], com potencial de uso como porta-enxertos, sob a camada coesa artificial..35

Tabela 2.2. Efeito estatístico da concentração da parafina no comprimento de raiz acima do impedimento (CR AC) e abaixo (CR AB), na massa seca da raiz (MSR) e no comprimento total de raiz (CTR) da camada coesa artificial no plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade da tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C.sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], com potencial de uso como porta-enxerto.....36

Tabela 2.3. Efeito estatístico e médias em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (*C. limonia* Osbeck) com potencial de uso como porta-enxerto, em altura de planta (ALT), área foliar (AF), diâmetro do caule (DC) e massa seca da parte área (MSPA), sob a camada coesa artificial no plantio direto (PD) e plantio convencional (PC).
.....38

Tabela 2.4. Efeito estatístico da concentração da parafina em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade no limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (*C. limonia* Osbeck) relativamente ao comprimento total de raiz (CTR), comprimento de raiz acima (CRAC) e abaixo (abaixo) do impedimento, massa seca da raiz (MSR) diâmetro de raiz (DR), na camada coesa artificial no plantio direto (PD) e no plantio convencional (PC).....38

Tabela 3.1. Efeito estatístico e médias de número de folha (NF), área foliar (AF) massa seca da parte área (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e comprimento de raiz (CTR) no limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC), tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' 'Maravilha' (TSKMA); TSKC [tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka, seleção comum] x [LCR x TR *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] - 040, 059 e 073; TSKC x CTSW (Citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*) - 019, 028, 041 e 064; LVK

(limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq.) x LCR (limoeiros 'Cravo') 010, 017, 030 e 038, sob impedimento físico, quanto ao desenvolvimento de seus sistemas radiculares. Cruz das Almas – BA. 2014.....53

Tabela 3.2. Efeito estatístico para valores médios de altura de planta, número de folhas, massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) de quatro genótipos de citros no TSKC [tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka, seleção comum] x [LCR x TR *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] – 017, TSKC (tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka), x (Citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*) – 041, LVK (limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq.) x LCR (limoeiros 'Cravo') e no LCRSTC (limoeiro 'Cravo Santa Cruz'). Cruz das Almas – BA. 2014.....54

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	18
2. REFERÊNCIAS.....	20
3. CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS DE GENÓTIPOS DE CITROS COM FINALIDADE DE USO COMO PORTA-ENXERTO, VISANDO SELEÇÃO EM ESTÁDIOS JOVENS DE DESENVOLVIMENTO DA PLANTA, PARA EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA.	22
4. INTRODUÇÃO	24
5. MATERIAIS E MÉTODO.....	25
6. RESULTADOS.....	28
7. DISCUSSÃO.....	39
8. CONCLUSÃO	44
9. REFERÊNCIAS.....	45
CAPÍTULO 2: EFEITO DO SISTEMA DE PLANTIO E DE CAMADA DE IMPEDIMENTO FÍSICO NO SISTEMA RADICULAR DE CITROS	48
10. INTRODUÇÃO	50
11. MATERIAIS E MÉTODO.....	51
12. RESULTADOS.....	54
13. DISCUSSÃO	60
15 CONCLUSÃO	62
CAPÍTULO 3: CAPACIDADE DE PENETRAÇÃO CAMADA DE IMPEDIMENTO POR SISTEMA RADICULAR DE GENÓTIPOS DE CITROS.....	66
18. INTRODUÇÃO	68
19 MATERIAIS E MÉTODO.....	69
20. RESULTADOS.....	72
21. DISCUSSÃO	77
22. CONCLUSÃO	78
23. REFERÊNCIAS.....	78
24. CONSIDERAÇÕES FINAIS	81

1. INTRODUÇÃO GERAL

A ocorrência de déficit hídrico em plantas cultivadas afeta o crescimento e o desenvolvimento das culturas em todo o mundo. Desde os antigos povos sumérios, o homem tem procurado uma alternativa mais efetiva do aproveitamento da água para superar os efeitos do déficit hídrico às plantas. O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas, assim, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos. A necessidade de se resolver este conflito leva a planta a desenvolver mecanismos morfofisiológicos que as conduzem a economizar água para uso em períodos posteriores levando assim as plantas a tentarem atingir a produção de sementes.

Os citros compreendem um complexo grupo de plantas, sendo representados pelo gênero *Citrus* (L.) e afins. Sob o ponto de vista socioeconômico as principais variedades relacionam-se às laranjeiras doces [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck], às tangerineiras (diversas espécies), aos limoeiros verdadeiros [*C. limon* (L.) Burm. f.] e às limeiras ácidas [*C. latifolia* (Yu. Tanaka e *C. aurantifolia* (Christm.) Swingle)], sendo a citricultura, em nível mundial, um dos principais segmentos do agronegócio da fruticultura. A citricultura nacional é protagonista mundialmente no âmbito da exportação de suco concentrado, representando assim uma importante cultura econômica brasileira.

A citricultura é largamente desenvolvida em todos os estados brasileiros onde a região Nordeste se destaca como a segunda maior produtora, predominando o cultivo de sequeiro (SAMPAIO *et al.*, 2016). Na região Nordeste, a Bahia e Sergipe destacam-se frente aos demais estados de acordo com a sua produção cítrica. Dentro deste contexto a Bahia é considerada como quarto produtor nacional e figura como principal produtor das regiões Norte e Nordeste; o município de Rio Real é o maior produtor do estado detendo cerca de 35,4% da área plantada e colhida (IBGE, 2016).

No entanto, a região Nordeste ainda é caracterizada por possuir áreas com clima semiárido, onde o cultivo irrigado é imprescindível e os problemas de indisponibilidade hídrica são agravados pela escassez quantitativa de água, decorrente do balanço negativo da evapotranspiração em relação à precipitação (MACHADO *et al.*, 2009).

A adaptação das plantas cítricas a diferentes climas confere às mesmas diferentes comportamentos e características fenológicas da floração. Neste contexto, a região Nordeste com temperaturas médias mais elevadas favorece a redução do ciclo fenológico, pois estas interferem no crescimento e desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas. Estas alterações são de extrema importância para que então haja a definição da época de plantio e colheita, tendo em vista a máxima produção (KOLLER, 2006).

A diminuição do conteúdo de água no solo afeta acentuadamente alguns processos morfofisiológicos, enquanto outros são relativamente insensíveis. O efeito do déficit hídrico sobre a produção das culturas está vinculado ao período de ocorrência durante o desenvolvimento das plantas. A extensão dos efeitos do déficit hídrico nas espécies vegetais depende da sua intensidade e da duração da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente. O desenvolvimento de mecanismos de adaptação das plantas é influenciado pelo nível de CO₂, pela radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar.

O volume de solo explorado e o contato íntimo entre a superfície das raízes e o solo são essenciais para a absorção efetiva da água pelas raízes. O contato é maximizado pela emissão dos pelos radiculares, com conseqüente aumento na área superficial e na capacidade de absorção de água. Além disso, o déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo. Em condições de déficit hídrico há maior expansão das raízes, devido ao secamento da superfície do solo. Durante o desenvolvimento das plantas, a densidade e o comprimento de raízes aumentam até o início da floração das plantas, decrescendo posteriormente, com diminuição na eficiência de absorção de água.

Tendo em vista que a seca é um estresse abiótico de extrema importância em várias regiões do Brasil e do mundo, muitas pesquisas têm sido conduzidas para verificar o comportamento de plantas sob condições limitantes de disponibilidade hídrica do solo, simulando, dentro de certos limites, situações de deficiência hídrica que podem ser evidenciadas em campo (CHAVES *et al.*, 2009). De modo geral, as respostas das plantas à seca variam de acordo com a espécie e com a intensidade e duração do estresse, podendo se manifestar em termos morfológicos, fisiológicos e moleculares (WANG *et al.*, 2003).

O conhecimento da distribuição estática ou dinâmica do sistema radicular de qualquer cultura é uma ferramenta importante para determinar o manejo da irrigação de uma cultura. Tratando de irrigação localizada, tal como micro aspersão apenas o conhecimento da profundidade efetiva do sistema radicular não é suficiente para inferir as zonas de absorção de água e nutrientes, uma vez que a geometria da distribuição de água é de caráter multidimensional, e difere do caráter unidimensional da irrigação por aspersão (COELHO *et al.*, 2002).

Além da necessidade do conhecimento da distribuição do sistema radicular para fins de irrigação, deve-se ressaltar a necessidade do mesmo para fins de manejo de solos. O manejo de solo pelo produtor repercute diretamente na distribuição das raízes, permitindo maior ou menor exploração do solo, e conseqüentemente, influencia a absorção de água e nutrientes pelas plantas.

O domínio e a distribuição do sistema radicular das culturas cítricas, da mesma forma que o de outras culturas, dependerá das características físicas do solo, em especial da textura e estrutura, dos fatores genéticos, do teor de água no solo, que atua na resistência do solo à penetração das raízes, e é um dos componentes da distribuição de água/ar e da temperatura do solo (VALENTINE *et al.*, 2012).

A maioria dos estudos dos sistemas radiculares dos citros são realizados para as condições de sequeiro, quando não são direcionados para a irrigação por aspersão. Desta forma, a maior preocupação encontra-se no desenvolvimento das raízes em profundidade. No caso de irrigação por aspersão, que gera um volume de solo úmido limitado, o pesquisador deve ater-se ao desenvolvimento radial das raízes em relação ao tronco, uma vez que esse desenvolvimento esta condicionado ao movimento lateral da água no volume molhado.

Alterando a distribuição das raízes entre as camadas superiores e inferior do solo pode representar uma estratégia viável para melhorar acesso à água, estudos experimentais indicaram que, manipulando a distribuição do sistema radicular dentro de um único cultivar altera o crescimento fisiológico da parte aérea (MARTIN e DODD, 2011).

O impedimento mecânico (estresse físico) está atrelado à alta densidade do solo bem como ao baixo teor de água no mesmo. Estas características afeta o crescimento da raiz ao longo do perfil no solo, bem como na disponibilidade de água, oxigênio e nutrientes (GREGORY, 2009), onde estas estão relacionadas com

a exploração feita pelo sistema radicular ao solo, podendo ser maior ou menor dependendo da arquitetura das raízes (MAGALHÃES FILHO, 2008).

Bingham e Bengough (2003) constataram que a variação na resistência do solo não teve efeito sobre a densidade de raízes laterais nem em cevada nem no trigo, embora em solos com maior impedimento físico o alongamento das raízes laterais foi reduzido, resultados semelhantes foram encontrados em grãos de aveia. Raízes primárias de trigo em solo com maior compactação têm seu alongamento diminuído, no entanto, as raízes filiais aceleraram sua iniciação em comparação com solo menos compactos (WATT *et al.*, 2008).

Em solos que apresentam 90% de compactação limitam o crescimento radicular das plantas a uma profundidade de aproximadamente 0,10 m. SUZUKI *et al.* (2004) verificaram uma concentração de raízes na superfície do solo (0-0,10 m) e um decréscimo da profundidade radicular com aumento do grau de compactação. Esses autores verificaram que raízes crescidas em solos com elevada compactação, apresentam alto grau de achatamento e superfície irregular com células da epiderme deformadas.

Em condições de sequeiro, as raízes de plantas cítricas tende a se encontrar nas camadas iniciais, isto é, entre 0-30 cm. Coelho *et al.* (2002), em sistemas de microaspersão encontrou 57% das raízes na profundidade de 0-30 cm e para o sistema de gotejamento encontrou-se 75% do total de raízes amostradas no perfil do solo entre 0-0,3 m.

Neste contexto, a caracterização dos mecanismos de tolerância à seca de cada genótipo, também está sendo considerada como foco para a determinação de novos materiais, no âmbito do melhoramento genético, assim como o fator produção.

A compactação do solo pode modificar em diferentes graus algumas propriedades físicas do solo como umidade, aeração, temperatura e resistência mecânica. Desta forma esse trabalho teve como objetivo avaliar, o efeito do estresse hídrico e mecânico nas variáveis morfofisiológicas de genótipos de citros (usados como porta-enxerto) contrastantes quando comparados à produtividade em nível de campo.

2. REFERÊNCIAS

BINGHAM I. J; BENGOUGH A. G; Morphological plasticity of wheat and barley roots in response to spatial variation in soil strength. **Plant and Soil**, v. 250, p. 273-282, 2003.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v. 103, p. 551-560, 2009.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L.; Distribuição de raízes de 'Pera' sob sequeiro e irrigado por microaspersão em solos arenosos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5 p. 603-611, 2002.

GREGORY, P. J.; BENGOUGH A. G.; GRINEV, D.; SCHMIT S.; THOMAS, W. T. B., WOJCIECHOWSKI, T.; YOUNG, I. M. Root phenomics of crops: opportunities and challenges. **Functional Plant Biology**, v. 36, p. 922-929, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO GEOGRAFIA ESTATISTICA. (IBGE) Indicadores Estatísticos da Produção Agrícola. Disponível em: < [http://ftp.ibge.gov.br/Produção Agrícola/FascículoIndicadores IBGE/estProdAgr 201601.pdf](http://ftp.ibge.gov.br/Produção_Agrícola/FascículoIndicadores_IBGE/estProdAgr_201601.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2016.

KOLLER, O. C.; Laranja: tecnologia de produção, pós-colheita, industrialização e comercialização. **Citricultura**. Porto Alegre: Cinco continentes, p.395, 2006.

MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO E. C.; MACHADO R. S.; RIBEIRO R. V.; Efeito da baixa temperatura noturna e do porta-enxerto na variação diurna das trocas gasosas e na atividade fotoquímica de laranja 'valência'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p.1161-1170, 2009.

MARTIN, V. A., DODD I. C. Root-to-shoot signalling when soil moisture is heterogeneous: increasing the proportion of root biomass in drying soil inhibits leaf growth and increases leaf ABA concentration. **Plant, Cell & Environment**, v. 34, p.1164-1175, 2011.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranja 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, v. 67, p. 7582, 2008.

SAMPAIO, A. H. R.; COELHO FILHO, M. A.; SOUZA, L. D.; BRITO, R. B. F.; SILVA, R. O. Yield and quality of? Pera? Sweet orange grafted on different rootstocks under rainfed conditions. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 38, p. 1-9, 2016.

SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; KAISER, D. R.; KUNZ, M.; PELLEGRINI, A.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A. Teor de argila de solos sob diferentes tempos de agitação horizontal, tempo de contato do dispersante químico e dispersão mecânica. In: **Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**, Santa Maria, Anais. Santa Maria: SBCS, 2004.

VALENTINE, T. A.; HALLETT, P. D.; BINNIE, K.; YOUNG, M. W.; SQUIRE, G. R.; HAWES, C.; BENGOUGH, A. G. Soil strength and macropore volume limit root elongation rates in many UK agricultural soils. **Annals of Botany**, v. 110, p. 259-270, 2012.

WANG, W.; VINOCCUR, B.; ALTMAN, A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta**, v. 218, p. 1-14. 2003.

WATT, M.; MAGEE, L.; MCCULLY, M. E. Types, structure and potential for axial water flow in the deepest roots of field-grown cereals. **New Phytologist**, v. 178, p. 135-146. 2008.

3. **CAPÍTULO 1: CARACTERÍSTICAS DE GENÓTIPOS DE CITROS COM FINALIDADE DE USO COMO PORTA-ENXERTO, VISANDO SELEÇÃO EM ESTÁDIOS JOVENS DE DESENVOLVIMENTO DA PLANTA, PARA EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA.**

RESUMO - A seleção eficiente e rápida de genótipos de citros com base em características que confirmam tolerância à fatores abióticos e maior eficiência no uso de água, é de suma importância nos cenários de maiores riscos climáticos e escassez hídrica para a citricultura brasileira. Assim, foi desenvolvido este experimento com o objetivo de avaliar os efeitos do déficit hídrico nas características fenotípicas de genótipos de citros na busca de protocolos para experimentos rápidos em tubos PVC e plantas cultivadas em areia, para selecionar plantas que possam conferir características de materiais elites no campo. O estudo foi realizado numa Fitotec (ambiente controlado: luz, temperatura e umidade relativa do ar) avaliando-se o efeito de dois manejos hídricos (controle e déficit hídrico) utilizando 15 genótipos de citros, presumivelmente de origem nucelar. O delineamento experimental foi inteiramente casualizados, em esquema fatorial (15x2) e quatro repetições. As variáveis analisadas foram: altura de planta, número de folhas, área foliar, diâmetro do caule, comprimento de raiz, massa seca da parte aérea e da raiz, densidade e comprimento específico de raiz e relações hídricas como condutância estomática (gs) e potencial total de água na folha (ψ_w). Com base no rendimento relativo da massa seca total, foram classificados como tolerantes TSKC x (LCR x TR) – 040, 059 e 073, LVK x LCR - 030, 038; moderadamente tolerantes TSKC x CTSW 019, 028, 041; LVK x LCR - 010, 017, 018; limoeiro 'Cravo Santa Cruz' e a tangerineira 'Sunki Tropical; moderadamente sensíveis os TSKC x CTSW - 064 e a tangerineira 'Sunki Maravilha'.

Palavras-chave: *Citrus spp.*; *Poncirus*; tolerância à seca; vigor da planta

CHARACTERISTICS OF CITROUS GENOTYPES WITH A PURPOSE OF USE AS A PORTE-ENXERTO, SEEING SELECTION IN YOUNG DEVELOPMENT STAGES OF THE PLANT, FOR EFFICIENCY IN THE USE OF WATER.

ABSTRAT - The efficient and rapid selection of citrus genotypes based on characteristics that confer tolerance to abiotic factors and greater efficiency in the use of water is of paramount importance in scenarios of greater climatic risks and water scarcity for Brazilian citriculture. The objective of this experiment was to evaluate the effects of water deficit on the phenotypic characteristics of citrus genotypes in the search for protocols for rapid experiments in PVC pipes and plants grown in sand to select plants that can confer characteristics of elites in the field. The study was carried out in a Fitotec (controlled environment: light, temperature and relative humidity), evaluating the effect of two water management (control and water deficit) using 15 citrus genotypes, presumably of nucellar origin. The experimental design was completely randomized, in a factorial scheme (15x2) and four replications. The variables analyzed were: plant height, leaf number, leaf area, stem diameter, root length, root and shoot dry mass, root specific gravity and length and water relations as stomatal conductance (g_s) and potential Total leaf water (ψ_w). Based on the relative yield of the total dry mass, TSKC x tolerances (LCR x TR) - 040, 059 and 073, LVK x LCR - 030, 038; Moderately tolerant TSKC x CTSW 019, 028, 041; LVK x LCR-010, 017, 018; Lemon tree 'Cravo Santa Cruz' and the mandarin 'Sunki Tropical'; Moderately sensitive TSKC x CTSW - 064 and the 'Sunki Maravilha' mandarin.

Key words: *Citrus sp*, *Poncirus*; drought tolerance; plant vigor

4. Introdução

O agronegócio dos citros é uma das mais importantes atividades do cenário agrícola brasileiro correspondendo ao 9º produtor no PIB agrícola (IBGE 2016), tanto sob o ponto de vista econômico quanto social, sendo o cultivo da laranjeira doce, [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] o mais representativo, com uma participação de, aproximadamente, 90% da citricultura brasileira. Na safra 2015/2016 a produção de laranja nacional representou, aproximadamente, R\$: 6,5 bilhões de reais com uma produção de 18,5 milhões de toneladas (IBGE, 2016).

A citricultura brasileira, no entanto, ainda é vulnerável aos fatores bióticos e abióticos pela utilização de poucos porta-enxertos com predominância do limoeiro 'Cravo', *C. limonia* Osbeck (RAMOS *et al.*, 2015). Considerando que maior parte da citricultura brasileira é de sequeiro, a ampliação da base genética relacionada às variedades utilizadas como porta-enxerto com capacidade de adaptação ao déficit hídrico, contribuirá decisivamente para que se alcancem rendimentos economicamente superiores. Sob outro aspecto, o cultivo dos citros está presente em todos os estados brasileiros, sendo que São Paulo representa 79% da citricultura nacional. Na região Nordeste, segunda maior produtora, predomina o cultivo de sequeiro, locais com distribuição de chuvas irregulares, onde o déficit hídrico limita a produção em relação ao potencial. Considerando ser essa variável a mais importante na regulação de crescimento e desenvolvimento da planta, e que limita a produção pelos efeitos diretos na fotossíntese (OSAKABE *et al.*, 2013), o cultivo de citros nos tabuleiros costeiros do Brasil ainda convive com interações seca e solos coesos, elevadas resistências à penetração, limitando o crescimento radicular, promovidas pela presença de camadas coesas. Essas interações são atribuídas como as principais causas do baixo rendimento produtivo dos pomares da região.

O déficit hídrico é um dos fatores mais importantes do meio ambiente, dentre aqueles que regulam o crescimento e desenvolvimento da planta, e limitam a produção pelos efeitos diretos na fotossíntese (OSAKABE *et al.*, 2013), devido os efeitos do estresse serem mediados através de fechamento parcial dos estômatos, impactando negativamente na assimilação do CO₂ (SMITH e STITT, 2007).

Dependendo das características intrínsecas de cada planta, as mesmas adotam estratégias diferentes para lidar com estresses abióticos, havendo também interações promovidas no processo de enxertia, quando porta-enxertos transferem seus mecanismos de sobrevivência para copas (VIEIRA *et al.*, 2016). Sob o jejum do carbono induzido por déficit hídrico, ajustes fisiológicos para equilibrar a oferta e a procura de energia ocorrem nas plantas com frequência, apresentando uma redução nas taxas de crescimento ou mudanças em razão parte aérea/raiz (SHAO *et al.*, 2008).

Considerando o aspecto quantitativo, o sistema radicular, que é muito plástico e dinâmico, dota a planta de capacidade de incorporar informações sobre o ambiente, induzindo a planta a respostas que a adaptem melhor aos diferentes cenários de restrição ou escassez hídricos. Por exemplo, pequenas variações no ângulo radicular podem afetar muito a arquitetura radicular e, por consequência, a aquisição de água e grandemente a produtividade (HAMER *et al.*, 2009).

Plantas podem alterar o metabolismo celular desencadeando vários mecanismos de defesa, relacionadas a sobreviver sob condições estressantes, em conformidade com a capacidade da planta em perceber o estímulo, gerar e transmitir os sinais, e dar início a várias mudanças fisiológicas e químicas (JIANG e ZHANG, 2002; VIEIRA *et al.*, 2016). O sistema radicular, por meio de suas funções e arquitetura radicular, determinada pelas interações copa/porta-enxerto de citros

pode explorar mais o solo, superficialmente ou em profundidade e reduzir os impactos negativos da seca, aumentando a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas em períodos de estresse. Apesar da importância dos estudos envolvendo sistema radicular, os estudos radiculares ainda são escassos, em função das dificuldades intrínsecas preferindo-se trabalhar com variáveis relacionadas à parte aérea, também relacionadas à produtividade das culturas.

Considerando que o sistema radicular, provindo de porta-enxertos, confere as características de vigor, tolerância à seca e eficiência no uso de água. O presente estudo visou, por meio do sistema radicular das plantas, que dão suporte e são responsáveis pela absorção de água e nutrientes, informações sobre a distribuição da densidade de comprimento de raiz (DCR), sendo também essenciais para o manejo das culturas, manejo racional da irrigação/nutrientes e transporte de solutos do solo para o interior da planta. As raízes mais jovens e mais finas são geralmente consideradas mais importantes do que as raízes mais velhas e mais grossas nos processos de absorção de água e nutrientes (PIERRET *et al.*, 2005). Características relacionadas ao “ângulo de formação radicular” podem explicar as diferenças de genótipos na aquisição de água e nutrientes.

Mesmo sabendo que as respostas morfofisiológicas variam entre espécies, bem como dentro de uma mesma espécie, nos diferentes estádios de desenvolvimento da planta, segundo, Mendonça *et al.* (2010) e Brito *et al.* (2012), em estudos relacionados à fotossíntese têm mostrado diferentes respostas de variedades de citros aos efeitos do estresse abiótico e podem explicar os mecanismos envolvidos, por exemplo, nas resposta de plantas à eventos de estresse hídrico em nível de campo. Porém há dificuldades de estabelecimento de relações entre avaliações de campo e em casa de vegetação. No processo de melhoramento genético, e principalmente em plantas perenes, quando as conclusões sobre produtividade vão ocorrer após alguns anos de cultivo o uso de características das plantas de fácil medida que se correlacionem com os índices interessantes para o melhorista (produtividade, eficiência de uso de água ou tolerância a seca), são fundamentais na obtenção de materiais superiores em menor período de tempo.

Acreditando-se ser possível identificar, na fase inicial de crescimento, em condições controladas, características biométricas de fácil mensuração associadas a genótipos com tolerância à seca e/ou eficientes no uso de água, o presente trabalho teve como objetivo avaliar, em condições controladas de luz, temperatura e umidade relativa do ar, o efeito do déficit hídrico em fases jovens de desenvolvimento das plantas, encontrando estas sob a forma de *seedlings*, ou seja, na condição de pés-francos em genótipos de citros (usados como porta-enxerto) contrastantes em casa de vegetação em nível de campo quanto à produtividade.

5. Materiais e Método

Local e Desenho experimental

Experimento foi realizado em ambiente protegido e controlado (FITOTEC – modelo: LT 13,76 UTFP, Temperatura: 25 °C, fotoperíodo: 12h, 50% Umidade Relativa (UR) diurna/80% UR noturna) localizado no laboratório de ecofisiologia o qual pertence às instalações da Embrapa Mandioca e Fruticultura situada no município de Cruz das Almas, BA.

O estudo foi concebido para avaliar alguns dos principais cruzamentos realizados pelo Programa de Melhoramento Genético de Citros da Embrapa Mandioca e Fruticultura - PMG Citros, objetivando a obtenção de híbridos com a finalidade de uso como porta-enxertos, a saber: LVK (limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq.) x LCR (limoeiros 'Cravo'), TSKC [tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka, seleção comum] x [LCR x TR *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.], TSKC x CTSW (Citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*). Como testemunhas foram avaliadas a campo e em casa de vegetação (SAMPAIO *et al.*, 2014; VIEIRA *et al.*, 2016; NEVES *et al.*, 2013; RAMOS *et al.*, 2015), quais sejam: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC), tangerineira 'Sunki' seleções 'Tropical' (TSKTR) 'Maravilha' (TSKMA) (Tabela 1.1).

Tabela 1.1 - Classificação quanto à tolerância á seca em campo dos seguintes genótipos avaliados, limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC), tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' 'Maravilha' (TSKMA); (TSKC) [tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka, seleção comum] x [LCR x TR *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] - 040, 059 e 073; TSKC x CTSW (Citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*) - 019, 028, 041 e 064; LVK (limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq.) x LCR (limoeiros 'Cravo') 010, 017, 030 e 038, separados pelos principais cruzamentos, segundo Ramos *et al.* (2015).

Genótipos	*Tolerância à seca em campo
TSKC x (LCR x TR) 59	3
TSKC x (LCR x TR) 73	3
TSKC x (LCR x TR) 40	3
TSKC x CTSW 41	2
TSKC x CTSW 28	2
TSKC x CTSW 64	1
TSKC x CTSW 19	2
LVK x LCR 10	2
LVK x LCR 38	3
LVK x LCR 30	3
LVK x LCR 17	2
LVK x LCR 18	2
LCRSTC	2
TSKTR	2
TSKMA	1

*1 (Baixa tolerância): queda total ou parcial das folhas, 2 (Tolerância moderada): murchamento das folhas, 3 (Tolerante): sem murchamento e sem queda das folhas.

As mudas, presumivelmente de origem nucelar (plantas oriundas da germinação de sementes) foram produzidas em tubetes com substrato (plantmax). Após 60 dias de sementeiras foram transplantadas para um tubo de PVC com 0,3 m de altura e 0,075 m de diâmetro contendo areia lavada e esterilizada, com capacidade máxima retenção de água do pote no recipiente (umidade de 0,15 cm³. cm⁻³). Em seguida os tubos foram acondicionados no FITOTEC, permanecendo 20 dias em processo de aclimatização até os tratamentos serem aplicados.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizados, em esquema fatorial 2x15, sendo dois manejos hídricos e quinze genótipos com quatro repetições, totalizando 128 unidades experimentais.

Após 20 dias de aclimatização, o manejo de água para as plantas controle (não estressada) foi realizado a cada 48 horas, mantendo-se a umidade do solo nos tubos aproximadamente à capacidade máxima de retenção de água do tubo (umidade de $0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). As irrigações corresponderam aproximadamente a um volume de 50 ml de solução nutritiva (FURLANI, 1988), permitindo drenagem de pelo menos 10% da solução; o tratamento com déficit hídrico foi submetido ao secamento contínuo da areia até a murcha completa de todas as folhas. Tomou-se o cuidado de vedar a superfície do solo dos tubos de PVC com papel alumínio, junto ao caule das plantas para evitar a evaporação de água. No primeiro dia do experimento, ao se aplicar os tratamentos, todas as plantas foram irrigadas até a máxima capacidade de retenção dando início aos tratamentos.

Avaliações biométricas e fisiológicas

Todas as variáveis de crescimento das plantas, conduzidas 20 dias após o início da aclimatização foram avaliadas semanalmente (dados não foram mostrados!!!) como número de folhas (NF), altura de planta (ALT), área foliar (AF), e o diâmetro do caule (DC). As variáveis fisiológicas mensuradas foram condutância estomática (gs), avaliada semanalmente (não foram apresentados!!!) durante todo o período de realização do experimento, com uso do porômetro de difusão (modelo AP4, Delta-T Devices, Cambridge, Inglaterra) e o potencial hídrico foliar (Ψ_w) obtido ao final do experimento quando houve murcha inicial das folhas, por meio de uma câmara de pressão tipo 'Scholander' modelo 3115 (Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, USA).

A contagem das folhas foi feita considerando-se aquelas completamente expandidas e em estado funcional na planta; a área foliar total (cm^2) foi determinada segundo Dutra *et al.* (2017); a altura das plantas (cm) foi medida tomando-se como referência a distância do colo da planta até a inserção da última folha formada; já o diâmetro do caule (mm) foi medido com uso de um paquímetro digital, na região do colo da planta, que é a zona limite entre o caule e a raiz.

O sistema radicular foi analisado ao final do experimento. Após a separação da areia, o material foi lavado e acondicionados em álcool 30% e refrigeradas até o processo de digitalização das imagens, realizado por meio de escâner. O processamento foi feito com o software WinRizho, versão 2013d, resolução de 400 dpi, para obtenção do diâmetro de raiz (mm), classes de diâmetro (cm) comprimento de raiz (cm), que dividido pelo volume da amostra, encontrando-se a densidade de comprimento de raiz (cm cm^{-3}), e que dividido pela massa seca da raiz determina-se o comprimento específico de raiz (cm g^{-1}). Posteriormente determinou-se a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), em ambas utilizando-se estufa com circulação forçada de ar à 65°C , pelo período de 72 horas.

A classificação dos porta-enxertos, quanto à tolerância ao estresse hídrico, foi feita através do critério de rendimento relativo com base na redução de fitomassa total (%), esse critério de classificação foi adaptado da classificação proposta por Fageria e Gheyi (1997) através da seguinte fórmula:

$$RR (\%) = (\bar{X} \text{ Tratamento Controle} - \bar{X} \text{ Tratamento estressado}) * 100$$

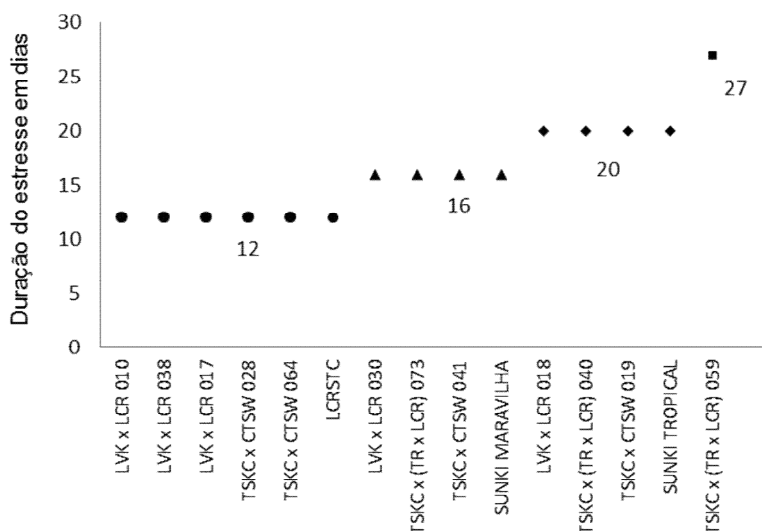
Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e posteriormente, havendo significância ($p < 0,05$), realizado o desdobramento das interações ou estudo do efeito de um fator. As médias das variáveis foram comparadas segundo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. A partir das variáveis foram realizadas correlações e construção de matriz de correlação por meio do software R, versão 3.3.1.

6. Resultados

Os seguintes genótipos apresentaram murchamento ou enrolamento foliar aos 12 dias após a imposição do estresse hídrico: LVK x LCR - 010, 017 e 038; TSKC x CTSW - 028 e 064; limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC). Aos 16 dias os genótipos: LVK x LCR - 030, TSKC x (LCR x TR) - 073, TSKC x CTSW - 041 e a Tangerineira 'Sunki' Maravilha (TSKMA). Aos 20 dias foram observados o murchamento foliar nos genótipos: LVK x LCR - 018, TSKC x (LCR x TR) - 040, TSKC x CTSW - 019 e Tangerineira 'Sunki' Tropical (TSKTR). O indivíduo menos sensível e mais conservador de água, quando o murchamento foliar só foi verificada 27 dias após ao início do déficit hídrico, foi o TSKC x (LCR x TR) - 059 (Figura 1.1). Pela figura pode ser observado que a maioria dos genótipos dos cruzamentos LVK x LCR foi menos conservador no uso da água, salvo o genótipo LVK x LCR - 018.

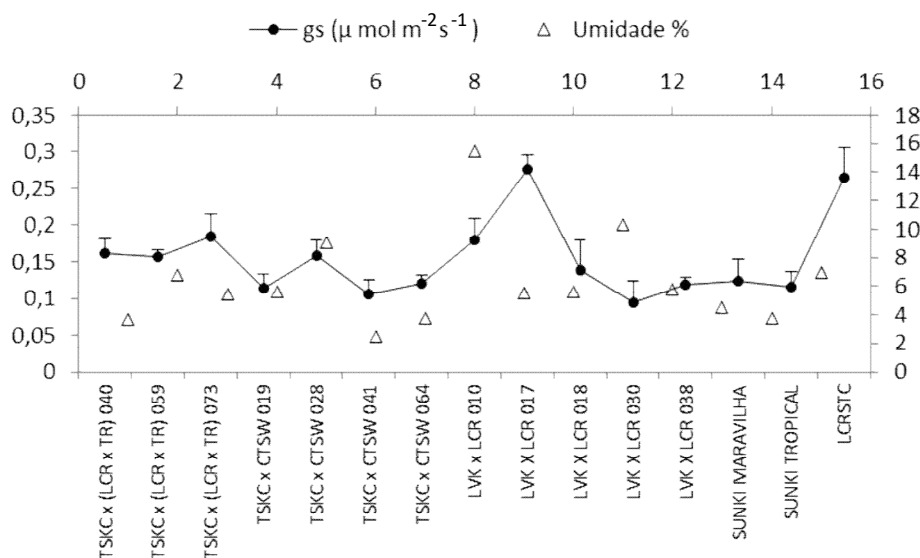
Figura 1.1 – Duração em dias da imposição de estresse hídrico em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] - 040, 059 e 073. Cruz das Almas 2014.



Variáveis fisiológicas

As plantas entraram em estresse em dias diferentes levando em consideração o aparecimento visual do déficit hídrico pelo murchamento foliar. Nestas condições, aferiu-se o potencial hídrico foliar, e todas as plantas com sintomas de murchamento apresentavam baixo potencial hídrico ($\Psi_f < -2,0$ MPa). Com base no tempo que cada genótipo levou para apresentar os sintomas de murchamento, foi possível aferir a velocidade de extração de água da areia, considerando que a umidade da areia, ao final do período de estresse, não foi diferente entre os diferentes genótipos estudados. Alguns genótipos apresentavam rapidamente sintomas de murchamento foliar mesmo com teor de umidade alto, a saber: LVK x LCR 010, 030 e o TSKC x CTSW - 028 (Figura 1.2).

Figura 1.2 - Condutância estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e teor de umidade (%) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) ao final do experimento dos seguintes citros: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC), tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' 'Maravilha' (TSKMA); (TSKC) [tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka, seleção comum] x [LCR x TR *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] - 040, 059 e 073; TSKC x CTSW (Citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*) - 019, 028, 041 e 064; LVK (limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq.) x LCR (limoeiros 'Cravo') 010, 017, 030 e 038. Cruz das Almas 2014.

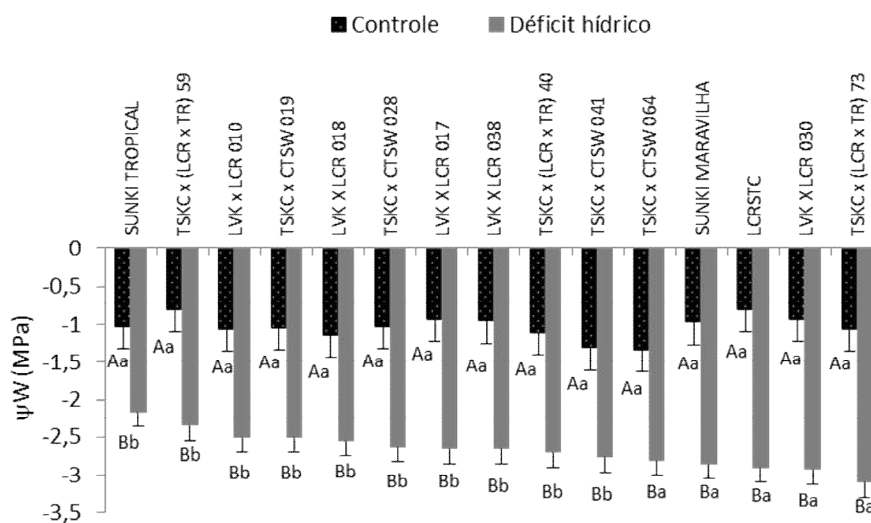


As plantas responderam fisiologicamente ao manejo de irrigação com mecanismo de fechamento dos estômatos, verificando diferenças de resposta aos 12 dias, e reduzindo a condutância em relação às plantas controle (Figura 1.2). Com relação às plantas no momento da coleta (completamente estressadas), não foram verificadas interações nem diferenças de respostas estomáticas entre genótipos.

Com relação ao potencial da água na folha, houve interação genótipo e manejo de água ($p < 0,01$). Os valores médios para cada genótipo oscilaram para as plantas submetidas ao déficit de -2,1 até -3,1 MPa e de -0,8 a -1,3 MPa para as plantas controles (Figura 1.3). O status hídrico dos genótipos foi semelhante quando

a disponibilidade de água da areia estava adequada para as plantas (controle). Com relação às plantas submetidas ao déficit hídrico, apesar de todas as medidas de potencial hídrico foliar ter sido realizada a partir da detecção do mesmo através do sintoma visual, independente do genótipo, houve diferenças de respostas genotípicas ($p < 0,01$). Os genótipos mais sensíveis ao estresse conforme medidas de potencial da água na folha foram: TSKC x CTSW - 064, TSKMA, LCRSTC, LVK x LCR 030 e TSKC x (LVK x LCR) – 073, coincidentemente entre os que foram mais rápidos para detecção do estresse pelas observações visuais de murchamento foliar (Figura 1.1).

Figura 1.3 - Potencial hídrico foliar (ψ_w) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) - 019, 028, 041 e 064; TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] - 040, 059 e 073. Sob os tratamentos (trat.): controle e déficit hídrico. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=4). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,01$) entre tratamentos para um mesmo genótipo, enquanto diferentes letras minúsculas representam diferenças estatísticas para genótipos dentro de um tratamento. Cruz das Almas - BA. 2014.



Biometria da parte aérea da planta

Na Tabela 1.2 encontra-se a análise de variância para as variáveis de crescimento das plantas: altura de planta (ALT), diâmetro de caule (DC), área foliar (AF), número de folhas (NF) e massa seca da parte aérea (MSPA) dos genótipos de citros testados, constatando-se que houve efeito significativo ($p > 0,05$) para o fator 'manejo', na disponibilidade hídrica em todas as variáveis de crescimento com exceção da área foliar (Tabela 1.2). Ressaltando que para altura de planta (ALT)

houve interação entre manejo de água e genótipos constatando redução significativa ($p < 0,01$) imposta pelo tratamento de déficit hídrico aos híbridos LVK x LCR - 030 (24,77%), TSKC x CTSW - 041 (24,81%), assim como para TSKMA com 26,07% (Figura 1.4).

Não foram verificadas interações entre manejo de água e genótipos para as seguintes variáveis estudadas: área foliar (AF), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e massa seca da parte aérea (MSPA) (Tabela 1.2).

A área foliar das plantas não foi afetada pelo manejo de água ($p > 0,05$), diferenças atribuídas apenas aos genótipos ($p < 0,01$) quando em média variou de 13 a 33 cm², sendo observada tendência das plantas envolvendo cruzamentos com o limoeiro cravo apresentarem maior superfície foliar, apesar de o menor, em altura de planta, ser o indivíduo LVK x LCR - 018. Esses resultados corroboram com o que se observou nos períodos de duração de estresse para esses genótipos (Figura 1.1). Não explicando completamente, porém, a relação AF/período de estresse, como observado para alguns genótipos mais vigorosos, a exemplo do TSKC x (LCR x TR) 059 e TSKC x (LCR x TR) - 040. Cruzamentos envolvendo o citrumelo 'Swingle' (CTSW) foram os menos vigorosos em relação à AF. Os genótipos com superfícies foliares superiores foram o LCRSTC, os híbridos LVK x LCR - 010, 038, e o TSKC x (LCR x TR) 040. Em média esses genótipos apresentaram 40,6% a mais de AF comparado ao LVK x LCR - 018 (Tabela 1.2).

Tabela 1.2 - Efeito estatístico e médias da área foliar (AF), diâmetro do caule (DC), número de folha (NF), massa seca da parte aérea (MSPA) e altura de planta (ALT) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073. Cruz das Almas – BA. 2014.

Fonte de variação	AF	DC	NF	MSPA	ALT
Genótipo (G)	0,0000 **	0,0000 **	0,0009 **	0,0000 **	0,0000 **
Manejo (M)	0,7198 ns	0,0005**	0,0000 **	0,0145**	0,0004 **
Interação G x M	0,0756 ns	0,4179 ns	0,0651 ns	0,5157 ns	0,0001 **
Médias (genótipos)	cm ²	mm	----	g	cm
TSKC x (LCR x TR) 59	24,0275	1,7788	7,3750	0,4025	7,0000
TSKC x (LCR x TR) 73	19,8863	1,6350	6,3750	0,2050	5,0000
TSKC x (LCR x TR) 40	25,1775	1,9700	6,6250	0,2963	5,0875
TSKC x CTSW 41	18,9563	1,7238	7,7500	0,2638	5,7375
TSKC x CTSW 28	13,8625	1,4475	6,0000	0,1900	4,6375
TSKC x CTSW 64	14,8663	1,6175	7,0000	0,1500	5,0000
TSKC x CTSW 19	13,1813	1,5050	6,1250	0,1938	4,8250
LVK x LCR 10	30,7950	1,9250	6,7500	0,3138	6,8875
LVK x LCR 38	32,7875	1,8938	6,7500	0,3575	6,5375
LVK x LCR 30	21,2450	1,5838	6,6250	0,2200	4,5500
LVK x LCR 17	14,9013	1,5488	6,3750	0,1663	4,0500
LVK x LCR 18	12,9663	1,5888	6,0000	0,1688	4,7375
LCRSTC	31,4525	1,8625	6,5000	0,3600	6,2125
TSKTR	19,2625	1,6538	7,0000	0,2563	5,0625
TSKMA	23,0438	1,7713	6,6250	0,3138	6,5875
DMS	1,5767	0,0740	0,2803	0,0281	0,3153

**, * = significativo ao nível a 1% e 5% de probabilidade ($p < 0,01$; $p < 0,05$), respectivamente, ns = não significativo e diferença mínima significativa para as variáveis em estudo.

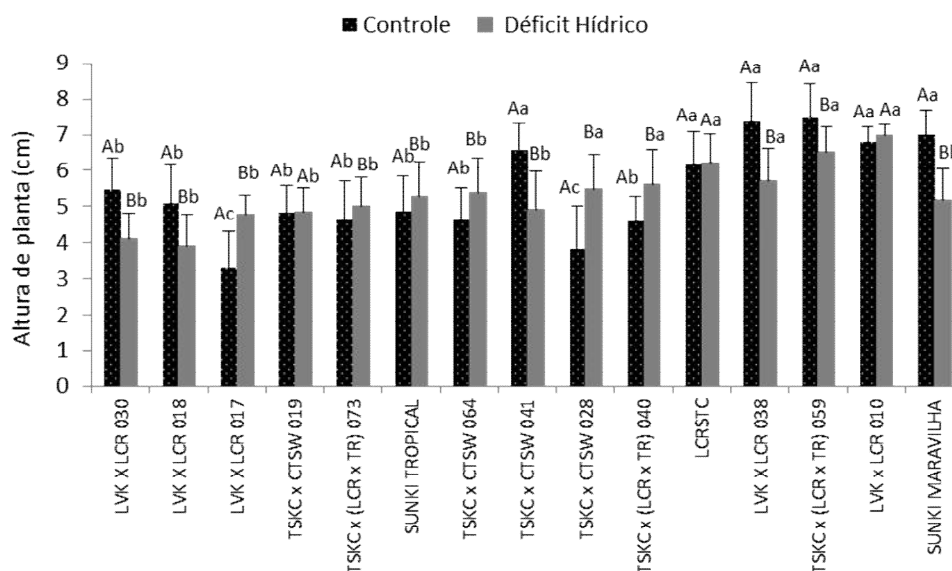
Houve efeito do manejo e de genótipos para as variáveis ($p < 0,01$) diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e massa seca da parte aérea (MSPA) (Tabela 1.2). Verificou-se, ao término dos 27 dias de estresse hídrico, que as maiores médias para a variável NF relacionam-se aos genótipos TSKC x (LCR x TR) - 59; TSKC x CTSW - 041 e 064; LVK x LCR - 018, 030 e 038; TSKTR, sendo o TSKC x CTSW - 028 o que apresentou menor número de folhas, fato esse relacionado, provavelmente às características genéticas desse material. Número de folhas não explicou a variação em AF, que se deu ao tamanho, que tem grande peso na resistência aerodinâmica ao transporte de vapor.

Sem especificar as classes de diâmetro de raízes, essa característica foi inversamente proporcional ao estresse, resposta esperada, Hsiao e Xu (2000), também observaram raízes mais finas em plantas submetidas ao déficit hídrico.

Para DC as maiores médias foram LVK x LCR - 010, 038; TSKC x (LCR x TR) - 040, 059, LCRSTC e em TSKMA. O maior efeito do déficit em relação ao controle foi observado no genótipo TSKC x CTSW - 019, com redução de 21,09%.

Conforme as médias de MSPA, os genótipos mais vigorosos também envolveram cruzamentos com limoeiro 'Cravo': LCRSTC, TSKC x (LCR x TR) - 059 e LVK x LCR - 038 (Tabela 1.3). Houve redução da MSPA para todos os genótipos quando submetidos ao déficit hídrico, com reduções variando de 11,57% a 11,29% respectivamente para TSKC x (LCR x TR) - 059 e LCRSTC.

Figura 1.4 - Altura de planta (cm) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=4). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística (p<0,01) entre tratamentos para um mesmo genótipo, enquanto diferentes letras minúsculas representam diferenças estatísticas entre genótipos dentro de um tratamento.



Sistema radicular

Não houve interação entre manejo de água e genótipos para nenhuma das seguintes variáveis do sistema radicular: comprimento de raiz (CTR), massa seca da raiz (MSR), diâmetro de raiz (DR) e relação MSR/MSPA (Tabela 1.3).

Com relação ao comprimento total de raiz, sem discriminar classes de diâmetro, a significância ocorreu apenas para genótipo. O genótipo TSKC x (LCR x TR) – 059, foi estatisticamente superior aos demais ($p < 0,01$), com média 84% superior ao TSKC x CTSW - 064 com menor comprimento verificado (Tabela 1.3).

Assim como CTR, apenas houve efeito do 'genótipo' ($p < 0,01$) para a massa seca do sistema radicular (MSR). Os híbridos TSKC x (LCR x TR) - 059, 073, 040; TSKC x CTSW 019; LCRSTC apresentaram as maiores médias de MSR, estatisticamente diferente dos demais genótipos ($p < 0,01$).

Para MST ocorreu efeito significativo ($p < 0,01$) para o fator genótipo e ($p < 0,05$) para o fator 'manejo'. Os genótipos com menores médias são os mesmos que foram observados, nessas condições, para a variável MSR, já evidenciando em média a relação entre essas variáveis: TSKC x CTSW - 028, 064 e LVK x LCR - 017, 018. A maior média também foi obtida para híbrido TSKC x (LCR x TR) - 059 (Tabela 1.3).

Quanto à relação raiz/parte aérea (MSR/MSPA) os genótipos TSKC x CTSW 028 e LVK x LCR - 017 apresentaram as menores relações MSR/MSPA com percentual de raiz inferior a 50% da parte aérea. Para os demais a oscilação variou entre 0,5 a 0,7. O único genótipo que apresentou relação superior a 1 foi o TSKC x (LCR x TR) - 073 diferindo estatisticamente dos demais (Tabela 1.3). A relação foi maior para os genótipos do cruzamento TSKC x (LCR x TR) além das plantas de 'Cravo' e 'Sunki' Maravilha.

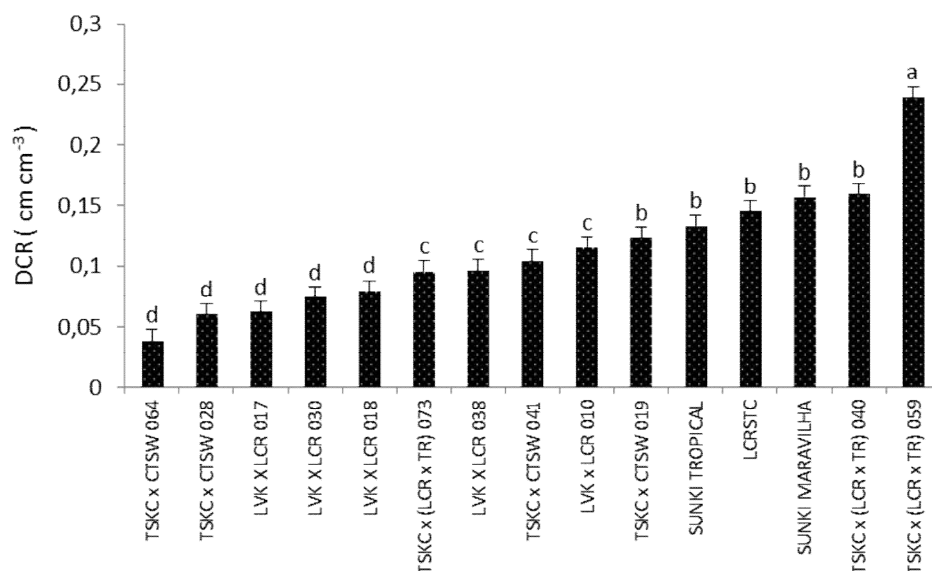
Como a densidade de comprimento de raízes (DCR) é proporcional a CTR, houve efeito de genótipo para essa variável ($p < 0,01$) sendo que o híbrido TSKC x (LCR x TR) - 059 teve a maior média, diferindo estatisticamente dos demais, contrastando a ele, têm-se o TSKC x CTSW – 064, com a menor média (Figura 1.5).

Tabela 1.3 - Efeito estatístico e médias de comprimento de raiz (CTR), diâmetro da raiz (DR), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e relação entre a massa seca da raiz/massa seca da parte aérea (MSR/MSPA) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073. Cruz das Almas – BA. 2014.

Fontes de variação	CTR	MSR	MST	DR	MSR/MSPA
Genótipo (G)	0,0000 **	0,0000**	0,0000 **	0,0000 **	0,0000 **
Manejo (M)	0,0519 ns	0,8961ns	0,0373 *	0,0174**	0,2921 ns
Interação G x M	0,3399 ns	0,4961 ns	0,3408 ns	0,5752 ns	0,0513 ns
Médias (genótipos)	cm	g	g	mm	--
TSKC x (LCR x TR) 59	275,9288	0,2512	0,6550	0,6713	0,6900
TSKC x (LCR x TR) 73	110,2675	0,2025	0,4050	0,9050	1,0605
TSKC x (LCR x TR) 40	183,8500	0,22	0,5187	0,8213	0,7916
TSKC x CTSW 41	120,2000	0,1762	0,4412	0,8600	0,5678
TSKC x CTSW 28	69,0950	0,07	0,2587	0,8100	0,4098
TSKC x CTSW 64	44,3588	0,0912	0,2387	0,9988	0,5672
TSKC x CTSW 19	142,7338	0,22	0,4100	0,6863	0,6232
LVK x LCR 10	133,2588	0,1837	0,4975	0,8475	0,5182
LVK x LCR 38	111,3075	0,1925	0,5500	0,8750	0,5892
LVK x LCR 30	85,1738	0,1487	0,3687	0,7913	0,5608
LVK x LCR 17	71,5550	0,0837	0,2500	0,8663	0,4632
LVK x LCR 18	81,8175	0,0737	0,2425	0,7525	0,5872
LCRSTC	167,9613	0,2162	0,5725	0,8313	0,719
TSKTR	154,0113	0,145	0,4025	0,7438	0,5777
TSKMA	181,3013	0,1887	0,5037	0,7838	0,6746
DMS	15,6804	0,0284	0,0412	0,0283	0,0688

**, * = significativo ao nível a 1% e 5% de probabilidade ($p < 0,01$; $p < 0,05$), respectivamente, ns = não significativo e diferença mínima significativa para as variáveis estudadas.

Figura 1.5 - Densidade de comprimento de raiz (DCR - cm cm^{-3}) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (L.) Raf. (TR) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=4). Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,01$) entre os genótipos.



Com relação ao comprimento específico de raiz (SRL) houve efeito para genótipos ($p < 0,01$), onde cinco apresentaram as maiores médias: TSKC x CTSW - 019, 028; 'Sunki Maravilha'; LVK x LCR - 018; TSKC x (LCR x TR) - 059 (Figura 1.6).

Não ocorreu interação entre as classes de diâmetro de raiz e o manejo aplicado, apenas para o fator manejo ($p < 0,01$) nas classes de diâmetro 0,5-1,0 mm. A variável comprimento específico de raiz (SRL) é encontrada a partir da divisão do comprimento da raiz pela massa seca de raiz. Ocorreu efeito significativo ($p < 0,01$) para genótipos, onde cinco apresentaram as maiores médias: TSKC x CTSW - 019, 028; 'Sunki Maravilha'; LVK x LCR - 018; TSKC x (LCR x TR) - 059 (Figura 1.6).

Não ocorreu interação entre as classes de diâmetro de raiz e o manejo aplicado. A significância ocorreu apenas para o fator manejo hídrico exercendo influência significativa ($p < 0,01$) nas classes de diâmetro 0,5-1,0 mm, com aproximadamente 50 cm de comprimento de raiz, na classe 1,5 - 2,0 mm com 5 cm e na classe maior que 2 mm com valores de 5,5 cm de comprimento. Em presença da deficiência hídrica a classe de diâmetro de 0,5-1,0 mm apresentou melhor adaptação para os genótipos com destaque para o TSKC x (LCR x TR) 059, TSKC x (LCR x TR) 040; TSKMA e o LCRSTC, tendo 96, 92, 80 e 70 cm de comprimento de raiz (Figura 1.7).

Figura 1.6 - Comprimento específico de raiz (SRL - cm g^{-1}) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=4). Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,01$) entre os genótipos.

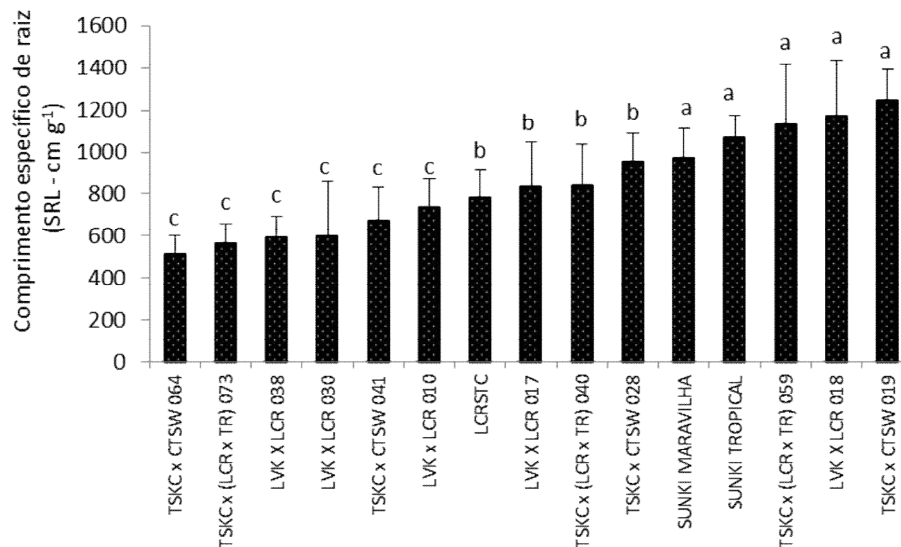
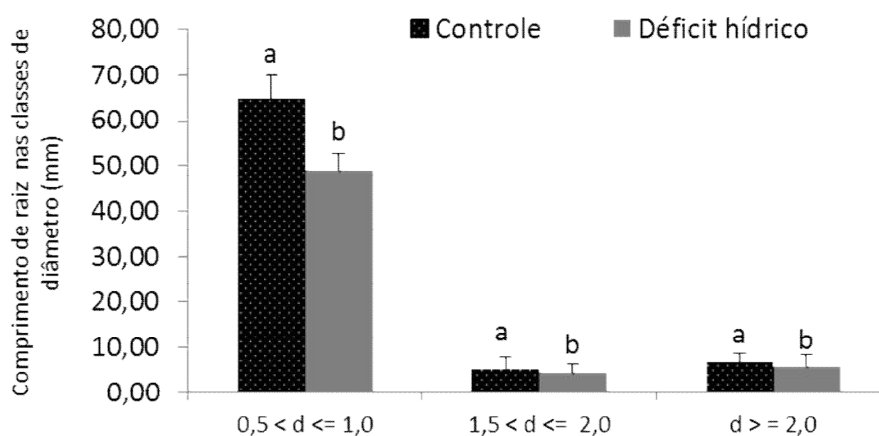


Figura 1.7 - Comprimento de raiz (cm) nas classes de diâmetro de 0-1,0 mm, 1,5-2,0 mm, e maior que 2,0 mm, em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com 2 meses de idade no momento do início do estresse, representativo a 15 genótipos de citros com potencial de uso como porta-enxertos: limoeiro 'Cravo Santa Cruz' *Citrus limonia* Osbeck (LCRSTC); tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' seleção 'Maravilha' (TSKMA); limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq. (LCR) x limoeiro 'Cravo' (LCR) – 017, 018, 030 e 038; tangerineira 'Sunki' comum (TSKC) x citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata* (CTSW) – 019, 028, 041 e 064. TSKC x [LCR x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. (TR)] – 040, 059 e 073. Barras indicam erro padrão da média de cada genótipo (n=4). Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística (p<0,01) entre os manejos.



Com base no rendimento relativo de fitomassa total Fageria e Gheyi (1997), foram classificados como tolerantes TSKC x (LCR x TR) - 059, 073, 040 e LVK x LCR 030, 038; moderadamente tolerantes os híbridos TSKC x CTSW 028, 019, 041; LVK x LCR 010, 018, 017; LCRSTC e TSKTR; moderadamente sensíveis TSKC x CTSW 064 e TSKMA (Tabela 1.4).

Tabela 1.4 - Classificação quanto à tolerância, baseada no rendimento relativo (%), pela redução da fitomassa total, em genótipos de porta-enxertos de citros, sob estresse hídrico.

Genótipos	Rendimento relativo (%)	Faixa	Classificação*
TSKC x (LCR x TR) 59	8,16	< 20	T
TSKC x (LCR x TR) 73	14,36	< 20	T
TSKC x (LCR x TR) 40	11,34	< 20	T
TSKC x CTSW 41	24,26	20-40	MT
TSKC x CTSW 28	23,36	20-40	MT
TSKC x CTSW 64	42,48	40-60	MS
TSKC x CTSW 19	36,08	20-40	MS
LVK x LCR 10	20,46	20-40	MT
LVK x LCR 38	6,53	< 20	T
LVK x LCR 30	7,46	< 20	T
LVK x LCR 17	14,80	<20	T
LVK x LCR 18	20,16	20-40	MT
LCRSTC	18,47	<20	T
TSKTR	20,14	20-40	MT
TSKMA	41,24	40-60	MS

* T= tolerante MT = moderadamente tolerante e MS = moderadamente sensível

7. Discussão

Pela Figura 1.1 pode ser observado que a maioria dos genótipos dos cruzamentos LVK x LCR foram os menos conservadores de água, salvo o genótipo LVK x LCR - 018. Não houve interações entre genótipo e tratamento para relação massa seca de raiz e massa seca de parte aérea. Sendo assim não foram constatadas habilidades diferenciadas dos genótipos em responder ao déficit hídrico. Não foi detectada também o efeito do manejo, o que não corroboram expectativas de aumento dessa relação com o déficit, como mecanismo para sobrevivência de plantas (CLAEYS e INZE, 2013). Esse resultado pode estar relacionado ao período curto de avaliação, não permitindo o crescimento de raízes em relação a plantas controle. As maiores relações MSR/MSPA (Tabela 1.3) para os cruzamentos TSKC x (LCR x TR) podem indicar maior tolerância à seca, considerando respostas similares as verificadas no limoeiro 'Cravo'.

As plantas responderam ao déficit hídrico regulando a abertura estomática e reduzindo o potencial da água da folha para níveis considerados severos (VIEIRA *et al.*, 2016), não havendo diferenças no status hídrico entre genótipos submetidos ao déficit hídrico (Figuras 1.2 e 1.3), indicando que o estudo foi bem desenvolvido quando o /manejo que afetou severamente as plantas submetidas ao estresse. Fato que levou a maioria dos genótipos apresentarem condutância estomática similares no tratamento com déficit hídrico (apenas o genótipo 030 apresentou comportamento diferente) (Figura 1.2). Isso se explica pelo fato de redução na condutância estomática em consequência do déficit hídrico, aumentar a resistência estomática ao fluxo de vapor d'água das folhas através dos estômatos para a atmosfera externa a fim de manter o potencial hídrico nas folhas.

As condutâncias estomáticas não apresentaram variações entre genótipos considerando o tratamento sem déficit hídrico (controle), indicando que as diferenças verificadas no tempo de secamento não são explicadas pela condutância estomática podendo, possivelmente, estar relacionadas a variações na área foliar (Figura 1.2). Galbiatti *et al.* (2005), estudando regimes hídricos em porta-enxertos cítricos,

registraram variações em número de folhas, com destaque ao limoeiro 'Cravo'. Nessa pesquisa também foram constatadas mais folhas nos híbridos que apresentaram em seu cruzamento o limoeiro 'Cravo'.

O tempo precoce de murcha do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC), LVK x LCR - 010, 038, 017, TSKC x CTSW - 028, 064, indica a maior capacidade deste genótipo em extrair água do solo (Figura 1.1). A maioria dos genótipos dos cruzamentos do LVK x LCR, foram menos conservadores de água. Isso pode estar relacionado ao cravo, que sabidamente extrai água mais rapidamente do solo (NEVES *et al.*, 2013) e citado por possuir maior condutividade hidráulica. Em razão disso, experimentos em condição de vaso, podem resultar em interpretações equivocadas, em relação à tolerância de plantas ao déficit hídrico, quando levado em consideração apenas o murchamento foliar, sem considerar outros aspectos relativos às diferentes estratégias de sobrevivência ao déficit hídrico (VIEIRA *et al.*, 2016).

Segundo relatos de Medina *et al.* (1999), um sistema radicular com maior condutividade hidráulica, se confinado a um pequeno volume de substrato, pode desenvolver déficit hídrico mais rapidamente. Os resultados deste estudo, de maior precocidade na murcha dos genótipos citados podem ser contrários em condição de campo, devido ao maior volume de solo utilizado pelo sistema radicular.

O diâmetro de caule é resultado do crescimento do meristema secundário, formado notadamente por vasos condutores. Assim pode-se inferir que a redução na disponibilidade de água limitou o crescimento secundário em diâmetro, fato evidenciado em alguns genótipos estudados, com exceção do TSKC x (LCR x TR) 040, 059, LVK x LCR 010, 038, LCRSTC e a TSKMA. O diâmetro do caule representa um dos fatores de grande importância na avaliação de genótipos em que, quanto maior o desenvolvimento em diâmetro, maior a possibilidade da redução do período de produção do genótipo além da realização da enxertia.

As maiores reduções nos índices foliares na condição de estresse hídrico ocorreram nos limoeiros 'Cravo', no Limoeiro Volkameriano e na tangerineira 'Sunki' comum' (Tabela 1.2). Fraga Júnior *et al.* (2012) também verificaram, em Limoeiro 'Cravo' e citrumelo 'Swingle' reduções significativas da área foliar sob estresse hídrico continuado e intermitente. A limitação na área foliar pode ser considerada como uma primeira reação das plantas em relação ao déficit hídrico. Sob condições de déficit hídrico, o equilíbrio entre a produção de assimilados e a demanda para o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos é severamente afetado pela redução na área foliar fotossinteticamente ativa.

O efeito do déficit hídrico em citros sobre a MSPA foi observado por Magalhães Filho *et al.* (2008) e Suassuna *et al.* (2012), onde os mesmos evidenciaram diminuição da parte aérea em plantas de 'Cravo' e de 'Trifoliata', com indicação da existência de um mecanismo de adaptação à seca que prioriza o crescimento das raízes, sob estresse hídrico, esses autores associam esta resposta ao mecanismo de defesa contra o déficit hídrico, visto que, sob tal condição, as plantas investem em mais biomassa para o sistema radicular objetivando aumentar a capacidade de absorção de água e nutrientes.

É oportuno relatar que, mesmo se considerada as alterações morfofisiológicas, como meios de evitar os efeitos negativos da deficiência hídrica, as plantas têm decréscimos na acumulação de fitomassa, diminuição na taxa de crescimento da planta (MACHADO *et al.*, 2010), porém, neste estudo as plantas de maneira geral sofreram, embora com menor intensidade, os efeitos do estresse.

Quando considerada a evolução do crescimento em altura de planta constatou-se reduções mais significativa em genótipos que apresentava em seu

cruzamento o limoeiro 'Volkameriano', tangerineira 'Sunki Comum' e a tangerineira 'Sunki Maravilha'. A literatura relata (ALVÉS JÚNIOR *et al.*, 2005; FRAGA JÚNIOR *et al.* 2012) que o crescimento vegetativo é altamente afetado por menor disponibilidade hídrica e energética.

O desenvolvimento do sistema radicular é de suma importância para a formação de um bom genótipo sendo que, quanto maior sua produção maior também será a capacidade de suprir a parte aérea e atender à demanda por nutrientes (NASCIMENTO *et al.*, 2012).

O genótipo que apresentou menor média para DCR submetida à deficiência hídrica foi o TSKC x CTSW – 028. Essa característica poderia explicar a maior rapidez quanto a resposta ao estresse, pela incapacidade de explorar a água no pote, desde que a maioria dos genótipos que estressaram aos 12 dias possuíam menor massa e comprimento radicular (Figura 1.1 e 1.2). Mas não pode ser explicado totalmente porque há casos de plantas com maior comprimento radicular. Neste caso a explicação seria pela maior capacidade de extração de água, seja pela capacidade em explorar o solo como também por maior demanda da copa (transpiração), já que possuíam relações raiz parte aérea de 055 a 60% (Tabela 1.3). Lembrar que as umidades residuais foram iguais para maioria dos genótipos, ligeiramente superior para LVK x LCR 010, 030 e o TSKC x CTSW - 028. Por isso fica difícil estabelecer padrões relacionados a características radiculares e suas relações com a parte aérea para a extração de água e trocas gasosas em função da variabilidade de respostas para características quantitativamente iguais ou diferentes.

O híbrido TSKC x (LCR x TR) - 059 apresentou maior média de comprimento de raiz e conseqüentemente DCR que pode inferir ao genótipo mecanismos de tolerância ao estresse (Tabela 1.3). O genótipo também possuiu raízes mais finas que está associada a uma maior capacidade em explorar o solo aumentando a condutividade hidráulica global (COMAS *et al.*, 2013). Esse resultado corrobora com estudos conduzidos a campo, nos quais se constatou que o referido híbrido, na condição de porta-enxerto para laranjeira 'Valencia' onde esse genótipo apresenta excelente tolerância à seca, além de possibilitar o desenvolvimento de copas menos desenvolvidas, semiananizadas em relação ao verificado em porta-enxertos convencionais, como o limoeiro 'Cravo'. Assim, é provável que exista uma relação positiva entre desenvolvimento do sistema radicular e maior eficiência no uso de recursos hídricos.

Constatou-se neste trabalho que a relação raiz/parte aérea (MSR/MSPA) não foi afetada pelo déficit hídrico. O TSKC x (LCR x TR) - 073 apresentou valor de R/PA igual a 1,06, mas em função da reduzida massa de parte aérea (Tabela 1.3). Este comportamento radicular relaciona-se provavelmente à melhor exploração de áreas úmidas, aliada a uma maior relação entre a raiz e a parte aérea, pode ser importante mecanismo de escape à deficiência hídrica.

De acordo com Blum (2011), o fluxo de água entre solo e superfície de raiz é limitado em condição de déficit hídrico e um sistema radicular com elevado DCR reduz o impacto da resistência do solo ao fluxo de água, devido ao maior contato solo-raiz, pelo maior volume de solo explorado.

Santos *et al.* (2005), observou que as raízes de citros com diâmetros entre 0,5 e 2 mm foram as que mais extraíram água do solo, sendo assim mais eficientes no suprimento de água e nutrientes para as plantas cítricas. Souza *et al.* (2008) também avaliando sistema radicular em citros encontraram resultados similares, Isso reforça os dados obtidos neste trabalho, no qual se observou a predominância de

raízes com diâmetros < 1 mm, seguidas pelas de 1,5-2 mm e, por último, as > 2 mm (Figura 1.7).

O menor uso da água por parte do LVK x LCR - 010, não foi determinante para manutenção do potencial hídrico em condição de déficit hídrico (Figura 1.6). Isto reforça a hipótese da relação entre condutividade hidráulica de raiz e manutenção da hidratação das folhas (SINCLAIR e ALLEN, 1982). Quando o potencial da água é reduzido nas raízes, verifica-se em varias espécies um rápido ajuste osmótico, auxiliando o restabelecimento da pressão de turgor e permitindo a manutenção do alongamento celular. Em contraste, o ajuste osmótico nas folhas ocorre mais lentamente, levando à diminuição ou à parada da extensão das paredes celulares e ao menor crescimento da parte aérea (HSIAO e XU, 2000).

Foram classificados como tolerantes TSKC x (LCR x TR) – 040, 059 e 073 e LVK x LCR 030 e 038; moderadamente tolerantes os híbridos TSKC x CTSW - 019, 028, 041; LVK x LCR - 010, 017, 018; LCRSTC e TSKTR; moderadamente sensíveis TSKC x CTSW - 064 e TSKMA. Segundo matriz de correlações gerada como base as variáveis estudadas, as tendências observadas nas tabelas 1.2 e 1.3 podem ser comprovadas, claramente. A variável número de folhas correlacionou-se fracamente com as demais. A altura de planta, com correlações positivas, foi melhor relacionada ao diâmetros de caule a área foliar e a massa seca da parte aérea e total. Mas fracamente relacionada com MSR.

As variáveis que mais se correlacionaram fortemente e explicam melhor as variações de massa seca de raiz, de parte aérea e total das plantas foram às advindas das análises de sistema radicular, todas positivamente relacionadas. As maiores correlações foram observadas entre densidade de comprimento de raiz (DCR) e raízes nas classes de diâmetro de 0-1,5 mm (RC1) e 0,5-1 mm (RC2). Corroborando os dados da Figura 1.7, quando a maior percentual de raízes foi até 1 mm. A elevada correlação entre DCR e comprimento de raiz na classe maior que 2 mm (RC5) evidencia a importância das raízes principais e secundárias, formando estrutura para o aparecimento de raízes de absorção (Figura 1.8).

A (DCR) e logicamente raízes classe RC1 e RC2 e também raízes de classe RC5 foram as mais fortemente correlacionadas com massa seca das plantas. As raízes mais grossas explicaram melhor as variações na parte aérea das plantas e podem estar relacionadas ao vigor das copas. DCR, RC1 e RC2 explicam sem distinção as variações de massa seca das diferentes partes da planta.

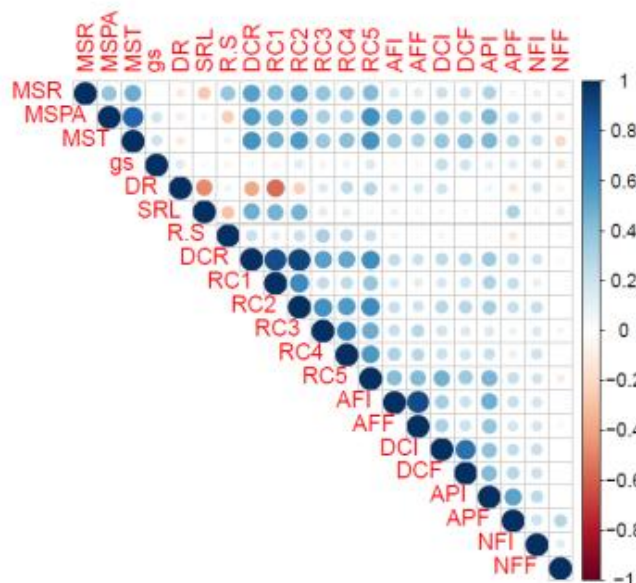
O comprimento específico de raiz (SRL) correlacionou-se positiva e fortemente com DCR e RC1 e RC2, evidenciando uma tendência, lógica, de que o aumento do comprimento radicular está associado à formação de raízes mais finas. Valores elevados de SRL estão relacionados à capacidade de explorar melhor volume de solo por unidade de biomassa radicular (NAKHFOROOSH *et al.*, 2014; OSTONEN *et al.*, 2007). Essa capacidade pode ser, por exemplo, uma vantagem, levando em consideração a exploração de solos e disponibilização de nutrientes pouco moveis no solo, a exemplo do fósforo. Importante verificar a grande plasticidade nessas características, o que é muito importante para a definição de estratégias para seleção genótipos para diferentes ambientes, levando em consideração a disponibilidade de água no solo, demanda atmosférica. Por exemplo, o limoeiro cravo que apresentou elevado comprimento radicular, reduziu o seu SRL em função de possuir raízes mais grossas, isso lhe confere uma elevada condutividade hidráulica (maior exploração do solo e condutância hidráulica), comprovada em estudos de campo (SAMPAIO *et al.*, 2014) e vasos (SOARES *et al.*, 2015).

Os genótipos com menores MSR (Tabela 1.2) apresentaram um sistema radicular com SRL elevado (Figura 1.5). Porém esses genótipos parecem ter menor volume de raiz x menor estruturas principais para distribuição o que levou ao maior SRL. Segundo Sampaio *et al.* (2014), informação de SRL em porta-enxertos de citros pode ser parte da resposta relacionada à maior produtividade de frutos. Estudos pioneiros, relacionados à caracterização do sistema radicular de citros, indicam que genótipos com alto SRL possuem maior potencial de transporte de água e nutrientes. Além disso, há constatações que maior SRL está relacionado com a característica de crescimento mais rápido de novas raízes (EISSENSTAT, 1992).

Esses resultados são extremamente importantes do ponto de vista do melhoramento genético, pelas correlações elevadas e positivas entre massa seca de plantas e raízes, e sendo a DCR e o CTR os parâmetros que melhor explicaram essas variações (Figura 1.8). E essas variáveis estão associadas aos genótipos mais conservadores no uso de água, que apresentaram maior SRL, sendo promissoras para seleção precoce de genótipos potencialmente tolerantes à seca e mais eficientes no uso de recursos hídricos. Os genótipos mais conservadores foram os com elevada SRL: TSKC x CTSW - 019; sunki 'Tropical' LVK x LCR - 018; TSKC x (LCR x TR) – 059, TSKC x (LCR x TR) – 040. Apenas o último não está entre os superiores de SRL, porém foi considerado tolerante juntamente com o 059. Ou seja, houve tendência clara de raízes finas estarem relacionadas mais a extração de água no volume de solo, mais imprimindo uma menor condutividade hidráulica da planta (COMAS *et al.*, 2013). Raízes mais grossas são mais importantes na utilização de água em profundidade e possível disponibilização do volume disponível para raízes mais superficiais por elevação hidráulica (COMAS *et al.*, 2013). Isso ocorre quando a estrutura do solo e a natureza da distribuição espacial do sistema radicular da planta permitem (HAMMER *et al.*, 2009). Diâmetros menores de raízes, grandes SRL e incremento na densidade de pelos radiculares ou comprimento pode aumentar a aquisição de água em locais com escassez hídrica e redução do investimento de carbono requerido para aquisição (HAMMER *et al.*, 2009).

Em populações de híbridos de citros, em fases jovens de desenvolvimento de planta, a seleção de genótipos promissores, para uso como porta-enxerto, deve ser não-destrutiva. Assim, estudos *in vivo* de sistema radicular, seja por meio de imagens digitais, em mini rizotrons ou parcialmente destrutivas com amostras coletadas e avaliadas digitalmente sem eliminação da planta, podem ser alternativas para seleção precoce de genótipos.

Figura 1.8. Matriz de correlação de variáveis biométricas e trocas gasosas (MSR, massa seca de raiz; MSPA, massa seca de parte aérea; MST, massa seca total; gs, condutância estomática; R.S, relação entre raiz/parte área; DCR, densidade de comprimento de raiz; AFI e AFF, aérea foliar inicial e final; DCI e DCF, diâmetro do caule inicial e final; API e APF, altura de planta inicial e final; DR, diâmetro de raiz; NFI e NFF, número de folhas inicial e final, diâmetro de raiz nas classes 0-0,5 mm (RC1), 0,5-1,0 mm (RC2), 1,0-1,5 mm (RC3), 1,5-2,0 mm (RC4) e >2,0 mm (RC5) determinadas em 15 genótipos de citros e submetidos a dois regimes hídricos (plantas submetidas à deficiência hídrica contínua e controle).



8. Conclusão

- O déficit hídrico reduz a formação de fitomassa em citros na fase de formação dos genótipos.
- Nas plantas sob estresse hídrico, a fitomassa da parte aérea foi reduzida e a fitomassa da raiz foi incrementada em apenas um genótipo [(TSKC x (LCR x TR) – 073], aumentando a relação R/PA.
- No tocante à variável diâmetro de caule o híbrido TSKC x (LCR x TR) - 40 apresentou valor mais expressivo, indicativo de sua aptidão à enxertia pode se dar em período de tempo inferior ao relativo aos demais genótipos estudados.
- Quanto à tolerância à seca ao estresse hídrico, tendo por base o rendimento relativo de fitomassa total e as condições em que o estudo foi desenvolvido (ambiente com restrição ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas), os genótipos estudados podem ser classificados como tolerantes (T): TSKC x (LCR x TR) - 040, 059 e 073; LVK x LCR - 017, 030, 038, e o limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’, moderadamente tolerantes (MT): tangerineira ‘Sunki Tropical’, TSKC x CTSW - 019, 028, 041; LVK x

LCR 010, 018; e a TSKTR e moderadamente sensíveis (MS): TSKC x CTSW 064 e a tangerineira 'Sunki Maravilha'.

9. Referências

ALVÉS JÚNIOR, J.; CLÁUDIO R. S.; RAFAEL V. R.; TONNY J. A. S.; MARCOS V. F. Crescimento de plantas jovens de limeira ácida 'tahiti' sob lâminas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 170-178, 2005

BLUM, A. **Crop plant water relations, plant stress and plant production in: plant breeding for water-limited environments**. (ed.). New York. Springer, p. 11-45, 2011.

BRITO, M. E. B.; SOARES, L. A.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S.; SÁ, F. V. S.; MELO, A. S. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 857-865, 2012.

COMAS, L. H.; BECKER, S. R.; CRUZ, V. M. V.; BYRNE, P. F.; DIERIG, D. A. Root traits contributing to plant productivity under drought. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 442-470, 2013.

CLAEY, S. H.; INZE, D. The agony of choice: how plants balance growth and survival under water-limiting conditions. **Plant Physiology**, v.162, p. 1768-1779, 2013.

DUTRA, A. D. **Estimação de área foliar e respostas fisiológicas de genótipos citros à deficiência hídrica**. 78 f Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das almas, 2012.

EISSENSTAT, D. M. Costs and benefits of constructing roots of small diameter. **Journal of Plant Nutrition**, v.15, p. 763-782, 1992.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. **Melhoramento genético das culturas e seleção de cultivares**. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Ed.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, p. 363-383, 1997.

FRAGA JÚNIOR, E. F.; MAURI, R.; LEAL, D. P. V.; BARBOSA, F. S.; VELLAME, L. M.; COELHO, R. D. Área foliar de citros irrigado por gotejamento sob estresse hídrico contínuo e intermitente. **Irriga**, v. 1, p. 83-96, 2012.

FURLANI, P. R. Instrução para o cultivo de hortaliça de folha pela técnica de hidropônia – NFT. Campinas: Instituto Agrônomo. 30 p. (**Boletim Técnico**, 168), 1998.

GALBIATTI, J. A.; CAVALCANTE, I. H. L.; CALZAVARA, S. A.; SILVA, V. L.; FREDDI, O. S. Substratos e lâmina de irrigação em espécies cítricas. **Irriga**, v. 10, p. 357-364, 2005.

HAMMER, G. L. Can changes in canopy and/or root system architecture explain historical maize yield trends in the US corn belt? **Crop Science**, v. 49, p. 299-312, 2009.

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.

Instituto brasileiro de geografia e estatística [IBGE]. **Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**. Levantamento sistemático da produção agrícola, v. 24, p.1-82, 2016.

JIANG, M.; ZHANG, J. Water stress-induced abscisic acid accumulation triggers the increased generation of reactive oxygen species and up-regulates the activities of antioxidant enzymes in maize leaves. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 2401-2410, 2002.

MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO E. C.; MACHADO R. S.; RIBEIRO R. V. Efeito da baixa temperatura noturna e do porta-enxerto na variação diurna das trocas gasosas e na atividade fotoquímica de laranjeira 'valência'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p.1161-1170, 2010.

MAGALHÃES, FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, v. 67, p. 75-82, 2008.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e relações hídricas de laranjeira 'valência', enxertada sobre limoeiro "cravo" e poncirus "trifoliata", submetida à deficiência hídrica. **Bragantia**, v.57, p.1-8, 1999.

MENDONÇA, A. V. R.; CARNEIRO, J. G. A.; FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G. Características fisiológicas de mudas de *eucalyptus* spp, submetidas a estresse salino. **Ciência Florestal**, v. 20, p. 255-267, 2010.

NAKHFOROOSH, A.; GRAUSGRUBER, H. KAUL, H. P.; BODNER, G. Wheat root diversity and root functional characterization. **Plant and Soil**, v. 380, p. 211-229, 2014.

NASCIMENTO A. K. S.; FERNANDES P. D.; SUASSUNA, J. F.; OLIVEIRA, A. C. M.; SOUSA, M. S. S.; AZEVEDO, J. G. N. Tolerância de genótipos de citros ao estresse hídrico na fase de porta-enxerto. **Irriga**, Edição especial, p. 438-452, 2012.

NEVES, D. M.; COELHO FILHO, M. A.; BELLETE, B. S.; SILVA, M. F. G. F.; SOUZA, D. T.; SOARES FILHO, W. S; COSTA, M. G. C.; GESTEIRA, A. S. Comparative study of putative 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase and abscisic acid accumulation in the responses of Sunki mandarin and Rangpur lime to water deficit. **Molecular Biology Reports**, v. 40, p.5339-5349, 2013.

OSAKABE, Y.; TRAN, L-S. P. ABA control of plant macroelement membrane transport systems in response to water deficit and high salinity. **New Phytologist**, v.181, p.1-8, 2013.

OSTONEN, I.; PUTTSEPP, U.; BIEL, C.; ALBERTON, O.; BRAKKER, M. R.; LOHMUS, K.; MAJDI, H.; METCALFE, D.; OLSTHOORN, A. F. M.; PRONK, A.; VANGUELOVA, E.; WEIH, M.; BRUNNER, I. Specific root length as an indicator of environmental change. **Plant Biosystems**, v.141, p. 426-442, 2007.

PIERRET, A.; MORAN, C. J.C, DOUSSAN, Generalization of the root length density distribution of cotton under film mulched drip irrigation, *New Phytologist*, v.166, p. 967-980, 2005.

RAMOS, Y. C.; STUCHI, E. S.; GIRARDI, E. A.; LEAO, H.; GESTEIRA, A. D. S.; PASSOS, O. S.; SOARES FILHO, W. D. S. Dwarfing root stocks for Valencia sweet orange. In: **INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS**, v. 12, p. 324-325, 2015.

SANTOS, D. B.; COELHO, E. F.; AZEVEDO, C. A. V. 2005. 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.

SAMPAIO, A. H. **Avaliação de combinações copa-porta-enxerto de citros sob déficit hídrico no solo**. Cruz das Almas. 2014. Tese de doutorado em Ciências Agrárias- Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2014.

SHAO, H. B.; CHU, L.Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. X. Water deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, p. 215-225, 2008.

SINCLAIR, T. R.; ALLEN, J. R. Carbon dioxide and water vapour exchange of leaves on field-grown citrus trees. **Journal of Experimental Botany**, v. 33, p. 1166-1175, 1982.

SMITH, A. M.; STITT, M. Coordination of carbon supply and plant growth. **Plant, Cell & Environment**, v. 30, p. 1126-1149, 2007.

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

SOARES, L. A. A.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S. DE.; SOARES FILHO, W. S.; OLIVEIRA, E. S. Crescimento de combinações copa - porta-enxerto de citros sob estresse hídrico em casa de vegetação. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p. 211-217, 2015.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; NASCIMENTO, R.; OLIVEIRA, A. C. M.; BRITO, K. S. A.; MELO, A. S. Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p. 1305-1313, 2012.

VIEIRA, A. C. S; VIANA, M. D. M.; SILVA NETO, G. J.; PÓVOAS, F. T. X.; CAMPESATTO, E. A. Potencial ansiolítico do gênero *Citrus*: revisão integrativa da literatura. **Arquivo de Ciência da Saúde da UNIPAR**, v. 20, p. 73-79, 2016.

CAPÍTULO 2: EFEITO DO SISTEMA DE PLANTIO E DE CAMADA DE IMPEDIMENTO FÍSICO NO SISTEMA RADICULAR DE CITROS

RESUMO - A baixa produtividade de pomares de citros nos tabuleiros costeiros do Nordeste brasileiro é atribuída principalmente pela sazonalidade das chuvas e presença de solos coesos. Os solos são responsáveis pelo impedimento físico ao desenvolvimento radicular e baixa aeração. A semeadura do porta-enxerto no local definitivo de plantio (PD), tem sido praticada por alguns produtores e tem por finalidade favorecer o aprofundamento do sistema radicular, desde que a raiz pivotante cresce livremente e intacta, e a manutenção do bom status hídrico das plantas nos períodos mais secos do ano. O presente trabalho visou investigar os efeitos da presença de impedimento mecânico artificial no sistema radicular de dois genótipos de citros, cultivados em colunas com areia e solução nutritiva. Dois sistemas de cultivo foram estudados: semeadura direta (PD) e plantio de *seedlings* (plantas obtidas da germinação de sementes) nucelares desenvolvidas em tubetes (plantio convencional - PC). Os genótipos usados a tangerineira 'Sunki Maravilha' (sensível ao déficit hídrico) e o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (tolerante ao déficit hídrico). Dois experimentos foram desenvolvidos: o primeiro para verificar os níveis de resistência mecânica impeditivas à penetração do sistema radicular para dois sistemas de plantio (PD e PC); e o segundo, a partir do nível crítico estabelecido no primeiro experimento, avaliar os efeitos dos sistemas de plantio e impedimentos físicos no limoeiro 'Cravo Santa Cruz'. O delineamento experimental em ambos os experimentos foi em blocos casualizados, sendo o primeiro em esquema fatorial (2x4) com 4 repetições e o segundo fatorial 2x2 com 6 repetições. Constatou-se que impedimento físico com resistência \geq a 1,67 MPa limitou completamente a penetração das raízes no camada coesa artificial. A presença de estruturas compactadas diminui a exploração do sistema radicular de citros em ambos os sistemas de plantio. O PC associou-se ao maior vigor de raiz e parte aérea, indicando que em solos com boa estrutura física e porosidade ou que permitam o aprofundamento radicular além da camada coesa, esse sistema de plantio é plenamente adequado a despeito do possível benefício de não cortar a raiz pivotante na semeadura direta.

Palavras chaves: compactação, camada coesa artificial, sistema radicular

THE EFFECT OF PLANTING SYSTEMS AND STRENGTH LAYER ON CITRUS ROOT SYSTEM

ABSTRACT - The low productivity of citrus orchards in the coastal plains of Brasil Northeast has been related to seasonality of rainfall and the presence of cohesive soils. The cohesive layers are responsible for the physical strength to root development and low aeration. To cope with this abiotic stress, producers are sowing the rootstock at the definitive site of planting, whose purpose is to promote the root system deepening, since the taproot growing freely and intact, and the maintenance of good water status of the plants in the driest periods of the year. The present work aimed to investigate the effects of the presence of artificial strength layer to root system deepening of two citrus genotypes, grown in columns with sand and nutrient solution. Two planting systems were evaluated: direct seeding (DS) and planting of seedlings (PS) (plants obtained from seed germination). The genotypes were 'Sunki Maravilha' mandarin (sensitive to water deficit) and 'Cravo Santa Cruz' lemon tree (tolerant to water deficit). Two experiments were carried out: the first to investigate the levels strength of wax layer on root penetration and two planting system (DS and PS); and the second, the effects of planting systems and strong layer on root system of 'Cravo Santa Cruz' lemon tree. The experimental design was randomized blocks, the first experiment in a factorial scheme (2x4) with 4 replications and the second a factorial (2x2) with 6 replications. The strength ≥ 1.67 MPa (60% hard wax and 40 of soft) completely limited the penetration of the roots in the artificial strong layer. The presence of strong layer structures reduces citrus root system in both planting systems. The PS was associated with greater root and shoot vigor, indicating that soils with a good physical structure and porosity allowing deepening beyond the cohesive layer, this planting system is fully adequate despite to the possible benefit of no cutting the taproot in direct sowing.

Key words root penetration, soil cohesive layer, artificial strength layer, root system, Wax-layer

10. Introdução

A compactação é um problema frequente em solo com baixos teores de matéria orgânica, onde há restrições ao desenvolvimento de organismos, a exemplos de minhocas, responsáveis pela melhoria de sua estruturação física (macro e microporosidade). O impedimento mecânico do solo é uma grande limitação para os sistemas de produção agrícola, a menos que existam redes de canais ou bioporos para as raízes explorarem (WHITE e KIRKEGAARD, 2010). Em solos australianos, por exemplo, com elevada densidade, o crescimento das raízes de trigo em subsolos compactados é quase inteiramente atribuído aos bioporos.

Algumas fazendas de plantio direto usam rotações para incentivar a formação de bioporos/canais (PASSIOURA, 2002). Outra alternativa utilizada é a aplicação de gesso para alterar a estrutura do solo e a estabilidade dos agregados, essas medidas são usadas para facilitar o crescimento das raízes à camadas mais profundas, superando assim a zona compactada (BATEY, 2009).

Segundo Bronick e Lal (2005), a macroporosidade do solo é reduzida em sistemas de plantio direto, induzindo transformações e reorganizações morfoestruturais ao longo do perfil do solo, atuando também na diferenciação do volume de solo explorado pelas raízes, quando comparado ao sistema de preparo do solo de forma convencional.

No sistema de plantio direto, Genro Júnior *et al.* (2004) observaram maior compactação nas camadas superficiais, comparado aos sistemas que envolveram a mobilização do solo entre 0,20 e 0,30 m de profundidade. O aumento da resistência do solo reduz ou até cessa o desenvolvimento radicular, dependendo da espécie (BEULTER e CENTURION, 2004).

O impacto do secamento do solo no desenvolvimento e produtividade das plantas e na arquitetura e morfologia radicular e muito bem descritos na literatura (SOUZA *et al.*, 2008; SANTANA *et al.*, 2006). A interação dos horizontes coesos dos Tabuleiros Costeiros com o clima favorece o problema de deficiência de água no solo e, conseqüentemente estresse nas plantas (SOUZA *et al.*, 2004). No entanto, nesses solos a citricultura tem um importante papel econômico e social (SOUZA *et al.*, 2008).

Os Tabuleiros Costeiros possui uma camada subsuperficial coesa, situada geralmente entre profundidades de 0,15-0,30 m e 0,80-0,90 m, reduzindo assim a dinâmica da água no perfil do solo como também no seu armazenamento (SANTANA *et al.*, 2006). Desta forma, o manejo do solo pelo produtor repercute diretamente na distribuição das raízes, permitindo maior ou menor exploração do solo (SOUZA *et al.*, 2008).

A avaliação da distribuição do sistema radicular de cinco porta-enxertos [Limão Volcameriano Palermo e Catânia (*Citrus volkameriana* Pasquale), Limão Cravo (*Citrus limonia* Osbeck), Limão Rugoso da Flórida (*Citrus jambhiri* Lush) e Tangerina Cleópatra (*Citrus reshni* Hort. ex Tan)] de citros em um Argissolo Acinzentado de tabuleiro mostrou que, em função da restrição ao aprofundamento do sistema radicular imposta pela camada coesa, em média 61% das raízes localizaram-se na profundidade de 0-0,20 m e 90% na de 0-0,40 m (Cintra *et al.*, 1999). Resultados semelhantes foram obtidos por Carvalho *et al.* (1999), Souza *et al.* (2004) e Santana *et al.* (2006), também em solos coesos de tabuleiro.

A resistência de penetração é citada em muitos trabalhos como sendo a causa maior das quedas de produção de citros nos tabuleiros costeiros (SANTANA *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2008). Nesse aspecto o presente trabalho objetivou avaliar o comportamento da tangerineira 'SunKi Maravilha' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka]

e do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (*C. limonia* Osbeck) sob resistências mecânicas aplicadas, através da camada coesa artificial, nos sistemas de plantio.

11. Materiais e Método

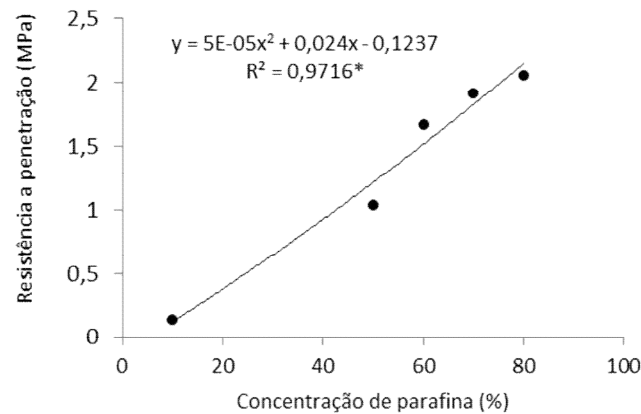
O trabalho foi conduzido de setembro de 2015 a janeiro de 2016 em casa de vegetação da Embrapa Mandioca e Fruticultura em Cruz das Almas, BA (12° 40' 12" S, 39° 06' 07" W, 226 m). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é uma transição do tipo Am a Aw (tropical subúmido a seco). O estudo foi desenvolvido utilizando dois genótipos de citros utilizado como porta-enxertos contrastantes quanto à tolerância à seca (SAMPAIO *et al.*, 2016): limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (tolerante à seca) e tangerineira 'Sunki Maravilha' (mais sensível à seca). O trabalho foi dividido em dois experimentos. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação com temperaturas médias de 24,5 e 21,5 °C, para o primeiro e segundo experimento respectivamente. A umidade relativa apresentou média de 70% no primeiro experimento e de 80% no segundo.

1° Experimento:

Foram simulados artificialmente os efeitos de camadas coesas artificiais com diferente níveis de resistências à penetração do sistema radicular, visando encontrar o limite impeditivo para plantas de 'Sunki Maravilha'. As camadas coesas foram artificialmente elaboradas com base em discos de parafina. Nesse experimento foram considerados também dois sistemas de cultivo: plantio direto (PD) e plantio de *seedlings* (plantas obtidas da germinação de sementes) nucelares desenvolvidas em tubetes (plantio convencional - PC).

Possíveis diferenças quanto à idade de plantas cultivadas nesses dois sistemas de plantio foi evitada procedendo-se a semeadura direta simultaneamente ao plantio das mudas em tubetes. Passado 60 dias as mudas foram transplantadas para os tubos de PVC, representando o plantio convencional (PC), quando as sementes foram semeadas diretamente nos tubos de PVC representando o plantio direto (PD). Para confecção dos discos de parafina, que simularam a camada coesa artificial, misturou-se parafina em forma de lentilha (56-58 °C Ponto de fusão) com cera quente industrializada de textura cremosa, (60 °C Ponto de fusão). A proporção parafina-cera definiu a resistência adotada, variando de 0,14 a 2,06 MPa, com as seguintes concentrações: 10%, 60%, 70% e 80% (Figura 2.1). O experimento foi conduzido em blocos casualizados com quatro repetições, perfazendo 32 tubos na totalidade.

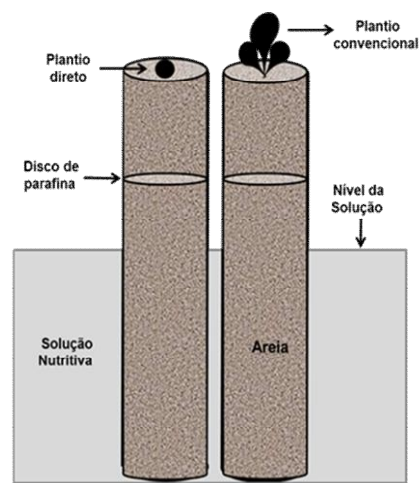
Figura 2.1: Relação entre concentração da parafina dura (%) nos valores de resistência à penetração das raízes determinados em penetrômetro de bancada (modelo MA933). Cada ponto corresponde à média de três medidas.



A mistura foi despejada em um molde circular de folha de papel alumínio e preenchida para que a espessura do disco confeccionado fosse de 3 mm com diâmetro de 14,7 cm, conforme Clark *et al.* (2000) (Figura 2.2).

As plantas foram cultivadas em tubos PVC de 0,15 m de diâmetro externo e 0,50 m de comprimento, contendo areia lavada e esterilizada. No processo de preenchimento foi adicionado, a uma profundidade de 0,10 m, um disco de parafina, representando a camada coesa artificial, em sistema parecido com os estudos de Clark *et al.* (2000) e Coelho Filho *et al.* (2013). Foi semeada uma única planta por tubo, esses tubos foram acondicionados em caixa de alumínio (0,40 m x 0,70 m x 0,55 m) contendo uma solução nutritiva com a seguinte composição: 5,0 mM de KNO_3 , 3,0 mM de $Ca(NO_3)_2 \cdot 5H_2O$, 1,3 mM $NH_4H_2PO_4$, 1,6 mM $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 58 μM $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 29 μM H_3BO_3 , 10 μM $MnSO_4 \cdot H_2O$, 1,0 μM $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,9 μM $CuSO_4$, 0,2 μM $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ (FURLANI, 1998). Durante o experimento manteve-se a lâmina a 30 centímetros de altura, garantido bom suprimento de água a planta em todo perfil de areia. Uma pequena abertura de 1 mm entre a parede do tubo e a parafina permitiu, por ação capilar, que a solução nutritiva da caixa nutrisse as plantas do tubo. Todo sistema foi aerado 24 horas, evitando assim qualquer tipo de estresse abiótico, salvo o impedimento simulado. (Figura 2.2).

Figura 2.2 - Sistema de crescimento, mostrando a disposição da camada de parafina no núcleo de areia em dois sistemas de plantio.



2° Experimento:

Nesse experimento foram testadas respostas morfofisiológicas do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC) que é utilizado como porta-enxerto a dois níveis de impedimento físicos: 0,14 e 1,04 MPa, correspondendo a concentrações de parafina dura em relação à cera (mole) de 10% e 50%, definidos com base no 1° experimento. Os procedimentos metodológicos desse experimento foram os mesmos do 1° experimento.

Avaliações morfofisiológicas

Os dois experimentos foram finalizados aos quatro meses após plantio, quando foram coletados os seguintes dados de crescimento e fisiológicos: número de folhas (NF), altura de planta (ALT), área foliar (AF), comprimento de raiz (CR), diâmetro de raiz (DR), massa seca da raiz (MSR) e da parte aérea (MSPA), e condutância estomática (gs).

Para determinação da área foliar total das plantas (cm^2), foi realizada medida de comprimento e largura de todas as folhas expandidas. Para cada folha, os valores medidos foram multiplicados por um fator de ajuste igual a 0,72 para folhas simples (laminar), segundo (COELHO FILHO *et al.*, 2012); altura das plantas (cm) foi medida tomando-se como referência a distância do colo da planta até a inserção da última folha formada. As raízes coletadas em cada tubo (acima e abaixo do disco de parafina) foram lavadas e acondicionadas em álcool 30% e refrigeradas até o processo de digitalização das imagens em escâner. O processamento das imagens foi realizado por meio do software WinRizho, versão 2013d, resolução de 400 dpi. As seguintes variáveis foram avaliadas: diâmetro médio de raiz (mm) e comprimento total de raiz. Em relação ao experimento 2, o diâmetro de raiz foi subdividido em quatro classes: 0-1,5; 1,5-3,0; 3,0-4,5 e > 4,5.

Para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), as amostras foram mantidas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, pelo período de 72 horas, antes da pesagem em balança de precisão.

Análise estatística

O delineamento utilizado em ambos os experimentos foi em blocos casualizados. No primeiro, em esquema fatorial (4x2), foram avaliados dois fatores: impedimento físico promovido pela camada coesa artificial (quatro níveis) e dois sistemas de plantio. O experimento teve quatro repetições por tratamento. No segundo experimento, também fatorial (2x2), os fatores foram: dois níveis de impedimento físico promovido pela camada coesa e dois sistemas de plantio. Cada tratamento teve seis repetições, perfazendo 24 unidades experimentais. Para ambos os experimentos os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ou por meio de regressões polinomiais ou lineares para as variáveis em resposta aos níveis de impedimentos físicos testados, quando verificados os efeitos significativos para os fatores ou interações.

12. Resultados

1° Experimento

A resistência à penetração aumentou com a porcentagem de parafina adicionada aos discos confeccionados, atingindo 2,06 MPa a 80% de parafina-cera (Figura 2.1). A concentração de 10% de parafina, usada no tratamento controle promoveu resistência à penetração de 0,14 MPa. A resistência imposta pela concentração a 60% foi limitante para penetração do sistema radicular, correspondendo a 1,67 MPa.

Não houve interação entre sistema de plantio e impedimento físico para as variáveis relacionadas à parte aérea da planta ($p > 0,05$) (Tabela 2.1). O sistema de plantio afetou o crescimento das plantas, quando a área foliar (AF) no sistema convencional foi superior (15,7%), comparado ao plantio direto (Figura 2.3). A altura de plantas não foi sensível a esse fator (Figura 2.4). Referente ao impedimento físico, houve efeito na altura das plantas ($p < 0,01$), mas não para AF total. A MSPA não apresentou efeito significativo para nenhuma fonte de variação (Tabela 2.1). O impedimento físico provocado pela camada coesa artificial promoveu um decréscimo quadrático, acarretando redução no crescimento, em altura de planta (ALT), na ordem de 11% para impedimento de 2,06 MPa, comparado ao controle (Figura 2.4).

Tabela 2.1 - Efeito estatístico e médias de altura de planta (ALT), da área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA), em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade da tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], com potencial de uso como porta-enxertos, sob a camada coesa artificial.

Fonte de variação	ALT	AF	MSPA
Sistemas de plantio (SP)	0,0680 ^{ns}	0,0032 ^{**}	0,6076 ^{ns}
Níveis de impedimento (NI)	0,0160 ^{**}	0,9829 ^{ns}	0,8694 ^{ns}
Interação SP x NI	0,1516 ^{ns}	0,6154 ^{ns}	0,7206 ^{ns}
Médias	g	cm	g
Plantio direto (PD)	11,2875 a	3,4293 b	0,4243 a
Plantio convencional (PC)	10,7000 a	3,955 a	0,3906 a
DMS	0,6350	0,3281	0,0457

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e diferença mínima significativa para as variáveis em estudo.

Figura 2.3: Área foliar em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade da tangerineira ‘Sunki Maravilha’ [*C.sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], com potencial de uso como porta-enxerto, sob sistemas de plantio. Barras indicam erro padrão da média (n=4). Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatística (p<0,05) entre os sistemas de plantio (PD e PC).

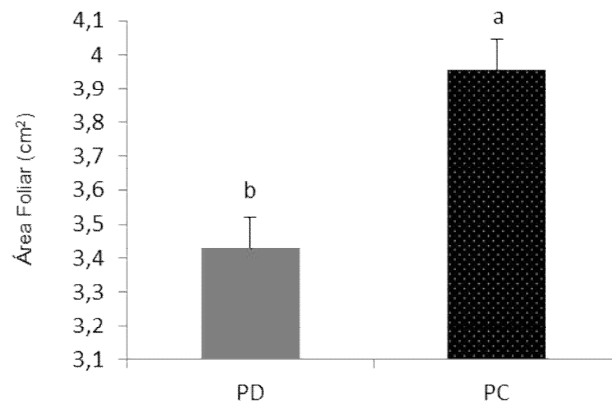
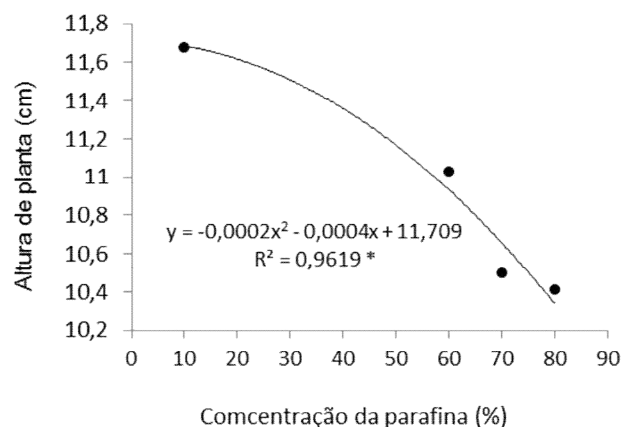


Figura 2.4: Altura de planta em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade da tangerineira ‘Sunki Maravilha’ [*C.sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], com potencial de uso como porta-enxerto, em função dos níveis de impedimento aplicados.



Houve interação entre sistema de plantio e impedimento físico para todas as variáveis do sistema radicular. Havendo também respostas aos fatores isoladamente.

Foi verificado efeito do impedimento físico (p<0,01) da interação para a massa seca da raiz, comprimento total e comprimento de raiz acima e abaixo do impedimento físico aplicado. Para a massa seca da raiz, o plantio direto foi estatisticamente superior o plantio convencional na ordem de 33% (Tabela 2.2).

Tanto no PD como no PC o tratamento controle (10% de parafina-cera) teve o comprimento principal da raiz ocorrendo no sentido vertical, enquanto nas demais concentrações as raízes laterais apresentaram crescimento no sentido vertical/horizontal, ressaltando que nas concentrações ≥ 60% de parafina ocorreram o achatamento das raízes acima do impedimento físico.

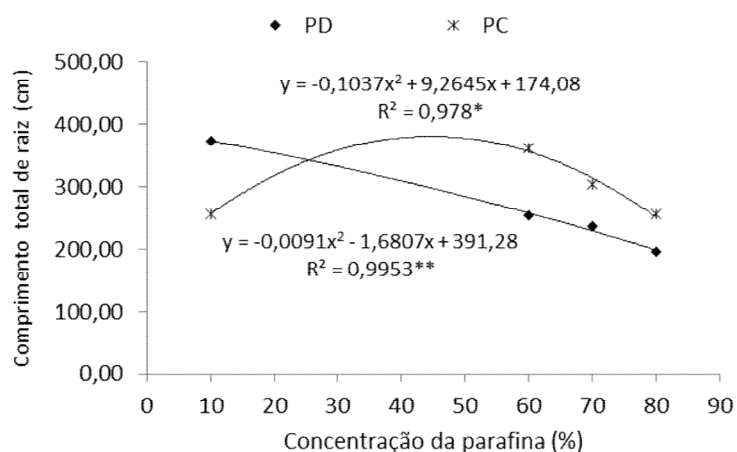
Tabela 2.2 - Efeito estatístico da concentração da parafina no comprimento de raiz acima do impedimento (CR AC) e abaixo (CR AB), na massa seca da raiz (MSR) e no comprimento total de raiz (CTR) da camada coesa artificial no plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade da tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C.sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], com potencial de uso como porta-enxerto.

Fonte de variação	CR AC	CR AB	MSR	CTR	DR
Sistemas de plantio (SP)	0,0000 **	0,0178 **	0,0020 **	0,0002 **	0,2115 ns
Níveis de impedimento (NI)	0,0000 **	0,0000 **	0,0000 **	0,0009 **	0,0000 **
Interação SP x NI	0,0000 **	0,0003 **	0,0009 **	0,0000 **	0,0059 **
Médias	cm	cm	g	cm	mm
Plantio direto (PD)	11,2875 a	3,4293 b	0,3375 a	355,4443 a	0,6250 a
Plantio convencional (PC)	10,7000 a	3,955 a	0,2281 b	261,8562 b	0,6512 a
DMS	0,6350	0,3281	0,0644	73,1973	0,0423

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e diferença mínima significativa para as variáveis em estudo.

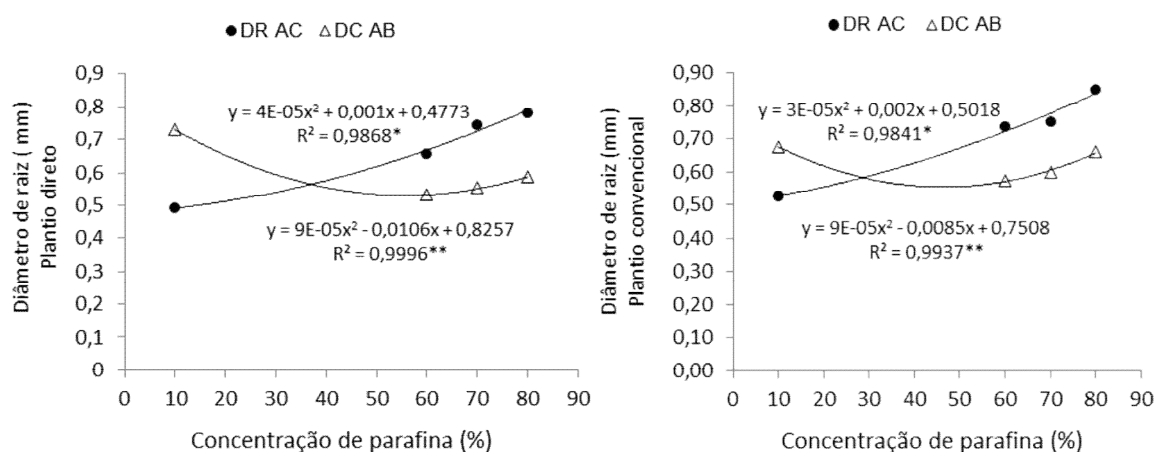
Para o comprimento de raiz (CRAC e CRAB) houve interação significativa ($p \leq 0,05$) em função das resistências testadas, ou seja, o aumento das resistências promoveu o decréscimo linear no comprimento de raiz no sistema de plantio convencional, o plantio direto, no entanto, apresentou um ligeiro crescimento do sistema radicular até atingir o limiar de penetração das raízes (60% de parafina-cera). O sistema de plantio direto foi estatisticamente superior ($p \leq 0,05$) ao plantio convencional, apresentando 26,5% a mais de raízes no total (Figura 2.5).

Figura 2.5: Efeito da concentração da parafina no comprimento total de raiz na camada coesa artificial nos plantio direto (PD) e plantio convencional (PC) em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade da tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C.sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], com potencial de uso como porta-enxerto.



O aumento da resistência física à penetração afetou o diâmetro de raízes com aumento das raízes estruturais e fibrosas em relação às finas, responsáveis pela absorção de água e nutrientes. A resposta foi positiva para a região acima da camada coesa artificial e negativa para pontos abaixo, o que explicou a interação (Figura 2.6).

Figura 2.6 - Efeito da concentração da parafina no diâmetro de raiz acima (DR AC) e abaixo (DR AB) na camada coesa artificial nos plantio direto (PD) e plantio convencional (PC). em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses da tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C.sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], com potencial de uso como porta-enxerto.



2º Experimento

Não houve interação dos níveis de impedimento e sistemas de plantio para as variáveis analisadas (Tabela 2.3). Apenas o sistema de plantio afetou as variáveis de crescimento: altura de planta (ALT), diâmetro de caule (DC), área foliar (AF), massa seca da parte área (MSPA), sendo o plantio convencional sempre superior estatisticamente ao plantio direto, na ordem de 48%, 27%, 39% e 51% respectivamente (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Efeito estatístico e médias em *seedling* nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (*C. limonia* Osbeck) com potencial de uso como porta-enxerto, em altura de planta (ALT), área foliar (AF), diâmetro do caule (DC) e massa seca da parte área (MSPA), sob a camada coesa artificial no plantio direto (PD) e plantio convencional (PC).

Fonte de variação	ALT	DC	AF	MSPA
Sistemas de plantio (SP)	0,0000 **	0,0003 **	0,0004 **	0,0010 **
Níveis de impedimento (NI)	0,6764 ns	0,8472 ns	0,5959 ns	0,6134 ns
Interação SP x NI	0,2909 ns	0,3518 ns	0,0840 ns	0,4887 ns
Médias	cm	mm	cm ²	g
Plantio direto (PD)	8,7416 b	2,1616 b	11,6041 b	0,2308 b
Plantio convencional (PC)	16,9650 a	2,9691 a	19,1316 a	0,6100 a
DMS	2,9206	0,3715	3,5371	0,1631

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e diferença mínima significativa para as variáveis em estudo.

Assim como as variáveis relacionadas a parte aérea, os sistemas de plantio impactaram o sistema radicular das plantas ($p>0,01$), quando também o plantio convencional promoveu aumento de comprimento total de raízes, massa seca de raízes, comprimento abaixo e acima do impedimento, diâmetro de raiz em comparação ao plantio direto, na ordem de 62%, 58%, 49%, 11% e 58% respectivamente. (Tabela 2.4). Assim, como verificado na parte aérea, não houve efeito do impedimento físico no comprimento total de raiz, na massa seca de raiz, no comprimento abaixo e acima do impedimento, e no diâmetro de raiz.

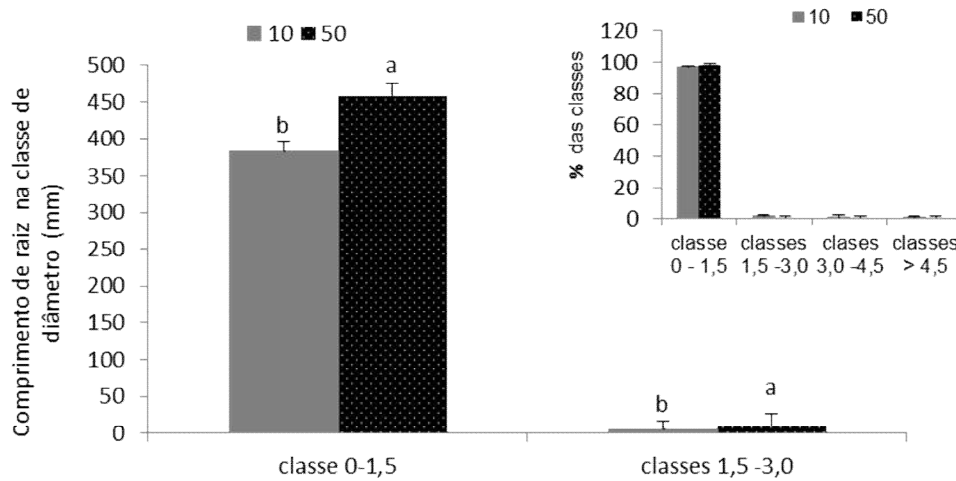
Tabela 2.4 - Efeito estatístico da concentração da parafina em *seedling* nucleares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade no limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (*C. limonia* Osbeck) relativamente ao comprimento total de raiz (CTR), comprimento de raiz acima (CRAC) e abaixo (abaixo) do impedimento, massa seca da raiz (MSR) diâmetro de raiz (DR), na camada coesa artificial no plantio direto (PD) e no plantio convencional (PC).

Fonte de variação	CR AC	CR AB	CTR	MSR	DR
Sistemas de plantio (SP)	0,000 **	0,000 **	0,000 **	0,002 **	0,000 **
Níveis de impedimento (NI)	0,196 ns	0,576 ns	0,060 ns	0,180 ns	0,186 ns
Interação SP x NI	0,183 ns	0,694 ns	0,487 ns	0,957 ns	0,237 ns
Médias	cm	cm	cm	g	mm
Plantio direto (PD)	204,709 b	92,9641 b	297,673 b	0,2308 b	0,4915 b
Plantio convencional (PC)	352,723 a	187,1816 a	539,904 a	0,6100 a	0,6875 a
DMS	48,8531	21,5302	73,1973	0,1631	0,0543

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e diferença mínima significativa para as variáveis em estudo.

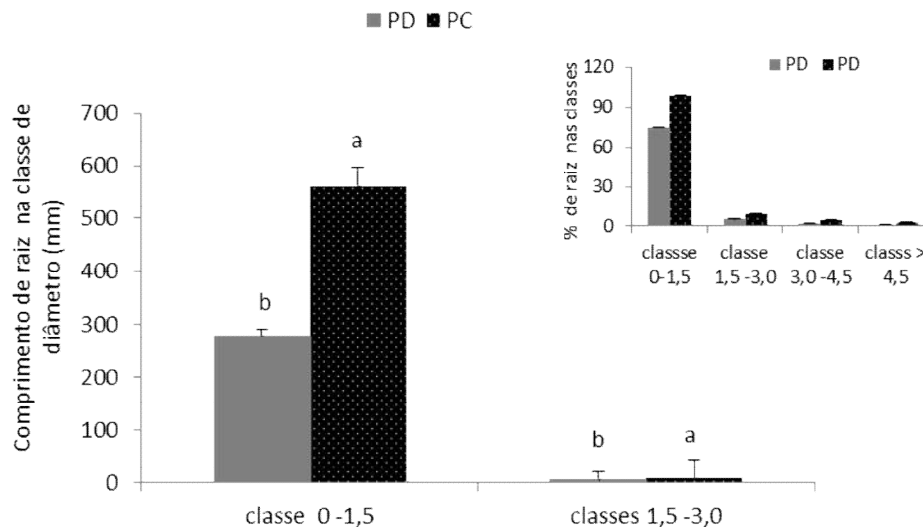
Analisando-se o sistema radicular ao se considerar o comprimento de raízes em suas diferentes classes (0-1,5; 1,5-3,0; 3,0-4,5; >4,5 mm), também não foram verificadas interações para nenhuma classe de diâmetro avaliada. No entanto, para as classes de diâmetro 0-1,5 e 1,5-3,0 mm houve efeito do impedimento físico aplicado (Figura 2.7).

Figura 2.7 - Comprimento de raiz nas classes de diâmetro, 0-1,5 e 1,5-3,0 (mm), nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade no limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (*C. limonia* Osbeck). Barras indicam erro padrão da média sob os níveis de impedimento (n=6). Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,05$) entre os níveis de impedimento.



Houve efeito dos sistemas de plantio para as classes de diâmetro 0-1,5 e 1,5-3,0 mm. Ficando comprovada a diferença bem elástica quanto às raízes finas em ambos os sistemas de plantio, ressaltando que o plantio convencional foi estatisticamente superior ao plantio direto nessas classes de diâmetro (Figura 2.8).

Figura 2.8 - Comprimento de raiz nas classes de diâmetro, 0-1,5 e 1,5-3,0 (mm), nucelares (plantas oriundas da germinação de sementes) com quatro meses de idade no limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (*C. limonia* Osbeck). Barras indicam erro padrão da média sob os níveis de impedimento (n=6). Letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística ($p < 0,05$) entre os sistemas de plantio.



13. Discussão

A presença do disco de parafina com resistência à penetração $\geq 1,6$ MPa limitou o aprofundamento de raízes de *seedling* nucelares da tangerineira 'Sunki Maravilha' e do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' independente do sistema de plantio estudado. Este valor é inferior ao preconizado como crítico de 2,0 MPa em nível de campo (TORMENA *et al.*, 1998), quando há redução de 50% do sistema radicular das plantas (GREGORY *et al.*, 2009), contudo os valores são próximos aos encontrados para outras culturas como 1,1 MPa para o arroz (CLARCK *et al.*, 2000) e 1,56 MPa para trigo (WHALEY *et al.*, 2015) em sistemas de cultivo parecidos com o adotado no presente trabalho. Ao se limitar o avanço de raízes para camadas mais profundas, pelo impedimento físico, há redução da altura de planta (Figura 2.4) e aumento do diâmetro acima do impedimento físico aplicado (Figura 2.6).

Ficou evidente que com resistência $\geq 1,6$ MPa as raízes se concentraram na camada superior ao impedimento (0-10 cm), mas com resistências abaixo desse valor as raízes conseguem superar o impedimento e se expandirem gradativamente a maiores profundidades. Esses resultados corroboram estudos de distribuição radicular tanto em campo como em ambiente protegido, como os encontrados por Santana *et al.* (2006), Silveira *et al.* (2008), Souza *et al.* (2008). Quando em solos dos Tabuleiros Costeiros, com elevada densidade do solo e baixa macroporosidade no horizonte coeso, a elevação da resistência do solo à penetração de raízes e a redução do espaço poroso tem efeito marcante na distribuição das raízes das plantas cultivadas Santana *et al.* (2006), confinando-as na superfície do solo.

Em nível de campo, Carvalho *et al.* (2006) e Sadras *et al.* (2005) encontraram, em solos compactados, resultados similares para o sistemas de plantio direto, onde o maior comprimento radicular ocorreu até 0,05 m, diminuindo gradativamente na camada subsuperficial do solo, refletindo mudanças morfológicas das raízes (comprimento e diâmetro de raiz) em função da compactação do solo, sendo similares aos resultados obtidos neste trabalho.

Quando há limitação total à passagem radicular (Experimento 1), não houve diferenças no diâmetro de raízes entre os sistemas indicando que intrinsecamente não existem diferenças quanto à capacidade em penetrar solos coesos. Os diâmetros de raízes verificados no Experimento 1 foram superiores ao segundo experimento considerando a semeadura direta (52%) e plantio convencional (25%), tipicamente resposta à maior resistência à penetração do primeiro (GREGORY *et al.*, 2009). Os maiores valores de diâmetro de raiz no sistema convencional de plantio, quando não houve limitação ao avanço radicular, sugerem maior capacidade dessas plantas em explorar solos mais duros, o que vem de encontro às premissas de ganhos com a semeadura direta. O aumento do diâmetro radicular agregado aos efeitos do maior comprimento total de raízes no sistema convencional de plantio sugerem plantas com maior capacidade em explorar o solo, de transportar água hidráulicamente, indicando uma maior condutividade hidráulica nesse sistema (COMAS *et al.*, 2013), porém com maior sensibilidade à cavitação pelo aumento da condutância hidráulica.

Interações entre os fatores (sistemas de plantio e níveis de impedimento) para variáveis do sistema radicular ocorreram pela divergência entre respostas dos sistemas testados aos níveis de impedimento. Os resultados indicam que o aprofundamento radicular não explica qualquer resposta de crescimento de plantas quando há limitações para o desenvolvimento radicular, por exemplo com a presença de impedimento, e que plantas semeadas diretamente, supostamente com maior capacidade de aprofundamento radicular, possuem maior capacidade de

exploração da superfície do solo, uma vez que proporcionaram aumento da densidade de comprimento radicular. A habilidade das plantas em aumentar a densidade radicular acima da camada coesa explica a presença elevada da maior concentração de raízes nos solos coesos da região dos Tabuleiros Costeiros (SANTANA *et al.*, 2006; SILVEIRA *et al.*, 2008, CARDOSO *et al.*, 2006), sendo as zonas mais superficiais do solo onde ocorrem maior extração de água pelas plantas.

Plantas com maior capacidade de exploração superficial, associada ao aumento da densidade de comprimento de raízes, são mais capazes de adquirir nutrientes de baixa mobilidade no solo, como o fósforo (LYNCH, 2011). Já a tolerância à seca está mais associada ao aprofundamento radicular (adaptação podendo ser alcançada pela plasticidade genotípica) (e sem deixar de considerar as interações com o solo) (HAMER *et al.*, 2016).

Porém quando há imposição de limitação física ao aprofundamento, a habilidade em explorar profundamente os solos pode não se dar pela capacidade de penetrar solos compactados e sim pela capacidade de localizar a presença de porosidades, seja promovida por organismos vivos, como minhocas, ou fissuras que podem ser criadas pela decomposição radicular de cultivos preestabelecidos em sucessões ou áreas com estruturas de solos sem compactação, que podem ocorrer em solos mais argilosos (GAO *et al.*, 2016). Nesse caso, a penetração de raízes em grandes profundidades depende dos quão bem as raízes são capazes de encontrar conexões entre poros, mais do que a capacidade de deformação de solos duros, sendo as diferenças entre tipos de solo e manejo os fatores mais importantes (GAO *et al.*, 2016). Souza *et al.* (2002) observaram a presença e o aprofundamento de raízes de citros bem maiores em um solo quimicamente mais pobre, porém sem coesão, em comparação com dois outros solos quimicamente mais ricos, mas com coesão, permitindo inferir que, no caso, o aspecto coeso sobrepujou as condições químicas do solo.

A incapacidade de aprofundamento pode explicar o fato de que mesmo em períodos de seca quando toda água disponível foi esgotada na superfície do solo, substancial conteúdo de água permanece em maiores profundidades (WHALLEY *et al.*, 2006, 2008; WHITE e KIRKEGAARD, 2010). Portanto, as plantas possuem capacidade de remobilização de nutrientes “trades-off” para aumentar a capacidade de exploração de superfície de solo quando há limitação de disponibilidade de fósforo, nutriente geralmente pouco concentrado em maiores profundidades; e para o aprofundamento radicular quando há limitações de disponibilidade de água. A seleção de genótipos para um estresse abiótico específico pode aumentar a sensibilidade para outro (HO *et al.*, 2005).

O uso do plantio convencional, comparativamente ao plantio direto, promoveu um maior desenvolvimento do sistema radicular com impedimento físico $\leq 1,6$. Isso pode ser explicado porque nesse sistema de plantio já existia estrutura de raízes secundárias favorecendo o aumento de raízes de absorção, ressaltando também que o limoeiro Cravo Santa Cruz apresenta um sistema radicular bastante vigoroso, rompendo facilmente o impedimento físico (Tabela 2.4). Portanto, no modelo estudado, quando não há restrição nutricional ou físico-hídrica ao desenvolvimento abaixo do impedimento, plantas no plantio convencional têm a capacidade de aumentar a densidade de comprimento de raízes e sua capacidade de absorção, uma vez que aumentaram a densidade de comprimento de raízes finas comparativamente, nada podendo ser afirmado sobre a capacidade de aprofundamento radicular, que poderia estar associado a possíveis mudanças no ângulo radicular (MANSCHADI *et al.*, 2008; WHALLEY *et al.*, 2013). Esse comportamento associa-se a estruturas mais verticais, atribuídas a plantas sob

semeadura direta, que não foram detectadas no modelo estudado, independentemente do nível de impedimento físico.

Interessante que as plantas cultivadas sem limitação física (0,14 MPa) e PC manifestaram maior comprimento total de raízes. Por isso, a interação (sistema de plantio e impedimento físico) ocorrida no primeiro experimento foi promovida devido ao fato de se determinar o limiar crítico de penetração do sistema radicular, o mesmo não ocorrendo no segundo experimento, pois o impedimento físico testado foi rompido facilmente. Desta forma, as raízes cresceram abaixo do impedimento de forma a nutrir satisfatoriamente as plantas, não ocorrendo assim a diferença entre os tratamentos. Nesse experimento nenhum dos sistemas de plantio apresentou maior capacidade em penetrar a camada de parafina, uma vez que não houve interação sistema de plantio e impedimento físico. Independentemente do sistema de plantio, as plantas foram capazes de explorar o solo abaixo do impedimento com apenas um único furo na parafina diferentemente do que ocorre em plantas com raízes fasciculadas (WHALLEY *et al.*, 2013; CLARK *et al.*, 2000). Isso não corrobora que haverá aumento da capacidade de aprofundamento pela presença de raízes pivotantes intactas. E sim que a estrutura do solo explicaria melhor a distribuição em profundidade do sistema radicular das plantas em nível de campo, considerando que no sistema trabalhado não havia limitações nutricionais e de aeração. Mesmo porque houve maior quantidade de raiz abaixo do impedimento do sistema convencional de plantio. Nesse contexto, fator relacionado à estrutura de distribuição das raízes relacionada ao ângulo de distribuição lateral pode afetar a sua exploração em profundidade, conferindo maior tolerância à seca sendo a possível chave para a adaptação em ambientes secos (MANSCHADI *et al.*, 2006). Nesse sentido, estudos de, variabilidade genotípica são importantes na seleção de plantas para absorção de água e nutrientes (LYNCH, 2011; WHALLEY *et al.*, 2013).

15 Conclusão

- A presença de estruturas compactadas diminui a exploração do sistema radicular de *seedlings* nucelares do limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ e da tangerineira ‘Sunki Maravilha’ em fase jovens de desenvolvimento, nas condições em que o estudo foi desenvolvido, em ambos os sistemas de plantio com resistência \geq a 1,67 MPa.

- Quando não houve limitação ao crescimento radicular, o plantio convencional associou-se ao maior vigor de raiz e parte aérea, indicando que em solos com boa estrutura física e porosidade ou que permitam o aprofundamento radicular além da camada coesa, esse sistema de plantio é plenamente adequado a despeito do possível benefício de não cortar a raiz pivotante na semeadura direta.

16 Referências

BATEY T. Soil compaction and soil management review. **Soil Use and Management**, v. 25, n.1, p. 335-345, 2009.

BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 581-588, 2004.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.

CARDOSO E. G.; ZOTARELLI L.; PICCININ J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 493-501, 2006.

CARVALHO, J. E. B.; SOUZA, L. S.; JORGE, L. A. C.; RAMOS, W. F.; COSTA NETO, A. O.; ARAÚJO, A. M. A.; LOPES, L. C.; JESUS, M. S. Manejo de coberturas do solo e sua interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 21, n. 2, p. 140-145, 1999.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; JORGE, L. A. C. Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 21, n. 3, p. 313- 317, 1999.

CLARK L. J.; APHALÉ S. L.; BARRACLOUGH, P. B. Screening the ability of rice roots to overcome the mechanical impedance of wax layers: importance of test conditions and measurement criteria. **Plant and Soil**, v. 219, n. 1, p. 187-196, 2000.

COELHO FILHO, M. A.; ANGELOCCI, L. R.; VILLA NOVA, N. A.; MARIN, F. R.; RIGHI, C. A. Método para estimativa do IAF de árvores isoladas ou de plantações com dossel fechado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 529-538, 2012.

COELHO FILHO, M. A.; COLEBROOK, E. H.; LLOYD, D. P. A.; WEBSTER, C. P.; MOONEY, S. J.; PHILLIPS, A. L.; HEDDEN, P.; WHALLEY, W. R. The involvement of gibberellin signalling in the effect of soil resistance to root penetration on leaf elongation and tiller number in wheat. **Plant and Soil**, v. 371, p. 81-94, 2013.

COMAS, L. H.; BECKER, S. R.; CRUZ, V. M. V.; BYRNE, P. F.; DIERIG, D. A. Root traits contributing to plant productivity under drought. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 1, p. 442-470, 2013.

FURLANI, P. R. **Instrução para o cultivo de hortaliça de folha pela técnica de hidroponia – NFT**. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. 30 p. (Boletim Técnico, 168).

GAO, W.; WHALLEY, W. R.; TIAN, Z.; LIU, J.; REN, T. A simple model to predict soil penetrometer resistance as a function of density, drying and depth in the field. **Soil and Tillage Research**, v. 155, n. 1. 190-198, 2016.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28; n. 3, p. 477-484, 2004.

GREGORY, P. J.; BENGOUGH, A. G.; GRINEV, D.; SCHMIT, S.; THOMAS, W. T. B.; WOJCIECHOWSKI, T.; YOUNG, I. M. Root phenomics of crops: opportunities and challenges. **Functional Plant Biology**, v. 36, n. 1, p. 922-929, 2009.

HAMER, J. J.; VENEKLAAS, E. J.; RENTON, M.; POOT, P. Links between soil texture and root architecture of Eucalyptus species may limit distribution ranges under future climates. **Plant and Soil**, v. 403, n. 1, p. 217-229, 2016.

HO, M. D.; ROSAS, J. C.; BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. Root architectural tradeoffs for water and phosphorus acquisition. **Functional Plant Biology**, v. 32, n.1, p. 737-748. 2005.

JIN, K.; SHEN, J.; ASHTON, R. W.; WHITE, R. P.; DODD, I. C.; PHILLIPS, A. L.; PARRY, M. A. J. WHALLEY, R. W. The effect of impedance to root growth on plant architecture in wheat. **Plant and Soil**, v. 392, n. 1-2, p. 323-332, 2015.

LYNCH, J. P. Root phenes for enhanced soil exploration and phosphorous acquisition: tools for future crops. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 1041-1049, 2011.

MANSCHADI, A. M.; CHRISTOPHER, J.; DEVOIL, P.; HAMMER, G. L. The role of root architectural traits in adaptation of wheat to water limited environments. **Functional Plant Biology**, v. 33, n. 1, p. 823-837, 2006.

MANSCHADI, A. M.; GRAEME, L. H.; CHRISTOPHER, J. T.; VOIL, P. Genotypic variation in seedling root architectural traits and implications for drought adaptation in wheat (*Triticum aestivum* L.) **Plant and Soil**, v. 303, n. 1, p. 115-129, 2008.

PASSIOURA, J. B. Soil conditions and plant growth. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 2, p. 311-318, 2002.

SADRAS, V. O.; O'LEARY, G. J.; ROGET, D. K. Crop responses to compacted soil: capture and efficiency in the use of water and radiation. **Field Crops Research**, v. 91, n. 2-3, p. 131-148, 2005.

SAMPAIO, A. H. R.; COELHO FILHO, M. A.; SOUZA, L. D.; BRITO, R. B. F.; SILVA, R. O. Yield and quality of? Pera? Sweet orange grafted on different rootstocks under rainfed conditions. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, p. 1-9, 2016.

SANTANA, M. B.; SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; FONTES, L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 1-12, 2006.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA J. G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um latossolo. **Bioscience Journal**, v. 24, n. 3, p. 53-59, 2008.

SOUZA, L. D.; CUNHA SOBRINHO, A. P.; RIBEIRO, L. S.; SOUZA, L. S. E.; LEDO, C. A. S. Avaliação de plantas cítricas, em diferentes profundidades de plantio, em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 241-244, 2004.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. Q.; RODRIGUES, A. C. V.; RIBEIRO, L. 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, n. 1, p. 503-513, 2008.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 2, p. 573-581, 1998.

WHALLEY, W. R.; CLARK, L. J.; GOWING, D. J. G.; COPE, R. E.; LODGE, R. J.; LEEDS- HARRISON, P. B. Does soil strength play a role in wheat yield losses caused by soil drying? **Plant and Soil**, v. 280, n. 1, p. 279-290, 2006.

WHALLEY, W. R.; OBER, E. S.; JENKINS, M. Measurement of the matric potential of soil water in the rhizosphere. **Journal Experimental Botany**, v. 64, n. 13, p. 3951-3963, 2013.

WHALLEY, W. R.; WATTS, C. W.; GREGORY, A. S.; MOONEY, S. J.; CLARK, L. J.; WHITMORE, A. P. The effect of soil strength on the yield of wheat. **Plant and Soil**, v. 306, n. 1, p. 237-247, 2008.

WHITE, R. G.; KIRKEGAARD, J. A. The distribution and abundance of wheat roots in a dense, structured subsoil implications for water uptake. **Plant, Cell & Environment**, v. 33, n. 2, p. 133-48, 2010.

CAPITULO 3: CAPACIDADE DE PENETRAÇÃO CAMADA DE IMPEDIMENTO POR SISTEMA RADICULAR DE GENÓTIPOS DE CITROS

RESUMO - Restrições na rizosfera para o crescimento da raiz no subsolo incluem dentre outras acidez do solo, níveis nutricionais inadequados e compactação do solo. Uma maior exploração dos recursos do subsolo pelas culturas proporcionaria benefícios múltiplos, incluindo uma maior aquisição de água e nutrientes. Este estudo objetivou avaliar a utilização de um sistema de discos de parafina-cera como referência para medir variações na capacidade de penetração do sistema radicular de genótipos de citros, com finalidade de uso como porta-enxertos, em sistemas semihidropônico. Para isso, foram testados experimentalmente um modelo de sistema de disco de parafina-cera com espessura de 3 mm, esses discos foram dispostos na areia em concentrações crescentes de parafina: 9%, 16%, 26%, 37%, 44%, 60%, 70%, 80%, correspondendo à resistências que variaram de 0,14 a 2,06 MPa. O crescimento de plantas (raiz e parte aérea) de citros não foram afetados pela presença do disco de parafina com concentração de até 50% (parafina dura em relação à mole). A maior massa seca e comprimento total de raiz verificados nos híbridos TSKC x (LCR x TR) 059, 073; assim como o limoeiro 'Cravo Santa Cruz', e a tangerineira 'Sunki Tropical e Sunki Maravilha, sugere maior efetividade do sistema radicular em penetrar camadas coesas. Mas pelos resultados são apenas respostas relacionadas ao vigor das plantas. O efeito da camada coesa em limitar a penetração do sistema radicular ocorreu resistência à penetração de 1,67 Mpa (60% de parafina dura).

Palavras chaves: porta-enxerto, *Citrus spp*, híbridos de *Poncirus*, camada dura de parafina, penetração de raiz

CITRUS ROOT SYSTEM ABILITY TO PENETRATE STRENGTH LAYER

ABSTRACT - Rhizosphere restrictions for root growth in the subsoil comprises soil acidity, inadequate nutrient levels and soil compaction. Further exploration of subsoil resources by crops would provide multiple benefits, including increased water and nutrient acquisition, in most agroecosystems. This study aimed to evaluate the use of a paraffin wax disks system as a reference to measure variations in the penetration capacity of the root system of citrus genotypes for use as rootstocks in semi-hydroponic systems. A 3-mm thick paraffin-wax disk system model was experimentally tested; these discs were placed in the sand simulating a layer with different level of strength as function of concentrations of hard paraffin proportionally to soft: 9%, 16%, 26%, 37%, 44%, 60%, 70%, 80%, corresponding to Resistances ranging from 0.14 to 2.06 MPa. Citrus plants did not have their growth affected by strength layer up to 50% of hard wax concentration. The greater total length and root dry mass presented by TSKC hybrids X (LCR x TR) 059, 073; as well as the 'Cravo Santa Cruz' lemon, and the mandarin 'Sunki Tropical and Sunki Maravilha, suggest greater ability to penetrate strength layers, but based on results was associated with plant vigor. The effect of strength layer limiting root penetration occurred for strength 1.67 MPa (60% hard wax).

Key words: strength layer, *Citrus spp*, *Poncirus* hybrids, wax-layer, root penetration.

18. Introdução

Cerca de 70% da produção citrícola mundial é cultivada em alguns países do Mediterrâneo dos Estados Unidos e principalmente no Brasil, sendo esse o maior produtor. Os cítricos são frequentemente cultivados em climas quentes com solos bem drenados e em áreas que estão sujeitas a déficit hídrico e que muitas vezes requerem irrigação suplementar.

As camadas de solo compactadas impedem o crescimento e distribuição do sistema radicular das plantas. Impedância mecânica causada por camadas compactadas de solo é um fator primário que influencia o alongamento e proliferação da raiz e pode resultar em restrições físicas e fisiológicas. Além disso, as camadas compactadas podem agravar o efeito de períodos de chuva prolongado, reduzindo a possibilidade das plantas em explorar reservatórios de água em horizontes mais profundos no solo. Thangaraj *et al.* (1990) sugeriram que durante períodos de estresse hídrico a utilização da água é determinada principalmente pelo aprofundamento e densidade do sistema radicular.

Contudo, a identificação de genótipos com maior capacidade de penetrar camadas compactas é importante para o desenvolvimento de genótipos resistentes a camadas coesas.

Este estudo descreverá a utilização de um sistema de camada de cera Taylor e Gardner (1960) para criar uma barreira parcial ao crescimento radicular como referência para medir a capacidade de penetração da raiz. A penetração do sistema radicular em camada compactadas vem sendo testada através de camadas de cera que podem ser preparadas para diferentes resistências, fundindo diferentes quantidades de cera macia e dura (COELHO FILHO *et al.*, 2013; GAO *et al.*, 2016).

Há evidência de que a capacidade das raízes em penetrar camada coesa está relacionada ao melhor desempenho de cultivares em condições de limitação hídrica (ACUÑA *et al.*, 2012). Além de proporcionar uma maior distinção entre cultivares, a modelagem de camada de cera artificial fornece um modelo experimental intuitivo de camadas compactadas no solo. Segundo Kirby e Bengough (2012), somente nas camadas mais rasas do solo é que as raízes são capazes de alonga-se por deformação do solo em sistemas de modelagem, em contra partida, Ehlers *et al.* (1983) descobriu que embora a resistência do solo seja maior na superfície do solo isso não reduz a densidade de comprimento de raiz, pois com pequenas fissuras as raízes são capazes de expandirem a camadas mais profundas.

A importância do sistema radicular para a manutenção da produtividade em áreas com limitações hídricas, associada ao impedimento físico, é cada vez mais estudada, sendo de grande interesse para os produtores rurais (LYNCH, 2013; WHITE *et al.*, 2013).

Normalmente, os estudos sobre o sistema radicular não incluem detalhes estruturais finos, com os pelos radiculares, mas preocupa-se com o sistema radicular por inteiro ou um grande subconjunto do sistema radicular da planta individual ao longo do perfil do solo através do espaço e do tempo (CLARK, 2008a).

ACUÑA *et al.* (2007), avaliou a capacidade de penetração das raízes em diferentes cultivares de trigo em camada de cera compactada artificialmente sendo seus resultados facilmente detectados e quantificados. A principal consequência da resistência mecânica (estresse físico) ao alongamento das raízes, à medida que crescem no solo, é a desaceleração na taxa de crescimento radicular, aumentando coincidentemente o seu diâmetro. O alongamento das raízes diminui linearmente com o aumento da resistência (WHITMORE e WHALLEY, 2009).

Clark *et al.* (2008b), demonstrou que o cultivo do trigo se desenvolveu bem em substrato com camada de resistências de 1,0, 2,0, 3,5, e 5,5 MPa, constatando ainda que houve diferenças significativas no crescimento das raízes quando as mesmas apresentavam sobre impedimento físico mais acentuado, ocasionando forte redução no comprimento das raízes, também constatando redução na área foliar como também de matéria seca.

A variação nas respostas das raízes pode ser devida a interações entre aspectos da textura do solo, tais como o tamanho dos poros do solo e densidade dos torrões (KONÔPKA *et al.*, 2008), afetando fortemente a densidade da ramificação lateral das raízes. O comprimento total de raízes mais grossas no solo resulta em uma exploração menos eficaz, implicando em menor absorção de água e nutrientes, conseqüentemente, diminuem a oferta para a parte aérea, o que pode resultar na redução do crescimento total da planta em solos compactados (WHITE e KIRKEGAARD, 2010).

As capacidades das raízes em penetrar solos compactados podem ser benéficas em evitar estresse hídrico (YU *et al.*, 1995). No entanto, o estudo do sistema radicular ao longo do perfil do solo é dificultado pela falta de uma técnica de triagem confiável e eficiente à penetração das raízes. Nesse sentido, foram desenvolvidos três experimentos com o objetivo de criar protocolos experimentais visando testar a capacidade de genótipos de citros penetrarem uma camada coesa artificial, bem como quantificar a característica do sistema radicular sobre o impedimento físico.

19 Materiais e Método

O trabalho foi conduzido de outubro 2015 a julho de 2016 em casa de vegetação da Embrapa Mandioca e Fruticultura em Cruz das Almas, BA (12° 40' 12" S, 39° 06' 07" W, 226 m). De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é uma transição do tipo Am a Aw (tropical subúmido a seco). O estudo foi desenvolvido utilizando no total de 15 genótipos de citros utilizado como porta-enxertos e contrastantes quanto à tolerância à seca (SAMPAIO *et al.*, 2016). O trabalho foi dividido em três experimentos. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação com temperaturas médias de 24,5, 21,5 e 26,7 °C para o primeiro, segundo e terceiro experimento respectivamente. A umidade relativa durante o período de montagem dos experimentos ficou na média de 77%.

1° Experimento

Como teste preliminar, o experimento foi montado com o intuito de verificar o limiar de penetração das raízes de plantas *seedling* nucelares de Sunki 'Maravilha' [*Citrus sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka. em camadas coesas artificialmente elaboradas com base em discos de parafina posicionados a 0,05 m de profundidade. O cultivo das mudas, presumivelmente de origem nucelar (plantas oriundas da germinação de sementes) foi realizado por meio de sementeiras em tubetes contendo substrato (plantmax). Após 60 dias de sementeiras as mesmas foram transplantadas para tubos de PVC.

Para confecção dos discos de parafina, que simularam a camada coesa artificial, misturou-se parafina em forma de lentilha (56-58 °C Ponto de fusão) com cera quente industrializada de textura cremosa, (60 °C Ponto de fusão). A proporção parafina-cera definiu a resistência adotada, variando de 0,80 1,04, 1,67 a 1,92 MPa, com as seguintes concentrações: 40%, 50%, 60% e 70% (Figura 3.1). O

experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições, perfazendo 20 tubos na totalidade.

A mistura foi despejada em um molde circular de folha de papel alumínio e preenchida para que a espessura do disco confeccionado fosse de 3 mm com diâmetro de 0,075 m, conforme Clark *et al.* (2000), (Figura 3.2).

As plantas foram cultivadas em tubos PVC de 0,75 m de diâmetro externo e 0,30 m de comprimento, contendo areia lavada e esterilizada. No processo de preenchimento foi adicionada, a uma profundidade de 0,05 m, um disco de parafina, representando a camada coesa artificial, em sistema parecido com os estudos de Clark *et al.* (2000) e Coelho Filho *et al.* (2013). Foi estabelecida uma única planta por tubo, esses tubos foram acondicionados em uma bacia (0,50 m de altura x 0,70 m de diâmetro) contendo uma solução nutritiva com a seguinte composição: 5,0 mM de KNO_3 , 3,0 mM de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 1,3 mM $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, 1,6 mM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 58 μM $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 29 μM H_3BO_3 , 10 μM $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 1,0 μM $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,9 μM CuSO_4 , 0,2 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (FURLANI, 1998). Durante o experimento manteve-se a lâmina a 30 centímetros de altura, garantido bom suprimento de água a planta em todo perfil de areia. Uma pequena abertura de 1 mm entre a parede do tubo e a parafina permitiu, por ação capilar, que a solução nutritiva da caixa nutrisse as plantas do tubo. Todo sistema foi aerado 24 horas para evitando assim qualquer tipo de estresse abiótico, salvo impedimento simulado (Figura 3.2).

Figura 3.1- Relação entre concentração da parafina dura (%) nos valores de resistência à penetração das raízes determinados em penetrômetro de bancada. Cada ponto corresponde à média de três medidas.

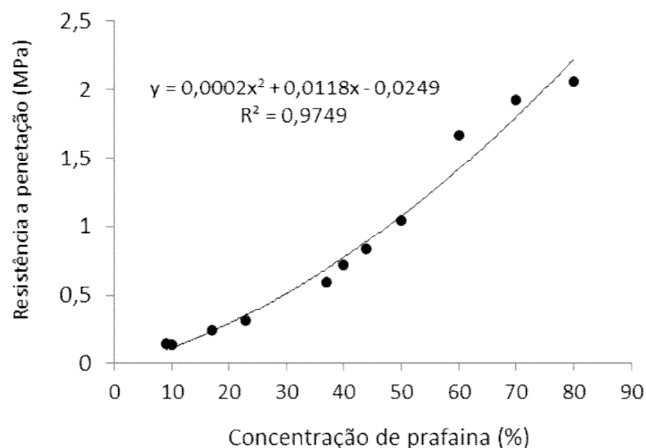
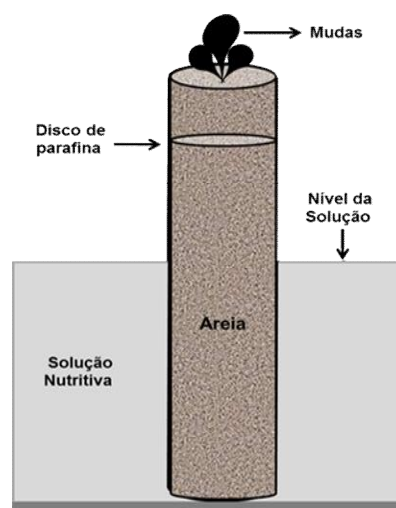


Figura 3.2 - Sistema de crescimento, mostrado a disposição da camada da parafina no núcleo de areia.



2° Experimento

Este experimento avaliou o desenvolvimento de 15 genótipos de citros contrastes LVK (limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V. Tem.& Pasq.) x LCR limoeiro 'Cravo' comum - 018, 030, 038 e 010; TSKC (tangerineira 'Sunki' comum) x CTSW (Citrumelo Swingle *C. paradisi* Macfad.) - 019, 064, 028, 033 e 041; TSKC x [LCR x TR (*Poncirus trifoliata*)] - 040, 073, 059; e três genótipos de uso comercial: LCRSTC (limoeiros 'Cravo Santa Cruz'), TSKTR (Tangerina Sunki Tropical), TSKMA 'Sunki Maravilha' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka]. A resistência adotada para essa avaliação foi de 0,14 a 1,04 MPa, com as concentrações de parafina de 10% e 50% (Figura 3.1). Os procedimentos metodológicos desse experimento foram os mesmos do experimento 2. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com quatro repetições, perfazendo 120 tubos na totalidade.

3° Experimento

Nesse experimento foram testadas respostas morfofisiológicas de quatro genótipos de citros: o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC) *Citrus Limoia* Osbeck; TSKC (tangerineira 'Sunki comum) x (LCR limoeiro 'Cravo' comum x TR (*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] - 017; TSKC x CTSW (citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. *P. trifoliata*) - 041; LVK (limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V. Tem.& Pasq.) x (LCR) - 017, que são utilizados como porta-enxertos a cinco níveis de impedimento físicos: 0,13; 0,24; 0,31, 0,59 e 0,83 MPa, correspondendo a concentrações de parafina dura em relação à cera (mole) de 9%, 17%, 28%, 37% e 44%, definidos a partir dos resultados obtidos no experimento 1. Os procedimentos metodológicos desse experimento foram os mesmos do experimento 1, com as seguintes diferenças: as dimensões dos tubos de PVC foram maiores, 0,15 m de diâmetro externo e 0,50 m de comprimento. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições, perfazendo 60 tubos na totalidade.

Avaliações morfofisiológicas:

O experimento preliminar foi realizado durante dois meses os outros dois experimentos foram finalizados aos quatro meses após plantio, quando foram coletados os seguintes dados de crescimento e fisiológicos: número de folhas (NF), altura de planta (ALT), área foliar (AF), comprimento de raiz (CR), diâmetro de raiz (DR), massa seca da raiz (MSR) e da parte aérea (MSPA), e condutância estomática (gs).

Para determinação da área foliar total das plantas (cm^2), foi realizada medida de comprimento e largura de todas as folhas expandidas. Para cada folha, o valor medido foi multiplicado por um fator de ajuste igual a 0,72 para folhas simples (laminar), segundo (COELHO FILHO *et al.*, 2012); altura das plantas (cm) foi medida tomando-se como referência a distância do colo da planta até a inserção da última folha formada. As raízes coletadas em cada tubo (acima e abaixo do disco de parafina) foram lavadas e acondicionadas em álcool 30% e refrigeradas até o processo de digitalização das imagens em escâner. O processamento das imagens foi realizada por meio do software WinRizho, versão 2013d, resolução de 400 dpi. As seguintes variáveis foram obtidas: diâmetro médio de raiz (mm), comprimento total de raiz e para o experimento 2 foram subdivididos por classes de diâmetro (mm) estabelecendo quatro classes (0-1,5; 1,5-3,0; 3,0-4,5 e > 4,5).

Para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), as amostras foram mantidas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, pelo período de 72 horas, antes da pesagem em balança de precisão.

Análise estatística:

O primeiro experimento utilizou delineamento inteiramente casualizado, testando quatro níveis de impedimento, submetendo os resultados à análise de variância pelo teste F e as medias comparadas por regressão polinomial ou linear. O experimento teve cinco repetições por tratamento. Nos dois outros experimentos o delineamento foi em bloco casualizados. O segundo experimento apresentou esquema fatorial (5x4), avaliando dois fatores: impedimento físico promovido pela camada coesa artificial (5 níveis) e quatro genótipos de citros, com três repetições. No terceiro experimento, também fatorial (2x15), os fatores foram: dois níveis de impedimento físico promovido pela camada coesa e 15 genótipos de citros contrastante. Cada tratamento teve quatro repetições. Para ambos experimentos os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% ou por meio de regressões polinomiais ou lineares para as variáveis em resposta aos níveis de impedimento físicos testados, quando verificados os efeitos significativos para os fatores ou interações.

20. Resultados

1° Experimento

A resistência à penetração aumentou com a porcentagem de parafina adicionada aos discos confeccionados, atingindo 1,92 MPa a 70% de parafina-cera (Figura 3.1). Uma concentração de 40% de parafina foi escolhida para usar como o controle no experimento, onde a resistência à penetração foi de 0,80 MPa. O limiar de penetração do sistema radicular ficou definido como 1,67 MPa.

Não foi verificado efeito significativo do impedimento físico para as variáveis: número de folhas, área foliar, condutância estomática, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e diâmetro de raiz. O efeito ocorreu apenas para altura de plantas e diâmetro de caule, promovendo um decrescimento na média de 64% e 27%, respectivamente, quando comparado com o controle.

Figura 3.3 - Altura de planta de tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], em função dos níveis de impedimento aplicados.

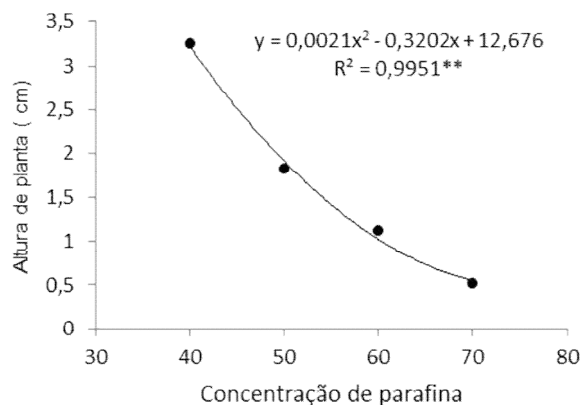
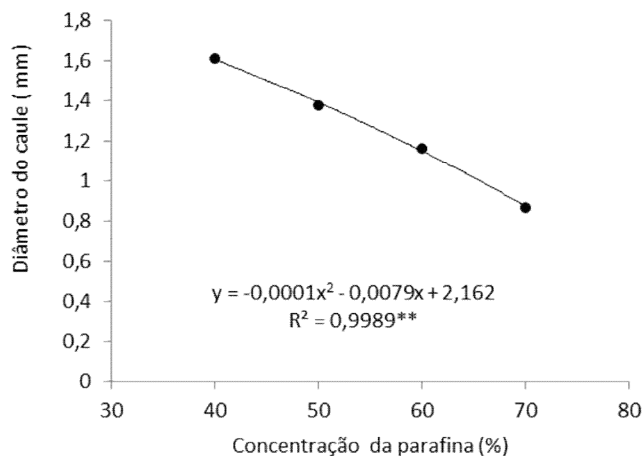


Figura 3.4 - Efeito da concentração da parafina na tangerineira 'Sunki Maravilha' [*C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka], no diâmetro do caule em função dos níveis de impedimento aplicados.



2º Experimento

Diante dos resultados do primeiro experimento foi conduzido o segundo experimento com o intuito de avaliar o desenvolvimento de genótipos de citros contrastante utilizados comercialmente. A camada coesa artificial apresentou concentrações de 10% e 50% de parafina.

Não foi verificado efeito significativo para a variável altura e plantas em nenhuma fonte de variação avaliada. Não sendo verificado também interação significativa ($p > 0,05$) entre o impedimento físico e os genótipos estudados para as seguintes variáveis: número de folhas, área foliar, massa seca da parte aérea, massa

seca da raiz e comprimento total de raiz, ocorrendo apenas efeito simples dos genótipos para as variáveis citadas acima (Tabela 3.1).

Com exceção da variável número de folhas, onde a TSKMA foi estatisticamente superior aos demais genótipos foi o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC) que apresentou o melhor desempenho em relação aos outros genótipos para as demais variáveis analisadas, apresentando 25% a mais em área foliar, 55% a mais em comprimento total de raiz, 68% em massa seca de raiz e 75% a mais de massa seca da parte área quando comparado aos genótipos que apresentaram os menores resultados (Tabela 3.1).

Tabela 3.1- Efeito estatístico e médias de número de folha (NF), área foliar (AF) massa seca da parte área (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e comprimento de raiz (CTR) no limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC), tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka seleção 'Tropical' (TSKTR); tangerineira 'Sunki' 'Maravilha' (TSKMA); TSKC [tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka, seleção comum] x [LCR x TR *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] - 040, 059 e 073; TSKC x CTSW (Citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*) - 019, 028, 041 e 064; LVK (limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq.) x LCR (limoeiros 'Cravo') 010, 017, 030 e 038, sob impedimento físico, quanto ao desenvolvimento de seus sistemas radiculares. Cruz das Almas – BA. 2014.

Fonte de variação	Nº de folhas	MSPA	AF	CTR	MSR
Genótipo (G)	0,000 **	0,000 **	0,000 **	0,000 **	0,000 **
Impedimento (I)	0,451 ^{ns}	0,807 ^{ns}	0,133 ^{ns}	0,840 ^{ns}	0,564 ^{ns}
Interação G x I	0,642 ^{ns}	0,854 ^{ns}	0,357 ^{ns}	0,734 ^{ns}	0,272 ^{ns}
Medias (espécies)	----	g	cm ²	cm	g
TSKC x (LCR x TR) 59	14,500	2,235	1,841	875,41	0,827
TSKC x (LCR x TR) 73	10,833	1,777	1,766	898,30	0,658
TSKC x (LCR x TR) 40	12,142	1,647	1,567	788,65	0,726
TSKC x CTSW 41	13,500	1,230	1,648	657,63	0,523
TSKC x CTSW 28	8,571	1,287	1,984	679,93	0,372
TSKC x CTSW 64	7,428	0,686	1,954	595,64	0,425
TSKC x CTSW 33	11,142	1,135	1,780	414,48	0,468
TSKC x CTSW 19	13,285	1,700	1,541	629,28	0,490
LVK x LCR 10	11,000	1,660	1,771	703,28	0,672
LVK x LCR 38	12,285	1,802	2,008	707,23	0,675
LVK x LCR 30	16,333	0,953	1,718	597,23	0,287
LVK x LCR 17	8,285	0,996	1,875	718,15	0,537
LCRSTC	12,285	2,732	2,055	919,41	0,908
TSKTR	14,666	2,143	1,885	828,10	0,601
TSKMA	17,000	2,001	1,968	878,66	0,768
DMS	1,369	0,261	0,800	0,5000	0,094

**,* = significativo ao nível a 1% e 5% de probabilidade (p < 0,01; p < 0,05), respectivamente.

3° Experimento

Esse experimento foi montado com intuito o de verificar o desenvolvimento do sistema radicular a baixas resistências. Para isso, diferentes critérios foram utilizados para avaliar a capacidade de penetração da raiz. Quatro variedades de citros utilizando concentrações de parafina de 9%, 17%, 28%, 37% e 44% foram testadas neste experimento. Independente da variedade avaliada ficou constatado que não ocorreu diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre a máxima resistência (0,93 MPa) e o controle (0,14 MPa), ou seja, não ocorreu interação entre genótipo x níveis de impedimento físico aplicado.

Neste experimento ficou evidenciado o efeito simples do genótipo, onde o limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC) apresentou maior média em altura de planta, número de folhas, massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), diferindo estatisticamente ($p \leq 0,05$) dos demais genótipos (Tabela 3.2).

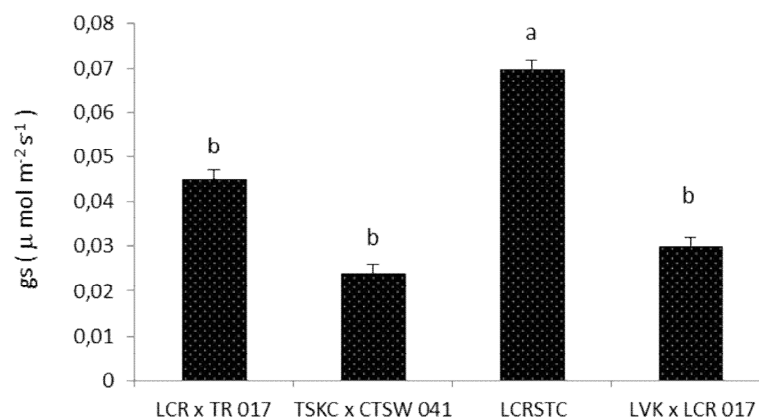
Tabela 3.2 - Efeito estatístico para valores médios de altura de planta, número de folhas, massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) de quatro genótipos de citros no TSKC [tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka, seleção comum] x [LCR x TR *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] – 017, TSKC (tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka), x (Citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*) – 041, LVK (limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq.) x LCR (limoeiros 'Cravo') e no LCRSTC (limoeiro 'Cravo Santa Cruz'). Cruz das Almas – BA. 2014.

Genótipo	Médias			
	Altura de planta (cm)	Número de folhas	MSPA (g)	MSR (g)
TSKC (LCR x TR) - 017	10,11 b	10,80 b	0,49 b	0,049 b
TSKC x CTSW 041	5,71 bc	7,93 b	0,33 b	0,071 b
LCRSTC	11,3 a	10,40 a	1,268 a	0,192 a
LVK x LCR 017	3,28 c	8,30 b	0,187 b	0,041 b
DMS	4,88	2,09	0,84	0,12

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e diferença mínima significativa para o fator genótipo.

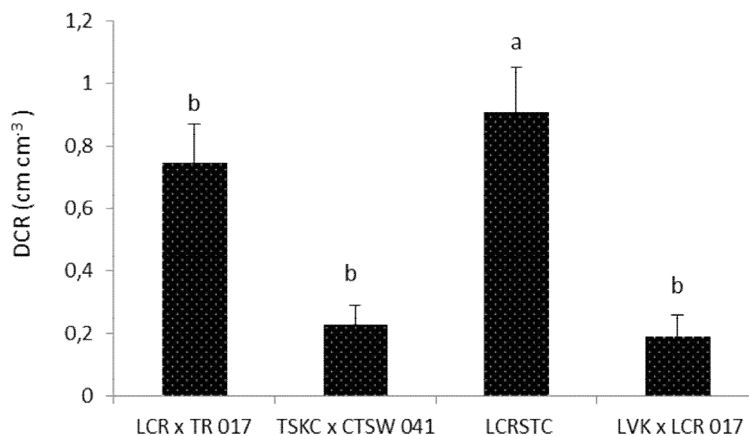
Com relação à condutância estomática (gs), não houve efeito do impedimento físico artificial no comportamento das plantas ($p > 0,05$), sendo observados apenas efeitos simples dos genótipos. O Limoeiro 'Cravo Santa Cruz' apresentou os maiores valores de gs (Figura 3.5).

Figura 3.5 - Condutância estomática (g_s) dos seguintes genótipos de citros: TSKC [tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka, seleção comum] x [LCR x TR *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] – 017, TSKC (tangerineira 'Sunki' *C. sunki* (Hayata) hort. ex Tanaka), x (Citrumelo 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *P. trifoliata*) – 041, LVK (limoeiro 'Volkameriano' *C. volkameriana* V.Ten & Pasq.) x LCR (limoeiros 'Cravo') - 017 e no LCRSTC (limoeiro 'Cravo Santa Cruz'), submetidos aos tratamentos de impedimento físicos. Barras indicam o erro padrão da média. Letras minúsculas comparam médias entre os genótipos.



Na densidade de comprimento de raiz (DCR) não houve efeito significativo ($p > 0,05$) dos níveis de impedimento. No entanto, foram observadas diferenças significativas na DCR entre genótipos ($p < 0,05$), onde o Limão 'Cravo Santa Cruz', foi estatisticamente superior aos demais (Figura 3.6).

Figura 3.6 - Densidade de comprimento de raiz (DCR - cm cm^{-3}) dos seguintes genótipos de citros: Limão Cravo Comum x *Poncirus trifoliata*; Tangerina Sunki Comum x Citrumelo Swingle, Limão Cravo Santa Cruz; Limão Volkameriano Comum x Limão Cravo Comum, submetidos aos tratamentos de impedimento físicos. Barras indicam o erro padrão da média. Letras minúsculas comparam médias entre os genótipos.



21. Discussão

O primeiro uso de cera para estudar a penetração das raízes é creditado a Taylor e Gardner (1960). As propriedades físicas da cera não são afetadas por mudanças na umidade do solo, aspecto que pode alterar a compactação das camadas do solo ao longo do seu perfil. Além disso, as camadas de cera são uniformes e podem ser facilmente caracterizadas e reproduzidas (BENGOUGH e MULLINS, 1990).

Os resultados deste estudo apoiam-se no uso de camadas de cera artificial no lugar de camadas compactadas do solo para avaliar a capacidade de penetração das raízes. A vantagem deste sistema é a velocidade e a consistência com que um grande número de plantas podem ser rastreados.

O método de camadas de ceras compactadas artificialmente para culturas perenes como a dos citros, não foi suficiente para avaliar a arquitetura radicular, pois diante dos resultados encontrados ficou comprovado que camadas de cera com resistências até 50% inviabilizam as medições dos sistemas radiculares através do raio de penetração. Esses resultados podem ser explicados porque ao contrario das culturas anuais, os citros apresentam raízes pivotantes, o que acabou por facilitar o rompimento do impedimento físico provocado.

É importante ressaltar que esse método tem aplicabilidade a culturas perenes, porque quando foram aplicadas resistências \geq a 60% de parafina as raízes não foram mais capazes de superar a camada coesa artificial. Resultados similares foram encontrados por Clark *et al.* (2000; 2008), em avaliações nas culturas de trigo e arroz.

Clark *et al.* (2000), trabalhando com cultivares de arroz de sequeira utilizou uma camada de cera de 3 mm de espessura, como metodologia de estudo para a capacidade de penetração das raízes, evidenciando que a quantidade total de raízes penetrantes nesta camada deveria ser evitada como critério para a seleção de variedades capazes de superar impedimento físico. No entanto, esse mesmo autor recomendou que a capacidade de penetração fosse feita através do raio de penetração.

Em outro trabalho realizado por Clark *et al.* (2008b), com arroz irrigado e de sequeiro, avaliando raios de penetração, utilizando como tratamento controle uma camada de cera de 3%, e camadas de 60% e 80%, constatou-se uma redução de 74% na penetração das raízes em comparação com o controle na camada de 60% e uma redução de 31% na camada de 80%, para o arroz de sequeiro, já para o arroz inundado o comportamento foi inverso.

Clark *et al.* (2008a), demonstraram que o cultivo do trigo conseguiu se desenvolver em substrato com camada de resistências de 1,0, 2,0, 3,5, e 5,5 MPa, constatando ainda que houve diferenças significativas no crescimento das raízes quando as mesmas apresentavam sob impedimento físico mais acentuado, ocasionando forte redução no comprimento das raízes, redução na área foliar como também de matéria seca.

As diferenças de reduções para as variáveis de crescimento demonstram a variabilidade dos genótipos. O melhor desempenho em relação às essas variáveis, do limoeiro 'Cravo Santa Cruz' (LCRSTC), material reconhecidamente tolerante a seca, também foi observado por Peixoto *et al.* (2006) e Neves *et al.* (2013). O primeiro atribuiu a fatores genéticos, com folhas laminares, apresentam automaticamente maior capacidade fotossintética do que os genótipos que tem folhas menores e trifoliadas, denotando maior tolerância ao estresse.

A maior DCR do LCRSTC pode está associada a maior condutividade hidráulica de raiz, conforme constatações de Medina *et al.* (1998) para limoeiro 'Cravo Santa Cruz', resultando em maior capacidade de absorção de água, minimizando o impacto do estresse mecânico sobre gs. Além disso, há constatações de que a tolerância do limoeiro 'cavo', pode ser explicada pela sua maior capacidade de crescimento de raízes em profundidade (MAGALHÃES FILHO *et al.*, 2008).

Muitos estudos apontam a alta DCR e o seu aprofundamento da mesma como características positivas de tolerância à seca. A variabilidade para essa característica representa uma fonte de progresso genético (DORLODOT *et al.*, 2007), que pode ser mais explorada na citricultura.

De uma maneira geral, estes resultados indicam que os genótipos de citros avaliados conseguiram superar o estresse físico adicionado, devido ao fato de que a raiz pivotante perfurou a obstrução (camada coesa artificial), fazendo com que as raízes secundárias crescessem abaixo da limitação imposta, nutrindo assim as plantas.

22. Conclusão

Os resultados obtidos podem ser úteis na seleção de porta-enxertos adequado ao uso em sistemas de produção onde se verificam condições adversas de solo, particularmente camadas de impedimento físico à penetração de raízes. O maior comprimento total de raiz e a maior massa como seca de raiz verificados nos híbridos TSKC x (LCR x TR) – 059 e 073, assim como no limoeiro 'Cravo Santo Cruz' e nas tangerineiras 'Sunki Tropical' e 'Sunki Maravilha', ante as resistências físicas á penetração de raízes impostas pelos discos de parafina, indicam que esses genótipos, na condição de porta-enxertos, sejam adequados a solos com camadas de impedimento físico, que dificultam o desenvolvimento das raízes.

23. Referências

ACUÑA, T. L. B.; HE, X.; WADE, L. J. Temporal variation in root penetration ability of wheat genotypes through thin ax layers in contrasting water regimes and in the field. **Field Crops Research**, v. 138, p.1-8, 2012.

ACUÑA, T. L. B.; PASUQUIN, E.; WADE, L. J. Genotypic differences in root penetration ability of wheat through thin wax layers in contrasting water regimes and in the field. **Plant and Soil**. v. 301, p.135-149, 2007.

BENGOUGH, T. L. B.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **European Journal of Soil Science**, v. 41, p. 341-358, 1990.

CLARK, L. J.; APHALÉ, S. L.; BARRACLOUGH, P. B. Screening the ability of rice roots to overcome the mechanical impedance of wax layers: importance of test conditions and measurement criteria. **Plant and Soil** v. 219, p.187-196, 2000.

CLARK, L. J.; FERRARIS, S.; PRICE, A. H.; WHALLEY, W. R. A gradual rather than abrupt increase in strength gives better root penetration of strong layers. **Plant and Soil**, v. 307, p. 235-242, 2008a.

CLARK, L. J.; PRICE, A. H.; STEELE, K. A.; WHALLEY, W. R. Evidence from near-isogenic lines that root penetration increases with root diameter and bending stiffness in rice. **Functional Plant Biology**, v. 35, p.1163-1171, 2008b.

COELHO FILHO, M. A.; COLEBROOK, E. H.; LLOYD, D. P. A.; WEBSTER, C. P.; MOONEY, S. J.; PHILLIPS, A. L.; HEDDEN, P.; WHALLEY, W. R. The involvement of gibberellin signalling in the effect of soil resistance to root penetration on leaf elongation and tiller number in wheat. **Plant and Soil**. v. 371, p. 81-94, 2013.

DE DORLODOT, S.; FORSTER, B.; PAGES, L.; PRICE, A.; TUBEROSA, R.; DRAYE, X. Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops. **Trends in Plant Science**, v.12, p. 474-481, 2007.

EHLERS, W.; KOPKE, U.; HESSE, F.; BOHM, W. 1983. Penetration resistance and root growth of oats intilled and untilled Loess soil. **Soil and Tillage Research**, v. 3p. 261-275, 1983.

FURLANI, P. R. Instrução para o cultivo de hortaliça de folha pela técnica de hidropônia – NFT. Campinas: Instituto Agrônômico. 30 p. (**Boletim Técnico**, 168), 1998.

GAO, W.; WHALLEY, W.R.; TIAN, Z.; LIU J.; REN, T. A simple model to predict soil penetrometer resistance as a function of density, drying and depth in the field. **Soil & Tillage Research**, v.155, p.190-198, 2016.

KIRBY, J. M.; BENGOUGH, A. G. Influence of soil strength on root growth: experiments and analysis using a critical-state model. **European Journal of Soil Science**, v. 53, p. 119-127, 2002.

KONÔPKA, B.; PAGÈS L.; DOUSSAN, C. Impact of soil compaction heterogeneity and moisture on maize (*Zea mays* L.) root and shoot development. **Plant, Soil and Environment**, v. 54, p. 509-519, 2008.

LYNCH, J. P. Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems. **Annals of Botany**, v. 112, p. 347-357, 2013.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, v. 67, p. 75-82, 2008.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; PINTOP, J. M. Fotossíntese de laranjeira 'Valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. **Bragantia**, v. 57, p.1-14, 1998.

NEVES, D. M.; COELHO FILHO, M. A.; BELLETE, B. S.; SILVA, M. F. G. F.; SOUZA, D. T.; SOARES FILHO, W. S; COSTA, M. G. C.; GESTEIRA, A. S. Comparative study of putative 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase and abscisic acid accumulation in the responses of Sunki mandarin and Rangpur lime to water deficit. **Molecular Biology Reports**, v. 40, p. 5339-5349, 2013.

PEIXOTO, C. P.; CERQUEIRA, E. C.; SOARES FILHO, W. S.; CASTRO NETO, M. T.; LEDO, C. A. S.; MATOS, F. S.; OLIVEIRA, J. G. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, p. 439-443, 2006.

TAYLOR, H. M., GARDNER, H. R. Use of wax substrates in root penetration studies. **Soil Science Society of America Journal**, v. 24, p. 79-81, 1960.

THANGARAJ, M.; O'TOOLE, J. C.; DATTA, S. K de. Root response to water stress in rainfed lowland rice. **Experimental Agriculture**, v. 26, p. 287- 296, 1990.

WHITE, R. G.; KIRKEGAARD, J. A. The distribution and abundance of wheat roots in a dense, structured subsoil implications for water uptake. **Plant, Cell and Environment**, v. 33, p.133-148, 2010.

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 L.; RAY, J. D.; O'TOOLE J. C.; NGUYEN, H. T. Use of wax petrolatum layers for screening rice root penetration. **Crop Science**, v. 35, p. 684-687, 1995.

24. Considerações Finais

O déficit hídrico de curta duração causa diminuições no teor de clorofila ou danos ao aparato fotossintético, fazendo com que as trocas gasosas sejam os fatores fisiológicos que mais afetam o ganho de biomassa quando exposta ao déficit hídrico. Com tudo geralmente ocorre a fotoinibição, causada nas horas mais críticas do dia, levando assim uma tendência de acúmulo ao CO₂ interno, mesmo com baixa condutância estomática.

O estudo apresentou evidências de que a capacidade das raízes em penetrar uma camada compactada está relacionada ao melhor desempenho de cultivares em condições de estresse hídrico.

Um aspecto importante na compreensão da resposta das raízes a solos compactados é a capacidade de conduzir experimentos laboratoriais com ambientes de enraizamento realistas, replicação do estado da água do solo, resistência do solo, disponibilidade de oxigênio e estado nutricional proporcionado no campo.

O enraizamento do sistema radicular a camadas mais profundas está relacionado provável à interação entre a arquitetura da raiz e a estrutura do solo. A habilidade das raízes em penetrar solos compactados é uma característica importante estando relacionada à exploração das raízes nas camadas superficiais.

A taxa de alongamento da raiz é progressivamente diminuída pelo aumento da resistência mecânica ao crescimento, sendo cessado esse crescimento com resistências a penetração $\geq 1,67$ MPa. Resultado consistente com diferenças significativas para comprimento total de raiz e diâmetro de raiz.

Alterações na distribuição radicular entre camadas superiores e inferiores do solo pode representar uma estratégia viável para superar tanto as restrições hídricas com o impedimento mecânico.