

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

WELLITON BARROS DE MAGALHÃES

**SISTEMA RADICULAR E SUAS INTERAÇÕES COM O DESENVOLVIMENTO E
NUTRIÇÃO DO CAFEIRO**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2021**

WELLITON BARROS DE MAGALHÃES

**SISTEMA RADICULAR E SUAS INTERAÇÕES COM O DESENVOLVIMENTO E
NUTRIÇÃO DO CAFEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Herminia E. P. Martinez

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

M188s
2021

Magalhães, Welliton Barros de, 1989-

Sistema radicular e suas interações com o desenvolvimento
e a nutrição do cafeeiro / Welliton Barros de Magalhães. –
Viçosa, MG, 2021.

173 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Herminia Emilia Prieto Martinez.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Café - Raízes. 2. Café - Nutrição. 3. Nutrientes.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22 ed. 633.73

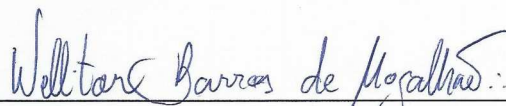
WELLITON BARROS DE MAGALHÃES

**SISTEMA RADICULAR E SUAS INTERAÇÕES COM O DESENVOLVIMENTO E
NUTRIÇÃO DO CAFEIEIRO**

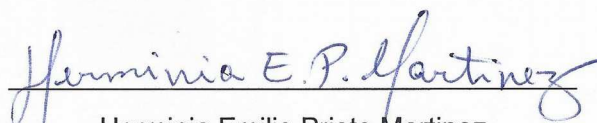
Dissertação apresentada à
Universidade Federal de
Viçosa, como parte das
exigências do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia,
para obtenção do título de
Magister Scientiae.

APROVADA: 10 de fevereiro de 2021

Assentimento:


Welliton Barros de Magalhães

Autor


Herminia Emilia Prieto Martinez

Orientadora

A Deus, meus familiares e amigos

AGRADECIMENTOS

A Deus por minha vida, família e amigos;

Ao valente povo brasileiro, por viabilizar meus estudos, minha eterna gratidão;

Aos meus pais e irmãos, tios e tias, primos e primas, pelo amor, paciência e apoio;

Ao vovô Franco (*in memoriam*), por todos ensinamentos, pela fibra moral, pela simplicidade da vida;

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de fazer o curso de mestrado;

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, *alma mater*, pela primorosa formação e por proporcionar a realização de um sonho – estudar Agronomia;

À Escola Agrotécnica Federal de Rio Pomba, por ser minha primeira casa fora de casa e início de minha vida acadêmica;

À professora Herminia Emilia Prieto Martinez, pela orientação, pelos ensinamentos, apoio e confiança;

Ao professor Carlos Pimentel, por todos ensinamentos, pelo companheirismo e por despertar em mim, o desejo de pesquisar;

Ao professor Arnaldo Prata Neiva Júnior, pela amizade e pelo exemplo de perseverança na vida profissional;

Aos amigos Adenilson, Josimar, Letícia e Josué por estarem presentes quando outros não estavam;

Ao amigo Samuel, pelo auxílio, pelos bons conselhos e por ser um companheiro nas horas mais críticas deste projeto;

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

RESUMO

MAGALHÃES, Welliton Barros de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2021. **Sistema radicular e suas interações com o desenvolvimento e nutrição do cafeeiro**. Orientadora: Herminia Emilia Prieto Martinez.

A cafeicultura é uma atividade de grande importância no cenário agrícola nacional e entender o comportamento do sistema radicular do cafeeiro é fundamental. Neste trabalho objetivou-se avaliar o desenvolvimento radicular de mudas de cafeeiro, assim como verificar o comportamento do desenvolvimento radicular de cafeeiros adultos durante as principais fases de desenvolvimento dos frutos e ainda a concentração de nutrientes nas raízes e folhas durante o período produtivo. No experimento 1, realizado em casa de vegetação, foi avaliado o desenvolvimento do sistema radicular de mudas da variedade Catuaí vermelho IAC 99 até os 210 dias após a semeadura. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições. A massa da matéria fresca e seca do sistema radicular foi acompanhada, além do comprimento, área superficial, volume, diâmetro médio das raízes. As mudas apresentaram aos 210 dias após a semeadura, 1465,33 cm de raízes, diâmetro médio de 0,5514 mm, 261,46 cm² de área superficial. No experimento 2, realizado em plantas adultas em condição de campo, foi avaliado o comportamento radicular das plantas durante o desenvolvimento dos frutos, nas fases de chumbinho, expansão rápida, granação e maturação durante duas safras consecutivas. No experimento 3, foram utilizadas plantas adultas em condições de campo, e avaliadas as concentrações de nutrientes durante as fases de desenvolvimento dos frutos nas folhas e raízes. Além das alterações nas características radiculares das plantas de café, é possível observar mudanças no comportamento nutricional das plantas, tanto em termos de nutrientes nas folhas, como nos nutrientes nas raízes. As concentrações de nitrogênio, fósforo e manganês são superiores nas raízes finas superficiais, comparativamente às das de maior diâmetro. A carga produtiva das plantas influencia diretamente na concentração dos nutrientes no sistema radicular.

Palavras-chave: Café. Sistema radicular. Nutrientes. Carga produtiva.

ABSTRACT

MAGALHÃES, Welliton Barros de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2021. **Root system and its interactions with coffee development and nutrition.** Adviser: Herminia Emilia Prieto Martinez.

Coffee growing is an activity of great importance in the national agricultural scenario and understanding the behavior of the coffee root system is essential. This work aimed to evaluate the root development of coffee seedlings, as well as to verify the behavior of the root development of adult coffee trees during the main stages of fruit development and also the concentration of nutrients in the roots and leaves during the productive period. In experiment 1, carried out in a greenhouse, the development of the root system of seedlings of the variety Catuaí Vermelho IAC 99 was evaluated until 210 days after sowing. A completely randomized design was used, with five replications. The mass of the fresh and dry matter of the root system was followed, in addition to the length, surface area, volume, average diameter of the roots. The seedlings presented, at 210 days after sowing, 1465.33 cm of roots, average diameter of 0.5514 mm, 261.46 cm² of surface area. In experiment 2, carried out on adult plants in field condition, the root behavior of the plants was evaluated during fruit development, in the phases of pinhead, rapid expansion, grain filling and maturation during two consecutive harvests. The second experiment showed that when the coffee-plants reach the production stage, roots may suffer considerable reductions in their development due to productive load of the plants. In experiment 3, adult plants were used in field conditions, and nutrient concentrations of leaves and roots were evaluated during the stages of fruit development. In addition to changes in the root characteristics of coffee plants, it is possible to observe changes in the nutritional behavior of plants, both in terms of nutrients in the leaves and in the nutrients in the roots. The concentrations of nitrogen, phosphorus and manganese are higher in the superficial thin roots, compared to those of larger diameter. The productive load of the plants directly influences the concentration of nutrients in the root system.

Keywords: Coffee. Root system. Nutrients. Productive load.

SUMÁRIO

I. Desenvolvimento do sistema radicular de mudas de cafeeiros.....	10
1. Introdução.....	10
1.1. Arquitetura e topologia do sistema radicular.....	12
2. Referencial teórico.....	14
2.1. O sistema radicular da planta de café (<i>Coffea arabica</i> .L).....	15
2.2. Desenvolvimento inicial de mudas de cafeeiro arábico.....	15
3. Material e métodos.....	16
3.1. Área de estudo e espécie vegetal.....	16
3.2. Análise do material vegetal.....	18
3.3. Delineamento experimental e procedimentos estatísticos.....	18
4. Resultados e discussão.....	19
4.1. Experimento I.....	19
4.2. Experimento II.....	27
5. Conclusões.....	29
6. Referências.....	30
II. Alterações do sistema radicular do cafeeiro ao longo do desenvolvimento dos frutos.....	32
1. Introdução.....	32
2. Referencial teórico.....	34
3. Material e métodos.....	36
3.1. Localização do experimento e condições de cultivo.....	36
a) Condição climática e localização da lavoura.....	37
b) Condições de cultivo durante o período experimental.....	38
3.2. Descrição do experimento.....	39
a) Tratamentos e amostragens.....	39
b) Análises morfológicas do sistema radicular.....	41
c) Determinação da massa de raízes.....	41
d) Produção.....	41
3.3. Delineamento experimental e procedimentos estatísticos.....	42
4. Resultados e discussão.....	42
5. Conclusões.....	57

6. Referências.....	58
III. Variação dos teores de nutrientes em folhas e raízes de cafeeiro ao longo do desenvolvimento dos frutos.....	60
1. Introdução.....	60
2. Referencial teórico.....	62
2.1. Nitrogênio, Potássio e Cálcio.....	62
2.2. Magnésio e Fósforo.....	63
2.3. Zinco, ferro, cobre e manganês.....	63
2.4. Translocação dos nutrientes em plantas.....	64
2.5. Fases do desenvolvimento dos frutos do cafeeiro.....	64
a) Chumbinho.....	65
b) Expansão rápida.....	65
c) Crescimento suspenso.....	66
d) Granação.....	66
e) Maturação.....	66
2.6. O sistema radicular e sua influência no crescimento e desenvolvimento de plantas de café.....	66
3. Material e métodos.....	67
3.1. Localização do experimento e condições de cultivo.....	67
a) Condição climática e localização da lavoura.....	68
b) Tratos culturais realizados durante o período experimental.....	68
3.2. Análise do material vegetal.....	68
a) Tratamentos e amostragens.....	68
b) Determinação dos nutrientes.....	69
3.3. Delineamento experimental e procedimentos estatísticos.....	69
4. Resultados e discussão.....	70
4.1. Nutrientes nas folhas.....	70
a) Nitrogênio, fósforo e potássio.....	70
b) Cálcio e magnésio.....	74
c) Zinco, cobre, ferro e manganês.....	76
4.2. Nutrientes nas raízes superficiais.....	81
a) Nitrogênio, fósforo e potássio.....	81
b) Cálcio e magnésio.....	84
c) Zinco, ferro, cobre e manganês.....	86
4.3. Nutrientes nas raízes subsuperficiais.....	91

a) Nitrogênio, fósforo e potássio.....	91
b) Cálcio e magnésio.....	94
c) Zinco, ferro, cobre e manganês.....	96
5. Conclusões.....	102
6. Referências.....	102
Apêndice.....	106
1. Apêndice A.....	106
2. Apêndice B.....	130
3. Apêndice C.....	144
4. Apêndice D.....	172

I. Desenvolvimento do sistema radicular de mudas de cafeeiros

1. Introdução

A cafeicultura é uma atividade agrícola de grande relevância no cenário econômico nacional, desempenhando função vital para o desenvolvimento do Brasil e contribuindo significativamente para a formação de dividendos para o País. A safra brasileira de café de 2019, gerou cerca de R\$ 17.618.737.900,00 para uma produção de 43.199.700,00 sacas beneficiadas. Na safra de 2020 é esperada uma produção total de 44.586.800,00 sacas beneficiadas, aportando à balança comercial brasileira R\$ 21.257.540.900,00, aumento de 20,7% na receita bruta (CONAB, 2020).

Minas gerais responderá na safra de 2020, por uma produção de 31.074.600,00 de sacas beneficiadas, em uma área de 983.700 ha, o que pode gerar cerca de R\$ 16.098.481.400,00, em termos de receita bruta, de acordo com o acompanhamento da safra brasileira de café (CONAB, 2020).

Uma das fases mais importantes para o sucesso da atividade cafeeira é a produção de mudas, visto que serão elas, o futuro do empreendimento. A seleção adequada das mudas pode impedir o depauperamento precoce da lavoura. O desenvolvimento inicial das mudas de variedades de café tem sido objeto de estudo dos pesquisadores durante décadas. A adubação utilizada, o tipo de recipiente, época do ano para iniciar a produção, momento ideal de ir à campo, pragas chave e doenças que acometem a muda durante a implantação da lavoura cafeeira são frequentemente objetos de estudo para melhor compreensão desta cultura (TOMAZ et al. 2015). Apesar dos numerosos estudos sobre o desenvolvimento das mudas de cafeeiros, o número de trabalhos com foco no desenvolvimento de seu sistema radicular é reduzido.

A “Metade oculta” do vegetal, continua ainda muito oculta, pois os estudos fitotécnicos e em biologia vegetal vem há muito negligenciando este campo de estudo, de modo que informações acerca do desenvolvimento radicular auxiliam na melhoria da compreensão deste importante órgão dos vegetais. Informações como: comprimento, área superficial, massa e volume podem ser importantes, para o entendimento da dinâmica de estabelecimento das plantas no campo, pois realmente não se encontra facilmente variáveis mais robustas, para descrição das raízes de um vegetal (ZONTA et al. 2018).

Com advento de equipamentos mais sensíveis e voltados exclusivamente para análise de raízes, pode-se então lançar luz, a essa “metade oculta”, saber por exemplo, com alto grau de precisão, o comprimento real destas raízes, seus diâmetros, sua área superficial (importantíssimo na absorção de água nutrientes do substrato), volume, número de ápices radiculares e até mesmo o número de bifurcações que dão origem às raízes primárias, secundárias e terciárias do que por muito tempo foi tratado apenas como suporte do vegetal no solo. Entender como o sistema radicular das mudas se comporta do início da germinação até a implantação no campo, pode auxiliar na tomada de decisão durante o processo de implantação da lavoura cafeeira. Em termos de idade de transplante, acúmulo de matéria seca investida no crescimento radicular, relação entre a parte aérea e suas raízes e como isto impacta nos processos relacionados com a absorção de água e nutrientes, são de fundamental importância para compreensão de como os cafeeiros se estabelecem no campo.

Como apresentado na Figura 1, o sistema radicular apresenta arquitetura complexa e a simples medida do comprimento máximo da raiz principal utilizando régua ou a determinação do volume através da técnica da proveta, variáveis amplamente utilizadas e aceitas para avaliar raízes, não são suficientes. Outras variáveis como comprimento total, volume e diâmetros das raízes das plantas são informações de valor. Dentre os primeiros trabalhos sobre o sistema radicular do cafeeiro, destaca-se o do Drº J. F. Nutman, que explorou o sistema radicular, suas inter-relações com o solo e sua distribuição espacial no perfil.

Com efeito, sabe-se que as raízes, são fundamentais nos processos de aquisição de água, nutrientes e para fixação do vegetal em seu substrato, porém, podem servir também como órgão de armazenamento, onde os fotoassimilados produzidos na parte aérea são acumulados, e podem ser retranslocados para a parte aérea para suprir eventos como florescimento e frutificação (ZONTA et al. 2018).

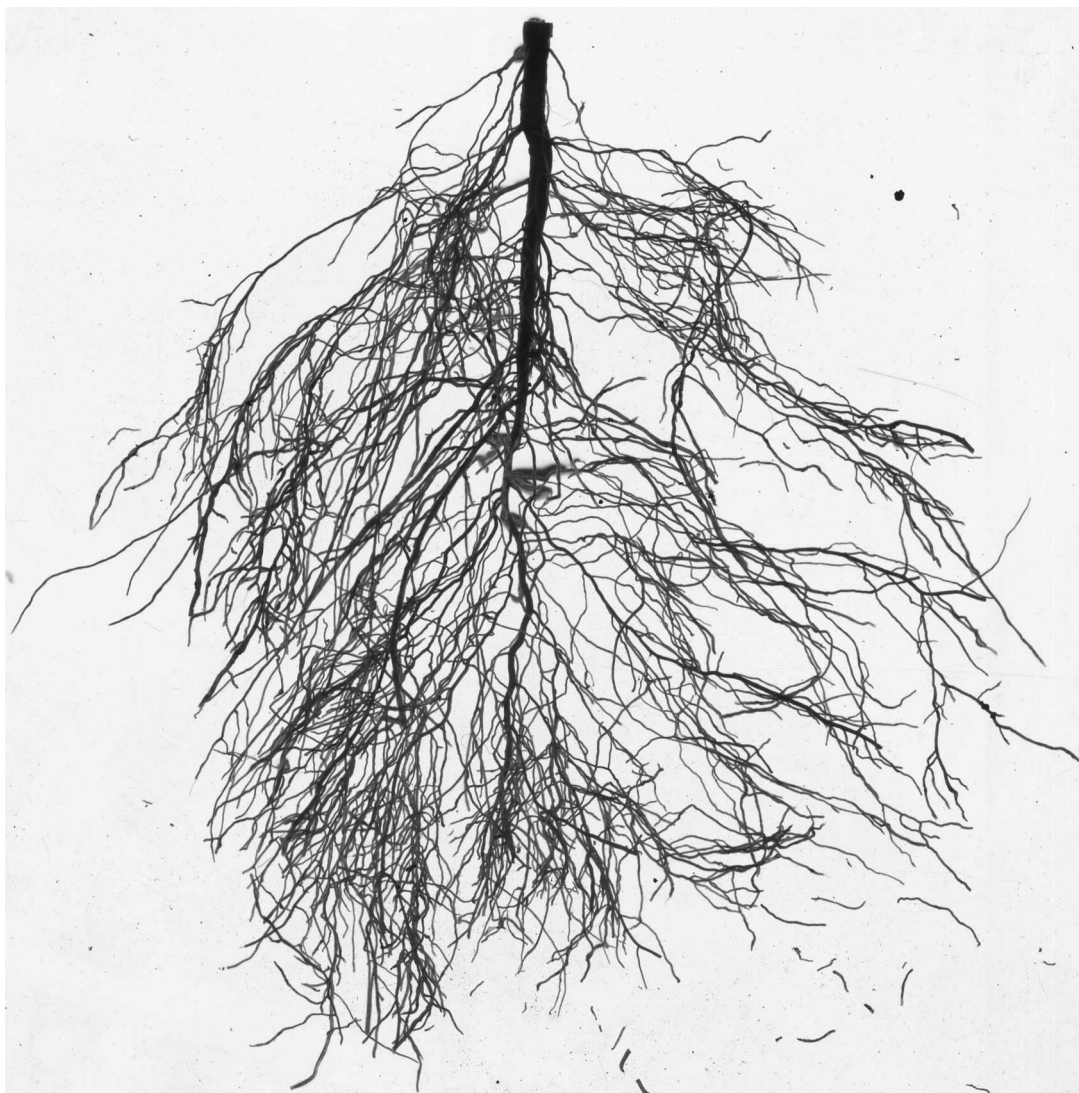


Figura 1: Sistema radicular de muda da variedade Catuaí Vermelho IAC 99, no estágio de quatro pares de folhas completamente expandidas.

1.1. Arquitetura e topologia do sistema radicular

A arquitetura radicular nada mais é do que a forma, determinada geneticamente, de ordenar e organizar no espaço esse órgão, de modo que se obtenha sua maior eficiência de uso para aquisição de recursos. A topologia de um sistema radicular, por sua vez, está contida no sistema arquitetônico radicular e permite a quantificação dessa organização (LYNCH, 1995). A disponibilidade de nutrientes, água e características do solo, influenciam na arquitetura radicular, alterando o ângulo de crescimento das raízes em relação à gravidade (BONSER et al. 1996).

GAMUYAO et al. (2012), promoveu a superexpressão do gene *PSTOL1* em uma variedade de arroz, o que levou ao aumento do comprimento e da biomassa do sistema radicular. Quando essas variedades foram cultivadas em solos pobres, observaram-se aumentos em torno de 60% na produtividade, consequência da maior aquisição de P, N e K. A arquitetura radicular também pode ser modificada pela alteração da expressão do gene *DRO1*, que está associado ao gravitropismo positivo, alongamento celular e consequente aprofundamento do sistema radicular (UGA et al. 2013)

A topologia radicular tem importante papel na dinâmica global do ecossistema radicular por causa de seus efeitos sobre a aquisição de nutrientes de baixa mobilidade, a captura e reciclagem de outros nutrientes em profundidade. O estudo desses aspectos, que relacionam a distribuição radicular às suas funções de aquisição de água e nutrientes, demanda a separação das raízes em classes funcionais e a quantificação da sua contribuição ao sistema radicular (ROSSIELLO et al. 1995). Entender como o sistema radicular se desenvolve durante a fase de produção de mudas, é importante para a definição e tomada de decisões a respeito de importantes práticas relacionadas à implantação e estabelecimento das plantas de café à campo. O conhecimento do comportamento de crescimento das raízes bem como suas características topológicas e de arquitetura se torna importante para explicar processos ecofisiológicos importantes, principalmente os relacionados a nutrição mineral e o suprimento de água aos vegetais. (MELLO et al. 1997).

Do ponto de vista funcional, as raízes de diâmetros reduzidos (finas) ou de absorção, são aquelas que apresentam intensa atividade metabólica, tendo como principal atribuição fisiológica a absorção de água e nutrientes, já as raízes com

diâmetros maiores (grossas), são aquelas responsáveis pelo suporte estrutural das árvores e pela condução das soluções absorvidas entre a rizosfera e a parte aérea.

A aquisição de alguns nutrientes, a saber, Nitrogênio, Fósforo e Potássio, se dá em toda extensão do sistema radicular, porém, o Cálcio, é absorvido quase que exclusivamente através de raízes não suberificadas, onde também a absorção de água é muito mais efetiva (RUSSEL et al. 1981), as raízes ditas finas, promovem também o intercâmbio dos processos de transferência raiz/micorriza especialmente quando da absorção de fósforo. O estabelecimento e desenvolvimento da muda no campo, é influenciado diretamente pelas características de comprimento, superfície e diâmetro radicular, uma vez que estas características estão relacionadas a exploração do perfil do solo e absorção de água.

Por tanto, com o intuito de entender a dinâmica do crescimento radicular durante o período de produção de mudas de café, e como estas podem impactar no estabelecimento das mudas no campo, foram conduzidos dois experimentos com o objetivo de: (i) avaliar o desenvolvimento do sistema radicular das mudas de cafeeiro da variedade Catuaí vermelho IAC 99 até os 210 dias após a semeadura (cinco pares de folhas completamente expandidos) e (ii) avaliar possíveis diferenças nas características do sistema radicular das variedades de café Catuaí Vermelho IAC-144, MGS Aranãs, Paraíso MG H 419-1, Oeiras MG 6851, Catiguá MG2 e Catuaí Amarelo IAC 62, na fase final do período de produção das mudas.

2. Referencial teórico

O cafeeiro arábico (*Coffea arabica* L.), é uma planta de ciclo perene, de porte arbustivo, podendo atingir de 4,00 a 5,00 m de altura, dependendo da cultivar estudada, com folhas persistentes, oval-oblongas, de coloração verde escura quando completamente expandidas. Nestas folhas os estômatos encontram-se dispostos na parte abaxial e no encontro das nervuras estruturas denominadas domáceas se fazem presentes. O sistema radicular do cafeeiro é considerado pseudopivotante, devido ao corte realizado por ocasião do plantio, na maioria dos

casos, suas raízes se apresentam curtas, grossas e terminam abruptamente, dificilmente estendendo-se abaixo dos 0,45 m da superfície do solo e, frequentemente, são múltiplas (RENA & GUIMARÃES, 2000).

2.1. O sistema radicular da planta de café (*Coffea arabica* .L)

O sistema radicular do cafeeiro apresenta raiz pivotante, algumas axiais e muitas laterais. As raízes apresentam rápido crescimento inicial em profundidade, sendo que as axiais, podem emitir raízes secundárias. Já as raízes laterais têm origem próximo à superfície do solo, apresentando crescimento lateral e depois se aprofundam no perfil, emitindo grande número de raízes secundárias e de outras ordens, contribuindo para absorção de água e nutrientes para o cafeeiro (SAKIYAMA, 2015).

Durante o processo de produção de mudas, a raiz principal pode atingir o fundo do recipiente e se forem utilizados sacos de polietileno, enovela-se, fato este que se não for corrigido no momento do transplântio a campo, pode impactar de maneira negativa na vida da futura lavoura, comprometendo a produção e reduzindo a vida útil da planta. Deste modo é recomendado ao produtor o corte da extremidade do torrão, a fim de reduzir o risco de formação de “pião torto” nas plantas. Se bem conduzidas e levadas em consideração as recomendações técnicas na produção das mudas, obtêm-se uma lavoura com possibilidade de atingir elevada produção e longa vida. Nestas condições o sistema radicular aprofunda-se no perfil podendo atingir mais de três metros de profundidade (INFORZATO & REIS, 1974). NUTMAN (1933, 1934) na África, encontrou em cafeeiros com 5-6 anos de idade, raízes com profundidade máxima de 4,06 m e em média 22,7651 km para o comprimento total. Outro número impressionante foi relatado por esse autor para a superfície absorvente, em média 463 m² por planta, e que 94% da massa de raízes foi encontrada nos primeiros 0,30 m do perfil do solo.

2.2. Desenvolvimento inicial de mudas de cafeeiro arábico

A formação da lavoura cafeeira é centrada principalmente em dois tipos de mudas: muda de “meio ano” e muda de “ano”. Após a germinação a plântula de café, passa por diversos estádios de desenvolvimento, a formação do gancho plumular e exposição dos cotilédones que é comumente conhecida como fase de “palito de fósforo” e precede o lançamento das folhas cotiledonares conhecida como fase de “orelha de onça”. Após estas fases, a emissão do primeiro par de folhas é seguido por rápido desenvolvimento das mudas até atingirem três ou quatro pares de folhas completamente expandidas, momento este, ideal para irem ao campo, em se tratando de mudas de “meio ano”.

3. Material e métodos

3.1. Área de estudo e espécie vegetal

Os experimentos foram conduzidos no viveiro de mudas da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cwa, quente e úmido, caracterizado por inverno seco e frio com temperaturas mínimas inferiores a 10° C.

No primeiro experimento a variedade de café (*Coffea arabica* L.) utilizada foi a Catuaí Vermelho IAC 99, que apresentam elevado potencial produtivo, alto vigor vegetativo, porte reduzido e apresentam sistema radicular bem desenvolvido (PEREIRA & BAIÃO, 2015). As mudas foram produzidas utilizando sacos de polietileno com dimensões de 11 x 22 x 0,10 cm (Figura 2). O substrato utilizado foi composto por terra de subsolo e esterco de curral, comumente utilizado no viveiro e as mudas foram mantidas sempre em boas condições de umidade até os 210 dias após a germinação. As avaliações foram realizadas em cada período chave de desenvolvimento, a saber, gancho plumular (30 dias após a sementeira), “palito de fósforo” (45 dias após a sementeira), “orelha de onça” (80 dias após a sementeira), primeiro par de folha completamente expandido (100 dias após a sementeira), segundo (130 dias após a sementeira), terceiro (150 dias após a sementeira), quarto

(180 dias após a semeadura) e quinto pares de folhas expandidas (210 dias após a semeadura).



Figura 2: Visão geral das etapas iniciais de produção das mudas de café, no viveiro da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

No segundo experimento empregaram-se as variedades Catuaí Vermelho IAC 144, MGS Aranãs, Paraíso MG H 419-1, Oeiras MG 6851, Catiguá MG2 e Catuaí Amarelo IAC 62, comparando-se seu desenvolvimento radicular ao final do ciclo de produção de mudas (considerado aqui, quando as mudas atingiram o quarto par de folhas completamente expandidas). Todas as variedades foram produzidas em iguais condições e amostradas no mesmo estágio de desenvolvimento.

Nos dois experimentos, foram avaliados: densidade do comprimento total, densidade da área superficial, densidade do volume total, diâmetro médio das raízes, densidade da massa de matéria fresca e seca e relação raiz/parte aérea e o número de bifurcações e cruzamentos na arquitetura das raízes. Além disso, as variáveis comprimento, área superficial e o volume radicular foram estratificadas por classes de diâmetros ($< 0,5$; $0,5-2,0$ e $> 2,0$ mm). Como tratamento adicional efetuou-se o corte do fundo do recipiente (3 cm) aos 180 e 210 dias após a semeadura (no quarto e quinto pares de folhas), para avaliar o impacto desta prática no sistema radicular da variedade Catuaí Vermelho IAC 99.

3.2. Análise do material vegetal

Após a retirada cuidadosa do saquinho, o torrão foi mergulhado em água e as raízes cuidadosamente separadas, afim de evitar perdas do sistema radicular. Posteriormente realizava-se a separação da parte aérea na altura do coleto. Após a separação, as raízes foram fixadas em solução alcoólica (15%) e mantidas refrigeradas (BOHM, 1979) até sua análise. Para quantificar a massa de matéria fresca da parte aérea e do sistema radicular, foi utilizada balança analítica com quatro casas decimais de resolução. Depois de separadas e pesadas as amostras foram então acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 65° C, até peso constante.

As raízes fixadas em solução alcoólica, foram avaliadas por meio de escâner (EPSON Flatbed Scanner Expression 11000XL) acoplado ao software WinRHIZO 2013 (Regents Instruments, Quebec City, Canada), com resolução de 600 dpi, e cuba de 1 litro para quantificar características morfológicas como: diâmetro, comprimento, área superficial, volume radicular, bifurcações e cruzamentos das raízes. Além da estratificação destas variáveis nas seguintes classes de diâmetros: < 0,5 mm, 0,5 – 2,0 mm e > 2,0 mm.

3.3. Delineamento experimental e procedimentos estatísticos

Os experimentos foram conduzidos utilizando o delineamento inteiramente casualizado, sendo que cada unidade experimental foi constituída de cinco mudas de café. Os dados coletados foram inicialmente submetidos a teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e de homocedasticidade de variância (Bartlett). Quando necessário a transformação foi realizada através do cálculo da verossimilhança perfilhada do parâmetro λ , utilizando a função box-cox, do pacote MASS, para o R (R version 3.4.4). Após satisfeitas as pressuposições, os dados foram submetidos a análise de variância e se observado significância, comparados por meio de teste t de Student a 5% de probabilidade. As curvas de regressão foram construídas utilizando as médias amostrais por meio do software estatístico Sigmaplot (2012). Para as características

qualitativas o teste de Tukey foi aplicado quando necessário, ao nível de 5% de probabilidade, com o auxílio do pacote ExpDes para o R (FEREIRA et al. 2014). Ainda utilizando o R, foi realizada a análise preliminar dos dados e ajustes das equações.

4. Resultados e discussão

4.1. Experimento I

O desenvolvimento do sistema radicular de mudas de café da variedade Catuaí Vermelho IAC 99, foi avaliado até os 210 dias após a germinação de suas sementes. O modelo sigmoidal foi o que melhor se ajustou aos dados para a variável densidade do comprimento total da raiz (Figura 3A) apresentando significância para o modelo apresentado. Aos 210 dias as mudas apresentaram comprimento médio de 0,7009 cm.cm⁻³ de solo e aos 180 dias 0,6855 cm.cm⁻³.

O Diâmetro médio das raízes (Figura 3B), apresentou um ajuste linear para os dados, mostrando tendência de redução ao longo do tempo, pelo aumento da participação de raízes de diâmetro reduzido. JESUS et al. (2006) estudando sistemas radiculares de mudas “de ano” das variedades Acaiá e Rubi relatam que 98% das raízes possuem diâmetro inferior a 2 mm. Aos 30 dias após a semeadura 0,8200 mm, o qual se reduziu com o avançar do desenvolvimento das mudas, chegando a 0,5514 mm aos 210 dias após a semeadura. PARTELLI et al. (2014) encontraram em mudas produzidas por estaquia e via seminal, diâmetros médios de 0,336 e 0,355 mm respectivamente, porém estas, já estavam no campo a mais de um ano.

Para a variável, densidade da área superficial total das raízes (Figura 3C), o ajuste mais adequado para os dados foi o sigmoidal, com aumento desta área, de acordo com o desenvolvimento das mudas. No estágio de quatro pares de folhas completamente expandidas (180 dias após a semeadura), as mudas da variedade Catuaí Vermelho IAC 99, apresentavam uma média de 0,1091 cm².cm⁻³, contra uma

média de $0,0626 \text{ cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$ de solo, quando apenas o terceiro par estava completamente expandido (150 dias após a semeadura). Tais resultados poderiam refletir em uma maior capacidade de estabelecimento da muda em seu local definitivo com quatro pares de folhas, uma vez que os eventos de absorção de água e nutrientes são baseados em fenômenos de superfície.

Para os dados de densidade da matéria fresca e seca de raízes (Figura 3D), pode-se observar que o ajuste sigmoidal foi o mais adequado para descrever o comportamento do acúmulo, sendo o que melhor explica o comportamento dos dados, e seus parâmetros apresentaram significância para o modelo sugerido para estas variáveis. A massa de raízes secas foi maior no último ponto avaliado (210 dias após a semeadura), certamente com tendência de aumento, uma vez que as plantas estavam em pleno desenvolvimento e, nesse caso, o acúmulo de fotoassimilados no sistema radicular favorece o incremento de massa. NASSER et al. (2009) estudando diferentes recipientes na produção de mudas para a variedade Catuaí Amarelo IAC-62, encontrou valores de massa seca de raiz (para mudas produzidas em sacos de polietileno) da ordem de 0,18 g, valores inferiores aos encontrados neste trabalho.

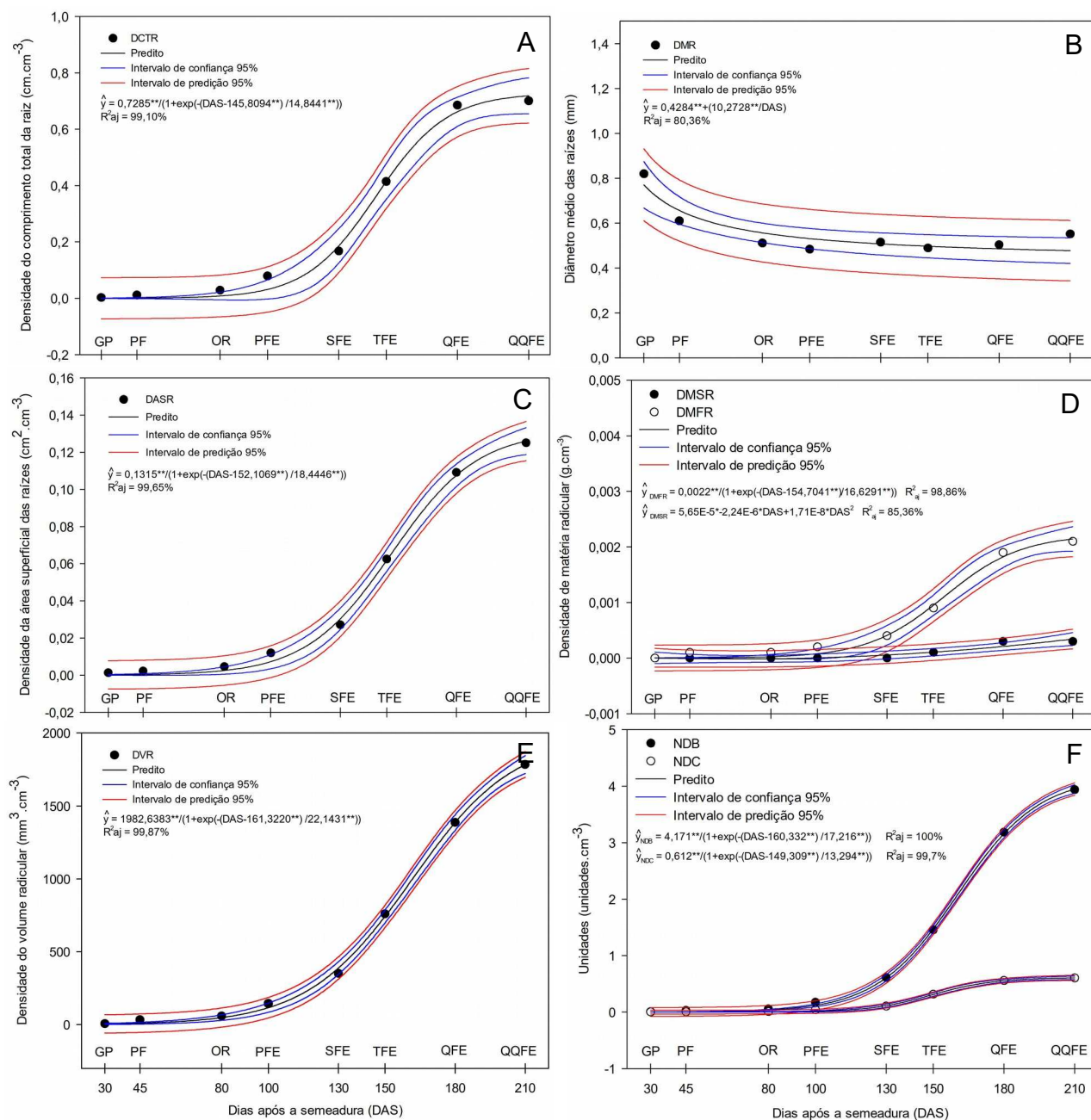


Figura 3: Densidade de Comprimento (A), superfície (C), massa de matéria fresca e seca (D), volume (E), diâmetro médio (B) e número de bifurcações e cruzamentos (F) das raízes de mudas de café da variedade Catuaí Vermelho IAC 99, em função do tempo após a semeadura. ** significativo pelo teste t a 1%.

A densidade do volume radicular (Figura 3E), apresentou ajuste sigmoidal e significância para o modelo testado. O maior volume radicular por volume de solo foi observado aos 210 dias ($1,7834 \text{ mm}^3 \cdot \text{cm}^3$), mas aos 150 e 180 dias tem-se $0,7604$ e $1,3859 \text{ mm}^3 \cdot \text{cm}^3$ respectivamente. RAMOS et al. (1982) relatam que o maior

desenvolvimento radicular, possibilita a exploração de maior volume de solo, afetando positivamente a absorção de água e nutrientes, por consequência, um melhor desenvolvimento é esperado, refletindo em maiores produtividades.

Na figura 3F, observam-se o número de bifurcações do sistema radicular e o número de vezes que as raízes se cruzam. O modelo que se ajustou melhor ao comportamento dos dados foi o sigmoidal. Quando as mudas atingiram 100 dias após a semeadura (primeiro par de folhas completamente expandido), é possível notar um rápido aumento no número de bifurcações das raízes, indicando um aumento da complexidade das raízes, formando assim raízes de maior ordem e por conseguinte menor diâmetro, o que é indicado pela redução do diâmetro médio das raízes aos 80-100 dias após a semeadura.

A estratificação da densidade do comprimento das raízes em três classes de diâmetros é mostrada na Figura 4A, onde pode-se observar uma predominância de raízes com diâmetro menor que 0,5 mm, sendo que aos 150 dias após a semeadura esta classe representa 73,50% do comprimento total das raízes, caindo para 72,59% aos 180 dias. Aos 210 dias após a semeadura, raízes com diâmetro superior aos 2,0 mm, representam 0,36% do comprimento total de raiz. Estes dados estão de acordo com JESUS et al. (2006), o qual observou que 0,72% do comprimento total do sistema radicular era composto por raízes com diâmetro superior a 2,0 mm na cultivar Acaia e que para a variedade Rubi representava cerca de 0,43% deste total. As equações que descrevem o comportamento destas variáveis, bem como seus coeficientes de determinação ajustados estão na Tabela 1.

A maior densidade da área superficial (Figura 4B) se concentra também em raízes com diâmetro menor que 2,0 mm, sendo que estas representam cerca de 59,27% da área total aos 210 dias após a semeadura, 69,14% aos 180 dias e 72,67% aos 150 dias, e somente aos 130 dias veem-se raízes com diâmetro superior a 2,0 mm, contribuir com 3,13% da área superficial total do sistema radicular. O volume do sistema radicular estratificado em relação as classes de diâmetros estudados é apresentado na Figura 4C. Para as classes estudadas o ajuste sigmoidal foi o melhor. Aos 130 dias pode-se observar que ocorre um aumento da participação em volume de raízes com diâmetro superior a 2,0 mm.

Quando se observa a relação raiz/parte aérea em base de matéria seca, o ajuste quadrático se mostrou mais adequado para representação dos dados, sendo o maior valor observado (0,3671) aos 130 dias após a semeadura, após isso nota-se uma leve redução desta variável, atingindo o valor de 0,2624 aos 210 dias. A redução da relação raiz / parte aérea pode ser explicada principalmente pelo crescimento e desenvolvimento da parte aérea e consequente ganho em massa, em detrimento ao sistema radicular. Em cafeeiros, as raízes são centros obrigatórios de importação de fotoassimilados.

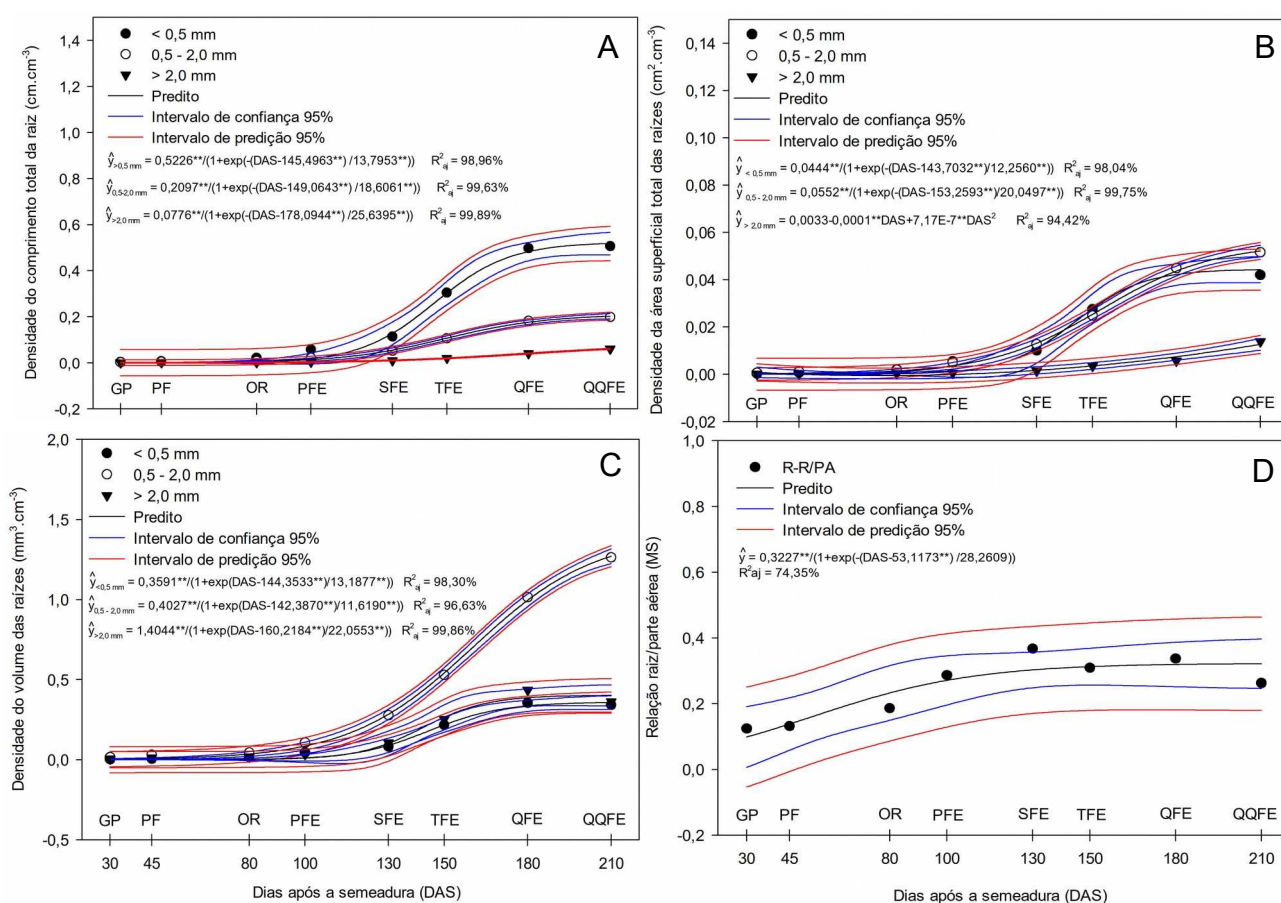


Figura 4: Comprimento (A), superfície (B) e volume (C) de raízes com diferentes classes de diâmetro e relação raiz parte aérea (D) de mudas de cafeeiro da variedade Catuaí Vermelho IAC 99, em função do tempo após a semeadura. ** significativo pelo teste t a 1%.

Quando a produção de fotoassimilados está acima do exigido para o crescimento vegetativo, as raízes podem armazenar o carboidrato, na forma de amido. Entretanto, em situações normais, quando a planta está em pleno crescimento vegetativo e desenvolvimento de frutos, pode-se estabelecer uma competição entre os órgãos da plantas, o que poderá resultar em um esgotamento das reservas e na paralisação do crescimento das raízes, em virtude de serem considerados drenos mais fracos (CASTRO et al. 1987). Esta relação pode ajudar a entender a alocação de carbono nos órgãos em estudo, onde até os 130 dias, o investimento se dá no sistema radicular, com um maior investimento na parte aérea a partir de então.

Tabela 1. Equações de regressão em função dos Dias após a semeadura (DAS) e seus valores de coeficiente de determinação ajustado

Variável	Modelo Ajustado	R ² _{aj}
D. do comprimento total da raiz (cm.cm ⁻³)	$\hat{y} = 0,7285^{**}/(1+\exp(-(DAS - 145,8094^{**})/14,8441^{**}))$	99,10%
D. da área projetada das raízes (cm ² .cm ⁻³)	$\hat{y} = 0,0418^{**}/(1+\exp(-(DAS - 152,1324^{**})/18,4249^{**}))$	99,65%
D. da área superficial das raízes (cm ² .cm ⁻³)	$\hat{y} = 0,1315^{**}/(1+\exp(-(DAS - 152,1069^{**})/18,4446^{**}))$	99,65%
Diâmetro médio das raízes (mm)	$\hat{y} = 0,4284^{**}+(10,2728^{**}/DAS)$	0,36%
D. do volume das raízes (mm ³ .cm ⁻³)	$\hat{y} = 1982,6383^{**}/(1+\exp(-(DAS - 161,3220^{**})/22,1431^{**}))$	99,87%
Numero de bifurcações	$\hat{y} = 4,171^{**}/(1+\exp(-(DAS-160,332^{**})/17,216^{**}))$	100%
Numero de cruzamentos	$\hat{y} = 0,612^{**}/(1+\exp(-(DAS-149,309^{**})/13,294^{**}))$	99,7%
D. da matéria fresca radicular (g.cm ⁻³)	$\hat{y} = 0,0022^{**}/(1+\exp(-(DAS-154,7041^{**})/16,6291^{**}))$	98,86%
D. da matéria seca radicular (g.cm ⁻³)	$\hat{y} = 5,65E-5* -2,24E-6*DAS+1,71E-8*DAS^2$	85,36%
D. do comprimento da raiz (Ø < 0,5 mm)	$\hat{y} = 0,5226^{**}/(1+\exp(-(DAS-145,4963^{**})/13,7953^{**}))$	98,96%
D. comprimento da raiz (Ø 0,5 – 2,0 mm)	$\hat{y} = 0,2097^{**}/(1+\exp(DAS-149,0643^{**})/18,6061^{**}))$	99,63%
D. do comprimento da raiz (Ø > 2,0 mm)	$\hat{y} = 0,0776^{**}/(1+\exp(-(DAS-178,0944^{**})/25,6395^{**}))$	99,89%
D. área superficial das raízes (Ø < 0,5 mm)	$\hat{y} = 0,0444^{**}/(1+\exp(-(DAS-143,7032^{**})/12,2560^{**}))$	98,04%
D. área superficial raízes (Ø 0,5 – 2,0 mm)	$\hat{y} = 0,0552^{**}/(1+\exp(-(DAS-153,2593^{**})/20,0497^{**}))$	99,75%
D. área superficial das raízes (Ø > 2,0 mm)	$\hat{y} = 0,0033-0,0001^{**}DAS+7,17E-7^{**}DAS^2$	94,42%
D. do volume das raízes (Ø < 0,5 mm)	$\hat{y} = 0,3591^{**}/(1+\exp(DAS-144,3533^{**})/13,1877^{**}))$	98,30%
D. do volume das raízes (Ø 0,5 – 2,0 mm)	$\hat{y} = 0,4027^{**}/(1+\exp(DAS-142,3870^{**})/11,6190^{**}))$	96,63%
D. do volume das raízes (Ø > 2,0 mm)	$\hat{y} = 1,4044^{**}/(1+\exp(-(DAS-160,2184^{**})/22,0553^{**}))$	99,86%
Relação Raiz/Parte aérea	$\hat{y} = 0,3227^{**}(1+\exp(-(DAS-53,1173^{**})/28,2609))$	74,35%

** Significativo ao nível de 1% de significância pelo teste t de student. DAS (Dias após a semeadura).

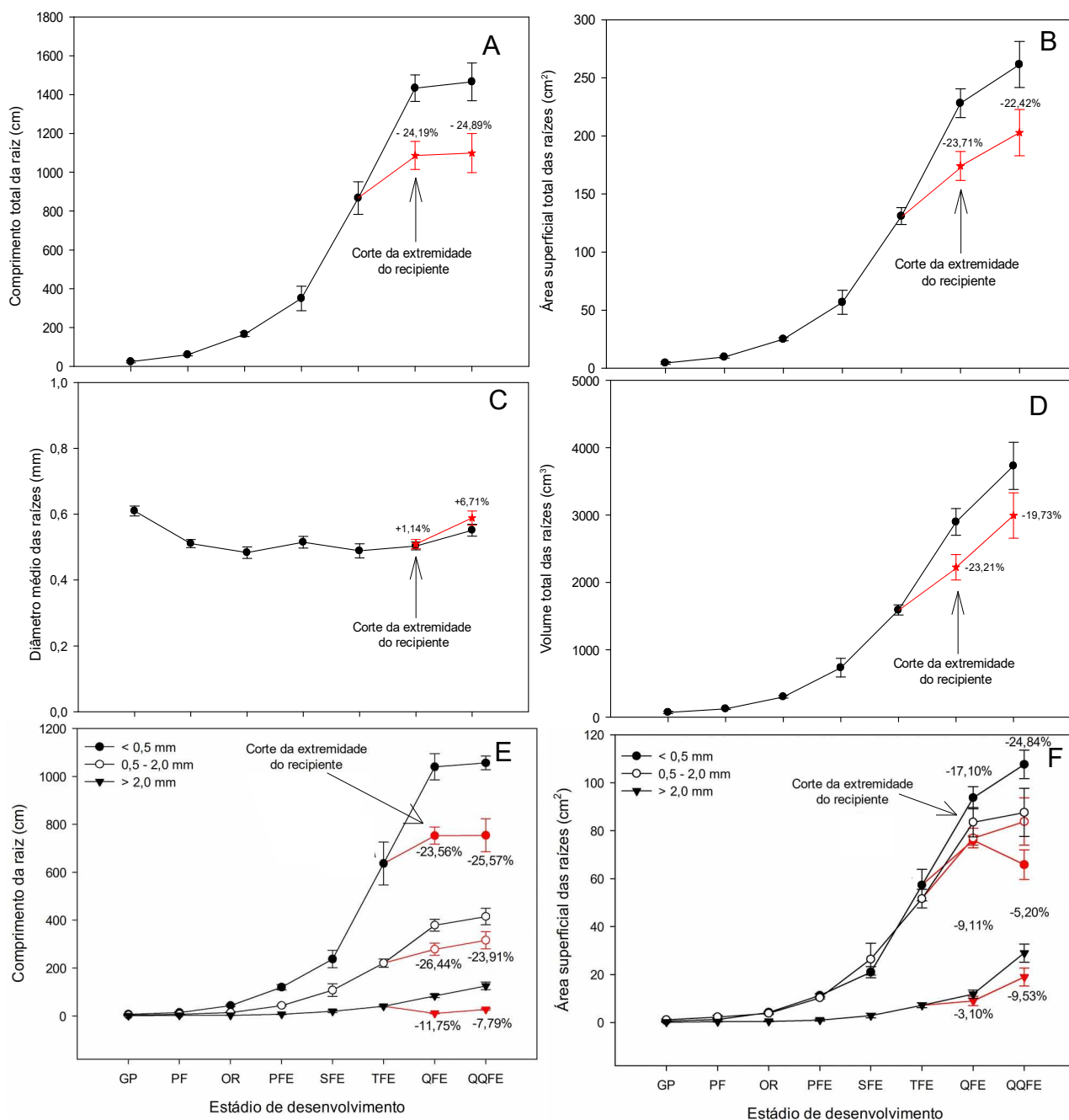


Figura 5: Evolução do comprimento (A), superfície (B), diâmetro médio (C) e volume (D) totais de raízes de mudas de cafeeiro submetidas ou não ao corte do fundo do recipiente de produção muda, da na fase de quatro pares de folhas. Estratificação do comprimento (E) e superfície (F) por classes de diâmetro de raízes, com e sem o corte do fundo do recipiente ao final da produção da muda. Gancho plumular (GP), Palito de fósforo (PF), orelha de onça (OR), primeiro par de folha expandido (PFE), segundo par de folha expandido (SFE), terceiro par de folha expandido (TFE), quarto par de folha expandido (QFE) e quinto par de folha expandido (QQFE).

Durante o acompanhamento do desenvolvimento das mudas, quando estas atingiram 180 dias, os dados do sistema radicular intacto foram coletados e também verificou-se a perda de raiz, quando efetuado o corte para evitar o enovelamento do sistema radicular no momento do transplântio a campo.

Na Figura 5A, pode-se verificar o impacto no sistema radicular, do corte da extremidade para a variável comprimento do sistema radicular, pois no estágio de quatro pares de folhas completamente expandidas, a redução é de 24,19% e no quinto par de folha passa para 24,89%. É um valor considerável, uma vez que praticamente $\frac{1}{4}$ do sistema radicular é descartado. Nestas raízes, foram alocados fotoassimilados, que poderiam ser investidos no crescimento da planta na área definitiva. O corte da extremidade, implica ainda na perda da dominância apical da raiz pivotante, atrofiando-a e induzindo-a a emitir ramificações ou bifurcações. Por esse motivo, a raiz pivotante raramente ultrapassa os 0,45 m de profundidade no perfil do solo (RENA & GUIMARÃES, 2000).

Mesma tendência ocorre na área superficial do sistema radicular e no volume radicular (Figura 5B e 5D), ou seja, redução de 23,71% e 23,21% no quarto par e 22,42% e 19,73% no quinto par, respectivamente. Implicando diretamente na capacidade de absorção de água e nutrientes da muda recém transplantada a campo.

O diâmetro médio das raízes, é afetado no sentido de aumento desta variável, uma vez que ao eliminar-se o ápice do sistema radicular, notadamente de diâmetros reduzidos, aumenta a frequência de classes de diâmetros superiores. De fato, após o corte observa-se aumento do diâmetro médio em cerca de 1,14% quando as mudas atingem o quarto par de folha e 6,71% no quinto par.

As Figuras 5E e 5F, mostram o predomínio de raízes de diâmetro inferior a 0,5 mm, tanto para comprimento como para área superficial. Ao observar-se mais atentamente as raízes, percebe-se que o corte da extremidade, leva a redução do comprimento de 23,56% e 25,57%, no quarto e quinto par de folhas completamente expandidas, para as raízes com diâmetro inferior a 0,5 mm, 26,44% e 23,91%, no quarto e quinto par de folhas completamente expandidas, para as raízes com

diâmetro entre a 0,5 – 2,0 mm, 11,75% e 7,79%, no quarto e quinto par de folhas completamente expandidas, para as raízes com diâmetro superior a 2,0 mm. O corte também reduz a área superficial radicular, sendo que as raízes com diâmetro inferior a 0,5 mm, são reduzidas em 17,10% e 24,84%, no quarto e quinto par de folhas completamente expandidas, 9,11% e 5,20%, no quarto e quinto par de folhas completamente expandidas, para as raízes com diâmetro entre a 0,5 – 2,0 mm, 3,10% e 9,53%, no quarto e quinto par de folhas completamente expandidas, para as raízes com diâmetro superior a 2,0 mm. Vale salientar, que estas raízes são zonas ativas de crescimento e absorção de solutos, sendo primordiais para o adequado estabelecimento das mudas a campo.

O corte da extremidade do recipiente, por ocasião do transplântio das mudas no campo, retira as raízes que por ventura enovelaram-se no fundo do recipiente, evitando assim plantas com problemas no desenvolvimento das raízes na lavoura. A figura 5 evidencia a perda em comprimento, área e volume das raízes nos estádios de quatro e cinco pares de folhas completamente expandidos, esta perda, em última análise, é perda de carbono. Entretanto, as plantas que tiveram o ápice radicular seccionado, aprofundam pouco suas raízes – 0,45 m (RENA & GUIMARÃES, 2000) – no perfil, devido a perda de dominância apical do eixo principal da raiz, além de ser uma perda de carbono assimilado e investido nestas raízes. Desta forma mudas transplantadas mais precocemente – terceiro par de folha completamente expandido – pode eliminar a necessidade desta prática, levando uma planta intacta para a cova – permitindo a expressão completa da arquitetura radicular, o que permite maior aprofundamento radicular e um melhor aproveitamento do carbono investido nas raízes, uma vez que não teremos o corte e o descarte.

4.2. Experimento II

Quando se comparam as variáveis em estudo dentro das variedades (Tabela 2) Catuaí Vermelho IAC-144, MGS Aranãs, Paraíso MG H 419-1, Oeiras MG 6851, Catiguá MG2 e Catuaí Amarelo IAC-62, não se verificam diferenças significativas para as variáveis CTR, ASTR, VTR, MSR aos 180 dias após a semeadura, COVRE et al. (2013) analisando o crescimento e desenvolvimento inicial de mudas

produzidas por estaquia dos 13 genótipos que compõem a variedade clonal “INCAPER Vitória 8142” (*Coffea canephora* Pierre) não encontraram diferenças significativas quando avaliaram o volume radicular, corroborando com os dados encontrados neste trabalho. Entretanto estes autores verificaram diferenças para a área superficial do sistema radicular, o que não ocorreu neste trabalho.

Foram verificadas diferenças entre as variedades para a variável diâmetro médio das raízes, sendo que a maior média foi observada na variedade Oeiras. Este comportamento pode indicar um desbalanço entre o desenvolvimento da parte aérea e seu sistema radicular, pois os maiores valores de diâmetro médio são verificados quando do início do desenvolvimento do sistema radicular (Figura 5C), o que mostra o menor investimento de fotoassimilados no sistema radicular para esta variedade, resultando em uma frequência maior de raízes com maiores diâmetros na composição do sistema radicular.

Tabela 2. Comprimento total, área total, volume total, diâmetro médio, matéria seca de raízes, comprimento radicular específico, superfície radicular específica e relação raiz/parte aérea do sistema radicular de sete variedades de café aos 180 dias após a semeadura

Variedade	CTR (cm)	ASTR (cm ²)	VTR (mm ³)	DMR (mm)	MSR (g)	CRE (cm.g ⁻¹)	SRE (cm ² .g ⁻¹)	R - R/PA
MGS Aranãs	1029,3 a	181,5 a	2564,8 a	0,55 ab	0,44 a	2439,4 a	428,4 a	0,26 a
Catuaí Amarelo IAC-62	916,8 a	194,3 a	3368,2 a	0,67 ab	0,44 a	2195,7 a	455,0 a	0,24 a
Catiguá MG2	956,70 a	202,9 a	3463,2 a	0,66 ab	0,45 a	2527,2 a	547,6 a	0,27 a
Catuaí Vermelho IAC-144	904,4 a	184,0 a	2998,0 a	0,64 ab	0,50 a	1897,3 a	392,4 a	0,30 a
Catuaí Vermelho IAC 99	1086,4 a	174,0 a	2225,0 a	0,50 b	0,47 a	2389,2 a	385,7 a	0,33 a
Oeiras MG 6851	831,5 a	176,9 a	3094,8 a	0,70 a	0,55 a	1605,7 a	357,0 a	0,38 a
Paraíso MG H 419-1	983,9 a	190,1 a	2965,6 a	0,62 ab	0,46 a	2173,2 a	415,8 a	0,24 a
CV (%)	8,11	7,23	9,21	13,16	32,66	35,53	41,79	18,83

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey , a 5% de significância. CTR – Comprimento Total das Raízes; ASTR – Área da Superfície Total das Raízes; VTR – Volume total das Raízes; DMR – Diâmetro Médio das Raízes; MSR – Massa Seca das Raízes; CRE – Comprimento Radicular Específico; SRE – Superfície Radicular Específica e RPA – Relação Raiz/Parte Aérea (MS).

As variáveis CTR, ASTR, VTR, CRE, SRE, MSR e R – R/PA, não diferem para as variedades estudadas, o que nos permite a adoção de técnicas uniformes, uma vez que aos 180 dias após a semeadura todas as variedades apresentam desenvolvimento igual para características relacionadas à arquitetura e topologia do sistema radicular. Resultados semelhantes foram encontrados por POLLO et, al (2019), que estudando as variedades Novo Mundo IAC 379-19, IAC 515-20 e Catucaí 785-15, não observaram diferenças entre as variedades, para as características relacionadas ao sistema radicular.

5. Conclusões

- O sistema radicular de mudas de “meio ano” da variedade Catuaí Vermelho IAC 99, apresenta desenvolvimento radicular intenso nos primeiros 180 dias após a semeadura. Após 180 dias é observado redução da taxa de aumento do comprimento, área e volume das raízes.
- Aos 130 dias após a semeadura, é observado o maior valor da relação raiz/parte aérea, sendo que com o avançar do ciclo ocorre redução desta variável.
- O diâmetro médio das raízes é reduzido com o avançar do desenvolvimento das mudas.
- O corte de 13,63% do volume da extremidade do recipiente, no momento do transplântio em área definitiva, promove redução de aproximadamente $\frac{1}{4}$ do comprimento, área superficial e volume do sistema radicular, e elimina majoritariamente raízes com diâmetro inferior a 2,0 mm.
- As variedades MGS Aranãs, Catucaí amarelo IAC-62, Catiguá MG2, Catuaí vermelho IAC-144, Catuaí vermelho IAC-99, Oeiras MG 6851 e Paraíso MG H

419-1 não apresentam diferenças quanto a comprimento, superfície, diâmetro e volume de raízes durante a fase de produção de mudas.

6. Referências

BOHM, W. Methods of studying root systems. Vol 33. Ecological studies. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 1979.

BONSER, A. M; LYNCH, J; SNAPP, S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*. *New Phytologist*, 132:281-8. 1996.

CASTRO, P. R. C; FERREIRA, S. O; YAMADA, T. *Ecofisiologia da Produção Agrícola*. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 249.1987.

COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de café, v.6 – Safra 2020, n. 1- Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-62, janeiro 2020.

COVRE, A. M; PARTELLI, F. L; MAURI, A. L; DIAS, M. A. Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café Conilon. *Revista Agro@ambiente Online*, v. 7, n. 2, p. 193-202, maio-agosto, 2013.

FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: An R Package for ANOVA and Ex-perimental Designs. *Applied Mathematics*, vol. 5, p. 2952-2958. 2014.

GAMUYAO, R; CHIN, J. H; PARIASCA-TANAKA, J; PESARESI, P; CATAUSAN, S; DALID, C; SLAMET-LOEDIN, I; TECSON-MENDOZA, E. M; WISSUWA, M; HEUER, S. The protein kinase Pst1 from traditional rice confers tolerance of phosphorus deficiency. *Nature*, 488:535-9. 2012

INFORZATO, R.; REIS, A. J. Desenvolvimento do sistema radicular em diversas fases do crescimento do cafeeiro. Campinas: IAC, 12 p.1974.

JESUS, A. M. S; CARVALHO, S. P; SOARES, A. M. Comparação entre sistemas radiculares de mudas de *Coffea arabica* L. obtidas por estaquia e sementes. *Coffee Science*, Lavras, v. 1, n. 1, p. 14-20, abr./jun. 2006

LYNCH, J. Root architecture and productivity. *Plant Physiol*. 109:7-13. 1995.

MELLO, S. L. M. Características do sistema radicular de povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas. Piracicaba, 79p. ESALQ, USP. (Dissertação de Mestrado).1997.

NASSER, M. D; LIMA JUNIOR, S; GALLO, P. B; SOUZA, P. S; BREDA JUNIOR, J. M. Desenvolvimento e qualidade de mudas de café (*Coffea arabica* L.) produzidas

em sacola plástica convencional, tubete e sacola de tnt. VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 1-5. 2009.

NUTMAN, F. J. The root-system of *Coffea arabica* L. I. Root system in typical soils of British East Africa. Emp . Jour. Exp . Agric 1 271-284. 1933.

NUTMAN, F. J. The root-system of *Coffea arabica* L. III. The spacial distribution of the absorbing area of the root. Emp . Jour. Agric 2 293-302. 1934.

PARTELLI, F. L., COVRE, A. M., OLIVEIRA, M. G., ALEXANDRE, R. S., VITÓRIA, E. L. & SILVA, M. B. Root system distribution and yield of 'Conilon' coffee propagated by seeds or cuttings. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 49 349-355. 2014.

PEREIRA, A. A. & BAIÃO, A. P. Cultivares. In: Café arábica: do plantio à colheita. Viçosa, MG. 24-45, 2015.

POLLO, G. Z; CAVALCANTE, A. G; MEIRELLES, F. C; FARINELLI, R; LEMOS, L.B. Crescimento inicial de cultivares de Café arábica com aplicação de fertilizante nitrogenado de liberação lenta. Acta Iguazu, Cascavel, v.8, n.4, p. 146-155, 2019.

RAMOS, L. C. S; LIMA, M. M. A; CARVALHO, A. Crescimento do sistema radicular e da parte aérea em plantas jovens de cafeeiro. Bragantia, 41:93-99. 1982.

RENA, A. B; GUIMARAES, P. T. G. Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuicao, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: EPAMIG, 80p. il. 2000.

ROSSIELLO, R. O. P; ARAÚJO, A. P; MANZATTO, C. V; FERNANDES, M. S. Comparação dos métodos fotoelétricos e da interseção na determinação de área, comprimento e raio médio radicular. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 30:633-8. 1995.

RUSSELL, R. S. Plant root systems - their function and interaction with the soil. In: SYMPOSIUM ON THE SOIL/ROOT SYSTEM IN RELATION TO BRASILIAN AGRICULTURE, 1980, Londrina. Proceedings...p. 3-19. Londrina: IAPAR, 1981.

SAKIYAMA, N. S. O café arábica. In: Café arábica: do plantio à colheita. Viçosa, MG. 1-23, 2015.

TOMAZ, M. A; MARTINS, L. D & RODRIGUES, W. N. Produção de mudas e plantio. In: Café arábica: do plantio à colheita. Viçosa, MG. 24-45, 2015.

UGA, Y; SUGIMOTO, K; OGAWA, S; RANE, J; ISHITANI, M; HARA, N; YANO, M. Control of root system architecture by.. Nat. Genet, 45:1097-102. 2013.

ZONTA, E; BRASIL, F. C; ROCHA, J. F; SANTOS, L. A; FERREIRA, L. M; TAVARES, O. C. H; PIMENTEL, R. R; ROSSIELLO, R. O. P; GOI, S. R. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico. In: Nutrição mineral de plantas. 2ª ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2018.

II. Alterações do sistema radicular do cafeeiro ao longo do desenvolvimento dos frutos

1. Introdução

A importância do estudo do sistema radicular das espécies vegetais utilizadas na agricultura, sua distribuição, extensão e atividade, é incontestável e fundamental para o entendimento científico da produção agrícola. As raízes das plantas têm distribuição que varia de acordo com a espécie, idade da planta, tratos culturais, condição fitossanitária e características físico-químicas do local de cultivo (FRACARO & PEREIRA, 2004). O conhecimento sobre a quantidade, qualidade e distribuição das raízes é útil na produção agrícola, de modo que este conhecimento possibilita a proposição de estratégias relacionadas ao manejo da adubação (local de deposição, época de fornecimento e fonte adequada), do solo, espaçamento de cultivo e irrigação, quando e se, for utilizada (CALLEJA-CABRERA et al. 2020).

Na cafeicultura, como em qualquer outra atividade agrícola, a produção está intimamente relacionada e é altamente influenciada pela resposta do vegetal ao clima a que está exposto. O clima afeta os processos fisiológicos e de desenvolvimento da planta que, em última análise, impactam no rendimento e qualidade das colheitas. A resposta do sistema radicular frente aos estresses bióticos e abióticos a que está sujeito, pode ser valiosa fonte de dados para tomada de decisão na agricultura moderna (CALLEJA-CABRERA et al. 2020), uma vez que as raízes são porta de entrada principal de água e nutrientes para os vegetais.

Em plantas perenes cultivadas como goiabeira, aceroleira e laranjeira o estudo do sistema radicular, auxilia e norteia a tomada de decisão das principais práticas culturais (CINTRA & NEVES, 1996; NEVES et al. 2000 e KONRAD et al. 2001), porém, tal qual ocorre em lavouras de café, o acesso a este importante órgão é difícil, e perdas podem acontecer se não forem adotadas metodologias adequadas. PAEZ-GARCIA et al. (2015) em sua revisão, relata que em condições de campo,

métodos como escavação das plantas, abertura de trincheiras, minirrizotrons e utilização de trados/sondas, possuem relevância fisiológicas e práticas para o entendimento dos fenômenos relacionados à arquitetura radicular, porém, necessitam de trabalho e tempo intensivos. No estudo de raízes figuram ainda como desafios a variabilidade no campo, e o fato das amostragens serem destrutivas e requererem adequado tratamento.

Em agosto de 2014, o periódico *Frontiers in Plant Science*, dedicou um volume somente para pesquisas relacionadas a ecofisiologia do sistema raiz, onde diversos autores puderam expor os avanços neste importante componente dos vegetais. REWALD et al. (2014) esclarece que frente a grandes modificações climáticas e os diferentes estresses (e.g. seca, salinidade e baixa fertilidade) a que as plantas são submetidas, o entendimento do comportamento do sistema raiz e dos processos que ocorrem na rizosfera é de fundamental importância para manutenção da produtividade das plantas cultivadas.

FRANCO & INFORZATO (1946) estudando cafeeiros no estado de São Paulo, com atenção especial em seu sistema radicular, e seu comportamento em diferentes solos, umidade e profundidade, observaram que as raízes primárias não vão além de 0,5 m de profundidade, não sendo pivotante seu sistema radicular, nas condições atuais da cultura, em que a formação da dos talhões se dá através do transplântio e corte do fundo do recipiente de produção das mudas. Os autores relatam que talvez, se possível na prática, a semeadura em local definitivo permitiria produzir plantas com um sistema radicular melhor e mais profundo.

DAFERT & BRAGA (1917) citados por FRANCO & INFORZATO (1946) estudando sobre o peso das diferentes partes do cafeeiro para fins de cálculo de adubação, obtiveram o comprimento e peso do sistema radicular daquelas plantas em diversas idades, sendo que para cafeeiros de 10 e 40 anos, acharam 0,64 e 0,95 m, respectivamente, para o comprimento máximo da raiz principal e 3.000 e 8.700 g de massa de matéria fresca de todo sistema radicular recuperado. O foco do trabalho destes autores estava na composição e participação singular de cada parte do cafeeiro, sendo provavelmente desconsideradas as raízes que ultrapassavam

aquelas profundidades (0,64 e 0,95 m), já que seu peso, pouco influenciava no peso das raízes principais.

DaMATTA et al.(2007) discutem a relação entre a frutificação dos cafeeiros e a morte de ramos, ocasionada pelo desbalanço entre a elevada demanda de carboidratos para o adequado desenvolvimento dos frutos e o crescimento vegetativo do cafeeiro. Estes autores relatam que, a alocação de matéria seca nos frutos (drenos prioritários), pode ser até quatro vezes maior do que a alocada para o crescimento de novos ramos durante o ciclo de produção e que nos estádios finais de maturação do fruto, estes podem acumular e imobilizar até 95% do potássio, fósforo e nitrogênio que estão sendo absorvidos naquela fase, sendo que este comportamento pode contribuir diretamente para um “die-back” dos ramos.

BECKLEY (1935) e NUTMAN (1933) citados por FRANCO & INFORZATO (1946), estudando os sistemas radiculares de cafeeiros em variados tipos de solo na África, encontraram em plantas com idade de 5 e 6 anos de idade, raízes em uma profundidade máxima de 4,06 m e que o “die-back” causado nos ramos por anos de carga alta, acarretava um “die-back” proporcional no sistema radicular, que reduzia e deformava as raízes primárias daquelas plantas e que suas raízes não alcançavam além de 0,50 m de profundidade.

Com base nas considerações acima, o objetivo deste trabalho é verificar a distribuição do sistema radicular do cafeeiro no perfil do solo, até 40 cm de profundidade, durante as fases de crescimento e desenvolvimento dos frutos.

2. Referencial teórico

O acúmulo de matéria seca num dado órgão de interesse econômico é controlado pela troca de metabólitos entre os tecidos fornecedores de fotoassimilados (a fonte) e o órgão colhido (o dreno colhido) (PIMENTEL, 1998). HENDRIX (1994), em sua revisão, informa que 44% do carbono fixado pela fotossíntese é destinado ao sistema radicular, sendo que aproximadamente $\frac{1}{4}$ deste,

é investido em crescimento, sendo o restante destinado a respiração de manutenção das raízes. A alocação nas raízes desta considerável percentagem de fotoassimilados, é vantajosa ao vegetal, uma vez que se traduz em benefícios para aquisição de água e nutrientes, muitas vezes limitantes em determinadas condições de cultivo.

A parte principal do sistema radicular do cafeeiro arábica, concentra-se majoritariamente na camada dos primeiros 0,30 m de profundidade e distribui-se em um círculo formado pela projeção da copa das plantas. O comportamento do sistema radicular de *C. arabica* e *C. canephora* parece ser semelhante e é altamente plástico com distribuição variando com a idade do cafeeiro, a densidade de implantação do cafezal, o genótipo escolhido, as características químicas e físicas do solo, práticas culturais adotadas pelo cafeicultor e a competição que estas plantas sofrem com as ervas daninhas presentes na área de cultivo (DaMATTA et al. 2007). Além de variáveis relacionadas ao material vegetal e as condições de cultivo, tem-se que ressaltar ainda as características climáticas da área (CALLEJA-CABRERA et al. 2020).

CALLEJA-CABRERA et al. (2020) em sua revisão sobre o comportamento do sistema radicular de algumas culturas frente a mudanças climáticas relatam que o aumento da temperatura do solo promove mudanças significativas na arquitetura das raízes. Estes autores relatam que plantas crescidas em temperaturas elevadas apresentam raízes primárias mais curtas, menor número de raízes laterais, menor ângulo de crescimento das raízes, maior prevalência de raízes de segunda e terceira ordem, aumento do diâmetro das raízes e no número e tamanho dos pelos radiculares. Estas alterações levam notadamente a redução da razão raiz/parte aérea e por consequência a redução da alocação de carbono neste órgão. Estas alterações, em última análise comprometem a absorção de água e nutrientes, podendo ocasionar perdas consideráveis aos plantios.

Durante seus estudos no Quênia, HUXLEY & TURK (1975) lançaram mão de observatórios radiculares instalados em cafeeiros e acompanharam as mudanças sazonais que ocorriam no sistema radicular das árvores. Os autores relatam que as raízes finas permaneceram não-suberizadas por pelos menos dois anos e turgidas

durante toda estação úmida. E que a taxa de crescimento radicular pouco variava nas plantas que recebiam irrigação quando comparadas com aquelas conduzidas em condição de sequeiro. Avaliaram ainda a taxa de desaparecimento das raízes, e observaram que não era fortemente afetada ao longo das estações de crescimento, nem mesmo por poda ou desfolha. Na avaliação radicular durante o período de frutificação, CANNELL (1971), analisando o crescimento total de plantas de café durante os anos de 1967-1968, verificou que, até 70% da matéria seca, pode ser destinada ao dreno preferencial (frutos), e que plantas com altas cargas de frutos, podem sofrer reduções no crescimento dos ramos, morte de raízes de diâmetro reduzido e que os períodos de crescimento radicular ativo não coincidem com o crescimento dos ramos. Logo no início de seu trabalho ele relata a dificuldade para estudar as raízes, uma vez que a própria técnica (escavação parcial ou total, uso de observatórios ou ainda sondas) limita o número de repetições que são possíveis de serem adotadas durante o período experimental.

3. Material e métodos

3.1. Localização do experimento e condições de cultivo

O experimento foi conduzido em lavoura implantada no Campo experimental Professor Diogo Alves de Melo, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG. A variedade de café (*Coffea arabica* L.) utilizada foi a Catuaí Vermelho IAC 99, de porte baixo, dividida em talhões com de 4, 5 e 7 anos após a recepa. Os cafeeiros foram transplantados no espaçamento 2,00 x 1,00 m, perfazendo um estande de 5.000 plantas/ha.



Figura 1. Visão geral da área experimental e de alguns estádios de desenvolvimento dos frutos dos cafeeiros implantados na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

a) Condição climática e localização da lavoura

O clima é do tipo Cwa, com temperatura média de 20,6° C, verão chuvoso e precipitação da ordem de 1229 mm anuais. As coordenadas geográficas da área são: 20° 46' 11,5" S e 42° 52' 13,4" W, a 648 m de altitude em relação ao nível do mar. Durante o período experimental, a pluviosidade diária (mm) e temperaturas máxima e mínima (° C) são apresentadas na figura 2.

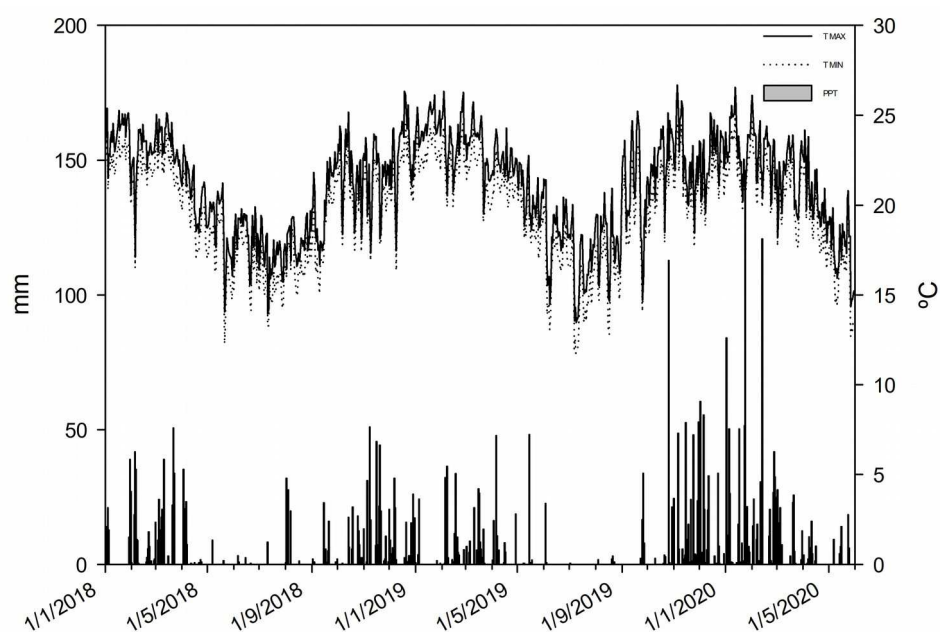


Figura 2. Variações diárias em temperatura máxima, mínima e precipitação durante as safras 2018/2019 e 2019/2020 de produção de café em Viçosa-MG.

b) Condições de cultivo durante o período experimental

Durante o período experimental, foram realizados os tratos culturais comumente realizados na cultura do café, afim de manter condições homogêneas de crescimento para todas as plantas. Entre as atividades, foram realizados: roço das plantas daninhas presentes na entre linha, calagem quando necessário, adubação anual de produção via solo e folha e controle de doenças e pragas. A fertilidade do solo foi avaliada por análises químicas (tabela 1) durante as safras 2018/19 e 2019/20, e nelas baseou-se o programa de adubação e calagem.

Tabela 1. Resultados das análises químicas de solo realizadas na área experimental antecedendo as safras 2018-19 e 2019-20 de produção de café

Ano	Id.	pH H ₂ O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m
			mg/dm ³			cmol _c /dm ³						%	
2018	Talhão 1 0-20 cm	5,30	62,5	206	2,93	0,54	0,00	3,4	4,00	4,00	7,40	54,1	0,0
	Talhão 1 20-40 cm	4,75	21,3	138	2,28	0,41	0,18	3,1	3,04	3,22	6,14	49,5	5,6
	Talhão 2 0-20 cm	5,92	30,2	303	2,79	0,83	0,00	2,8	4,40	4,40	7,20	61,1	0,0
	Talhão 2 20-40 cm	5,16	13,2	202	1,71	0,41	0,18	3,0	2,64	2,82	5,64	46,8	6,4
	Talhão 3 0-20 cm	4,35	35,4	89	1,52	0,30	0,73	5,7	2,05	2,78	7,75	26,5	26,3
	Talhão 3 20-40 cm	4,19	18,8	87	1,08	0,20	1,18	5,1	1,50	2,68	6,60	22,7	44,0
2019	Talhão 1 0-20 cm	5,63	29,8	112	2,85	0,87	0,00	3,2	4,01	4,01	7,21	55,6	0,0
	Talhão 1 20-40 cm	4,67	4,0	78	1,14	0,38	0,48	3,4	1,72	2,20	5,12	33,6	21,8
	Talhão 2 0-20 cm	5,69	35,2	136	3,27	0,69	0,00	2,7	4,31	4,31	7,01	61,5	0,0
	Talhão 2 20-40 cm	5,28	5,7	110	1,82	0,37	0,00	1,9	2,47	2,47	4,37	56,5	0,0
	Talhão 3 0-20 cm	5,37	34,7	112	2,40	0,56	0,00	3,0	3,25	3,25	6,25	52,0	0,0
	Talhão 3 20-40 cm	4,75	7,6	116	1,19	0,29	0,39	3,2	1,78	2,17	4,98	35,7	18,0
2020	Talhão 1 0-20 cm	6,06	40,0	127	2,74	1,21	0,00	2,6	4,28	4,28	6,88	62,2	0,0
	Talhão 1 20-40 cm	5,13	9,9	79	1,26	0,54	0,00	2,7	2,00	2,00	4,70	42,6	0,0
	Talhão 2 0-20 cm	6,14	77,9	180	3,39	0,96	0,00	2,3	4,81	4,81	7,11	67,7	0,0
	Talhão 2 20-40 cm	5,31	26,6	119	1,80	0,43	0,00	2,4	2,54	2,54	4,94	51,4	0,0
	Talhão 3 0-20 cm	5,84	50,6	135	2,95	0,86	0,00	3,4	4,16	4,16	7,56	55,0	0,0
	Talhão 3 20-40 cm	5,14	20,5	109	2,01	0,45	0,20	3,7	2,74	2,94	6,44	42,5	6,8

3.2. Descrição do experimento

a) Tratamentos e amostragens

Os tratamentos consistiram da avaliação do sistema radicular do cafeeiro nas fases fenológicas de chumbinho (CH), primeira expansão rápida (ER), granação (GR) e maturação (MT), e nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. As avaliações foram realizadas durante duas safras consecutivas 2018-19 e 2019-20, em três talhões (blocos) de plantas com diferentes idades. Na safra 2018-19, as plantas apresentavam 4, 5 e 7 anos após a recepa respectivamente. Cada talhão era constituído por 375 plantas distribuídas em 5 linhas de cultivo, sendo as duas linhas das extremidades utilizadas como bordadura. Cada parcela experimental constou de 2 plantas escolhidas ao acaso, entre as plantas das 3 linhas centrais de cada talhão.

Foram selecionadas plantas saudáveis, que apresentavam boa condição de enfolhamento e que possivelmente teriam boa carga de frutos ao final do ciclo. Estas plantas foram então marcadas e os diâmetros da projeção de suas copas foram medidas em duas posições perpendiculares entre si para estimativa da área de projeção da copa e o volume projetado até 40 cm de profundidade, sendo a média destes dados apresentados na tabela 2.

Em cada planta, a coleta de raízes foi realizada em 4 pontos na linha formada pelo círculo da projeção da copa e mais 4 pontos em um círculo interno com metade do raio do círculo externo (figura 3). Tal procedimento baseou-se no fato das raízes do cafeeiro concentrarem-se na projeção da copa e nos 30-40 cm superficiais do solo.

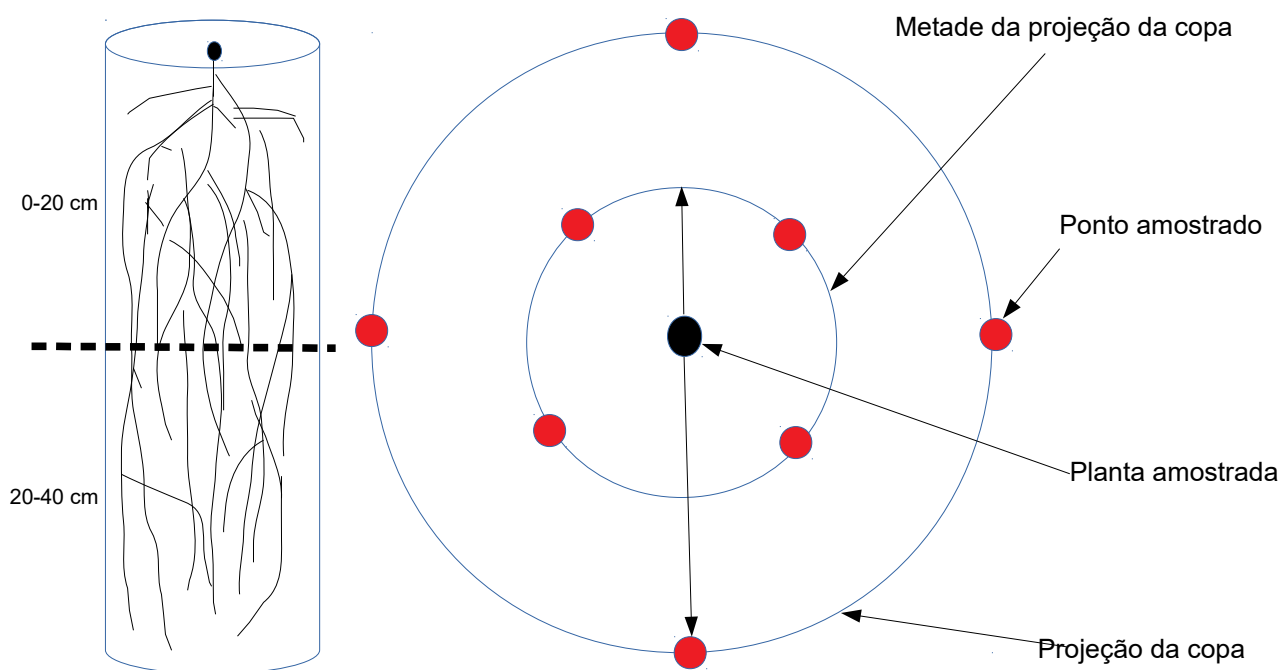


Figura 3. Localização dos pontos amostrados na linha externa de projeção da copa e na linha de metade do raio de projeção da copa.

Tabela 2. Média da área de projeção da copa (cm^2) e do volume (cm^3) projetado até 40 cm de profundidade nos cafeeiros estudados durante o período experimental, nas safras 2018/2019 e 2019/2020

Estádio	Bloco	Área (18/19)	Volume (18/19)	Área (19/20)	Volume (19/20)
CH	1	15764,00	630560,00	27800,00	111200,00
CH	2	18892,50	755700,00	24818,00	992720,00
CH	3	23380,00	935200,00	38052,00	1522080,00
ER	1	16780,00	671200,00	29880,00	1195200,00
ER	2	23297,50	931900,00	28702,00	1148080,00
ER	3	24245,00	969800,00	32208,50	1288340,00
GR	1	27646,50	1105860,00	28723,00	1148920,00
GR	2	22033,00	881320,00	30547,00	1221880,00
GR	3	30929,50	1237180,00	32175,00	1287000,00
MT	1	31239,00	1249560,00	31290,50	1251620,00
MT	2	28057,50	1122300,00	31389,00	1255560,00

MT	3	31718,50	1268740,00	34120,00	1364800,00
----	---	----------	------------	----------	------------

CH – Chumbinho, ER – Expansão Rápida, GR – Granação e MT – Maturação.

b) Análises morfológicas do sistema radicular

Durante os estádios de desenvolvimento do fruto do cafeeiro, foram coletadas raízes na projeção da copa e na metade da projeção da copa das plantas em duas profundidades, 0-20 cm e 20-40 cm, com auxílio de sonda de 51 mm de diâmetro (volume 408,5641 cm³, por ponto de coleta). As raízes obtidas após a separação manual foram inicialmente lavadas, acondicionadas em solução alcoólica (15%) e mantidas refrigeradas (BOHM, 1979). Estas amostras foram posteriormente submetidas a avaliação por meio do software WinRHIZO 2013 (Regents Instruments, Quebec City, Canada) acoplado a um scanner (EPSON Flatbed Scanner Expression 11000XL) para quantificar seu comprimento, área superficial, volume, número de ápices e bifurcações do sistema radicular, e estes valores expressados em termos do volume coletado.

c) Determinação da massa de raízes

Para separação e determinação da massa de raízes finas (menor ou igual a 2,00 mm) e grossas (maior que 2,00 mm), as amostras foram separadas manualmente e sua massa fresca aferida em balança de precisão do laboratório de nutrição mineral de plantas. Após isso, foram transferidas para sacos de papel e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar, a 65° C, até peso constante e novamente pesadas.

d) Produção

As plantas selecionadas e marcadas tiveram sua produção aferida ao final do ciclo de produção, através do método da derriça manual e sua produtividade expressa em sacas/ha.

3.3. Delineamento experimental e procedimentos estatísticos

Para comparar as alterações ocorridas no sistema radicular ao longo do desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa os dados obtidos para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm foram analisados separadamente, segundo o delineamento de blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, sendo os níveis de safra alocados na parcela (2018-19 e 2019-20) e os estádios de desenvolvimento dos frutos na subparcela (chumbinho, expansão rápida, granação e maturação) em três blocos. As massas de matéria fresca e seca das raízes finas e grossas foram comparadas em relação a profundidade de coleta e as estimativas de comprimento e área total, foram calculadas para o volume total da copa do cafeeiro, sendo que foi utilizada a média das duas safras. A estratificação do comprimento, área e volume em porcentual, foi obtida pela divisão em classes de diâmetro e cálculos posteriores. Os dados coletados foram inicialmente submetidos a teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e de homocedasticidade de variância (Bartlett). Quando necessária a transformação foi realizada através do cálculo da verossimilhança perfilhada do parâmetro λ , utilizando a função box-cox, do pacote MASS, para o R (R version 3.4.4). Após satisfeitas as pressuposições, os dados foram submetidos a análise de variância e se observada significância, comparados por meio de teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com o auxílio do pacote ExpDes para o R (FEREIRA et al. 2014). Foi realizado análise de correlação de Pearson entre a produção de frutos e as variáveis relacionadas ao sistema radicular.

4. Resultados e discussão

A produtividade das plantas de acordo com as safras acompanhadas é apresentada na tabela 3, onde a safra de 2018-19 é caracterizada como ano de bienalidade positiva (alta produção) e a safra de 2019-20 como de bienalidade negativa (baixa produção). Esta análise faz-se necessária para confirmar a ocorrência de variação bienal na carga de frutos, para assim, poder-se estudar seu efeito no comportamento radicular, uma vez que plantas submetidas a altas produções, podem apresentar desenvolvimento radicular e vegetativo diferenciado.

Tabela 3. Produtividade de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 em duas safras consecutivas

Safra	Média (sacas/ha)
2018-19	74,16
2019-20	47,36

Média da produção das 48 plantas estudadas durante cada safra do período experimental. Cada saca contendo 60 kg.

Na figura 4, são apresentadas as variáveis relacionadas a morfologia das raízes das plantas estudadas durante as fases de desenvolvimento dos frutos em cada profundidade no perfil do solo.

A análise dos dados, evidencia interação entre os fatores estádios de desenvolvimento dos frutos e a safra. Na figura 4A, onde é apresentada a densidade do comprimento radicular (cm.cm^{-3}) na profundidade de 0-20 cm, observa-se que não houve diferenças significativas dentro dos níveis do fator estágio de desenvolvimento em cada safra. No entanto, chama a atenção a tendência de aumento na densidade de comprimento ao longo do desenvolvimento dos frutos no ano de baixa produção, enquanto que no ano de alta produção a tendência é de redução na densidade de comprimento das raízes durante o desenvolvimento dos frutos.

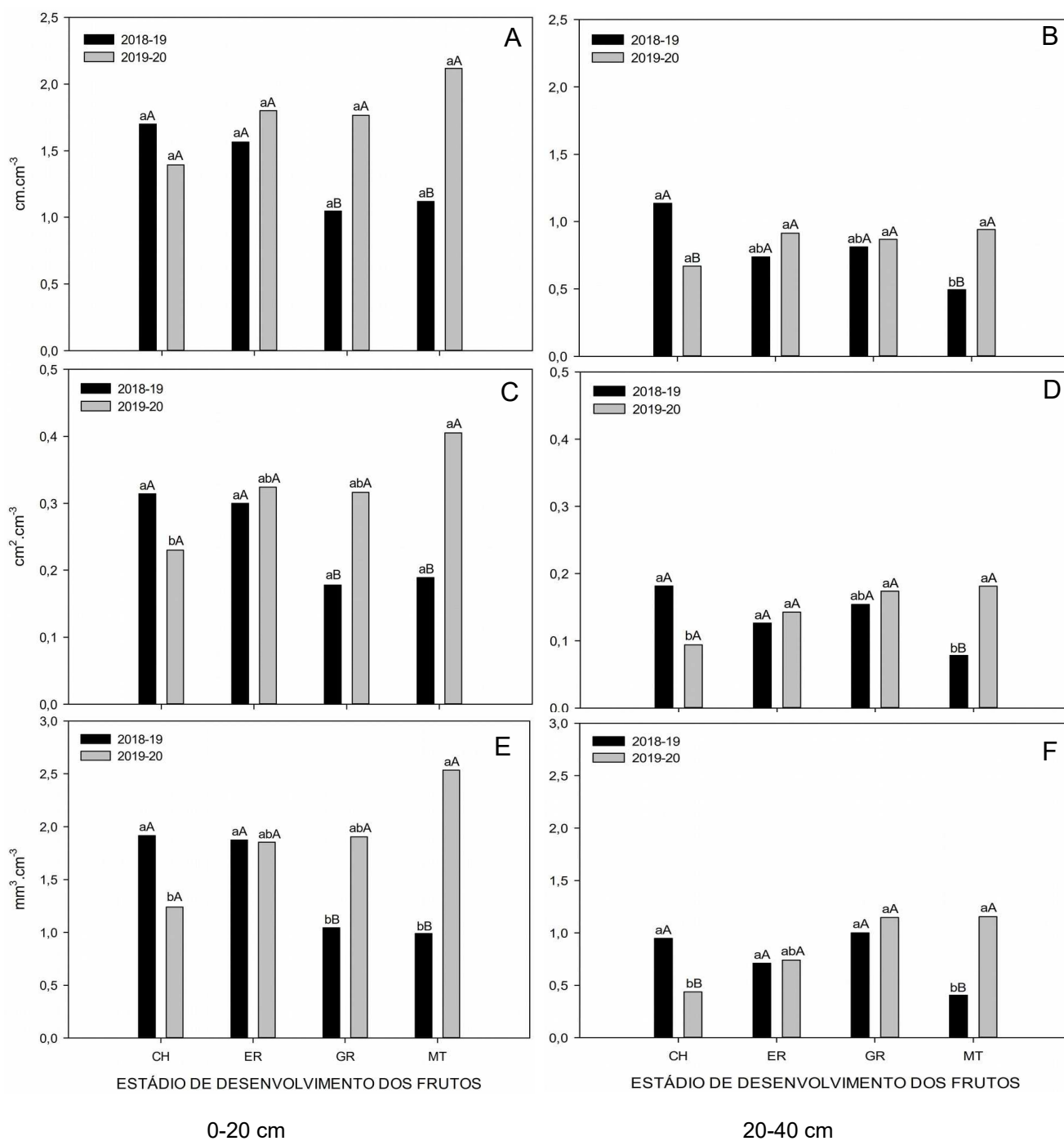


Figura 4: Densidade do comprimento total (A e B); densidade da área superficial (C e D) e densidade do volume total (E e F) do sistema radicular em função dos estádios de desenvolvimento dos frutos e a safra estudada. Letras minúsculas iguais dentro da mesma safra e maiúsculas dentro do mesmo estágio, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A análise dos dados, evidencia interação entre os fatores estádios de desenvolvimento dos frutos e a safra. Na figura 4A, onde é apresentada a densidade do comprimento radicular (cm.cm^{-3}) na profundidade de 0-20 cm, observa-se que não houve diferenças significativas dentro dos níveis do fator estágio de desenvolvimento em cada safra. No entanto, chama a atenção a tendência de aumento na densidade de comprimento ao longo do desenvolvimento dos frutos no ano de baixa produção, enquanto que no ano de alta produção a tendência é de redução na densidade de comprimento das raízes durante o desenvolvimento dos frutos.

Porém, quando contrastado cada estágio dentro dos níveis de safra, foi observado que durante os estádios de granação e maturação das safras de 2018-19 (alta produção) e 2019-20 (baixa produção), foi verificada diferença significativa, sendo os maiores valores encontrados nos estádio de granação e maturação da safra de 2019-20 (baixa produção). A densidade do comprimento radicular (cm.cm^{-3}) na profundidade de 20-40 cm é mostrada na figura 4B, onde pode-se observar que na safra 2018-19 (alta produção) os valores não diferiram entre os estádios de chumbinho, expansão rápida e granação, sendo que os menores valores foram encontrados no final do ciclo durante a fase de maturação dos frutos. Já para o ano agrícola de 2019-20 (baixa produção), não foi observada diferença significativa entre as fases de desenvolvimento dos frutos. Para cada estágio em separado dentro dos níveis da safra, pode-se notar que no primeiro ano de avaliação (2018-19 – alta produção) a densidade do comprimento radicular foi superior na fase de chumbinho se comparada com a mesma fase do segundo ano. Para os estádios de granação e maturação, não foi observada essa diferença nas duas safras estudadas. Para o estágio de maturação, os menores valores foram observados no primeiro ano de alta produção (2018-19), denotando considerável aumento para a mesma fase no segundo ano (2019-20 – baixa produção). Pode-se observar um comportamento que se faz completo apenas ao final do segundo ano de cultivo, pois é notório que ao final do ciclo do primeiro ano, na fase de maturação, observa-se valores reduzidos nas duas profundidades de coleta, e quando se iniciam as novas observações (na fase de chumbinho) na safra seguinte, os valores são similares, indicando que os efeitos de uma safra com carga alta, são evidentes até o início do novo ciclo produtivo da safra seguinte. HUXLEY & TURK (1975), encontraram resultados

semelhantes, nos quais não foram observadas diferenças nas taxas de crescimento e desenvolvimento das raízes durante o ciclo de produção, dentro do mesmo ano agrícola, e mesmo quando as plantas eram submetidas à poda ou a desfolha. Estes autores argumentam que o estresse não foi suficiente para esgotar as reservas de carboidratos ao ponto de impactar o sistema radicular.

Na figura 4C, é apresentada a densidade da área superficial das raízes ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$) na profundidade 0-20 cm. Na safra 2018-19 (alta produção), não foram observadas diferenças entre os estádios de desenvolvimento dos frutos. A fase de chumbinho da safra de 2019-20 - ano de baixa produção - apresentou os menores valores, porém, não diferiu dos estádios de expansão rápida e granação dos frutos. O estádio de maturação da segunda safra, apresentou os maiores valores, sendo observado desta forma, um aumento significativo da densidade da área superficial do sistema radicular. Ao se comparar isoladamente uma fase dentro dos níveis das safras, observa-se que os estádios de chumbinho e expansão rápida não diferiram. Mas as fases de granação e maturação foram significativamente maiores na safra de 2019-20 (baixa produção). O comportamento na figura 4D, que expressa a densidade da área superficial de raízes presentes na profundidade de 20-40 cm, se assemelha ao da camada superior, porém, o estádio de maturação da safra de 2019-20 foi aquele em que encontrou-se os maiores valores para a variável em questão. Este comportamento foi também verificado por MOTTA et al. (2006), que estudando a distribuição horizontal e vertical das raízes de cafeeiros da variedade Catuaí, observaram que a maior proporção do comprimento era encontrado nos 20 cm iniciais do perfil do solo e que do comprimento, mais de 97% era constituído por raízes de diâmetro inferior a 1,00 mm.

O volume radicular ($\text{mm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) é apresentado nas figuras 4E e 4F, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm respectivamente. Os estádios de chumbinho e expansão rápida não diferiram entre si para a safra de 2018-19 (alta produção), já os estádios de granação e maturação apresentaram os menores valores. No ano agrícola de 2019-20 (baixa produção), os menores valores de volume radicular foram encontrados no estádio de chumbinho, diferindo de expansão rápida e granação e estes não diferindo entre si. O maior valor para a densidade do volume radicular foi observado na maturação. O estudo de cada fase dentro dos níveis de

safras, revelam que os estádios de chumbinho e expansão rápida não diferem na primeira e segunda safra. Na safra de 2019-20 (baixa produção) os estádios de granação e maturação foram estatisticamente superiores quando observadas as mesmas fases da safra 2018-19 (alta produção). Na profundidade de 20-40 cm, o estágio de maturação da safra de 2018-19 (alta produção), teve o menor valor para a variável analisada. Já na safra 2019-20 (baixa produção) o estágio chumbinho foi o que apresentou o menor valor para volume radicular. Ao observarmos o estágio chumbinho nos dois anos estudados, vemos que o maior valor foi observado na safra de 2018-19 (alta produção), expansão rápida e granação não diferiram nos dois anos agrícolas.

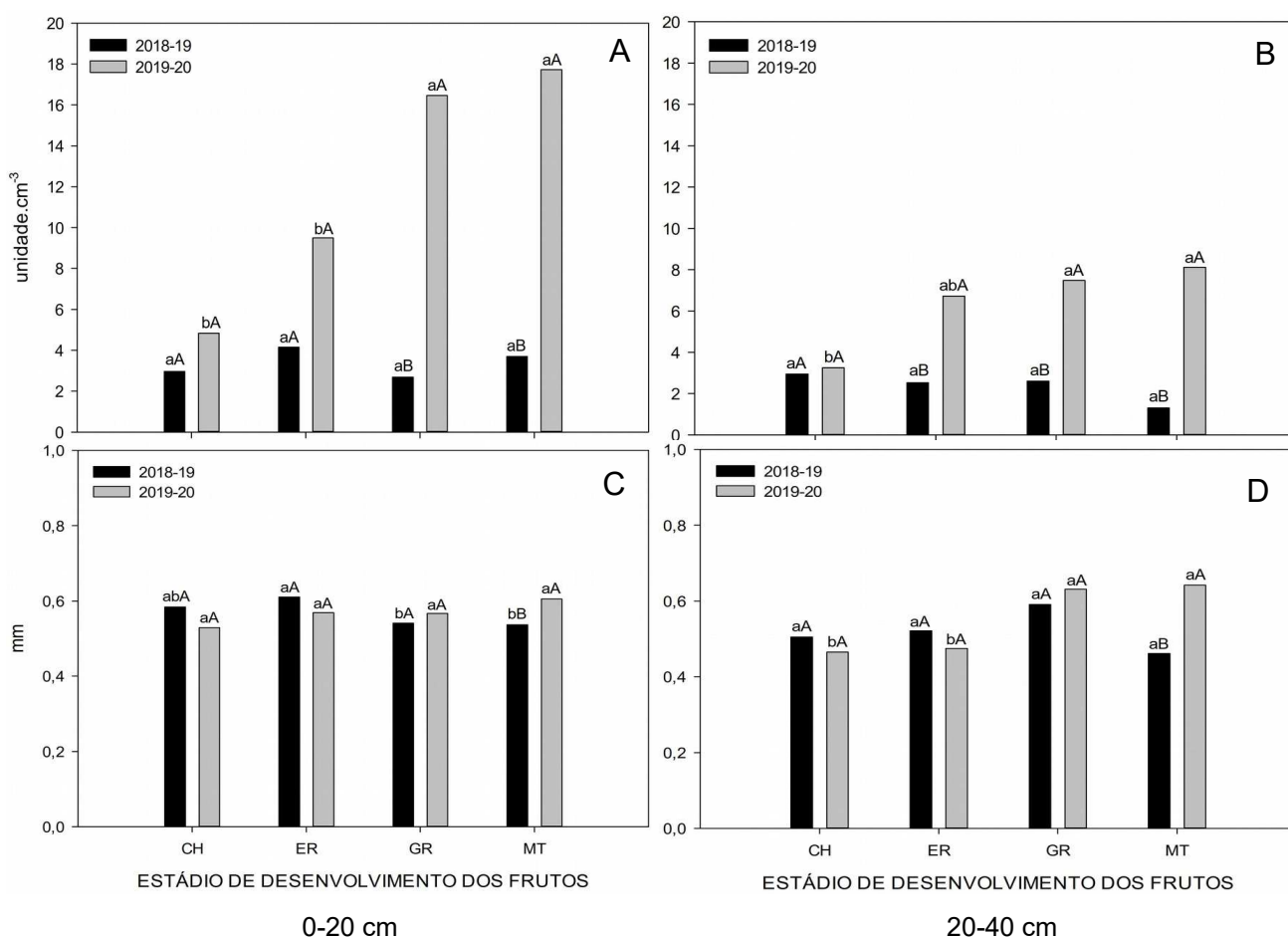


Figura 5: Densidade dos ápices radiculares (A e B); diâmetro médio das raízes (C e D) do sistema radicular em função dos estádios de desenvolvimento dos frutos e a safra estudada. Letras minúsculas iguais dentro da mesma safra e maiúsculas

dentro do mesmo estágio, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

O estágio de maturação apresentou diferenças nos dois anos agrícolas, sendo os valores superiores na safra de 2019-20 (baixa produção). O número de ápices radiculares por cm^3 (figura 5A) de solo não sofre alteração durante as fases de crescimento da safra 2018-19 (alta produção), porém, na safra de 2019-20 (baixa produção) nos estágios de chumbinho e expansão rápida não diferiram e apresentaram os menores valores para a variável número de ápices radiculares dentre os estágios estudados.

Nas fases de granação e maturação os valores foram significativamente maiores. Fato semelhante foi verificado quando contrastados os anos dentro das fases de desenvolvimento, onde os maiores valores das fases de granação e maturação ocorreram no ano agrícola de 2019-20 (baixa produção). Na figura 5B, a variação do número de ápices radiculares na profundidade de 20-40 cm é apresentado, e de forma semelhante o comportamento se repete, na safra de 2018-19 (alta produção), não houve diferença entre os estágios de desenvolvimento. Para a safra de 2019-20 (baixa produção) os maiores valores foram observados nas fases de granação e maturação. Ao comparar o resultado dos dois anos dentro de cada fase, não foi observada diferença entre eles na fase chumbinho, para expansão rápida, granação e maturação os maiores valores foram observados na safra de baixa produção (2019-20).

A variável diâmetro médio das raízes, apresentada na figura 5C, para a profundidade de 0-20 cm, sofreu interação entre as fases de desenvolvimento do fruto e as safras estudadas. Sendo que para os estágios de chumbinho e expansão rápida foram observados os maiores valores, e os menores para as fases de granação e maturação, da safra 2018-19 (alta produção). Não foi observada diferença entre as fases de desenvolvimento do segundo ano agrícola, porém, observando-se a fase de maturação nos dois anos, a safra de 2019-20 (alta produção) foi a que apresentou os maiores valores de diâmetro radicular. Na profundidade 20-40 cm (figura 5D), não se observam diferenças entre as fases de desenvolvimento no primeiro ano de cultivo, já no segundo ano, chumbinho e

expansão rápida apresentaram os menores valores de diâmetro, e os maiores para os estádios de granação e maturação, HUXLEY & TURK (1975) observaram que a senescência radicular ocorria durante o ano, com conseqüente substituição destas raízes, talvez a redução da frequência de raízes finas com o avançar do ciclo possa explicar o aumento do diâmetro médio, uma vez que raízes de diâmetros inferiores não estavam presentes na amostra, e sim raízes de diâmetros maiores e por conseqüência mais persistentes no solo, elevando assim a média do diâmetro destas raízes.

Na figura 6A pode-se observar a distribuição da massa de matéria fresca das raízes na profundidade de 0-20 cm, na safra de 2018-19 (alta produção), os estádios de chumbinho e expansão rápida apresentaram valores superiores e que diferem significativamente dos estádios de granação e maturação.

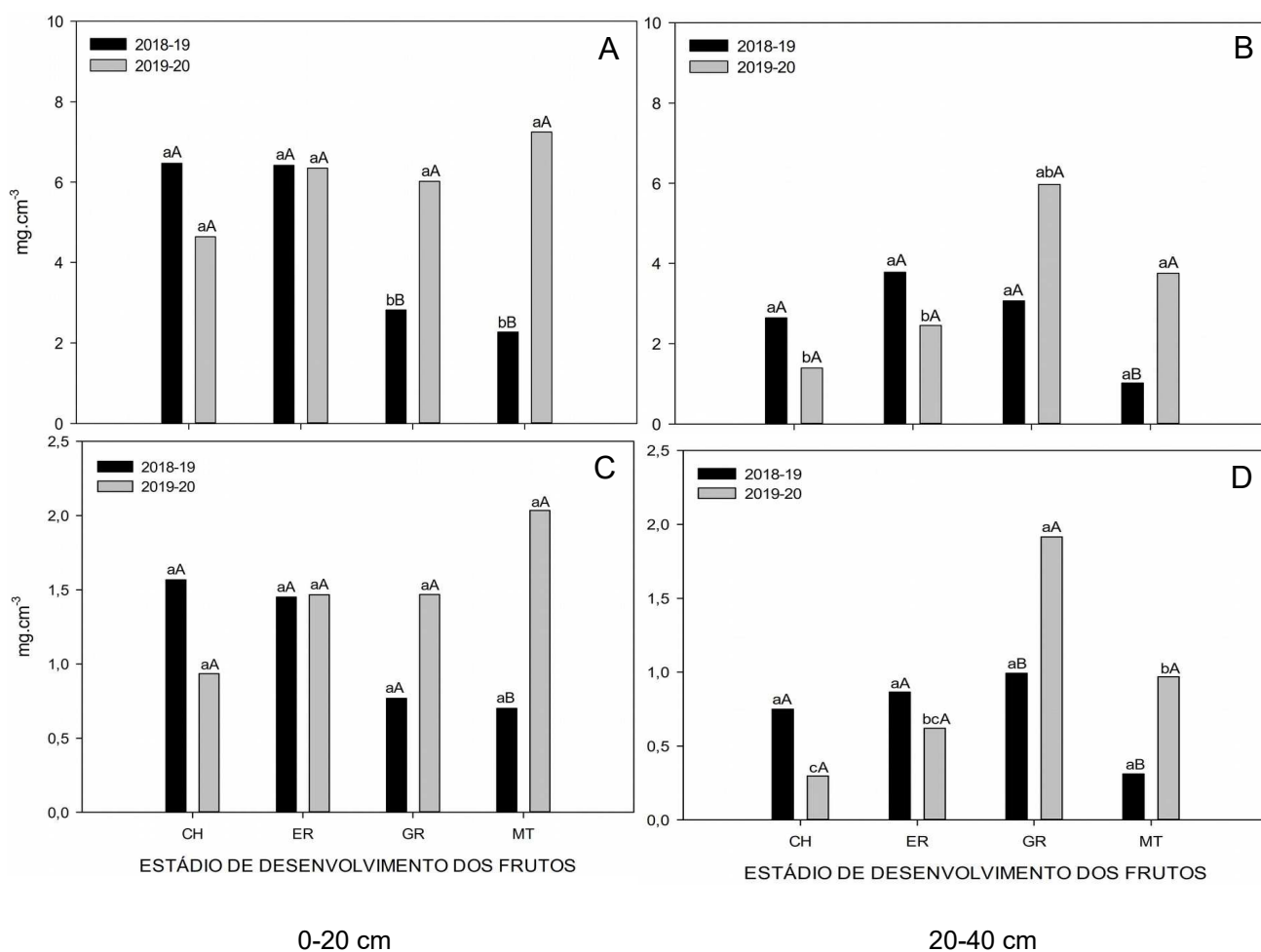


Figura 6: Densidade da massa de matéria fresca (A e B) e densidade da massa de matéria seca (C e D) do sistema radicular em função dos estádios de

desenvolvimento dos frutos e a safra estudada . Letras minúsculas iguais dentro da mesma safra e maiúsculas dentro do mesmo estágio, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Na safra de 2019-20 (baixa produção), não foram observadas diferenças entre os estágios de desenvolvimento dos frutos. Porém, ao observar-se as fases de granação e maturação da safra de 2019-20 (baixa produção) foi significativamente superiores aos valores observados na safra de 2018-19 (alta produção). Na profundidade de 20-40 cm (figura 6B), não foram verificadas diferenças entre as fases da safra de 2018-19 (alta produção).

Para o ano agrícola de 2019-20 (baixa produção), os menores valores foram encontrados nas fases de chumbinho e expansão rápida, sendo significativamente superiores aos valores encontrados nas fases de granação e maturação. A mesma tendência é observada nas figuras 6C e 6D, as quais apresentam a densidade da massa de matéria seca das raízes, sendo que os valores encontrados nas fases de granação e maturação foram significativamente superiores na safra de 2019-20 (baixa produção).

Ao estudar estas variáveis em função da profundidade no perfil do solo (tabela 4), observam-se diferenças significativas. Estes dados corroboram com os encontrados por MOTTA et al., (2006) e RONCHI et al., (2015), os quais estudaram cafeeiros da variedade Catuaí, e verificaram que o acúmulo de biomassa radicular era significativamente superior nos primeiros 10 cm do perfil do solo, quando comparado a amostras mais profundas. E ainda, esta biomassa também era composta por raízes de diâmetros reduzidos (< 2,00 mm de diâmetro).

Tabela 4. Massa de matéria fresca e seca das raízes finas (< 2,00 mm de diâmetro) (MFRF e MSRF) e grossas (> 2,00 mm de diâmetro) (MFRG e MSRG), de cafeeiros

da variedade Catuaí Vermelho IAC 99, em condições de campo, de acordo com a profundidade no perfil do solo

Profundidade (cm)	MFRF (mg/cm ³)	MFRG (mg/cm ³)	MSRF (mg/cm ³)	MSRG (mg/cm ³)
0 - 20	2,079 a	1,015 a	0,4730 a	0,4090 a
20 - 40	1,153 b	0,8440 b	0,2690 b	0,3670 a
CV (%)	4,53	5,72	3,56	4,96

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey , a 5% de significância.

As tabelas 5 e 6 apresentam as principais variáveis em termos de seu comprimento e área superficial, quando extrapoladas para o volume de solo compreendido pela área de projeção da copa até 40 cm de profundidade. Estes dados se aproximam dos apresentados por RONCHI et al. (2015), que estudando quatro variedades e arranjos diferenciais no plantio, concluíram que há maior abundância de raízes na camada de 10 cm de profundidade em comparação à de 40 cm, não variando de acordo com o arranjo.

Tabela 5. Comprimento total das raízes (CTR), densidade do comprimento total das raízes (DCTR), área superficial total (AST) e densidade da área superficial total de raízes (DASTR), de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99, em condições de campo, de acordo com o estágio de desenvolvimento dos frutos

Estádio	CTR (km)	ASTR (m ²)	DCTR (cm/cm ³)	DASTR (cm ² /cm ³)
CH	2,9428 a	4,8113 a	0,6123 a	0,1025 a
ER	3,2296 a	5,6990 a	0,6271 a	0,1116 a
GR	3,2755 a	6,0254 a	0,5616 a	0,1027 a
MT	3,6969 a	6,7731 a	0,5837 a	0,1067 a
CV (%)	24,24	27,48	13,12	4,57

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey , a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação.

Tabela 6. Comprimento total das raízes (CTR) e área superficial total de raízes (ASTR), de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99, em condições de campo, de acordo com a profundidade no perfil do solo

Profundidade (cm)	CTR (km)	ASTR (m ²)	DCTR (cm/cm ³)	DASTR (cm ² /cm ³)
0 - 20	4,3401 a	7,7859 a	0,7817 a	0,1410 a
20 - 40	2,2323 b	3,8686 b	0,4107 b	0,0707 b
CV (%)	24,24	27,48	13,12	4,57

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey , a 5% de significância.

Na tabela 7, apresenta-se percentualmente a composição do comprimento das raízes com base em cinco classes de diâmetros e de acordo com os estádios estudados. Pode-se observar que mais de 90% do comprimento total das raízes, na profundidade de 0-20 cm, possuem diâmetros menores que 2,00 mm em todos estádios de crescimento do fruto, mostrando a importância das raízes ditas absorventes na composição da arquitetura do sistema radicular de cafeeiros arábicos, e que raízes com diâmetro superior a 2,00 mm, contribuem com pouco mais de 1%. Na profundidade 20-40 cm, este percentual se mantém acima dos 90%. Já as raízes com diâmetro superior a 2,00 mm perfazem menos de 5% deste comprimento.

Tabela 7. Estratificação do comprimento total do sistema radicular de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 dentro de diferentes classes de diâmetro

SAFRA	PROFUNDIDADE	ESTÁDIO	%		
			Ø 0 - 0,5 mm	Ø 0,5 - 2,0 mm	Ø > 2,0 mm
2018-19	0-20 cm	CH	61,60	36,94	1,46
		ER	59,05	39,33	1,62
		GR	64,54	34,41	1,04
		MT	63,34	36,03	0,63
	20-40 cm	CH	68,07	30,57	1,36
		ER	69,76	28,95	1,29
		GR	66,97	31,22	1,81
		MT	72,87	26,61	0,52
2019-20	0-20 cm	CH	64,89	33,87	1,24
		ER	64,58	33,80	1,62
		GR	66,32	31,93	1,75
		MT	64,54	33,19	2,27

20-40 cm	CH	72,16	27,65	0,19
	ER	73,94	25,38	0,68
	GR	65,23	31,42	3,35
	MT	58,76	38,41	2,83

Quando se observa a área superficial (tabela 8) que as raízes de diferentes diâmetros expressam no perfil do solo, pode-se observar que pelo menos 70% de toda superfície radicular é composta por raízes com diâmetro inferior a 2,00 mm. Mas raízes com diâmetro de 0,5 - 2,00 mm, contribuem em média com mais de 50% da área total. As raízes com diâmetros superiores a 2,00 mm, contribuem em média com menos de 10% da superfície radicular. E essa tendência é observada de forma sistemática nas duas safras estudadas. Na profundidade de 20-40 cm, estes percentuais se mantêm de forma semelhante aos encontrados nos primeiros 20 cm do perfil do solo, sendo que mais de 90% da área superficial do sistema radicular é devida as raízes com diâmetro inferior a 2,00 mm. E menos de 10% desta área é formada por raízes com diâmetro superior a 2,00 mm de diâmetro.

Tabela 8. Estratificação da área total da superfície do sistema radicular de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 dentro de diferentes classes de diâmetro

SAFRA	PROFUNDIDADE	ESTÁDIO	%		
			Ø 0 - 0,5 mm	Ø 0,5 - 2,0 mm	Ø > 2,0 mm
2018-19	0-20 cm	CH	35,29	57,31	7,40
		ER	31,03	60,11	8,86
		GR	38,33	56,52	5,15
		MT	37,25	59,49	3,26
	20-40 cm	CH	38,69	53,63	7,68
		ER	40,03	51,27	8,69
		GR	35,64	50,43	13,93
		MT	47,59	49,46	2,95
2019-20	0-20 cm	CH	37,13	55,81	7,06
		ER	34,74	55,90	9,36
		GR	32,64	56,30	11,06
		MT	32,08	52,29	15,63
	20-40 cm	CH	45,17	53,80	1,03
		ER	46,29	48,87	4,84

	GR	29,29	47,94	22,77
	MT	27,03	58,13	14,84

Na tabela 9, observamos a distribuição percentual do volume do sistema radicular que as raízes de diferentes diâmetros expressam no perfil do solo, pode-se observar que 60 - 70% de todo volume radicular é composto por raízes com diâmetro inferior a 2,00 mm. As raízes com diâmetro entre 0,5 – 2,00 mm, contribuem em média com 50 - 60% de todo volume radicular. As raízes com diâmetros superiores a 2,00 mm, contribuem com 10 - 30%. E essa tendência é observada de forma sistemática nas duas safras estudadas. Na profundidade de 20-40 cm, estes percentuais se mantêm de forma semelhante aos encontrados nos primeiros 20 cm do perfil do solo, sendo que mais de 75% do volume do sistema radicular é devido as raízes com diâmetro inferior a 2,00 mm. E algo em torno de 10 - 40% desta área é formada por raízes com diâmetro superior a 2,00 mm de diâmetro.

Os resultados observados para a distribuição do comprimento, área superficial e volume radicular (tabela 7,8 e 9, respectivamente), são suportados pelo trabalho de COVRE et al. (2015), que estudando o sistema radicular de cafeeiros conilon, crescidos em condições de sequeiro e irrigado, verificaram que 42, 44 e 37% de área superficial, comprimento e volume de raízes, respectivamente, nas plantas não irrigadas, na camada de 0-10 cm, sendo que valores entre 11 e 18%, para área superficial, comprimento e volume de raízes, nas camadas de 10–20 cm. A redução das variáveis comprimento, área superficial e volume das raízes com o aprofundamento no perfil do solo pode ser explicada pelas melhores condições de fertilidade na camada superficial, resultados semelhantes foram reportados por RODRIGUES et al. (2001), estudando as variedades Icatu 4045 e Catuaí linhagem 2147-H-2077-2-5-99, em condições contrastantes de fertilidade, verificaram que 72 e 60% da produção de raízes destas variedades se concentravam no horizonte superficial. A maior concentração das raízes nas camadas superiores do solo, pode ser explicada pela ausência de uma raiz pivotante típica e intensificada pela localização recorrente das adubações realizadas durante o estabelecimento e condução da lavoura cafeeira (RENA & GUIMARÃES, 2000).

Tabela 9. Estratificação do volume total do sistema radicular de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 dentro de diferentes classes de diâmetro

SAFRA	PROFUNDIDADE	ESTÁDIO	%		
			Ø 0 - 0,5 mm	Ø 0,5 - 2,0 mm	Ø > 2,0 mm
2018-19	0-20 cm	CH	13,98	62,09	23,93
		ER	10,42	60,24	29,34
		GR	16,56	67,46	15,98
		MT	16,42	72,22	11,36
	20-40 cm	CH	15,04	60,52	24,44
		ER	15,47	55,30	29,23
		GR	13,44	51,23	35,33
		MT	25,21	65,14	9,65
2019-20	0-20 cm	CH	14,93	62,16	22,91
		ER	12,21	58,43	29,36
		GR	10,79	57,77	31,44
		MT	8,10	42,01	49,89
	20-40 cm	CH	21,83	74,71	3,46
		ER	22,02	60,85	17,13
		GR	7,39	57,98	34,63
		MT	7,69	53,09	39,22

Na figura 7, é apresentada a correlação de Pearson, onde se observa na primeira linha que as variáveis relacionadas ao sistema radicular, estão correlacionadas negativamente com a produção das plantas e que o comprimento do sistema radicular está altamente correlacionado com a área superficial das raízes e esta se correlaciona fortemente com o volume radicular. O comprimento e a área superficial na profundidade de 0-20 cm se correlacionam fortemente com a produção de massa de matéria fresca e seca de raízes nesta camada.

A distribuição da densidade do comprimento das raízes, na profundidade de 0-20 cm, não diferiu entre os estádios para as duas safras. Para os estádios de granação e maturação entre as safras estudadas diferiram, sendo que os maiores valores de densidades de comprimento observadas na safra de 2019-20 (baixa produção), este comportamento se repete para as variáveis área superficial e o volume radicular. Denotando que em anos de cargas baixa, o cafeeiro recupera o sistema radicular,

perdido anteriormente pela elevada demandas nos anos de carga elevada de produção.

O diâmetro médio das raízes não diferiu entre os estádios de chumbinho e expansão rápida, sendo que os menores valores foram encontrados nos estádios de granação e maturação da primeira safra. Na segunda safra não foram observadas diferenças entre os estádios de desenvolvimento.

Foi observada correlação negativa entre as variáveis morfológicas do sistema radicular e a produção das plantas de café, e correlação positiva para o comprimento e área superficial radicular em cada profundidade.

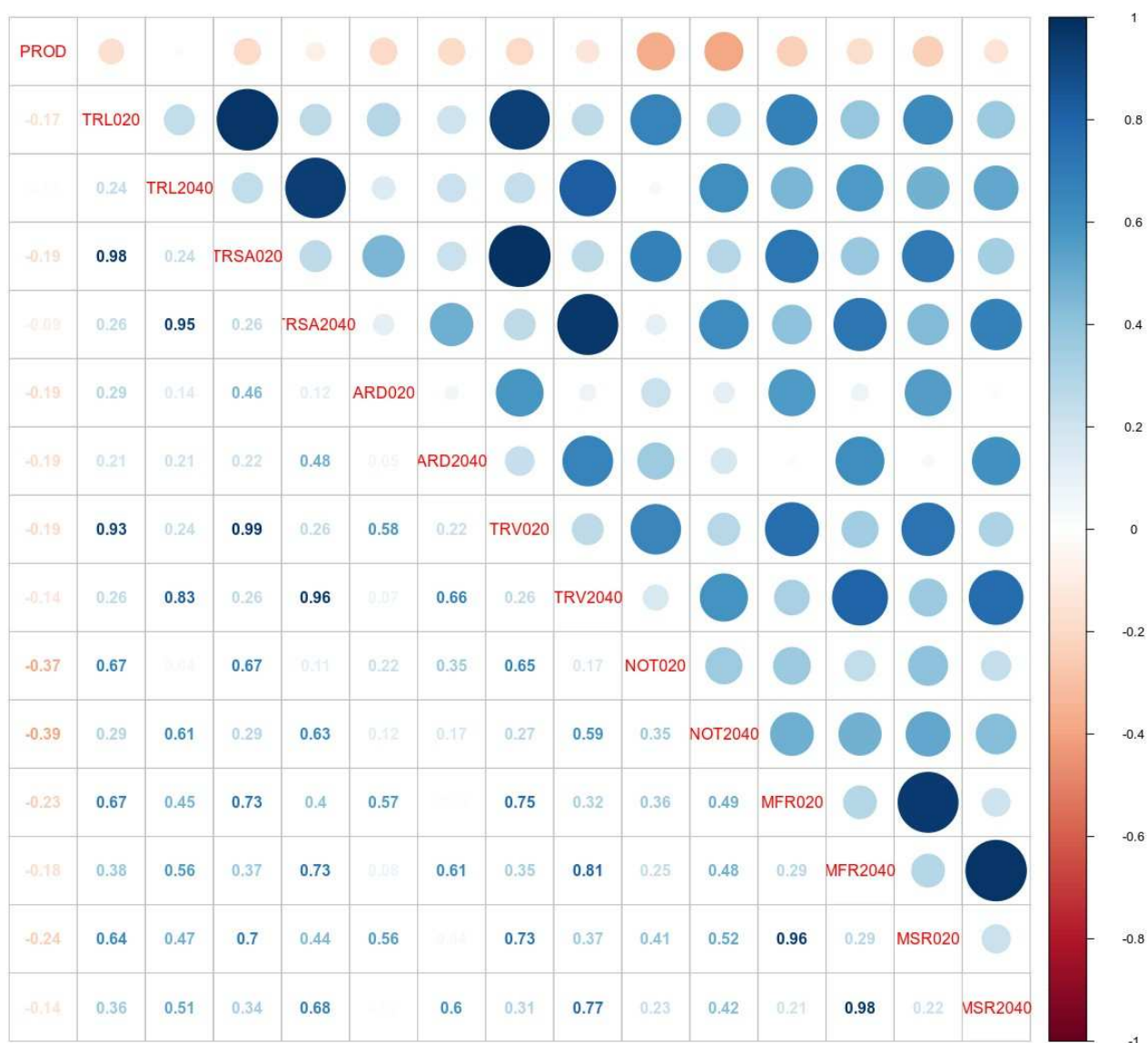


Figura 7. Correlação de Pearson entre as variáveis estudadas durante as fases de produção de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99. PROD = Produção de grãos cereja por planta em (kg/planta); TRL020 = Comprimento total das raízes (0-20 cm); TRL2040 = Comprimento total das raízes (20-40 cm); TRSA020 = Área superficial das raízes (0-20 cm); TRSA2040 = Área superficial das raízes (20-40 cm); ARD020 = Diâmetro médio das raízes (0-20 cm); ARD2040 = Diâmetro médio das raízes (20-40 cm); TRV020 = Volume total das raízes (0-20 cm); TRV2040 = Volume total das raízes (20-40 cm); NOT020 = Número de ápices radiculares (0-20 cm); NOT2040 = Número de ápices radiculares (20-40 cm); MFR020 = Massa da matéria fresca das raízes (0-20 cm); MFR2040 = Massa da matéria fresca das raízes (20-40 cm); MSR020 = Massa da matéria seca das raízes (0-20 cm); MSR2040 = Massa da matéria seca das raízes (20-40 cm).

5. Conclusões

- A bienalidade de produção do cafeeiro impacta o comprimento total, área da superfície, volume, número de ápices, massa fresca e massa seca de raízes, perdurando o efeito até as fases iniciais do desenvolvimento dos frutos da safra seguinte.
- Safras altas promovem reduções no comprimento, área, volume, número de ápices e massa de matéria fresca e seca de raízes do cafeeiro.
- Nos primeiros 20 cm do perfil do solo, as raízes com diâmetro de até 2,00 mm contribuem com mais de 90% de todo comprimento radicular e da área da superfície radicular.
- A massa de matéria seca de raízes finas se concentra nos 20 cm superficiais do solo, enquanto que a massa de raízes grossas se distribui de modo mais uniforme até 40 cm de profundidade.
- O diâmetro médio das raízes não sofre variação em função dos estádios de desenvolvimento dos frutos, na superfície do solo, mas em subsuperfície os estádios de chumbinho e expansão rápida possuem diâmetros significativamente menores do que granação e maturação evidenciando a morte de raízes finas nesses últimos estádios.

6. Referências

BECKLEY, V . A . Observations of coffee in Kenya. Pt . I, Chlorosis and die-back in coffee. Empire Jour. Exp. Agric . 3 : 203-209. 1935.

BOHM, W. Methods of studying root systems. Vol 33. Ecological studies. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 1979.

CALLEJA-CABRERA, J.; BOTER, M.; OÑATE-SÁNCHEZ, L. & PERNAS. M. Root Growth Adaptation to Climate Change in Crops. Front. Plant Sci. 11:544. 2020.

CANNEL, M. G. R. . Production and distribution of dry matter in trees of Cofflea arabica L. in Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. Ann. appl. Biol. 67, 99-120. 1971

COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I. & ZUCOLOTO, M. Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.50, n.11, p.1006-1016. 2015

CINTRA, F. L. D.; NEVES, C. S. V. Aspectos metodológicos do estudo do sistema radicular de plantas perenes através de imagens. Boletim informativo da SBCS, Campinas, 21 (3), 1996.

DaMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. Braz. J. Plant Physiol., 19(4):485-510, 2007.

DAFERT, F. W. & BRAGA, T. Sobre as substâncias minerais do cafeeiro. B. Relação de peso das partes singulares do cafeeiro. Relatório Secret. Agric. Com. Obr. Publ. São Paulo, 1892: 20-23. 1917.

FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: An R Package for ANOVA and Ex-perimental Designs. Applied Mathematics, vol. 5, p. 2952-2958. 2014.

FRACARO, A. A. & PEREIRA, F. M. Distribuição do sistema radicular da goiabeira 'Rica' produzida a partir de estaquia herbácea. Revista Brasileira de Fruticultura, v.26, n.1, p. 183-185. 2004.

FRANCO, C. M. & INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solos do estado de São Paulo. Bragantia. São Paulo, 443-478 p. v.6, n.9. 1946.

HENDRIX, J. E. Assimilate transport and partitioning. In: Handbook of plant and crop physiology. PESSARAKLI, M. (ed.) Marcel Dekker. New York. p. 57-385.1994.

HUXLEY, P. A & TURK. A. (1975) Preliminary investigations with arabica coffee in a root observation laboratory in Kenya. E.A. agric. For. J. 40 (3), 300-312. 1975.

KONRAD, M.; F.B. T. HERNANDEZ, F. B. T.; SANTOS, R. A. Distribuição espacial do sistema radicular da aceroleira em um solo podzólico vermelho amarelo. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. 2001.

MOTTA, A. C. V.; NICK, J. A.; YORINORI, G. T.; SERRAT, B. M. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. Acta Scientiarum Agronomy, v.28, p.455-463, 2006.

NEVES, C. S. V. J.; BORGES, A. V. ; KANAI, H. T.; PRETE, E. C. E.; PIPOLO, V. C. Distribuição do sistema radicular de aceroleira cultivares Dominga, Ligia e Natalia. In XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, CD ROM. Fortaleza, 2000.

NUTMAN, F. J. The root-system of *Coffea arabica* L. II. The effect of somme soil conditions in modifying the normal root-system. Emp. Agrie. 1: 285 - 296. 1933.

PAEZ-GARCIA, A.; MOTES, C. M.; SCHEIBLE, W.; CHEN, R.; BLANCAFLORAND, E. B. & MONTEROS, M. J. Root Traits and Phenotyping Strategies for Plant Improvement. Plants, 4, 334-355. 2015.

PIMENTEL, C. Metabolismo de carbono na agricultura tropical. Seropédica: Edur, 150p. 1998.

REWALD, B. GODBOLD, D. L. FALIK, O. RACHMILEVITCH, S. Root and rhizosphere processes—high time to dig deeper. Front. Plant Sci. 5:278. 2014.

RENA, A. B; GUIMARAES, P. T. G. Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuicao, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: EPAMIG, 80p. il. 2000.

RONCHI, C. P., SOUSA JÚNIOR, J. M., ALMEIDA, W. L., SOUZA, D. S., SILVA, N. O., OLIVEIRA, L. B., GUERRA, A. M. N. M., FERREIRA, P. A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 50(3), 187-195. 2015.

RODRIGUES, L. A.; MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; MENDONÇA, S.M. Growth response of coffee tree shoots and roots to subsurface liming. Plant and Soil, v.234, p.207-214, 2001.

III. Variação dos teores de nutrientes em folhas e raízes de cafeeiro ao longo do desenvolvimento dos frutos

1. Introdução

As exigências nutricionais do cafeeiro dependem de vários fatores, sendo estes, a variedade empregada, a idade da planta, o estágio fenológico, a carga pendente, a fertilidade do solo (LAVIOLA et al. 2007a) e tratos culturais a ele destinados. Estes fatores contribuem, para mudanças morfológicas e fisiológicas significativas no cafeeiro. Para as variedades Catuaí e Mundo Novo, as maiores exigências ocorrem entre 6 e 78 meses após o plantio (CORRÊA et al. 1986) e para cada saca de café produzida, o cafeeiro necessita de 6,2 kg de N; 0,6 kg de P₂O₅; 5,9 kg de K₂O; 3,0 kg de CaO; 1,9 kg de MgO e 0,3 kg de S (MATIELLO, 2010). A planta de café apresenta desenvolvimento relativamente lento nos primeiros dois anos de implantação, e após o início da produção, suas exigências nutricionais aumentam de duas a três vezes em relação a fase inicial, sendo os nutrientes requeridos para o crescimento dos ramos produtivos e as altas demandas dos frutos.

CATANI & MORAES (1958) investigaram a composição química de plantas de cafeeiro, com especial atenção ao nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo e magnésio e como a demanda destes varia de acordo com a idade das plantas. Verificaram que os três primeiros crescem intensamente com a idade, os dois últimos crescem de modo bem suave. O acúmulo de nutrientes em plantas de café em ordem decrescente é, N > K > Ca > Mg > S > P > B > Zn > Cu, sendo que plantas de 55 meses de idade cultivadas em populações de 5.000 plantas/ha, e produção acumulada de 77,5 sc/ha de café beneficiado retiraram do solo cerca de 490 kg de N, 330 kg de K, 220 kg de Ca, 66 kg de Mg, 43 kg de S, 30 kg de P, 1,6 kg de B, 0,77 kg de Zn e 0,55 kg Cu (MARTINEZ et al., 2019).

Durante seu ciclo produtivo, o cafeeiro alterna anos de alta e baixa produção. A essa alternância dá-se o nome de bienalidade, fenômeno marcante na cultura do café. Esse fenômeno resulta em diferenças na produção de frutos nas safras colhidas. O diferencial produtivo, a cada ano, pode ocorrer entre talhões da lavoura, entre as plantas de um mesmo talhão e entre partes dentro da mesma planta. Essa alternância de produção é atenuada em plantas crescendo em condições de sombreamento, uma vez que, nessas condições, os nutrientes demandados para a manutenção do menor número de frutos, não exaure por completo as reservas da planta. De maneira contrária, plantas cultivadas a pleno sol, e apresentando altas cargas de produção, e por conseguinte, alta demanda de carboidratos, podem levar a intensificação da bienalidade de produção característica da espécie (DaMATTA et al., 2007).

ALVES et al., (2011) estudando as relações fonte-dreno em plantas de café da variedade Catucaí-açú, com quatro anos de idade em Varginha-MG, relatam que nas plantas mantidas sem carga de frutos, foi observado um aumento de 31% da densidade radicular até os 60 cm de profundidade, mostrando que a presença de frutos (manutenção de cargas produtivas) limita a mobilização de fotoassimilados para o sistema radicular, com redução significativa dos teores de açúcares solúveis nas raízes de plantas mantidas com seus frutos. Estes autores relatam ainda que plantas com carga moderada de frutos, conseguem manter o crescimento (vegetativo e reprodutivo) sem prejudicar o desenvolvimento das raízes ou levá-las a morte. MIRANDA et al., (2019) avaliando o impacto da redução da parte aérea no sistema radicular de plantas de café arábica cultivar catuaí vermelho IAC 81, com 12 anos de idade, verificaram que a retirada de ramos causa redução do comprimento de raízes com diâmetro < 2 mm e redução da área superficial de raízes com diâmetro < 1 mm (raízes finas e absorventes).

Entender como a relação entre as raízes e parte aérea interfere nos processos reprodutivos do cafeeiro é de grande importância, já que este atua como fonte de nutrientes durante fases críticas de desenvolvimento dos frutos. A compreensão de como ocorre a dinâmica destes nutrientes, ao longo de processos-chaves do crescimento dos frutos pode resultar em uma melhor compreensão da relação entre o sistema radicular e o crescimento da parte aérea, e seus impactos na frutificação

do cafeeiro. Para auxiliar neste entendimento, o objetivo deste trabalho foi avaliar as flutuações nas concentrações de nutrientes em folhas e raízes de cafeeiro ao longo dos estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa.

2. Referencial teórico

2.1. Nitrogênio, Potássio e Cálcio.

Entre as plantas cultivadas, o cafeeiro é uma das mais exigentes em nitrogênio. Dependendo das condições da lavoura e da expectativa de produção, a recomendação de nitrogênio pode variar. Guimarães et al. (1999) recomendam de 200 a 450 kg/ha enquanto que Raij et al. (1997) recomendam de 150 a 450 kg/ha para o estado de São Paulo. É requerido desde as fases iniciais de desenvolvimento do cafeeiro, e sua necessidade aumenta grandemente quando o cafeeiro está em plena produção. A deficiência nutricional deste elemento se manifesta nas partes baixas do cafeeiro e deixa o limbo foliar amarelado, afetando sobremaneira a produção e o desenvolvimento vegetal.

Após a exigência de nitrogênio, o potássio é o segundo nutriente mais requerido pelo cafeeiro. Teores entre 18 e 25 g/kg (RAIJ et al., 1997) se mostram adequados, suas necessidades aumentam com a idade e a produção, devido às altas taxas de translocação deste para o fruto. Atua no cafeeiro como íon livre, participando ativamente dos processos de regulação osmótica junto as células guarda e nos processos de abertura e fechamento estomático (MARTINEZ et al., 2019). O cálcio é utilizado pelo cafeeiro em funções ligadas à composição estrutural, mantendo ligações intermoleculares estáveis, sobretudo nas paredes celulares e na membrana plasmática. Teores no tecido vegetal variando de 7,5 a 25 g/kg são relatados na literatura. Por ser imóvel no floema, o cálcio manifesta sua deficiência em zonas de crescimento, sendo que sob deficiência as raízes, em geral, escurecem e apodrecem (LIMA et al., 2018)

2.2. Magnésio e Fósforo.

O magnésio é absorvido de forma semelhante ao potássio, sua taxa de absorção é muito afetada por cálcio, sendo que concentrações de 3 a 5 g/kg são adequadas às plantas em produção. O fósforo participa de vários processos metabólicos em plantas, como a transferência de energia, síntese de moléculas e de fosfolipídios das membranas nos seres vivos. Quando o fosfato é absorvido pelo cafeeiro, primeiro deve ser completamente oxidado a ortofosfato para posterior utilização. MALAVOLTA (1993) aponta para concentrações de 1,5 a 2 g/kg deste nutriente como adequadas. Quando deficientes, plantas de café apresentam reduzido crescimento, aumento relativo da relação raiz/parte aérea, devido as modificações na arquitetura radicular, de modo a explorar maior volume de solo (BUCHER et al., 2018).

2.3. Zinco, ferro, cobre e manganês.

O zinco atua em plantas como cofator enzimático e afeta a síntese/conservação dos hormônios vegetais envolvidos no crescimento. Sua absorção é majoritariamente via íon divalente ou via Zn-quelato. Em cafeeiros nutridos adequadamente, são encontradas concentrações que variam de 8 a 30 mg/kg. ARZOLLA et al (1956) estudando absorção de zinco por cafeeiros em solução nutritiva, mostraram que sua absorção é influenciada pela elevação das concentrações de manganês e cobre, podendo reduzir em até 50% o zinco absorvido, estes autores relatam uma provável competição iônica entre os nutrientes estudados, o autor relata que é possível que ocorra uma fixação dos íons, antes da entrada nos centros de reação. Em plantas de café, os teores tidos como adequados para o cobre, variam de 7 a 25 mg/kg, além de ser absorvido como íon divalente, pode ser absorvido como Cu-quelato. Em cafeeiros submetidos a aplicação de fungicidas cúpricos, dificilmente são encontrados sintomas de deficiência deste nutriente. ANDRADE et al (1976) estudaram os efeitos do cobre no crescimento do cafeeiro das variedades Mundo Novo e Catuaí, e relataram que em mudas destas variedades, valores acima de 30 mg/kg de cobre nas folhas causa toxidez, sendo a variedade Mundo Novo, um pouco mais sensível que as demais.

O ferro é absorvido na forma divalente, e transportado em associação com ácidos orgânicos. A concentração foliar varia de 68 a 121 mg/kg de tecido vegetal. Este elemento participa da cadeia de transporte elétrons dos cloroplastos e das mitocôndrias, desta forma, plantas sob deficiência podem experimentar reduções significativas em suas taxas fotossintéticas e por consequência sua produtividade (DECHEN et al., 2018). O manganês é essencial para a síntese de clorofila, é responsável pela fotólise da água, pode atuar também no balanço iônico como contra-íon. Ele é absorvido em sua forma divalente.

2.4. Translocação dos nutrientes em plantas

A translocação é o fenômeno de movimento dos íons absorvidos pelas raízes, para outro local dentro da planta (FAQUIM, 2005) via xilema e floema. O transporte é mais significativo no floema, para os elementos considerados móveis nos vegetais, como: nitrogênio, potássio e fósforo. Como exemplo, após sua absorção, o potássio, ultrapassa a barreira da endoderme, alcançando o xilema e via corrente transpiratória alcança a parte aérea (FERNANDES et al., 2018). Na parte aérea este nutriente é utilizado para os mais diversos processos metabólicos, indo suprir, via floema os drenos prioritários. Ainda no floema, os nutrientes que possuem mobilidade, podem ser retranslocados novamente para o sistema radicular, afim de suprir demandas deste importante órgão. Este movimento de nutrientes da parte aérea para o sistema radicular, atua também, como sinal, para informação do status dos nutrientes na parte aérea. Quando adequadamente supridas, a concentração deste aumenta no xilema, e quando a parte aérea aumenta suas necessidades (e. g. frutificação) espera-se uma menor concentração de nutrientes nos vasos xilemáticos (MARSCHNER, 1986). Este processo é importante para planta aproveitar as reservas minerais presentes nas folhas adultas, caules e sistema radicular.

2.5. Fases do desenvolvimento dos frutos do cafeeiro

O desenvolvimento fenológico do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) apresenta uma sucessão de fases de crescimento vegetativo e reprodutivo que ocorrem em aproximadamente 24 meses. No primeiro ano, são formados os ramos vegetativos, com gemas axilares nos nós, que em condições normais serão induzidas a gemas reprodutivas. Posteriormente, essas gemas florais amadurecem, entram em dormência e se tornam aptas para a antese, causada principalmente pela ocorrência de um déficit hídrico seguido por chuva ou irrigação (CAMARGO, 1985).

O segundo ano fenológico inicia-se com a florada, seguida pelo chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso, granação e maturação dos grãos, até que atinjam seu tamanho final (CAMARGO e CAMARGO, 2001) e este crescimento/desenvolvimento segue o padrão de uma curva sigmoidal dupla. A produção do cafeeiro depende das condições climáticas locais e de vários outros fatores, sendo que o crescimento do fruto de cafeeiro passa pelos estádios citados acima os quais possuem funções fisiológicas e metabólicas próprias, essenciais à formação do fruto de café (LAVIOLA et al., 2007a), e dependem do comportamento da cultura e da interação de fatores ambientais.

a) Chumbinho

É um estágio caracterizado pela baixa taxa de crescimento, que ocorre nos dois primeiros meses após a antese, mais precisamente entre a 6 - 10ª semana, estando os frutos bem pequenos ocorre uma intensa divisão celular nesse período.

b) Expansão rápida

Este estágio de desenvolvimento é caracterizado pela rápida expansão das células dos frutos, quando ocorre um aumento abrupto de tamanho e massa fresca, geralmente, entre os meses de dezembro e janeiro, ocorrendo de 6 - 15ª semana após a antese.

c) Crescimento suspenso

Não é observado ganho de matéria seca nos frutos do cafeeiro.

d) Granação

Esta fase corre geralmente entre a 16 - 28^a semana após a antese, em pleno verão, quando a matéria seca e fresca do fruto voltam a aumentar exclusivamente por causa do aumento da massa do pericarpo.

e) Maturação

Nesta, que é a última fase, ocorrem mudanças na coloração externa do fruto, passando de verde para vermelho ou amarelo. A maturação pode se estender por um período de 10 a 12 semanas, da 24 - 36^a semana após a antese (geralmente, nos meses de abril a junho). Ao fim desta fase, ocorre perda de água e o fruto está completamente formado, suas sementes estão prontas e, portanto, apto a ser colhido.

2.6. O sistema radicular e sua influência no crescimento e desenvolvimento de plantas de café.

O sistema radicular exerce papel fundamental no crescimento e desenvolvimento dos vegetais, sendo responsável pela sua fixação ao substrato sólido e absorção de água e nutrientes, podendo interagir com organismos presentes na rizosfera. Frequentemente atua como órgão armazenador de carboidratos, exercendo a função de fonte durante certas fases do desenvolvimento do vegetal. Além disso, as raízes são o sítio de biossíntese de hormônios necessários ao desenvolvimento vegetal (ZHU et al., 2011). Durante o seu desenvolvimento as raízes apresentam mudanças morfológicas e fisiológicas, tais como, divisão celular e alongação da raiz primária, formação da raiz lateral e dos

pêlos radiculares (TAKEHISA et al., 2012). No caso específico do sistema radicular do cafeeiro, observam-se variações de acordo com a espécie (*Coffea arabica* x *Coffea canephora*), genótipo, idade da planta, época do ano, clima da região, população de plantas, estresses sofridos, classe textural e estrutura do solo (PARTELLI et al., 2014). Ainda de acordo com estes autores, o sistema radicular do cafeeiro se concentra na camada superficial do solo (0-20 cm), sendo as raízes aí localizadas as mais importantes na extração de água e nutrientes.

De acordo com RENA & GUIMARÃES (2000), o sistema radicular do cafeeiro arábica apresenta profundidade média de 1,20 m, porém, mais de 80% das raízes concentram-se nos primeiros 0,50 m. DAFERT & BRAGA (1917) citados por FRANCO & INFORZATO (1946) estudando café arábica com 10 e 40 anos, encontraram cerca de 0,64 e 0,95 m de comprimento máximo das raízes principais, e cerca de 20,16 e 47,85 kg de raízes respectivamente. Ao estudar o sistema radicular de cafeeiros na África, NUTMAN (1933, 1934), encontrou raízes até 4,06 m de profundidade, e avaliando todo o sistema radicular destas plantas, obteve 22,7600 km de comprimento médio total, e uma área total de superfície absorvente de 463 m².

3. Material e métodos

3.1. Localização do experimento e condições de cultivo

O experimento foi conduzido em lavoura implantada no Campo experimental Professor Diogo Alves de Melo, da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG. A variedade de café (*Coffea arabica* L.) utilizada foi a Catuaí Vermelho IAC 99, de porte baixo, divididos em talhões com de 4, 5 e 7 anos após a recepa. Os cafeeiros foram transplantados no espaçamento 2,00 x 1,00 m, perfazendo um estande de 5.000 plantas/ha.

a) Condição climática e localização da lavoura

O clima é do tipo Cwa, com temperatura média de 20,6° C, verão chuvoso e precipitação da ordem de 1229 mm anuais. As coordenadas geográficas da área são: 20° 46' 11,5" S e 42° 52' 13,4" W, a 648 m de altitude em relação ao nível do mar.

b) Tratos culturais realizados durante o período experimental

Durante o período experimental, foram realizados os tratos culturais comumente realizados na lavoura cafeeira, afim de manter condições homogêneas de crescimento para todas as plantas. Entre as atividades realizadas, podemos elencar: adubações (solo e folha), roço das plantas daninhas na rua dos talhões e controle de doenças e pragas.

3.2. Análise do material vegetal

a) Tratamentos e amostragens

Realizaram-se avaliações das concentrações de nutrientes nas folhas e no sistema radicular do cafeeiro nas fases fenológicas de chumbinho (CH), primeira expansão rápida (ER), granação (GR) e maturação (MT). As avaliações foram realizadas durante duas safras consecutivas 2018-19 e 2019-20, em três talhões (blocos) de plantas com diferentes idades. Na safra 2018-19, as plantas apresentavam 4, 5 e 7 anos após a recepa respectivamente. Cada talhão era constituído por 375 plantas distribuídas em 5 linhas de cultivo, sendo as duas linhas externas utilizadas como bordadura. Cada parcela experimental constou de 2 plantas escolhidas ao acaso, entre as plantas das 3 linhas centrais de cada talhão, totalizando 8 plantas por talhão em cada ano. Em cada planta, a coleta de raízes foi realizada em 4 pontos na linha formada pelo círculo da projeção da copa e mais 4 pontos em um círculo interno com metade do raio do círculo externo (figura 3 - capítulo 2), de forma que as amostras representassem bem a distribuição radicular

sob a copa do cafeeiro. Após a coleta, o solo contendo as raízes era acondicionado em sacos identificados e armazenados em câmara fria até sua separação.

Em cada época de avaliação, foram coletadas amostras de folhas completamente expandidas (terceiro e quarto par de folhas de ramos plagiotrópicos), e também folhas recém expandidas de ramos medianos uniformemente distribuídos nas plantas. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel e posteriormente lavadas.

As amostras de raízes foram retiradas com auxílio de sonda com diâmetro de 51 mm e 40 cm de comprimento na metade da projeção da copa e na borda desta projeção, em 16 pontos nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm. Posteriormente as raízes com diâmetro superior a 2 mm e inferior a 2 mm, foram separadas para quantificar os nutrientes.

As amostras de folhas e raízes, após serem secas em estufa de circulação forçada a 65°C por 72h, tiveram a massa de matéria seca (MS) determinada, sendo em seguida moídas em moinho tipo Wiley com peneira de 60 mesh.

b) Determinação dos nutrientes

Para a extração de K, P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu foi feita a digestão nítrico-perclórica de todo material vegetal coletado. Os teores de P foram determinados pelo método de redução do fosfomolibdato pelo ácido ascórbico proposto por BRAGA & DEFELIPO (1974). Os teores de Ca, Mg, Fe, Zn, Mn e Cu foram determinados por fotometria de absorção atômica e os de K por fotometria de chama. Os teores totais de N nas amostras foram determinados pelo método Kjeldahl (BREMNER,1965).

3.3. Delineamento experimental e procedimentos estatísticos

Os resultados das concentrações de nutrientes em folhas maduras ou jovens foram analisados no delineamento de blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, sendo os níveis de safra alocados na parcela (2018-19 e 2019-20) e os níveis de estádios de desenvolvimento dos frutos na subparcela (chumbinho, expansão rápida, granação e maturação) em folhas não expandidas e expandidas. Os resultados das concentrações de nutrientes nas raízes foram analisados estatisticamente em delineamento de blocos ao acaso, no esquema de parcelas sub-subdivididas, sendo os níveis de safra alocados na parcela (2018-19 e 2019-20), os níveis de estádios de desenvolvimento dos frutos na subparcela (chumbinho, expansão rápida, granação e maturação) e os níveis do diâmetro das raízes na sub-subparcela (< 2,00 mm e > 2,00 mm) na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm.

Todos os dados coletados foram inicialmente submetidos a teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e de homocedasticidade de variância (Bartlett). Quando necessário a transformação foi realizada através do cálculo da verossimilhança perfilhada do parâmetro λ , utilizando a função box-cox, do pacote MASS, para o R (R version 3.4.4). Após satisfeitas as pressuposições, os dados foram submetidos a análise de variância e se observada significância, comparados por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, com o auxílio do pacote ExpDes para o R (FEREIRA et al. 2014). Foi realizada análise de correlação de Pearson entre a produção de frutos e as variáveis relacionadas à concentração de nutrientes nas folhas e nas raízes das plantas.

4. Resultados e discussão

4.1. Nutrientes nas folhas

a) Nitrogênio, fósforo e potássio

Na safra de 2018-19 (alta produção) a concentração de nitrogênio, nas folhas não expandidas (figura 1A), não diferiu entre os estádios chumbinho, expansão

rápida e granação, já na fase de maturação foi significativamente inferior às das demais fases de desenvolvimento dos frutos.

Na safra de 2019-20 (baixa produção), o comportamento foi semelhante, com os menores valores de concentração de nitrogênio sendo observados na fase de maturação dos frutos. As concentrações diferiram entre as safras estudadas dentro da mesma fase, sendo que na de 2018-19 (alta produção) foram observadas concentrações superiores de nitrogênio em todas as fases de desenvolvimento dos frutos. Na figura 1B, apresentam-se as concentrações de nitrogênio nas folhas índice (terceiro ou quarto par de folhas completamente expandidas da parte mediana das plantas) das plantas estudadas.

Nas folhas completamente expandidas não se observaram diferenças na concentração de nitrogênio entre as fases na mesma safra e nem na mesma fase entre as safras estudadas. As concentrações foliares encontradas neste estudo estão de acordo com as observadas por GALLO et al., (1971), os quais encontraram teores de nitrogênio nas folhas da ordem de 2,8 – 3,0%, para cafeeiros com produtividade em torno de 2.500 kg/ha de café beneficiado, em diferentes tipos de solos em São Paulo.

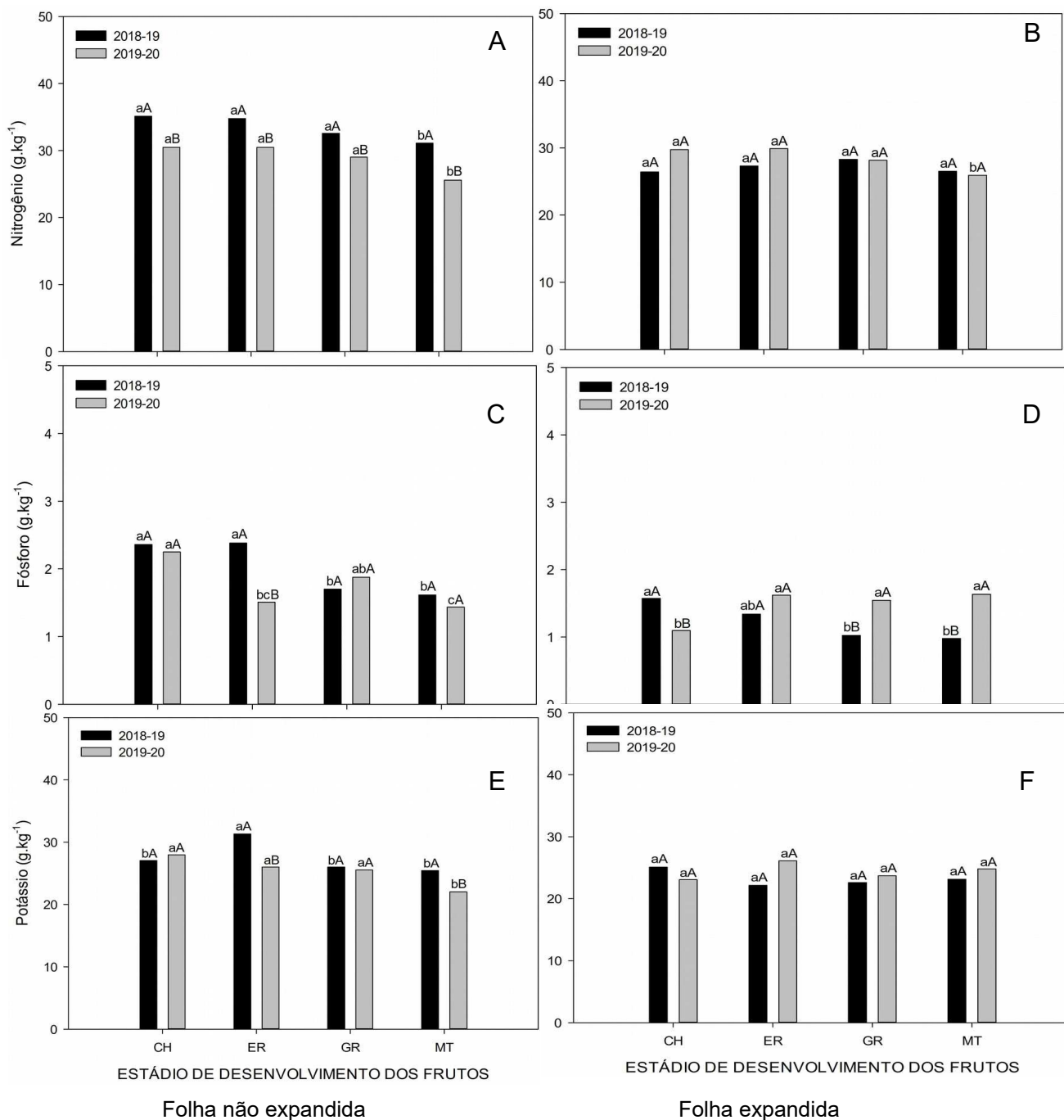


Figura 1. Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, em g/kg, para as folhas não expandidas (A, C e E) e expandidas (B, D e F) em cafeeiros Catuaí vermelho IAC 99 ao longo das fases de desenvolvimento dos frutos em anos de alta e baixa produção. Letras minúsculas iguais dentro da mesma safra e maiúsculas dentro do mesmo estágio, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Safra 2018-19 (alta produção) e safra 2019-20 (baixa produção).

Pode-se observar ainda, que as concentrações de nitrogênio apresentaram maior estabilidade nas folhas completamente expandidas ao longo das fases de desenvolvimento dos frutos do que as presentes nas folhas não expandidas. Nas duas safras as folhas não expandidas apresentaram reduções nas concentrações de nitrogênio ao longo do ciclo de desenvolvimento dos frutos, que resultaram em concentrações significativamente inferiores no estágio de maturação dos frutos.

Nas figuras 1C e 1D, apresenta-se as concentrações de fósforo nas folhas não expandidas e expandidas. Para as folhas não expandidas, na safra de 2018-19 (alta produção), as concentrações foliares de fósforo não diferiram para as fases de chumbinho e expansão rápida, sendo que estas foram superiores ao encontrado nas fases de granação e maturação. Na safra de 2019-20 (baixa produção), as maiores concentrações para este nutriente foram observadas na fase de chumbinho e as menores na fase de maturação, sendo que nos estádios de expansão rápida e granação, não houve diferenças significativas. Observando cada fase em relação as safras, a concentração de fósforo foi significativamente inferior no estágio de expansão rápida da safra de 2019-20 (baixa produção), não diferindo nos demais estádios nas safras estudadas. Na figura 1D, as concentrações de fósforo, nas folhas completamente expandidas, são apresentados. Para a safra de 2018-19 (alta produção), as menores concentrações foram observadas durante a fase de granação e maturação. As concentrações das fases de chumbinho e expansão rápida, não diferiram entre si. Na safra de 2019-20 (baixa produção), observa-se aumento nas concentrações de fósforo ao longo do ciclo de desenvolvimento dos frutos, sendo que o menor valor foi observado na fase de chumbinho, e nas demais, foram superiores e não diferiram significativamente entre si. Em relação as safras, nos estádios de expansão rápida, granação e maturação não diferiram entre si, no estágio de chumbinho a concentração foi superior na primeira safra. MALAVOLTA et al., (2002), estudando a distribuição dos nutrientes em ramos, folhas e flores nas cultivares Mundo Novo IAC 388-17 e Catuaí Amarelo IAC 62, encontraram concentrações de 1,14 e 1,47 g/kg de fósforo nas folhas destas cultivares, concentrações semelhantes às encontradas neste trabalho.

Na figura 1E, as concentrações de potássio nas folhas não expandidas são apresentadas. Na safra de 2018-19 (alta produção), o estágio de expansão rápida foi

o que apresentou maiores valores, sendo que nos demais estádios as concentrações de potássio não diferiram entre si. Na safra de 2019-20 (baixa produção), os estádios de chumbinho, expansão rápida e granação não diferiram entre si e apresentaram as maiores concentrações. Na fase de maturação houve uma redução na concentração deste compartimento, o que pode ser devido a força do dreno prioritário – frutos – no final do ciclo produtivo, comportamento semelhante foi observado por LAVIOLA et al., (2008), os quais verificaram que o acúmulo de potássio nos frutos de cafeeiro não se estabilizou até o final do ciclo de maturação dos frutos. Quando contrastados os estádios de desenvolvimento entre as safras, apenas as fases de expansão rápida e maturação diferiram, sendo os maiores valores encontrados na safra de 2018-19 (alta produção). Na figura 1F, não se observaram diferenças significativas entre as fases de produção e as safras estudadas para as folhas completamente expandidas, e estas concentrações estão de acordo com as encontradas por MALAVOLTA et al. (2002) e CATANI & PUPO DE MORAES (1958), sendo que estes autores relatam concentrações de 24,45 – 28,95 e 13,20 – 31,40 g/kg de potássio nas folhas dos cafeeiros em produção. De modo semelhante ao nitrogênio (figura 1B), a concentração de potássio nas folhas expandidas (figura 1F) foram mais estáveis, e mais elevadas nas folha não expandidas (figura 1E) ao longo do desenvolvimento dos frutos, o mesmo comportamento é observado para o fósforo (figura 1C e 1D).

b) Cálcio e magnésio

A concentração de cálcio em folhas não expandidas (figura 2A), aumenta no decorrer das fases de desenvolvimento dos frutos, sendo que estas não diferem para os estádios de expansão rápida, granação e maturação, e os menores valores são observados na fase de chumbinho. Para as mesmas fases entre as safras estudadas, as maiores concentrações foram observadas no primeiro ano de experimento, exceto no estádio de chumbinho, onde os valores para este nutriente não foram diferentes entre as safras acompanhadas. O mesmo comportamento foi observado nas concentrações das folhas completamente expandidas (figura 2B). A calagem realizada antes da florada principal, e os eventos de solubilização, absorção e transporte do cálcio para as folhas via corrente transpiratória, explicam o

aumento da concentração ao longo do ciclo. A concentração mais elevada nas folhas expandidas do que nas folhas não expandidas é esperado para um nutriente de mobilidade nula nos vasos do floema.

Em folhas não completamente expandidas (figura 2C), a concentração de magnésio, em g/kg, não diferiu entre as fases de desenvolvimento dentro da safra de 2018-19 (alta produção), na segunda safra (baixa produção) de estudo, este fenômeno se repetiu. Entre os anos estudados para uma mesma fase de desenvolvimento dos frutos as diferenças foram observadas apenas nos estádios de granação e maturação, sendo que a concentração de magnésio foi superior no primeiro ano agrícola. Nas folhas fisiologicamente maduras (figura 2D), as concentrações não diferiram entre os anos agrícolas para uma mesma fase de desenvolvimento dos frutos do cafeeiro. Nos estádios de chumbinho e expansão rápida da safra de 2018-19 (alta produção), não foram observadas diferenças significativas, e os valores encontrados nos estádios de granação e maturação foram superiores e estatisticamente iguais entre si. Na safra de 2019-20 (baixa produção), a menor concentração de magnésio foi encontrada no estádio de chumbinho, seguida por expansão rápida e maturação e o maior valor na fase de granação dos frutos.

Os resultados das concentrações de cálcio e magnésio nas folhas expandidas (figura 2B) estão de acordo com os encontrados por LAVIOLA et al. (2007b), que estudaram as concentrações destes elementos durante o ciclo produtivo das variedades Catuaí Vermelho IAC 99, Rubi MG-1192 e Acaia IAC 474-19, os autores relatam que as concentrações destes elementos foram máximos no estádio de granação-maturação, semelhante ao observado neste trabalho.

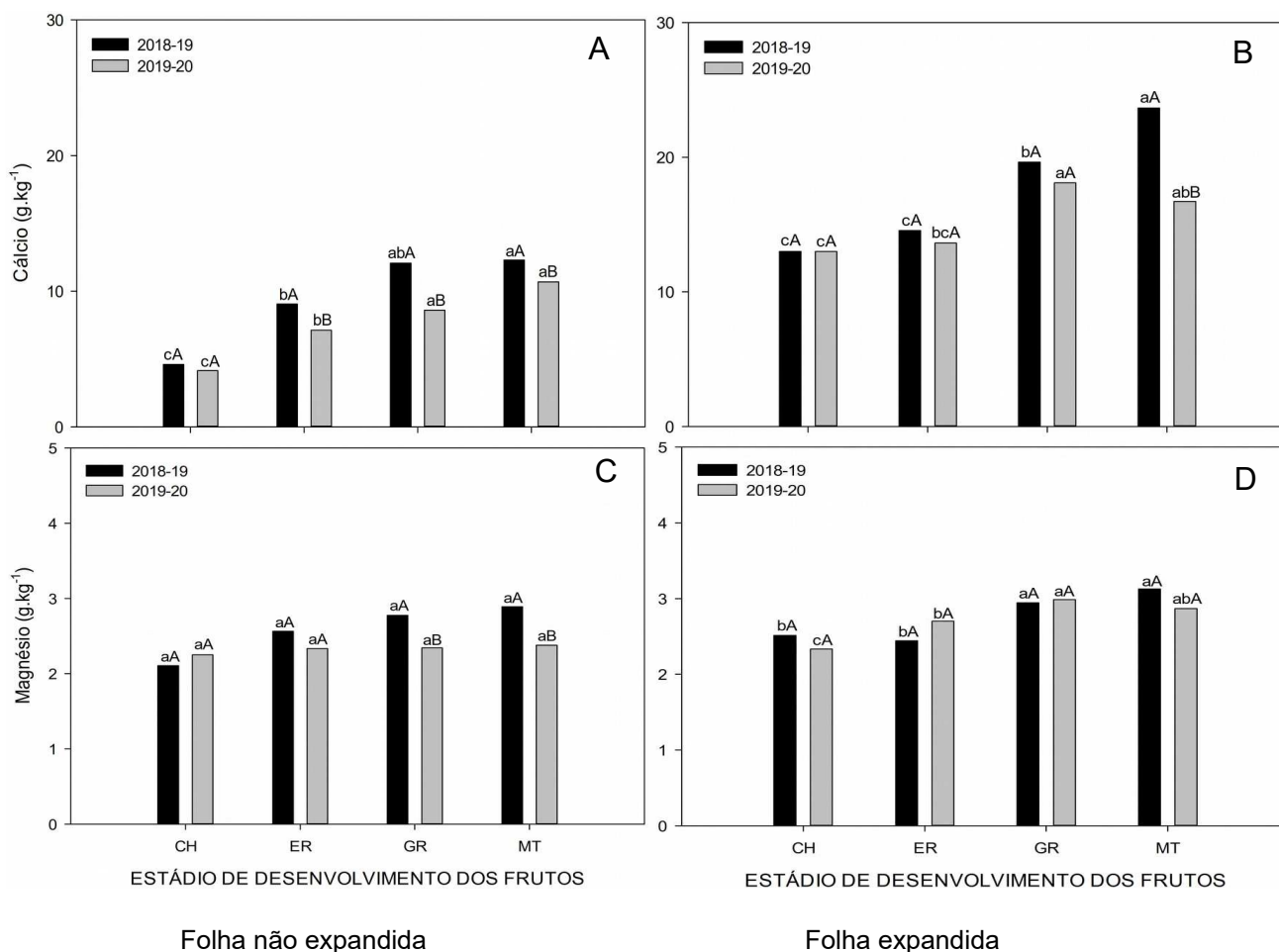


Figura 2. Concentração de cálcio e magnésio, em g/kg, presente nas folhas não expandidas (A e C) e expandidas (B e D) de cafeeiros Catuaí vermelho IAC 99 ao longo das fases de desenvolvimento dos frutos em anos de alta e baixa produção. Letras minúsculas iguais dentro da mesma safra e maiúsculas dentro do mesmo estágio, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Safra 2018-19 (alta produção) e safra 2019-20 (baixa produção).

c) Zinco, cobre, ferro e manganês

A figura 3 apresenta as concentrações dos micronutrientes, em mg/kg, em folhas expandidas e não expandidas para as safras de 2018-19 (alta produção) e 2019-20 (baixa produção). O zinco (figura 3A e 3B) teve sua concentração reduzida no decorrer do ciclo produtivo, na primeira safra, em ambas folhas estudadas, e o menor valor encontrado na fase de maturação.

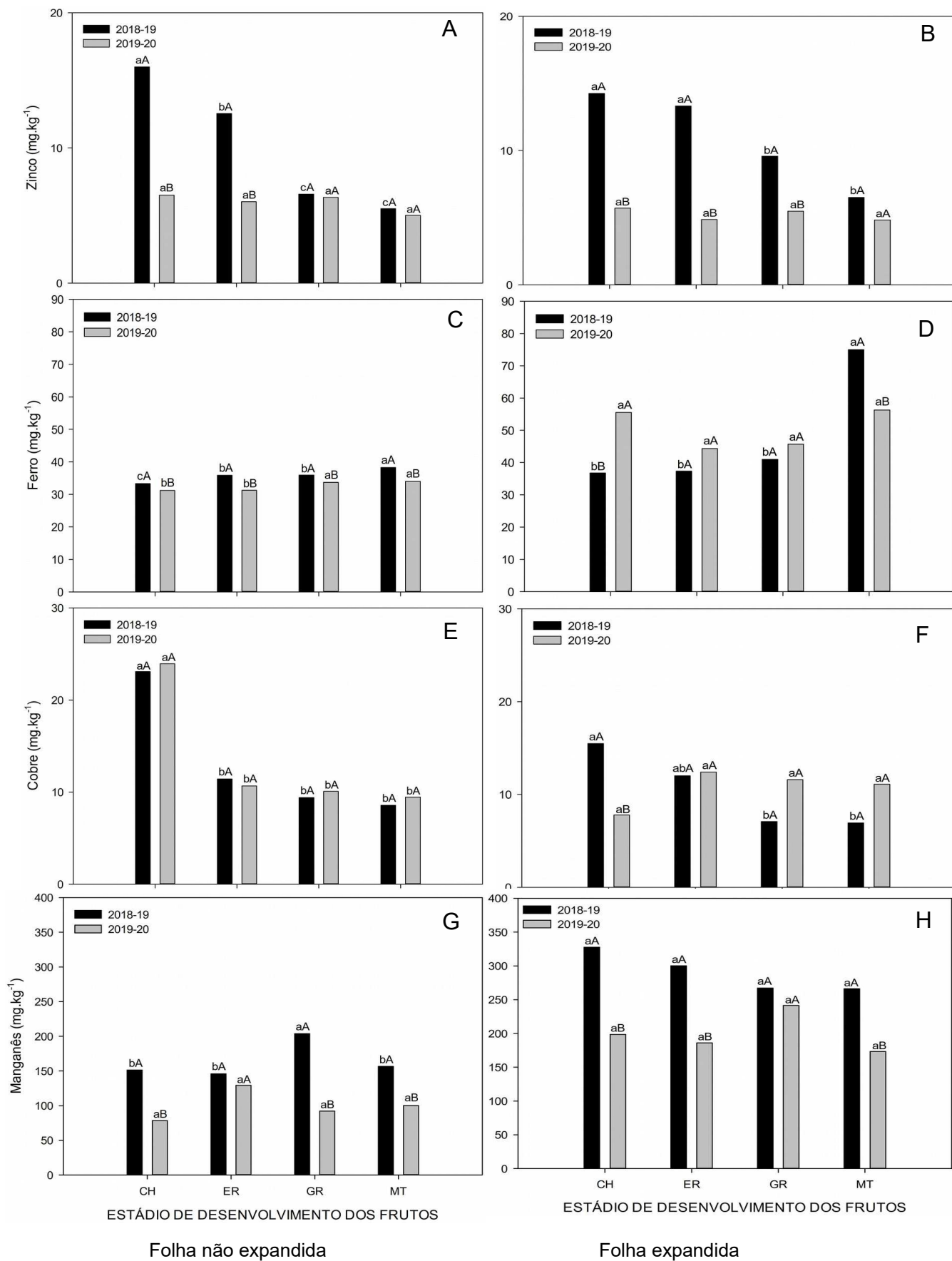


Figura 3. Concentração de micronutrientes, em mg/kg, nas folhas de cafeeiros Catuaí vermelho IAC 99 ao longo das fases de desenvolvimento dos frutos em anos de alta e baixa produção. Letras minúsculas iguais dentro da mesma safra e maiúsculas dentro do mesmo estágio, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Safra 2018-19 (alta produção) e safra 2019-20 (baixa produção).

Na segunda safra (2019-20 – baixa produção) as concentrações não diferiram entre os estádios de desenvolvimento tanto em folhas expandidas como nas não expandidas. A concentração de ferro (figura 3C e 3D) nas folhas sofreu interação entre os estádios de desenvolvimento e as safras estudadas, dentro do mesmo estágio e entre as safras estudadas, os teores de ferro foram superiores na safra de 2018-19 (alta produção) e entre os estádios de cada safra, as concentrações foram superiores nos estádios de granação e maturação dos frutos. Nas folhas completamente expandidas as concentrações não diferiram entre os estádios para a safra de 2019-20 (baixa produção), já na safra de 2018-19 (alta produção), a maior concentração foi verificada no estágio de maturação dos grãos de café, sendo que não houve diferença nos estádios de chumbinho, expansão rápida e granação.

Na figura 3E, observa-se que as concentrações de cobre nas folhas não expandidas do estágio de chumbinho foram significativamente superiores às das demais fases nas duas safras estudadas, e que não diferiram entre as safras. Este comportamento não foi observado nas folhas completamente expandidas (figura 3F). Na safra 2019-20 (baixa produção), não houve diferença nas concentrações foliares entre os estádios. Na safra de 2018-19 (alta produção), os maiores valores foram observados no estágio de chumbinho e o menor nas fases de granação e maturação. Estes nutrientes provavelmente foram retranslocados para os frutos que são os drenos preferenciais. CATANI et al., (1967) estudando cafeeiros aos 10 anos de idade, encontraram concentrações de 20-22 mg/kg de cobre nas folhas maduras, valores estes, semelhantes aos observados neste trabalho. Para as concentrações de manganês nas folhas não expandidas e completamente expandidas, retratadas nas figuras 3G e 3H, respectivamente, as concentrações foram significativamente superiores na safra de 2018-19 (alta produção) quando comparadas com as concentrações da safra 2019-20 (baixa produção). Na folha completamente

expandidas as concentrações não diferiram entre os estádios de desenvolvimento dos frutos.

Na figura 4, observa-se a correlação de Pearson entre as concentrações dos nutrientes nas folhas não expandidas e expandidas e a produção das plantas estudadas. As concentrações de nitrogênio, fósforo e zinco nas folhas não expandidas apresentaram correlação positiva com a produção das plantas, assim como as concentrações de nitrogênio, potássio, zinco, cobre e manganês nas folhas completamente expandidas. As concentrações de cálcio, magnésio e ferro nas folhas não expandidas e completamente expandidas se correlacionaram negativamente com a produção das plantas. Pode-se observar ainda, que as concentrações de cálcio e magnésio tanto nas folhas não expandidas como nas completamente expandidas possuem correlação positiva alta. Para o nitrogênio e o zinco também foi verificada uma forte correlação positiva entre seus teores nas folhas. Comportamento semelhante é observado para o fósforo e o zinco, que apresentaram correlação positiva para suas concentrações nas folhas das plantas. Não foi verificada correlação significativa entre as concentrações de potássio, cobre e manganês nas folhas jovens com a produção de grãos das plantas consideradas neste estudo.

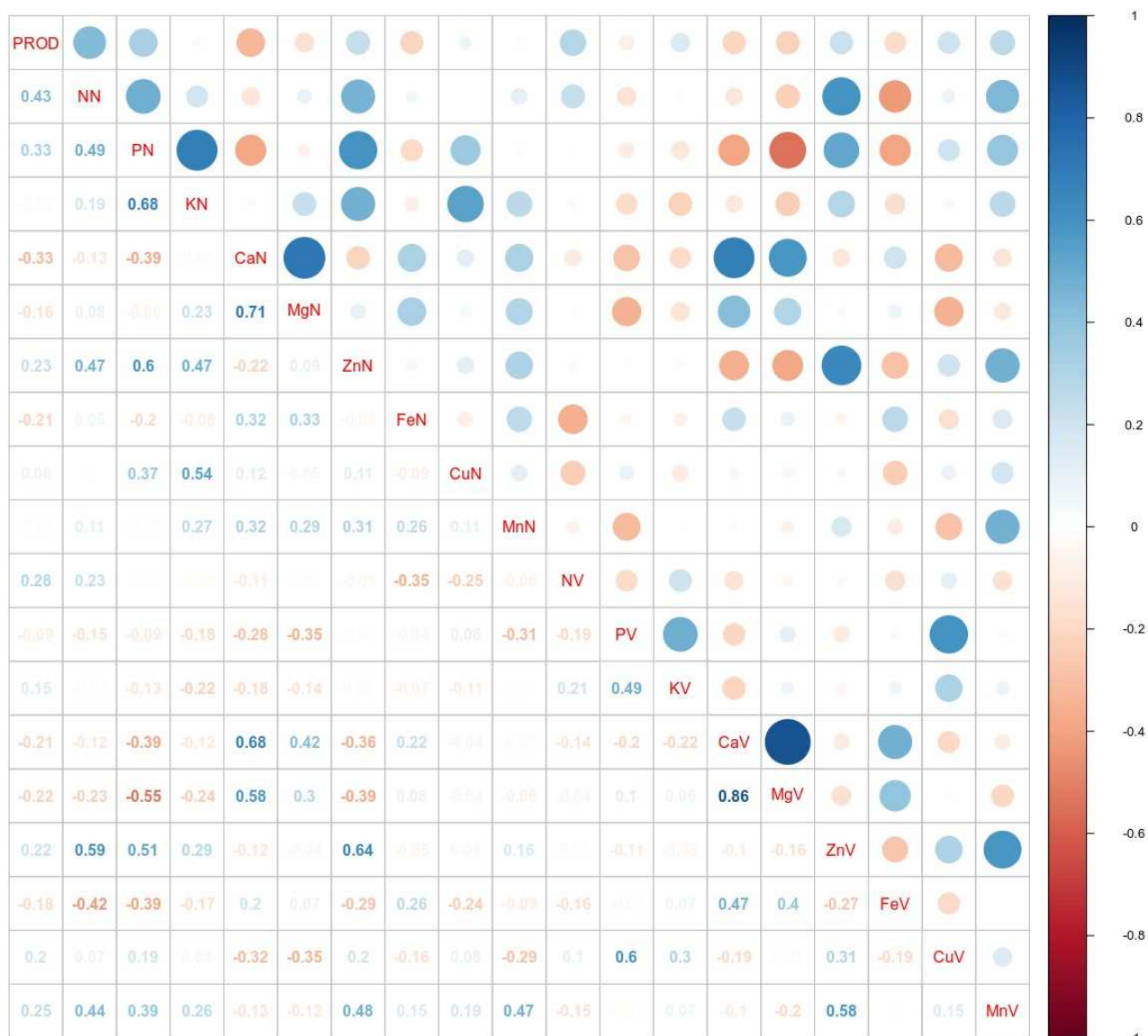


Figura 4. Correlação de Pearson entre as variáveis estudadas durante as fases de produção de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99. PROD = Produção de grãos cereja por planta em (kg/planta); NN e NV = Nitrogênio nas folhas não expandidas e expandidas; PN e PV = Fósforo nas folhas não expandidas e expandidas; KN e KV = Potássio nas folhas não expandidas e expandidas; CaN e CaV = Cálcio nas folhas não expandidas e expandidas; MgN e MgV = Magnésio nas folhas não expandidas e expandidas; ZnN e ZnV = Zinco nas folhas não expandidas e expandidas; FeN e FeV = Ferro nas folhas não expandidas e expandidas; CuN e CuV = Cobre nas folhas não expandidas e expandidas e MnN e MnV = Manganês nas folhas não expandidas e expandidas.

4.2. Nutrientes nas raízes superficiais

a) Nitrogênio, fósforo e potássio

A concentração de nitrogênio, em g/kg, nas raízes superficiais (0-20 cm) é apresentada na tabela 1. Essa concentração não sofreu interação entre os estádios de desenvolvimento dos frutos, diâmetro das raízes e a carga apresentada pelas plantas nas safras estudadas. Não sendo observada diferenças nas concentrações ao longo das fases de crescimento dos frutos. A concentração de nitrogênio em raízes finas (< 2,00 mm) é estatisticamente superior à encontrada nas raízes grossas (> 2,00 mm). Não foi observada diferenças entre as safras de 2018-19 (alta produção) e 2019-20 (baixa produção). CATANI & PUPO DE MORAES (1958) trabalhando com cafeeiros de 1 a 5 anos de idade em Campinas, relataram que a variação na concentração de nitrogênio nas raízes não é tão pronunciada quanto a das folhas e frutos. PINHO et al. (2008) estudando a concentração de nutrientes no sistema radicular de coqueiro-anão verde, relata que em raízes finas (diâmetro < 1,00 mm) a concentração de nutrientes é maior pois são metabolicamente mais ativas, provocando assim maior demanda desses nutrientes.

Tabela 1. Concentração de nitrogênio, em g/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 0-20 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Safrá			
	2018-19		2019-20	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	20,33 aAα	13,17 aBα	18,06 aAα	14,23 aBα
ER	16,98 aAα	17,24 aAα	17,35 aAα	11,02 aBα
GR	20,79 aAα	12,45 aBα	18,09 aAα	10,99 aBα
MT	14,24 aAα	11,12 aBα	16,64 aAα	11,45 aBα
Média Geral	15,26			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha,

não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estádio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

A concentração de fósforo (tabela 2) sofreu interação entre os estádios de desenvolvimento dos frutos e as safras estudadas, sendo que para a safra de 2018-19 (alta produção), não foi encontrada diferença entre os estádios de expansão rápida, granação e maturação, e o maior valor observado na fase de chumbinho. Esta significativa redução provavelmente se deve a translocação deste nutriente para os drenos preferencias, neste caso, os frutos, uma vez que 2018-19 foi caracterizado como ano de carga alta. Na segunda safra (2019-20) os teores não diferiram entre os estádios de desenvolvimento dos frutos. Entre as safras estudadas, no estádio de chumbinho o teor de fósforo foi superior na safra de 2018-19 (alta produção). A concentração deste elemento foi significativamente superior em raízes de diâmetro inferior a 2,00 mm. BEHLING et al. (2014) encontraram comportamento semelhante nas raízes de *Tectona grandis*, aos 7,5 anos de idade, sendo os teores de fósforo também superiores nas raízes finas, na profundidade de até 25 cm.

Tabela 2. Concentração de fósforo, em g/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 0-20 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Safra			
	2018-19		2019-20	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	1,19 aAα	0,78 aBα	0,50 aAβ	0,27 aBβ
ER	0,52 bAα	0,37 bBα	0,41 aAα	0,25 aBα
GR	0,50 bAα	0,37 bBα	0,59 aAα	0,33 aBα
MT	0,30 bAα	0,36 bBα	0,70 aAα	0,49 aBα
Média Geral	0,50			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra

grega dentro do mesmo estágio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

Para as concentrações de potássio, explicitadas na tabela 3, a interação entre os três fatores (estádio de desenvolvimento dos frutos, safra e diâmetro das raízes) foi significativa. A concentração de potássio diferiu entre os estádios para as raízes finas ($\emptyset < 2,00$ mm) na safra de 2018-19 (alta produção), sendo a maior concentração observada no estágio de chumbinho, não diferindo para as demais fases. A concentração não diferiu entre os estádios de frutificação para as raízes grossas ($\emptyset > 2,00$ mm) produzidas na safra de 2018-19 (alta produção), comportamento semelhante para as raízes finas e grossas na safra de 2019-20 (baixa produção). Dentro dos mesmos níveis de safra e estágio, a fase de chumbinho apresentou diferença entre os diâmetros de raízes, sendo o maior valor observado nas raízes finas. Para os demais estádios não encontrou-se diferença entre as concentrações de potássio entre as raízes finas e grossas. Na safra 2019-20 (baixa produção) não foi observada diferença entre os diâmetros dentro do mesmo nível de estágio. Na fase de chumbinho, as raízes finas colhidas na safra de 2018-19 (alta produção) apresentaram concentrações superiores às raízes de igual calibre coletadas na safra de 2019-20 (baixa produção). O comportamento foi semelhante para a concentração de potássio nas raízes grossas, não sendo observadas diferenças para os demais estádios dentro do mesmo nível de diâmetro das raízes e entre os níveis das safras acompanhadas.

Tabela 3. Concentração de potássio, em g/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 0-20 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Safra			
	2018-19 (alta produção)		2019-20 (baixa produção)	
	$\emptyset < 2,00$ mm	$\emptyset > 2,00$ mm	$\emptyset < 2,00$ mm	$\emptyset > 2,00$ mm
CH	3,57 aA α	1,09 aB α	0,34 aA β	0,30 aA β
ER	0,41 bA α	0,37 aA α	0,39 aA α	0,54 aA α
GR	0,49 bA α	0,70 aA α	0,40 aA α	0,35 aA α

MT	0,54 bA α	0,37 aA α	1,19 aA α	0,96 aA α
Média Geral	0,75			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estádio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

b) Cálcio e magnésio

As concentrações de cálcio foram influenciadas significativamente pelos fatores estudados (tabela 4). As concentrações de cálcio encontradas se assemelham aos valores relatados por CATANI & PUPO DE MORAES (1958) nas raízes de cafeeiros com 4 e 5 anos de idade, estes autores relatam ainda que as concentrações dos nutrientes pouco variam nos ramos, tronco e raízes quando comparadas com as variações observadas nas folhas. Analisando a concentração de cálcio nas raízes finas durante as fases de desenvolvimento dos frutos da safra 2018-19 (alta produção), pode-se observar que a concentração foi superior nos estádios de chumbinho e maturação, diferindo das concentrações encontradas nas fases de expansão rápida e granação, dentro da mesma safra, a concentração não variou nas raízes grossas durante o desenvolvimento dos frutos. Já na safra de 2019-20 (baixa produção) não foi observada diferença na concentração das raízes finas e nas raízes grossas foi significativamente menor na fase de maturação dos grãos.

Para um mesmo estádio dentro da safra 2018-19 (alta produção), a concentração foi superior nas raízes finas para todos estádios analisados. Na safra de 2019-20 (baixa produção), as concentrações de cálcio nas raízes finas e grossas não foram diferentes para os estádios de chumbinho e granação, porém, nas fases de expansão rápida e maturação foram significativamente superiores nas raízes finas. As concentrações dentro da mesma fase, do mesmo diâmetro de raiz mas entre as safras estudadas sofreu interação significativa. O teor de cálcio das raízes finas e grossas da fase de chumbinho foi superior na safra de 2018-19 (alta produção) se comparado com o ano agrícola de 2019-20 (baixa produção). Nos estádios de expansão rápida e granação não foi observada diferença entre as safras

para um mesmo calibre das raízes. As raízes grossas tiveram concentrações superiores na safra de 2019-20 (baixa produção) no estágio de maturação, não sendo observada diferença para as raízes finas deste estágio entre as safras.

Tabela 4. Concentração de cálcio, em g/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 0-20 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Saфра			
	2018-19 (alta produção)		2019-20 (baixa produção)	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	12,85 aAα	2,55 aBα	9,93 aAβ	7,93 aAβ
ER	7,33 bAα	3,43 aBα	9,16 aAα	3,71 aBα
GR	8,62 bAα	3,02 aBβ	7,65 aAα	6,16 abAα
MT	10,09 abAα	5,87 aBα	9,73 aAα	3,19 bBβ
Média Geral	6,95			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna e pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estágio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

Na tabela 5, vê-se a concentração de magnésio nas raízes em função do estágio de desenvolvimento dos frutos, do diâmetro radicular e da safra em estudo, na profundidade de 0-20 cm. As concentrações de magnésio nas raízes finas da safra de 2018-19 (alta produção), diferiram entre os estádios de desenvolvimento dos frutos, sendo a maior concentração deste nutriente observada na fase de chumbinho, não diferindo para as demais fases. Para as raízes grossas (> 2,00 mm), não foram verificadas diferenças significativas entre as fases de desenvolvimento, comportamento semelhante ao observado nas raízes grossas da safra de 2019-20 (baixa produção). Nas raízes com diâmetros inferiores a 2,00 mm, as menores concentrações foram observadas nas fases iniciais de desenvolvimento dos grãos, e a maior concentração no final deste ciclo, na fase de maturação. As diferenças entre as concentrações nas raízes de diferentes diâmetros dentro do mesmo estágio e da mesma safra, são observadas, sendo que os maiores valores foram encontrados

sempre nas raízes com diâmetros menores que 2,00 mm, na safra de carga alta (2018-19). Comportamento similar ao observado na safra de 2019-20 (baixa produção). Para um mesmo diâmetro, dentro do mesmo estágio de desenvolvimento dos grãos e entre as safras estudadas, foi observada diferença apenas entre as raízes com diâmetro inferior a 2,00 mm, do estágio de chumbinho, sendo a maior concentração nas raízes da safra 2018-19 (alta produção). CATANI & PUPO DE MORAES (1958), encontraram concentrações semelhantes nas raízes, bem como variação semelhante ao longo dos estádios de desenvolvimento dos frutos.

Tabela 5. Concentração de magnésio, em g/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 0-20 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Safra			
	2018-19 (alta produção)		2019-20 (baixa produção)	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	3,77 aAα	1,33 aBα	1,92 bAβ	0,91 aBα
ER	2,02 bAα	0,76 aBα	2,21 bAα	0,86 aBα
GR	2,00 bAα	0,71 aBα	2,10 bAα	1,00 aBα
MT	2,20 bAβ	0,99 aBα	3,23 aAα	0,99 aBα
Média Geral	1,69			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estágio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

c) Zinco, ferro, cobre e manganês

A maior concentração de zinco (tabela 6), foi observada na fase de chumbinho nas raízes finas da safra de 2018-19 (alta produção), e a menor concentração no estágio de granação dos frutos. Para as raízes com diâmetros superiores à 2,00 mm, coletadas na safra de 2018-19 (alta produção), a menor concentração foi observada na fase de chumbinho, com suas concentrações aumentando nas demais

fases e não diferindo para as fases de expansão rápida, granação e maturação. Para as concentrações nas raízes durante as fases de desenvolvimento dos frutos da safra de 2019-20 (baixa produção), não se observaram diferenças significativas entre elas. Dentro da mesma fase de desenvolvimento e da safra 2018-19 (alta produção), a concentração diferiu para os diâmetros, sendo superior na fase de chumbinho e não diferindo nas demais. Na safra de 2019-20 (baixa produção), a concentração diferiu nos estádios de chumbinho e expansão rápida, sendo superior nas raízes com diâmetro inferiores à 2,00 mm.

Entre as safras estudadas e dentro de um mesmo estágio e diâmetro, foram observadas diferenças na concentração de zinco para as raízes finas do estágio de chumbinho e nas raízes grossas do estágio de expansão rápida, sendo que o maior valor foi observado na safra de 2018-19 (alta produção).

Tabela 6. Concentração de zinco, em mg/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 0-20 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Saфра			
	2018-19 (alta produção)		2019-20 (baixa produção)	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	102,97 aAα	6,40 bBα	50,36 aAβ	17,92 aBα
ER	36,05 bcAα	51,26 aAα	31,29 aAα	6,92 aBβ
GR	6,30 cAα	28,86 abAα	22,39 aAα	4,75 aAα
MT	44,07 bAα	23,79 abAα	31,34 aAα	5,46 aAα
Média Geral	29,38			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estágio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

Na safra de 2018-19 (alta produção), e nas raízes de diâmetro inferior a 2,00 mm, não foi verificada diferença significativa entre os estádios de desenvolvimento

dos frutos do cafeeiro. Para as raízes com diâmetros superiores a 2,00 mm, a maior concentração de ferro (tabela 7) foi observada no estágio de maturação e a menor no estágio de chumbinho. Já para a safra de 2019-20 (baixa produção), não foram encontradas diferenças entre os estádios de desenvolvimento e dentro dos diâmetros radiculares. As concentrações entre os diâmetros dentro da safra de 2018-19 e dentro de uma mesma fase, não diferiram significativamente. Na safra de 2019-20 (baixa produção) apenas nas fases de granação e maturação foi observada diferença, sendo as concentrações superiores nas raízes de diâmetros até 2,00 mm. Dentro de um mesmo diâmetro, um mesmo estágio e entre as safras estudadas foram verificadas diferenças significativas para as raízes com diâmetro superior a 2,00 mm nos estádios de chumbinho, expansão rápida e maturação, sendo que as concentrações foram superiores na safra de 2018-19 (alta produção). Para as demais classes de diâmetros e estádios não foram observadas diferenças significativas.

Tabela 7. Concentração de ferro, em mg/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 0-20 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Saфра			
	2018-19 (alta produção)		2019-20 (baixa produção)	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	1230,43 aAα	662,77 cAα	1419,17 aAα	1556,55 aAβ
ER	1523,74 aAα	1956,02 abAα	1162,23 aAα	977,56 aAβ
GR	1257,37 aAα	1076,69 bcAα	1875,37 aAα	1006,60 aBα
MT	1317,62 aBα	2029,80 aAα	1759,99 aAα	1076,70 aBβ
Média Geral	1368,04			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estágio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

A interação tripla foi significativa para as concentrações de cobre (tabela 8) nas raízes do cafeeiro. Dentro da safra de 2018-19 (alta produção) e de raízes com diâmetros inferiores a 2,00 mm, foi observada diferença entre os estádios de desenvolvimento, sendo que a maior concentração foi verificada na fase de chumbinho, não sendo observadas diferenças nas demais fases. Ainda dentro da mesma safra, mas nas raízes grossas, a maior concentração foi observada na fase de expansão rápida, não diferindo nos demais estádios de desenvolvimento dos frutos. Dentro do mesmo estádio e safra, foi observada diferença entre os diâmetros, sendo que para as fases de chumbinho, granação e maturação as maiores concentrações foram observadas nas raízes finas. As concentrações de cobre não diferiram entre os estádios dos frutos para a safra de 2019-20 (baixa produção) e as raízes de diâmetros inferiores a 2,00 mm. O mesmo comportamento foi observado para as raízes grossas. As raízes de diâmetros menores apresentaram concentrações significativamente superiores do que as de maiores calibres, para uma mesma fase da safra de 2019-20 (baixa produção). Ao compararmos uma mesma classe de diâmetro radicular entre as safras e dentro de uma mesma fase, é possível observar que as raízes finas coletadas na fase de chumbinho da safra de 2018-19 (alta produção) apresentaram concentrações superiores as da safra de 2019-20 (baixa produção). As raízes grossas da fase de expansão rápida da safra de 2018-19 (alta produção) também diferiram entre as produzidas na de 2019-20 (baixa produção), sendo superiores nas da primeira safra acompanhadas neste estudo.

Tabela 8. Concentração de cobre, em mg/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 0-20 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Safra			
	2018-19 (alta produção)		2019-20 (baixa produção)	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	100,85 aA α	7,31 bB α	29,78 aA β	8,64 aB α
ER	25,24 bA α	31,91 aA α	34,71 aA α	8,78 aB β
GR	30,29 bA α	6,33 bB α	24,34 aA α	2,94 aB α
MT	24,80 bA α	3,25 bB α	34,04 aA α	6,98 aB α

Média Geral	23,76
-------------	-------

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estádio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

Não foi observada interação entre os fatores para as concentrações de manganês (tabela 9), sendo então estudadas cada fator em separado. Não foram observadas diferenças na concentração de manganês entre as fases de desenvolvimento dos frutos nas raízes dos cafeeiros. Assim como entre as concentrações entre as safras estudadas. Porém, foi observada diferença na concentração entre as raízes de diferentes diâmetros, e as maiores concentrações nas raízes com diâmetro inferior a 2,00 mm.

Tabela 9. Concentração de manganês, em mg/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 0-20 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Saфра			
	2018-19		2019-20	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	101,12 aAα	10,57 aBα	115,49 aAα	46,51 aBα
ER	112,24 aAα	56,49 aBα	95,86 aAα	47,76 aBα
GR	80,87 aAα	25,05 aBα	109,46 aAα	24,29 aBα
MT	114,74 aAα	83,00 aBα	93,03 aAα	30,88 aBα
Média Geral	71,71			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estádio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

4.3. Nutrientes nas raízes subsuperficiais

a) Nitrogênio, fósforo e potássio

A concentração de nitrogênio (tabela 10) nas raízes coletadas da profundidade de 20-40 cm, não diferiu com o avançar do ciclo de desenvolvimento dos frutos, mas as concentrações de nitrogênio nas raízes finas foram significativamente superiores e na safra de 2018-19 (alta produção) também foi superior em relação a safra de 2019-20 (baixa produção).

Tabela 10. Concentração de nitrogênio, em g/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 20-40 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Safrá			
	2018-19		2019-20	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	17,74 aAβ	9,95 aBα	20,48 aAα	8,65 aBβ
ER	16,24 aBα	20,86 aAα	15,20 aAβ	8,36 aBβ
GR	18,90 aAα	12,11 aBα	15,41 aAβ	9,26 aBβ
MT	16,18 aAα	9,86 aBα	14,64 aAβ	9,37 aBβ
Média Geral	13,95			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estádio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

A concentração de fósforo (tabela 11) diferiu entre os estádios de desenvolvimento dos frutos, para as raízes com diâmetro inferior a 2,00 mm na safra de 2018-19 (alta produção) diferiu entre si, sendo superior na fase de chumbinho. Nas raízes com diâmetro superior a 2,00 mm, as concentrações foram superiores nas fases de chumbinho e granação e os menores observados na fase de

maturação. Quando se comparam as concentrações entre os diâmetros estudados dentro de cada fase e na safra de 2018-19 (alta produção), é observado que no estágio de chumbinho as concentrações são superiores nas raízes com diâmetros menores. Na safra de 2019-20 (baixa produção), não são observadas diferenças entre os estádios para um mesmo diâmetro, nem dentro dos diâmetros para uma mesma fase. Para uma mesma fase de desenvolvimento e um mesmo diâmetro entre as safras estudadas, as raízes com diâmetro inferior a 2,00 mm no estágio de chumbinho da safra de 2018-19 (alta produção) apresentaram maiores concentrações de fósforo, assim como nas raízes grossas desta mesma fase.

Tabela 11. Concentração de fósforo, em g/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 20-40 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Saфра			
	2018-19 (alta produção)		2019-20 (baixa produção)	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	1,91 aAα	0,80 aBα	0,39 aAβ	0,29 aAβ
ER	0,48 bAα	0,19 bAα	0,32 aAα	0,20 aAα
GR	0,23 bAα	0,42 abAα	0,40 aAα	0,25 aAα
MT	0,37 bAα	0,15 bAα	0,50 aAα	0,30 aAα
Média Geral	0,45			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estágio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

A concentração de potássio (tabela 12) nas raízes sofreu efeito da interação entre estágio, diâmetro e carga de frutos nas plantas. Na safra de 2018-19 (alta produção), dentro das raízes de diâmetro inferior a 2,00 mm a concentração diferiu entre os níveis do fator estágio, sendo que a maior concentração foi observada na fase de chumbinho, não diferindo entre as demais fases de crescimento. Este comportamento foi semelhante para as raízes com mais de 2,00 mm de diâmetro, e

a concentração de potássio foi maior na fase de chumbinho, não diferindo para as demais fases. Para uma mesma fase, dentro da mesma safra e entre os diâmetros das raízes, o estágio de chumbinho apresentou diferença entre os diâmetros, sendo que a maior concentração de potássio foi encontrada nas raízes de diâmetro inferior a 2,00 mm. Na safra de 2019-20 (baixa produção), para as raízes finas a concentração de potássio diferiu entre os estádios sendo maior ao final do ciclo de produção, no estágio de maturação, e não diferindo para as demais fases. Nas raízes grossas, não foi observado diferença entre os estádios de desenvolvimento dos frutos. Entre os diâmetros para uma mesma fase de desenvolvimento na safra de 2019-20 (baixa produção) não foi observado diferença na concentração de potássio.

Para um mesmo calibre de raízes e uma mesma fase de desenvolvimento dos frutos, entre as safras estudadas, houve variação no estágio de chumbinho para as raízes finas, sendo que as raízes da safra de 2018-19 (alta produção) apresentaram concentrações significativamente superiores em relação à safra de 2019-20 (baixa produção). Nas raízes grossas da fase de chumbinho, as raízes da safra de 2018-19 (alta produção) apresentaram concentração superior as raízes grossas da safra de 2019-20 (baixa produção). Na fase de maturação, as raízes finas da safra de 2019-20, apresentaram concentração superior a das raízes da safra de 2018-19 (alta produção).

Tabela 12. Concentração de potássio, em g/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 20-40 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Saфра			
	2018-19 (alta produção)		2019-20 (baixa produção)	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	4,87 aAα	1,44 aBα	0,23 bAβ	0,15 aAβ
ER	0,45 bAα	0,14 bAα	0,31 bAα	0,32 aAα
GR	0,56 bAα	0,37 bAα	0,36 bAα	0,30 aAα
MT	0,55 bAβ	0,35 bAα	1,20 aAα	0,73 aAα
Média Geral	0,77			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estádio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

b) Cálcio e magnésio

Na tabela 13, pode-se observar que a concentração de cálcio nas raízes sofreu interação entre as safras estudadas e os diâmetros das raízes. Na safra de 2018-19 (alta produção), a concentração diferiu entre os diâmetros das raízes, sendo que a concentração foi superior nas raízes com diâmetro inferior a 2,00 mm. O mesmo comportamento pode ser observado nas raízes da safra de 2019-20 (baixa produção). Entre as raízes com diâmetro inferior a 2,00 mm, a concentração de cálcio foi superior na safra de 2018-19 (alta produção). Para as raízes com diâmetro superior a 2,00 mm, não foi encontrada diferença estatística entre as safras avaliadas. Para o fator estádio, analisado em separado, não foi observado diferença entre os estádios de desenvolvimento dos frutos do cafeeiro.

Tabela 13. Concentração de cálcio, em g/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 20-40 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Safra			
	2018-19		2019-20	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	12,55 aAα	3,43 aBα	6,51 aAβ	5,51 aBα
ER	5,87 aAα	1,00 aBα	6,43 abAβ	3,89 aBα
GR	5,95 aAα	2,75 aBα	5,26 abAβ	4,04 aBα
MT	8,15 aAα	3,76 aBα	6,05 aAβ	2,38 aBα
Média Geral	5,22			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estádio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

Para a concentração de magnésio (tabela 14) nas raízes, os estádios de desenvolvimento, o diâmetro radicular e a safra estudada influenciaram significativamente. Entre os diâmetros das raízes para as duas safras estudadas, a concentração de magnésio foi superior nas raízes finas para todas as fases de desenvolvimento dos frutos. Ao observar apenas as raízes finas da safra 2018-19 (alta produção), as raízes da fase de chumbinho tiveram concentrações superiores às das demais fases. Nas raízes grossas não foi observada diferença entre as fases de desenvolvimento dos frutos, da safra de 2018-19 (alta produção). Na safra 2019-20 (baixa produção) a maior concentração foi observada na fase de maturação para as raízes finas, sendo que a concentração não diferiu para os estádios de expansão rápida e granação. Nas raízes com diâmetro superior a 2,00 mm não foi observada diferença entre os estádios. As concentrações de magnésio nas raízes finas, do estádio de chumbinho da safra de 2018-19 (alta produção) foram estatisticamente superiores às das raízes finas da safra 2019-20 (baixa produção) deste mesmo estádio de desenvolvimento dos frutos.

Tabela 14. Concentração de magnésio, em g/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 20-40 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa.

Estádio	Safra			
	2018-19 (alta produção)		2019-20 (baixa produção)	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	4,41 aAα	1,04 aBα	1,50 bAβ	0,52 aBα
ER	1,83 bAα	0,52 aBα	1,76 abAα	0,82 aBα
GR	1,84 bAα	0,45 aBα	1,71 abAα	0,78 aBα
MT	1,90 bAα	0,45 aBα	2,52 aAα	0,80 aBα
Média Geral	1,43			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna e pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estádio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

c) Zinco, ferro, cobre e manganês

As concentrações de zinco nas raízes (tabela 15) sofreram interação entre os fatores em estudo. Para as raízes finas coletadas na safra de 2018-19 (alta produção), a maior concentração foi observada no estádio de chumbinho, e a menor na fase de granação, os estádios de expansão rápida e maturação não diferiram dos estádios de chumbinho e granação. Dentro da mesma safra, para as raízes coletadas com diâmetro superior a 2,00 mm, a maior concentração foi identificada no estádio de granação e a menor na maturação, sendo que esta não diferiu da concentração observada nas fases de chumbinho e expansão rápida. As concentrações dentro do mesmo estádio e entre os diâmetros dentro da safra de 2018-19 (alta produção) foram estatisticamente diferentes. Para a fase de chumbinho, a maior concentração de zinco foi observada nas raízes finas, já na fase de granação a maior concentração foi identificada nas raízes grossas, não diferindo para as demais. As concentrações entre os estádios dentro do mesmo calibre de raiz, na safra de 2019-20 (baixa produção) não diferiram entre si. Ao observar a concentração dentro do mesmo estádio, dentro do mesmo diâmetro radicular e entre as safras, foi possível observar diferença na concentração nas raízes grossas da granação, e os valores foram superiores na safra de 2018-19 (alta produção). Não diferindo para as demais combinações dos fatores estudados.

Tabela 15. Concentração de zinco, em mg/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 20-40 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa.

Estádio	Safra			
	2018-19 (alta produção)		2019-20 (baixa produção)	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm

CH	62,13 aA α	24,53 bB α	41,24 aA α	28,30 aA α
ER	37,68 abA α	28,64 abA α	23,58 aA α	9,11 aA α
GR	7,41 bB α	62,62 aA α	18,62 aA α	7,08 aA β
MT	43,60 abA α	15,32 bA α	21,90 aA α	8,90 aA α
Média Geral	27,54			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estádio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

O ferro nas raízes (tabela 16) não diferiu entre os estádios de desenvolvimento da safra de 2018-19 (alta produção). Na safra de 2019-20 (baixa produção) as maiores concentrações foram observadas na fase de chumbinho e maturação, sendo que esta última não diferiu das fases de expansão rápida e granação. Para a concentração dentro do estádio de chumbinho entre as safras estudadas foram observadas diferenças significativas, sendo que na safra de 2019-20 (baixa produção) foi verificada a maior concentração, não diferindo dentre das demais fases entre as safras. No que tange ao diâmetro radicular, raízes finas apresentaram concentrações superiores às de calibre superior a 2,00 mm, na safra de 2018-19 (alta produção). Na safra de 2019-20 (baixa produção) essa diferença não foi verificada. Entre as safras, a concentração nas raízes finas não diferiu, para as raízes grossas a maior concentração foi verificada na safra de 2019-20 (baixa produção).

Tabela 16. Concentração de ferro, em mg/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 20-40 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Safra			
	2018-19		2019-20	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	2070,45 aA α	623,22 aB β	2126,11 aB α	2896,75 aA α
ER	2207,47 aA α	1359,45 aB α	1424,31 aA β	1059,36 bA α

GR	1488,56 aA α	975,70 aA α	1550,27 aA α	1082,91 bA α
MT	1805,82 aA α	1225,31 aB α	1977,82 aA α	1488,75 bA α
Média Geral	1585,10			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estádio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

Não foi verificada significância entre as interações dos fatores estudados para as concentrações de cobre (tabela 17). Sendo assim, analisaram-se os fatores em separado. As concentrações de cobre não diferiram entre os estádios de desenvolvimento nem entre as safras acompanhadas neste estudo. Porém, a concentração de cobre nas raízes finas foi superior as observadas nas raízes grossas.

Tabela 17. Concentração de cobre, em mg/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 20-40 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Safra			
	2018-19		2019-20	
	$\varnothing < 2,00$ mm	$\varnothing > 2,00$ mm	$\varnothing < 2,00$ mm	$\varnothing > 2,00$ mm
CH	32,56 aA α	13,09 aB α	35,99 aA α	5,47 aB α
ER	60,73 aA α	26,80 aB α	23,02 aA α	6,03 aB α
GR	27,62 aB α	37,44 aA α	20,19 aA α	5,70 aB α
MT	20,64 aA α	2,48 aB α	19,79 aA α	5,98 aB α
Média Geral	21,47			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estádio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e MT – Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

Para a concentração de manganês, nas raízes coletadas na profundidade de 20-40 cm, apresentada na tabela 18, foi observada significância para a interação entre as safras e estádios de desenvolvimento. Dentro da safra de 2018-19 (alta produção) não foi verificada diferença entre os estádios de desenvolvimento dos frutos. Na safra de 2019-20 (baixa produção), a maior concentração foi encontrada nas raízes do estágio de chumbinho, e a menor na fase de expansão rápida, e esta não diferiu das fases de granação e maturação. As concentrações de manganês entre as raízes finas e grossas, coletadas na profundidade de 20-40 cm, diferiram entre si, e a maior concentração foi verificada nas raízes finas.

Tabela 18. Concentração de manganês, em mg/kg, nas raízes de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 de diferentes diâmetros, alocadas na profundidade de 20-40 cm, nos diferentes estádios de desenvolvimento dos frutos em anos de carga alta e baixa

Estádio	Safras			
	2018-19		2019-20	
	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm	Ø < 2,00 mm	Ø > 2,00 mm
CH	101,90 aAβ	23,57 aBα	223,40 aAα	121,14 aBα
ER	152,59 aAα	25,44 aBα	103,68 aAα	48,86 bBα
GR	87,19 aAα	59,63 aBα	161,84 aAα	45,75 bBα
MT	185,96 aAα	95,18 aBα	156,36 aAα	45,72 bBα
Média Geral	102,39			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula dentro da mesma safra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Médias seguidas pela mesma letra grega dentro do mesmo estágio e diâmetro em safras distintas, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. CH – Chumbinho; ER – Expansão Rápida; GR – Granação e Maturação. Raízes com diâmetro < 2,00 mm e diâmetro > 2,00 mm.

Na figura 5, pode-se ver a correlação de Pearson entre a concentração de nutrientes nas raízes e a produção das plantas amostradas. A correlação foi negativa e fraca para a concentração de ferro nas raízes finas, positiva e forte para a concentração de potássio, zinco e cobre das raízes com diâmetro inferior a 2,00 mm. Nas raízes grossas, foi verificada uma correlação negativa e fraca entre a produção das plantas e as concentrações de ferro e manganês. Na correlação entre a

concentração dos nutrientes nas raízes coletadas na profundidade de 20-40 cm (figura 6) e a produção das plantas, a correlação foi positiva e forte para os nutrientes fósforo, potássio, cálcio e magnésio das raízes finas. E correlação negativa para as concentrações de manganês presente nas raízes finas e a de ferro das raízes grossas.

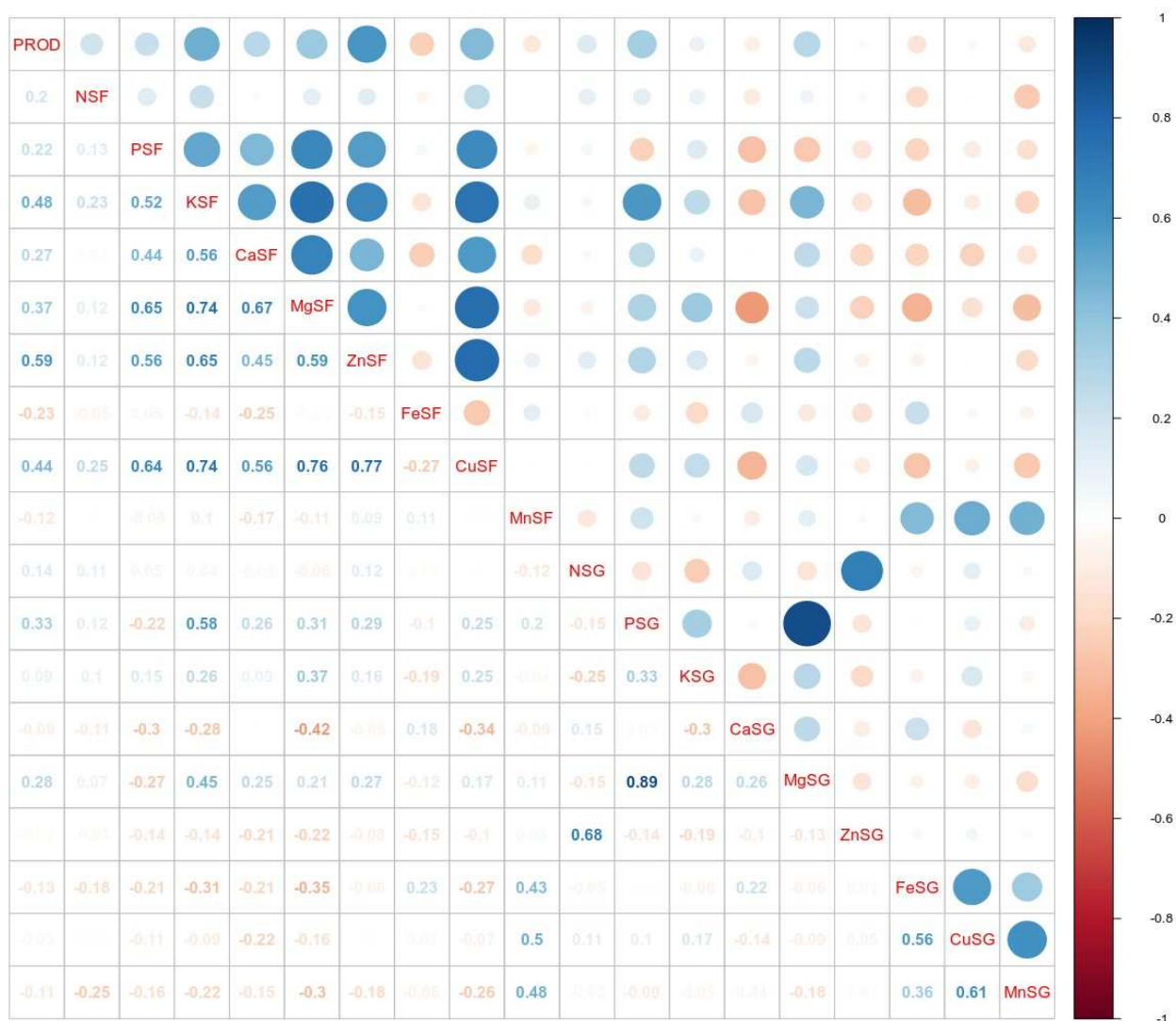


Figura 5. Correlação de Pearson entre as variáveis estudadas durante as fases de produção de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99, na profundidade de 0-20 cm. PROD = Produção de grãos cereja por planta em (kg/planta); NSF e NSG = Nitrogênio nas raízes finas e grossas; PSF e PSG = Fósforo nas raízes finas e grossas; KSF e KSG = Potássio nas raízes finas e grossas; CaSF e CaSG = Cálcio nas raízes finas e grossas; MgSF e MgSG = Magnésio nas raízes finas e grossas;

ZnSF e ZnSG = Zinco nas raízes finas e grossas; FeSF e FeSG = Ferro nas raízes finas e grossas; CuSF e CuSG = Cobre nas raízes finas e grossas e MnSF e MnSG = Manganês nas raízes finas e grossas.

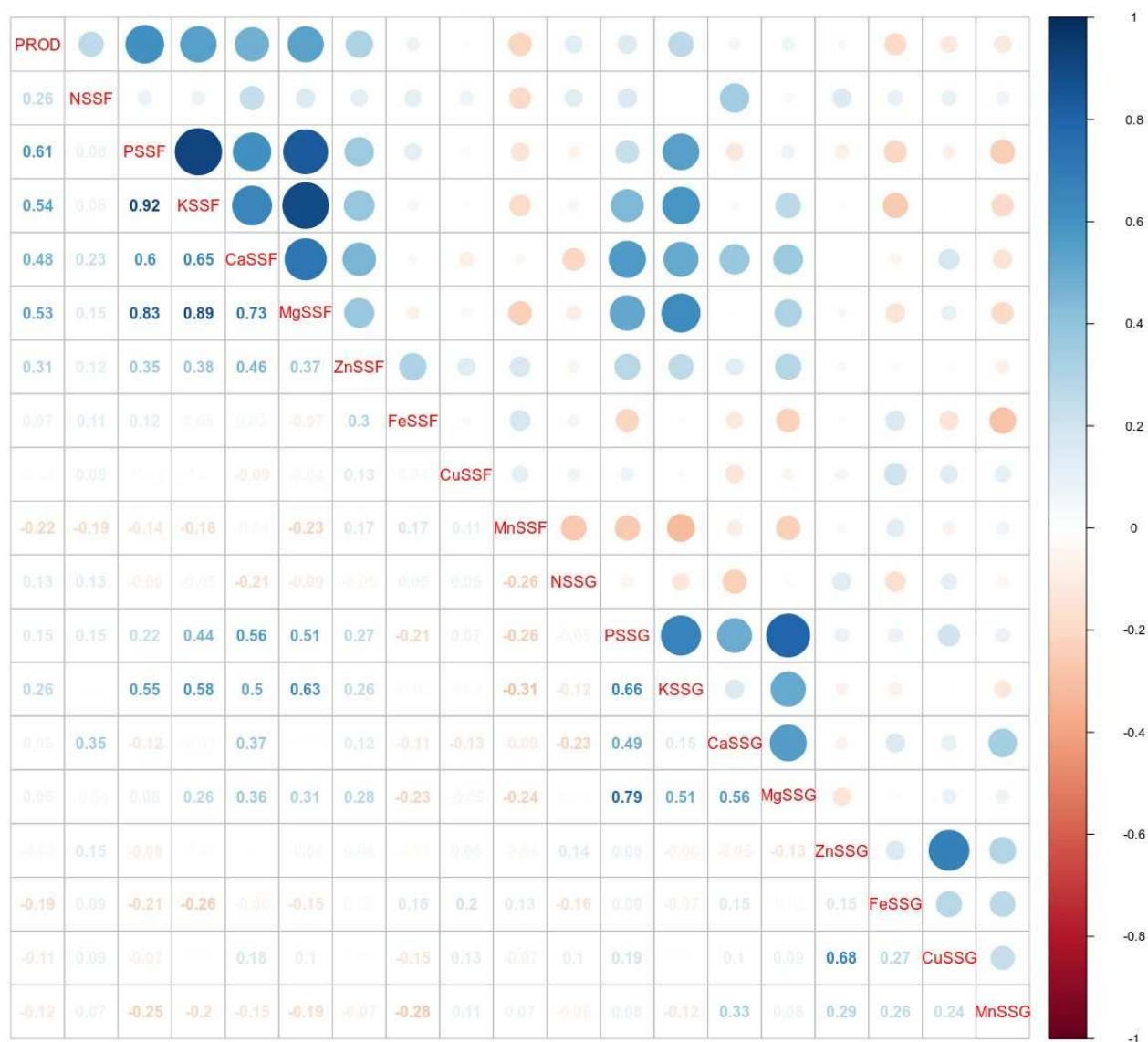


Figura 6. Correlação de Pearson entre as variáveis estudadas durante as fases de produção de cafeeiros da variedade Catuaí Vermelho IAC 99, na profundidade de 20-40 cm. PROD = Produção de grãos cereja por planta em (kg/planta); NSSF e NSSG = Nitrogênio nas raízes finas e grossas; PSSF e PSSG = Fósforo nas raízes finas e grossas; KSSF e KSSG = Potássio nas raízes finas e grossas; CaSSF e CaSSG = Cálcio nas raízes finas e grossas; MgSSF e MgSSG = Magnésio nas raízes finas e grossas; ZnSSF e ZnSSG = Zinco nas raízes finas e grossas; FeSSF e

FeSSG = Ferro nas raízes finas e grossas; CuSSF e CuSSG = Cobre nas raízes finas e grossas e MnSSF e MnSSG = Manganês nas raízes finas e grossas.

5. Conclusões

- As concentrações de P, Ca, Zn, Fe, Cu e Mn em folhas expandidas são influenciadas pela carga produtiva das plantas, sendo os menores valores observados na safra de carga baixa;
- As concentrações de N em folhas expandidas e folhas não expandidas completamente correlacionam-se positivamente com a produção de frutos;
- As raízes finas localizadas na camada superficial do solo (0-20 cm) apresentam concentrações de N, P e Mg mais elevadas que as raízes grossas, enquanto que as raízes finas localizadas na sub-superfície (20-40 cm) apresentam concentrações mais elevadas de N, Ca, Fe, Cu e Mn que as raízes grossas;
- A carga de frutos altera as concentrações de P, K, Ca, Zn, Fe e Cu de raízes superficiais e de N, Ca e Fe de raízes subsuperficiais do cafeeiro;
- As concentrações de K, Zn, e Cu em raízes superficiais finas, e as de P, K e Mg em raízes sub-superficiais finas se correlacionam positivamente com a produção de frutos.

6. Referências

ALVES, J. D.; PAGLIS, C. M.; LIVRAMENTO, D. E.; LINHARES, S. S. D.; BECKER, F. B.; MESQUITA, A. C. Source-sink manipulations in *Coffea arabica* L. and its effect on growth of shoots and root system. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 35, n. 5, p. 956 -964, set./out., 2011

ANDRADE, V. M; LOURENÇO, R. S; MURAOKA, T; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do cafeeiro. Influência do cobre do substrato no crescimento e composição mineral do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) variedades mundo novo e catuaí. *Anais Da Escola Superior De Agricultura Luiz De Queiroz*, 33, 459-469, 1976.

ARZOLLA, J., HAAG, H., & MALAVOLTA, E. . Nota preliminar sôbre a absorção e a translocação do radiozinco no cafeeiro, *Coffea arabica* L., cultivado em solução nutritiva. *Anais Da Escola Superior De Agricultura Luiz De Queiroz*, 12, 113-120. 1956.

BEHLING, M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; KISHIMOTO, C. B.; SMIT, L. Eficiência de utilização de nutrientes para formação de raízes finas e médias em povoamento de teca. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.38, n.5, p.837-846, 2014

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *Rev. Ceres*, v. 21, n. 113, p. 73–84, 1974.

BREMNER, J. M. Total nitrogen. IN: C. A. BLACK (ORG.); *Methods of soil analysis*. 2º ed, p.1149–1178, Madison: American Society of Agronomy.1965.

CATANI, R. A. & MORAES, F. R. P. A composição química do cafeeiro. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v.33, n.1,p.45-52, 1958.

CATANI, R. A; PELLEGRINO, D; BITTENCOURT, V. C; JACINTHO, A. O; GRANER, C. A. F. A concentração e a quantidade de micronutrientes e de alumínio no cafeeiro, *Coffea arabica*, L., variedade mundo novo (B. Rodr.) Choussy, aos dez anos de idade. *Anais da ESALQ*, 24: 97-106, 1967.

CAMARGO, A. P. Florescimento e frutificação do café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.20, n.7, p.831-839, 1985.

CAMARGO, A. P & CAMARGO, M. P. B. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*, Campinas, 60(1), 65-68. 2001.

CORRÊA, J. B; GARCIA, A. W. R; COSTA, P. C. Extração de nutrientes pelos cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 13, 1986, São Lourenço. *Anais...* Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café,. p.35-41. 1986.

DaMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. *Braz. J. Plant Physiol.*, 19(4):485-510, 2007.

DECHEN, A. R. & NACHTIGALL, G. R. Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. IN: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A.; (ED). *Nutrição mineral de plantas*. 2ª . Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2018

FAQUIN, V. *Nutrição Mineral de Plantas*. Lavras: UFLA/FAEPE,. 186 p. 2005

FERNANDES, M. S.; SANTOS, L. A.; SOUZA, R. S. Absorção de nutrientes. IN: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A.; (ED). *Nutrição mineral de plantas*. 2ª . Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2018

FERREIRA, E. B., CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: An R Package for ANOVA and Ex-perimental Designs. Applied Mathematics, vol. 5, p. 2952-2958. 2014.

GALLO, J. R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O. C. & PUPO DE MORAES, F. R. Teores de nitrogênio em fôlhas de cafeeiro, em relação à adubação química. I — Latossolo roxo transição para latossolo vermelho amarelo orto. *Bragantia*, v.30 n.17. p.169-177, 1971.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 289-302.1999.

LAVIOLA, B. G; MARTINEZ, H. E. P; SOUZA, R. B; VENEGAS, V. H. A. Dinâmica de P e S em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 23, n. 1, p. 29-40, Jan./Mar. 2007a.

LAVIOLA, B. G; MARTINEZ, H. E. P; SOUZA, R. B; VENEGAS, V. H. A. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de *Coffea arabica*. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* vol.31 no.2 Viçosa Mar./Apr. 2007b.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, S. D.; MENDONÇA, S. M.; ROSADO, L. A. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. *Bioscience Journal* vol.24 n. 1, p. 19-31, Jan./Mar. 2008

LIMA, E.; VITTI, G. C.; SANTOS, L. A.; CICARONE, F. Cálcio e magnésio. IN: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A.; (ED). *Nutrição mineral de plantas. 2ª* . Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2018

MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J. L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C. P.; HEINRICH, R.; SILVEIRA, J. S. M. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.37, n.7, p. 1017-1022. 2002.

MARTINEZ, H. E. P.; NEVES, J. C. L.; V. ALVAREZ, V. H.; SHULER, J. Mineral Nutrition and Fertilization. IN: FARAH, A. *Coffee: Production, Quality and Chemistry*. p. 163-201. Royal Society of Chemistry. 2019

MIRANDA, G.B.; BAITELLE, D. C.; FREITAS, S. J.; VERDIN FILHO, A. C.; VIEIRA, K. M. Sistema radicular do café arábica conduzido na poda programada de ciclo. X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil—ISSN: 1984-9249. 2019

MATIELLO, J. B; ALMEIDA, S; GARCIA, A, W, R; SANTINATO, R. *Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações*. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 542 p.2010.

MALAVOLTA, E. *Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 210 p.1993.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press Inc., 674p.1986.

NUTMAN, F. J. The root-system of *Coffea arabica* L. I. Root system in typical soils of British East Africa. Emp . Jour. Exp . Agric 1 271-284. 1933.

NUTMAN, F. J. The root-system of *Coffea arabica* L. III. The spacial distribution of the absorbing area of the root. Emp . Jour. Agric 2 293-302. 1934.

PARTELLI, F. L., COVRE, A. M., OLIVEIRA, M. G., ALEXANDRE, R. S., VITÓRIA, E. L. & SILVA, M. B. Root system distribution and yield of 'Conilon' coffee propagated by seeds or cuttings. Pesquisa Agropecuária Brasileira 49 349-355. 2014.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H. QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2ª ed. Instituto Agrônomico de Campinas -IAC.Campinas. 285p. (Boletim Técnico, 100).1997.

RENA, A. B; GUIMARAES, P. T. G. Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuicao, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: EPAMIG, 80p. il. 2000

TAKEHISA, H., SATO, Y., IGARASHI, M., ABIKO, T., ANTONIO, B. A., KAMATSUKI, K., MINAMI, H., NAMIKI, N., INUKAI, Y. & NAKAZONO, M. Genomewide transcriptome dissection of the rice root system: implications for developmental and physiological functions. The Plant Journal 69 126-140. 2012.

ZHU, J., INGRAM, P. A., BENFEY, P. N. & ELICH, T. From lab to field, new approaches to phenotyping root system architecture. Current opinion in plant biology 14 310-317. 2011

Apêndice

1. Apêndice A

ESTUDO DAS VARIÁVEIS RADICULARES NO DESENVOLVIMENTO DAS MUDAS

Densidade do comprimento total da raiz (cm.cm⁻³)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	0,6180	0,3090	385,3057	<0,0001
Resíduo	5	0,0040	0,0008		
Total	7	0,6220			
C.V			7,53%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,7454

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1651

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância.

$$\hat{y} = 0,7285^{**}/(1+\exp(-(DAS - 145,8094^{**})/14,8441^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 99,10\%$$

Densidade da área projetada das raízes (cm².cm⁻³)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	0,0018	0,0009	1004,96	<0,0001
Resíduo	5	0,000005	0,0000008		
Total	7	0,0018			
C.V			11,94%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,8859

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,2779

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,0418^{**}/(1+\exp(-(DAS - 152,1324^{**})/18,4249^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 99,65\%$$

Densidade da área superficial das raízes (cm².cm⁻³)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	0,0175	0,0088	984,71	<0,0001
Resíduo	5	0,000044	0,0000089		
Total	7	0,0176			
C.V			8,18%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,6982

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,0618

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,1315^{**}/(1+\exp(-(DAS - 152,1069^{**})/18,4446^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 99,65\%$$

Diâmetro médio das raízes (mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	1	0,0738	0,0738	29,63	0,0016
Resíduo	6	0,0149	0,0025		
Total	7	0,0887	0,0127		
C.V			8,14%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,5004

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,3242

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,4284^{**} + (10,2728^{**}/DAS)$$

$$R^2_{aj} = 80,36\%$$

Densidade do volume das raízes (mm³.cm⁻³)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	3266014,84	1633007,42	2731,23	<0,0001
Resíduo	5	2989,50	597,90		
Total	7	3269004,35	46700,62		
C.V			6,93%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,2210

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,0903

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 1982,6383^{**}/(1+\exp(-(DAS - 161,3220^{**})/22,1431^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 99,87\%$$

Numero de bifurcações

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	16,996	8,498	9243,28	<0,0001
Resíduo	5	0,005	0,00091		
Total	7	17,001	2,429		
C.V			9,44%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,9124

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1312

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 4,171^{**}/(1+\exp(-(DAS-160,332^{**})/17,216^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 100\%$$

Numero de cruzamentos

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	0,452	0,226	1306,113	<0,0001
Resíduo	5	0,00086	0,00017		
Total	7	0,453	0,065		
C.V			13,35%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,3767

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1915

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,612^{**}/(1+\exp(-(DAS-149,309^{**})/13,294^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 99,7\%$$

Densidade da matéria fresca radicular (g.cm⁻³)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	4,94E-6	2,47E-6	305,49	<0,0001
Resíduo	5	4,04E-8	8,09E-9		
Total	7	4,98E-6	7,12E-7		
C.V			33,06%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,2929

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,9769

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,0022^{**}/(1+\exp(-(DAS-154,7041^{**})/16,6291^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 98,86\%$$

Densidade da matéria seca radicular (g.cm⁻³)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	1,15E-7	5,76E-8	21,40	0,0035
Resíduo	5	1,34E-8	2,69E-9		
Total	7	1,28E-7	1,83E-8		
C.V			9,68%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,1934

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,5841

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 5,65E-5 * -2,24E-6 * DAS + 1,71E-8 * DAS^2$$

$$R^2_{aj} = 85,36\%$$

Densidade do comprimento total da raiz ($\emptyset < 0,5$ mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	0,3249	0,1624	334,5134	<0,0001
Resíduo	5	0,0024	0,0005		
Total	7	0,3273	0,0468		
C.V			7,58%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,6535

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,7941

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,5226^{**}/(1+\exp(-(DAS-145,4963^{**})/13,7953^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 98,96\%$$

Densidade do comprimento total da raiz (\varnothing 0,5 – 2,0 mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	0,0458	0,0289	953,5386	<0,0001
Resíduo	5	0,0001	2,41E-5		
Total	7	0,0869	0,0066		
C.V			14,47%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,2177

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,3454

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,2097^{**}/(1+\exp(\text{DAS}-149,0643^{**})/18,6061^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 99,63\%$$

Densidade do comprimento total da raiz ($\emptyset > 2,0$ mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	95,8735	95,8735	755,29	0,0002
Resíduo	5	4,062	0,1269		
Total	7	104,432			
C.V			14,23%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,5817

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,0588

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,0776^{**}/(1+\exp(-(DAS-178,0944^{**})/25,6395^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 99,89\%$$

Densidade da área superficial total das raízes ($\emptyset < 0,5$ mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	0,0024	0,0012	175,7313	<0,0001
Resíduo	5	3,44E-5	6,89E-6		
Total	7	0,0025	0,0004		
C.V			10,35%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,9897

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1823

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,0444^{**}/(1+\exp(-(DAS-143,7032^{**})/12,2560^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 98,04\%$$

Densidade da área superficial total das raízes (Ø 0,5 – 2,0 mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	0,0029	0,0015	1398,8568	<0,0001
Resíduo	5	5,22E-6	1,04E-6		
Total	7	0,0029	0,0004		
C.V			20,29%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,1702

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,3533

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,0552^{**}/(1+\exp(-(DAS-153,2593^{**})/20,0497^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 99,75\%$$

Densidade da área superficial total das raízes ($\varnothing > 2,0$ mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	0,0002	7,56E-5	60,2757	0,0003
Resíduo	5	6,27E-6	1,25E-6		
Total	7	0,0002	2,25E-5		
C.V			22,32%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,8054

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,2327

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,0033 - 0,0001 \cdot \text{DAS} + 7,17 \cdot 10^{-7} \cdot \text{DAS}^2$$

$$R^2_{aj} = 94,42\%$$

Densidade do volume das raízes ($\emptyset < 0,5$ mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	1,54E-7	7,74E-8	203,46	<0,0001
Resíduo	5	1,90E-9	3,80E-10		
Total	7	1,56E-7	2,24E-8		
C.V			8,22%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,9371

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,5556

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,3591^{**}/(1+\exp(\text{DAS}-144,3533^{**})/13,1877^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 98,30\%$$

Densidade do volume das raízes (Ø 0,5 – 2,0 mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	1,04E-6	5,32E-7	45,85	0,0006
Resíduo	5	5,70e-8	1,14E-8		
Total	7	1,61E-6	1,57E-7		
C.V			20,03%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,1227

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1625

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,4027^{**}/(1+\exp(\text{DAS}-142,3870^{**})/11,6190^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 96,63\%$$

Densidade do volume das raízes ($\emptyset > 2,0$ mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	1,65E-6	8,25E-7	2435,43	<0,0001
Resíduo	5	1,69E-9	3,38E-10		
Total	7	1,65E-6	2,36E-7		
C.V			18,74%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,4530

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,7546

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 1,4044^{**}/(1+\exp(-(DAS-160,2184^{**})/22,0553^{**}))$$

$$R^2_{aj} = 99,86\%$$

Relação Raiz/Parte aérea em base de matéria seca

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Regressão	2	0,0492	0,0246	11,1436	0,0144
Resíduo	5	0,0110	0,0022		
Total	7	0,0602	0,0086		
C.V			15,75%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,7865

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos seguem uma distribuição normal,

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,6620

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os Resíduos apresentam homogeneidade de variância,

$$\hat{y} = 0,3227^{**}(1 + \exp(-(DAS - 53,1173^{**})/28,2609))$$

$$R^2_{aj} = 74,35\%$$

ESTUDO DAS VARIÁVEIS NO DESENVOLVIMENTO DAS VARIEDADES

Comprimento total da raiz (cm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Variedades	6	21,361	3,5602	0,8501 ^{NS}	0,5427
Resíduo	28	117,258	4,1878		
Total	34	138,619			
C.V.			8,11%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,3963

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,2046

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Área superficial total das raízes (cm²)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Variedades	6	0,7785	0,1297	0,3152 ^{NS}	0,9235
Resíduo	28	11,5238	0,4115		
Total	34	12,3022			
C.V.			7,23%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,5873

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,2001

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Diâmetro médio das raízes (mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Variedades	6	2,6149	0,4358	19,24**	0,000099
Resíduo	28	0,6340	0,0226		
Total	34	3,2489			
C.V.			13,16%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,8323

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,5985

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Volume total das raízes (cm³)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Variedades	6	8,014	1,3357	0,8042 ^{NS}	0,5750

Resíduo	28	46,500	1,6607
Total	34	54,514	
C.V.			9,21%

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,3879

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,6896

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Número de ápices

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Variedades	6	787,44	131,239	2,8983**	0,0251
Resíduo	28	1267,86	45,281		
Total	34	2055,30			
C.V.					21,46%

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,3590

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,7168

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Matéria fresca das raízes (g)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Variedades	6	588,5	98,083	2,0816 ^{NS}	0,0875
Resíduo	28	1319,3	47,120		
Total	34	1907,8			
C.V.			14,01%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,1059

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,0648

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Matéria seca das raízes (g)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Variedades	6	0,0484	0,0080	0,3318 ^{NS}	0,9143
Resíduo	28	0,6813	0,0243		
Total	34	0,7298			
C.V.			32,66%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,8430

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,6321

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Relação raiz/parte aérea

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
Variedades	6	0,0796	0,0132	2,1254 ^{NS}	0,0818
Resíduo	28	0,1748	0,0062		
Total	34	0,2545			
C.V.			18,83%		

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,6300

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,7041

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

2. Apêndice B

ESTUDO DAS VARIÁVEIS RADICULARES EM PLANTAS A CAMPO

Densidade do comprimento total do sistema radicular 0 – 20 cm (cm.cm⁻³)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	2,0389	2,0389	11,7437	0,0416*
BLOCO	2	0,0243	0,0121	0,0700	0,9346 ^{ns}
Erro (a)	2	0,3472	0,1736		
ESTÁDIO	3	0,5054	0,1684	0,3823	0,7663 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	2,9627	0,9875	2,2410	0,001
Erro (b)	36	15,8647	0,4406		
TOTAL	47	21,7433			
C.V. (a)			26,65%		
C.V. (b)			42,45%		

ES SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	1,7000 aA	1,5652 aA	1,0470 aB
2019-20	1,3942 aA	1,8003 aA	1,7656 aA	2,1170 aA

Para cada estágio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,1620

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,5605

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p -valor $> 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Densidade do comprimento total do sistema radicular 20 – 40 cm (cm.cm^{-3})

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,0344	0,0343	0,576	0,0456*
BLOCO	2	0,3120	0,1560	0,2619	0,9346 ^{ns}
Erro (a)	2	1,1912	0,5956		
ESTÁDIO	3	0,2134	0,0711	0,4352	0,0366*
ANO X ESTÁDIO	3	1,3178	0,4392	2,6881	0,001
Erro (b)	36	5,8827	0,1634		
TOTAL	47	8,9515			
C.V. (a)			93,95%		
C.V. (b)			49,21%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
2018-19	1,1354 aA	0,7376 abA	0,8114 abA	0,4941 bB
2019-20	0,6694 aB	0,9142 aA	0,8686 aA	0,9403 aA

Para cada estágio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,4179

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p -valor $> 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,5245

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p -valor $> 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Densidade da Área Superficial do Sistema Radicular 0 – 20 cm (cm^2/cm^3)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,0657	0,0657	15,3779	0,9413 ^{ns}
BLOCO	2	0,0005	0,0002	0,0623	0,0593 ^{ns}
Erro (a)	2	0,0085	0,0042		
ESTÁDIO	3	0,0293	0,0097	0,6169	0,6086 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	0,1554	0,0518	3,2696	0,0322*
Erro (b)	36	0,5706	0,1585		
TOTAL	47	0,8302			
C.V. (a)			23,17%		
C.V. (b)			44,62%		

ES SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	0,3141 aA	0,2998 aA	0,1777 aB
2019-20	0,2303 bA	0,3243 abA	0,3165 abA	0,4053 aA

Para cada estágio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,1620

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p -valor $> 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,5605

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Densidade da Área Superficial do Sistema Radicular 20 – 40 cm (cm^2/cm^3)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,0019	0,0019	0,0679	0,8187 ^{ns}
BLOCO	2	0,0155	0,0077	0,2646	0,7907 ^{ns}
Erro (a)	2	0,0586	0,0293		
ESTÁDIO	3	0,0084	0,0028	0,5583	0,6459 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	0,0547	0,0182	3,6084	0,0223*
Erro (b)	36	0,1820	0,0050		
TOTAL	47	0,3214			
C.V. (a)				121,04%	
C.V. (b)				50,26%	

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	0,1814 aA	0,1263 aA	0,1542 abA
2019-20	0,0941 aA	0,1426 aA	0,1736 aA	0,1812 aA

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,4179

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,5245

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Diâmetro médio das raízes 0 – 20 cm (mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,000	0,000	0,0149	0,9139 ^{ns}
BLOCO	2	0,000	0,000	1,0000	0,5000 ^{ns}
Erro (a)	2	0,000	0,000		
ESTÁDIO	3	0,000	0,000	1,4865	0,2345 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	0,000	0,000	5,4216	0,0035*
Erro (b)	36	0,000	0,000		
TOTAL	47	0,000			
C.V. (a)			8,50%		
C.V. (b)			8,15%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	0,5838 abA	0,6105 aA	0,5413 bA
2019-20	0,5292 aA	0,5692 aA	0,5673 aA	0,6052 aA

Para cada estágio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,2271

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,9912

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Diâmetro médio das raízes 20 – 40 cm (mm)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,000	0,000	1,6393	0,3288 ^{ns}
BLOCO	2	0,000	0,000	1,7869	0,3588 ^{ns}
Erro (a)	2	0,000	0,000		
ESTÁDIO	3	0,000	0,000	5,8750	0,0022*
ANO X ESTÁDIO	3	0,000	0,000	4,4583	0,0091*
Erro (b)	36	0,000	0,000		
TOTAL	47	0,000			
C.V. (a)			17,12%		
C.V. (b)			15,18%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	0,5052 aA	0,5216 aA	0,5907 aA
2019-20	0,4652 bA	0,4750 bA	0,6312 aA	0,6419 aA

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,2271

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,9912

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Densidade do Volume Total do Sistema Radicular 0 – 20 cm (mm^3/cm^3)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	2,195	2,1947	15,9835	0,0572 ^{ns}
BLOCO	2	0,206	0,1031	0,7510	0,5710 ^{ns}
Erro (a)	2	0,275	0,1373		
ESTÁDIO	3	1,588	0,5294	0,8114	0,4954 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	8,089	2,6964	4,1325	0,0128*
Erro (b)	36	23,490	0,6524		
TOTAL	47	35,843			
C.V. (a)			22,20%		
C.V. (b)			48,39%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	1,9148 aA	1,8736 aA	1,0425 bB
2019-20	1,2390 bA	1,8536 abA	1,9050 abA	2,5338 aA

Para cada estágio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
----------------------	---------

Shapiro-Wilk

0,6615

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE

p-valor

Bartlett

0,5047

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Densidade do Volume Total do Sistema Radicular 20 – 40 cm (mm^3/cm^3)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,1289	0,1288	0,0892	0,7933 ^{ns}
BLOCO	2	0,7347	0,3673	0,2543	0,7972 ^{ns}
Erro (a)	2	2,8890	1,4445		
ESTÁDIO	3	1,1228	0,3742	1,8319	0,1588 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	2,3863	0,7954	3,8931	0,0165*
Erro (b)	36	7,3553	0,2043		
TOTAL	47	14,6170			
C.V. (a)				147,03%	
C.V. (b)				55,29%	

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	0,9483 aA	0,7095 aA	1,0000 aA
2019-20	0,4363 bB	0,7398 abA	1,1468 aA	1,1540 aA

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,6615

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,5047

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Número de ápices 0 – 20 cm (unidades.cm⁻³)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	920,03	920,03	61,124	0,0159*
BLOCO	2	5,05	2,53	0,168	0,8563 ^{ns}
Erro (a)	2	30,10	15,05		
ESTÁDIO	3	333,00	111,00	2,834	0,0518 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	336,60	112,20	2,865	0,0499*
Erro (b)	36	1409,92	39,16		
TOTAL	47	3034,70			
C.V. (a)			50,05%		
C.V. (b)			80,74%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	2,9681 aA	4,1507 aA	2,6801 aB
2019-20	4,8286 bA	9,5032 bA	16,4568 aA	17,7263 aA

Para cada estágio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,5086

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1825

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Número de ápices 20 – 40 cm (unidades.cm⁻³)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	196,32	196,32	6,4387	0,1259 ^{ns}
BLOCO	2	57,77	28,88	0,9473	0,5163 ^{ns}
Erro (a)	2	60,98	30,49		
ESTÁDIO	3	37,50	12,49	1,6075	0,2518 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	56,43	18,80	2,4191	0,0482*
Erro (b)	36	279,92	7,77		
TOTAL	47	688,91			
C.V. (a)			126,46%		
C.V. (b)			63,86%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	2,9408 aA	2,5283 aB	2,5989 aB
2019-20	3,2483 bA	6,7198 abA	7,4704 aA	8,1158 aA

Para cada estágio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,5086

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1825

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Densidade de Massa Fresca de Raízes 0 – 20 cm (mg/cm^3)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,0000300	0,000003	2,1233	0,2824 ^{ns}
BLOCO	2	0,0000001	0,000000	0,0280	0,9727 ^{ns}
Erro (a)	2	0,0000280	0,000014		
ESTÁDIO	3	0,0000280	0,000009	1,0807	0,3695 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	0,0000850	0,000028	3,3261	0,0302*
Erro (b)	36	0,0003080	0,000090		
TOTAL	47	0,0004790			
C.V. (a)			70,70%		
C.V. (b)			55,38%		

SAFRA \ ES	CH	ER	GR	MT
	2018-19	6,4676 aA	6,4176 aA	2,8204 bB
2019-20	4,6433 aA	6,3501 aA	6,0231 aA	7,2470 aA

Para cada estágio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,4893

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1762

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Densidade de Massa Fresca de Raízes 20 – 40 cm (mg/cm^3)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,0000007	0,000007	0,2123	0,6901 ^{ns}
BLOCO	2	0,0000029	0,000000	0,4294	0,6995 ^{ns}
Erro (a)	2	0,0000067	0,0000034		
ESTÁDIO	3	0,0000044	0,000017	2,4490	0,0793 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	0,0000050	0,0000017	2,8042	0,0408*
Erro (b)	36	0,0000215	0,000060		
TOTAL	47	0,0000412			
C.V. (a)			192,74%		
C.V. (b)			81,31%		

SAFRA	ES	CH	ER	GR	MT

2018-19	2,6414 aA	3,7773 aA	3,0677 aA	1,0201 aB
2019-20	1,3913 bA	2,4531 bA	5,9675 abA	3,7583 aA

Para cada estágio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,4893

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1762

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Densidade de Massa Seca de Raízes 0 – 20 cm (mg/cm⁻³)

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,0000000	0,0000000	1,7435	0,3175 ^{ns}
BLOCO	2	0,0000000	0,0000000	0,0878	0,9192 ^{ns}
Erro (a)	2	0,0000000	0,0000000		
ESTÁDIO	3	0,0000000	0,0000000	0,3944	0,7578 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	0,0000000	0,0000000	3,2570	0,0326*
Erro (b)	36	0,0000000	0,0000000		
TOTAL	47	0,0000000			
C.V. (a)			71,58%		
C.V. (b)			62,85%		

SAFRA	ES				
		CH	ER	GR	MT

2018-19	1,5666 aA	1,4500 aA	0,7666 aA	0,7000 aB
2019-20	0,9333 aA	1,4666 aA	1,4676 aA	2,0333 aA

Para cada estágio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,4893

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1762

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

Densidade de Massa Seca de Raízes 20 – 40 cm (mg/cm^{-3})

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,0000000	0,0000000	0,1565	0,7305 ^{ns}
BLOCO	2	0,0000000	0,0000000	0,3752	0,7271 ^{ns}
Erro (a)	2	0,0000000	0,0000000		
ESTÁDIO	3	0,0000000	0,0000000	2,8231	0,0524 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	0,0000000	0,0000000	1,7441	0,0108*
Erro (b)	36	0,0000000	0,0000000		
TOTAL	47	0,0000000			
C.V. (a)				234,03%	
C.V. (b)				102,67%	

ES	CH	ER	GR	MT
----	----	----	----	----

SAFRA				
2018-19	0,7485 aA	0,8640 aA	0,9925 aB	0,3110 aB
2019-20	0,2975 cA	0,6196 bcA	1,9150 aA	0,9675 bA

Para cada estágio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,4893

De acordo com os testes de Normalidade, com 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos seguem uma distribuição normal.

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1762

De acordo com os testes para Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

3. Apêndice C

ESTUDO DOS NUTRIENTES DAS PLANTAS CATUAÍ VERMELHO CV IAC 99
(CAMPO)

NITROGÊNIO (g/kg) EM FOLHAS NÃO EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	242,88	242,88	24,4720	0,0385*
BLOCO	2	12,18	6,08	0,6134	0,6198 ^{ns}
Erro (a)	2	19,85	9,92		
ESTÁDIO	3	135,87	45,29	5,8950	0,0022**
ANO X ESTÁDIO	3	25,87	8,59	1,1188	0,3542 ^{ns}
Erro (b)	36	276,59	768		
TOTAL	47	713,16			
C.V. (a)			10,11%		
C.V. (b)			8,90%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	35,11aA	34,78aA	32,55aA
2019-20	30,48aB	29,01aB	30,49aB	25,57bB

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,6998

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,0670

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

FÓSFORO (g/kg) EM FOLHAS NÃO EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,73	0,73	4,6066	0,1649 ^{ns}
BLOCO	2	0,20	0,10	0,6432	0,6085 ^{ns}
Erro (a)	2	0,31	0,15		
ESTÁDIO	3	3,83	1,27	12,4408	0,0000 ^{**}
ANO X ESTÁDIO	3	1,77	0,59	5,7598	0,0025 ^{**}
Erro (b)	36	3,70	0,10		
TOTAL	47	10,57			
C.V. (a)				21,08%	
C.V. (b)				16,95%	

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	2,36aA	2,38aA	1,70bA
2019-20	2,24aA	1,87bcB	1,50abA	1,43cA

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,4710

TESTE DE HOMOCEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1252

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

POTÁSSIO (g/kg) EM FOLHAS NÃO EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	51,70	51,70	56,8810	0,1713 ^{ns}
BLOCO	2	19,83	9,91	10,9050	0,0839 ^{ns}
Erro (a)	2	1,82	0,90		
ESTÁDIO	3	154,68	51,56	5,0280	0,0051 ^{**}
ANO X ESTÁDIO	3	82,66	27,55	2,6870	0,0609 ^{ns}
Erro (b)	36	369,18	10,25		
TOTAL	47	679,86			
C.V. (a)			3,60%		
C.V. (b)			12,11%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	27,07bB	31,33aA	25,47bA
2019-20	27,97aA	26,02aB	25,54aA	22,04bB

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,1919

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,0741

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

CÁLCIO (g/kg) EM FOLHAS NÃO EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	41,66	41,65	1,4717	0,03489**
BLOCO	2	71,74	35,86	1,2673	0,4411 ^{ns}
Erro (a)	2	56,61	28,30		
ESTÁDIO	3	354,16	118,054	13,4860	0,0000**
ANO X ESTÁDIO	3	14,12	4,70	0,5378	0,6594 ^{ns}
Erro (b)	36	315,14	8,75		
TOTAL	47	853,42			
C.V. (a)			62,11%		
C.V. (b)			34,54%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	4,58cA	9,05bA	12,06abA
2019-20	4,14cA	7,11bB	8,58aB	10,68aB

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,4496

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,5784

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

MAGNÉSIO (g/kg) EM FOLHAS NÃO EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,79	0,79	7,4748	0,0117*
BLOCO	2	0,41	0,20	1,9461	0,3394 ^{ns}
Erro (a)	2	0,21	0,10		
ESTÁDIO	3	1,40	0,46	2,6710	0,0620 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	0,80	0,26	1,5311	0,2230 ^{ns}
Erro (b)	36	6,32	0,17		
TOTAL	47	9,95			
C.V. (a)				13,25%	
C.V. (b)				17,06%	

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	2,10aA	2,56aA	2,77aA
2019-20	2,25aA	2,33aA	2,34aB	2,37aB

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,6825

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,3283

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

ZINCO (mg/kg) EM FOLHAS NÃO EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	210,34	210,33	33,827	0,2831 ^{ns}
BLOCO	2	10,14	5,07	0,816	0,5508 ^{ns}
Erro (a)	2	12,44	6,21		
ESTÁDIO	3	265,34	88,44	12,090	0,0000 ^{**}
ANO X ESTÁDIO	3	188,81	62,93	8,603	0,0001 ^{**}
Erro (b)	36	263,37	7,31		
TOTAL	47	950,43			
C.V. (a)			30,93%		
C.V. (b)			33,55%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
2018-19	15,99aA	12,54bA	6,57cA	5,49cA
2019-20	6,49aB	6,02AB	6,33aA	5,00aA

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,2964

TESTE DE HOMOCEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,0891

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

FERRO (mg/kg) EM FOLHAS NÃO EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	131,20	131,20	765,58	0,0225*
BLOCO	2	14,86	7,43	43,36	0,1304 ^{ns}
Erro (a)	2	0,34	0,17		
ESTÁDIO	3	95,20	31,73	2,72	0,0500*
ANO X ESTÁDIO	3	20,75	6,91	0,59	0,6243 ^{ns}
Erro (b)	36	420,67	11,68		
TOTAL	47	683,03			
C.V. (a)			1,21%		
C.V. (b)			10,00%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	33,26cA	35,85bA	35,91bA
2019-20	31,15bB	31,24bB	33,98aB	33,66aB

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,7869

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,2210

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

COBRE (mg/kg) EM FOLHAS NÃO EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	2,1	2,09	0,0282	0,8821 ^{ns}
BLOCO	2	176,5	88,25	1,1916	0,4562 ^{ns}
Erro (a)	2	148,1	74,06		
ESTÁDIO	3	493,8	164,59	2,6382	0,0643 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	1199,8	399,92	6,4104	0,0013 ^{**}
Erro (b)	36	2245,9	62,39		
TOTAL	47	4266,2			
C.V. (a)			64,60%		
C.V. (b)			59,29%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	23,94aA	11,41bA	9,39bA
2019-20	23,08aA	10,65bA	9,43bA	10,07bA

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,5965

TESTE DE HOMOCEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,6513

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

MANGANÊS (mg/kg) EM FOLHAS NÃO EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	49825	49825	4,426	0,1667 ^{ns}
BLOCO	2	32014	16007	1,4594	0,4066 ^{ns}
Erro (a)	2	21937	10968		
ESTÁDIO	3	7128	2376	0,8070	0,4983 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	13961	4654	1,5805	0,2110 ^{ns}
Erro (b)	36	105996	2944		
TOTAL	47	230860			
C.V. (a)				79,18%	
C.V. (b)				41,02%	

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	151,34bA	145,86bA	203,97aA
2019-20	78,48aB	129,19aA	92,23aB	100,23aB

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,3131

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,6385

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

NITROGÊNIO (g/kg) EM FOLHAS EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	19,98	19,97	3,2334	0,2139 ^{ns}
BLOCO	2	42,59	21,29	3,4473	0,2248 ^{ns}
Erro (a)	2	12,36	6,17		
ESTÁDIO	3	40,99	13,66	2,6166	0,0658 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	34,30	11,43	2,1895	0,1061 ^{ns}
Erro (b)	36	187,97	5,22		
TOTAL	47	338,18			
C.V. (a)				8,94%	
C.V. (b)				8,22%	

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	26,43aA	27,32aA	28,30aA
2019-20	29,75aA	29,91aA	28,16aA	25,92aA

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,6998

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,0670

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

FÓSFORO (g/kg) EM FOLHAS EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,72	0,72	3,5159	0,2016 ^{ns}
BLOCO	2	0,52	0,26	1,2655	0,4414 ^{ns}
Erro (a)	2	0,41	0,20		
ESTÁDIO	3	0,30	0,10	0,8447	0,4784 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	2,26	0,75	6,2650	0,0015 ^{**}
Erro (b)	36	4,34	0,12		
TOTAL	47	8,57			
C.V. (a)				33,61%	
C.V. (b)				25,72%	

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	1,57aA	1,33abA	0,97bB
2019-20	1,09bB	1,61aA	1,54aA	1,63aA

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,4710

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,1252

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

POTÁSSIO (g/kg) EM FOLHAS EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	16,62	16,61	0,4822	0,5592 ^{ns}
BLOCO	2	14,69	7,34	0,2131	0,8243 ^{ns}
Erro (a)	2	68,92	34,45		
ESTÁDIO	3	7,60	2,53	0,3377	0,7981 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	53,69	17,89	2,3864	0,0851 ^{ns}
Erro (b)	36	269,99	7,50		
TOTAL	47	431,50			
C.V. (a)				24,62%	
C.V. (b)				11,48%	

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	25,09aA	22,16aA	22,61aA
2019-20	23,09aA	26,09aA	23,70aA	24,81aA

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,1919

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,0741

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

CÁLCIO (g/kg) EM FOLHAS EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	66,12	66,12	2,0462	0,2889ns
BLOCO	2	174,27	87,13	2,6964	0,2705 ^{ns}
Erro (a)	2	64,63	32,31		
ESTÁDIO	3	446,72	148,90	19,2049	0,0000 ^{**}
ANO X ESTÁDIO	3	87,40	29,13	3,7574	0,0191 [*]
Erro (b)	36	279,13	7,75		
TOTAL	47	1118,28			
C.V. (a)			34,38%		
C.V. (b)			16,84%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	12,99cA	14,55cA	19,62bA
2019-20	12,99cA	13,62bcA	18,08aA	16,72abB

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,4496

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,5784

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

MAGNÉSIO (g/kg) EM FOLHAS EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	0,01	0,01	0,0855	0,7975 ^{ns}
BLOCO	2	1,73	0,86	5,5848	0,1518 ^{ns}
Erro (a)	2	0,31	0,15		
ESTÁDIO	3	2,92	0,97	17,6334	0,0000 ^{**}
ANO X ESTÁDIO	3	0,48	0,16	2,9132	0,0474 [*]
Erro (b)	36	1,99	0,05		
TOTAL	47	7,46			
C.V. (a)				14,38%	
C.V. (b)				8,58%	

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	2,51bA	2,44bA	2,94aA
2019-20	2,33cA	2,70bA	2,98aA	2,86abA

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,6825

TESTE DE HOMOCEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,3283

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	389,74	389,74	2469,67	0,2831 ^{ns}
BLOCO	2	12,16	6,08	38,53	0,2529 ^{ns}
Erro (a)	2	0,32	0,16		
ESTÁDIO	3	129,29	43,10	5,23	0,0042 ^{**}
ANO X ESTÁDIO	3	103,10	34,37	4,17	0,0123 [*]
Erro (b)	36	296,48	8,24		
TOTAL	47	931,08			
C.V. (a)			4,92%		
C.V. (b)			35,61%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	14,24	13,31	9,57
2019-20	5,69	4,85	5,47	4,81

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,2964

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,0891

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

FERRO (mg/kg) EM FOLHAS EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	103,6	103,65	0,8002	0,4654 ^{ns}
BLOCO	2	145,4	72,70	0,5613	0,6405 ^{ns}
Erro (a)	2	259,1	129,53		
ESTÁDIO	3	4606,8	1535,58	5,0740	0,0049 ^{**}
ANO X ESTÁDIO	3	2209,4	736,45	2,4335	0,0807 ^{ns}
Erro (b)	36	10894,9	302,64		
TOTAL	47	18219,2			
C.V. (a)			23,23%		
C.V. (b)			35,51%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
2018-19	36,77bB	37,33bA	40,97bA	74,97aA
2019-20	55,50aA	44,33aA	45,67aA	56,29aB

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,7869

TESTE DE HOMOCEASTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,2210

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade (p-valor > 0,05), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

COBRE (mg/kg) EM FOLHAS EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	1,39	1,38	0,0208	0,8985 ^{ns}
BLOCO	2	49,66	24,82	0,3719	0,7289 ^{ns}
Erro (a)	2	133,52	66,76		
ESTÁDIO	3	93,12	31,04	1,7175	0,1807 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	290,07	96,69	5,3501	0,0037 ^{**}
Erro (b)	36	650,62	18,07		
TOTAL	47	1217,38			
C.V. (a)			77,51%		
C.V. (b)			40,32%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	15,47aA	12,00abA	7,07bA
2019-20	7,76aB	12,40aA	11,57aA	11,09aA

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,5965

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,6513

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

MANGANÊS (mg/kg) EM FOLHAS EXPANDIDAS

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
ANO	1	98258	98258	48,597	0,0199**
BLOCO	2	55276	27638	13,670	0,0681 ^{ns}
Erro (a)	2	4044	2022		
ESTÁDIO	3	12724	4241	1,788	0,1669 ^{ns}
ANO X ESTÁDIO	3	18729	6243	2,631	0,0648 ^{ns}
Erro (b)	36	84408	2372		
TOTAL	47	274438			
C.V. (a)			18,34%		
C.V. (b)			19,87%		

ES \ SAFRA	CH	ER	GR	MT
	2018-19	327,72aA	300,16aA	267,26aA
2019-20	198,50aB	186,16aB	241,46aA	173,21aB

Para cada estádio letras minúsculas iguais na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; Para cada safra letras maiúsculas iguais na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

TESTE DE NORMALIDADE	p-valor
Shapiro-Wilk	0,3131

TESTE DE HOMOCEDESTICIDADE	p-valor
Bartlett	0,6385

De acordo com os testes de Normalidade e Homocedasticidade a 5% de significância, não rejeitamos a hipótese de nulidade ($p\text{-valor} > 0,05$), logo os resíduos apresentam homogeneidade de variância.

NITROGÊNIO (g/kg) EM RAIZ SUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	58,52	29,26	0,7737	0,5637 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	26,99	26,99	0,7138	0,4871 ^{ns}
Erro (a)	2	75,63	37,81		
ESTÁDIO (ES)	3	126,29	42,10	1,1719	0,3611 ^{ns}
SAF X ES	3	63,81	21,27	0,5922	0,6319 ^{ns}
Erro (b)	12	431,06	35,92		
DIÂMETRO (DIA)	1	625,10	625,10	24,2156	0,0001 ^{**}
DIA X SAF	1	6,22	6,22	0,2409	0,6302 ^{ns}
DIA X ES	3	73,26	24,42	0,9460	0,4417 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	84,22	28,07	1,0875	0,3827 ^{ns}
Erro (c)	16	413,03	25,81		
C.V. (a)				40,3%	
C.V. (b)				39,3%	
C.V. (c)				33,3%	

FÓSFORO (g/kg) EM RAIZ SUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	0,21	0,10	13,01	0,0713 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	0,26	0,26	31,71	0,0301 [*]
Erro (a)	2	0,01	0,00		
ESTÁDIO (ES)	3	1,36	0,45	14,16	0,0003 ^{**}
SAF X ES	3	2,18	0,72	22,66	0,0000 ^{**}
Erro (b)	12	0,38	0,03		
DIÂMETRO (DIA)	1	0,82	0,82	11,44	0,0037 ^{**}
DIA X SAF	1	0,02	0,02	0,29	0,5925 ^{ns}
DIA X ES	3	0,16	0,05	0,78	0,5219 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	0,19	0,06	0,91	0,4572 ^{ns}
Erro (c)	16	1,15	0,07		
C.V. (a)				18,2%	
C.V. (b)				35,7%	
C.V. (c)				53,5%	

POTÁSSIO (g/kg) EM RAIZ SUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	0,52	0,26	5,04	0,1654 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	3,52	3,52	68,16	0,0143*
Erro (a)	2	0,10	0,05		
ESTÁDIO (ES)	3	12,04	4,01	24,69	0,0000**
SAF X ES	3	23,34	7,78	47,88	0,0000**
Erro (b)	12	1,95	0,16		
DIÂMETRO (DIA)	1	2,66	2,66	2,60	0,1261 ^{ns}
DIA X SAF	1	2,03	2,03	1,99	0,1769 ^{ns}
DIA X ES	3	7,18	2,39	2,34	0,1117 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	7,07	2,35	2,30	0,1155 ^{ns}
Erro (c)	16	16,35	1,02		
C.V. (a)			30,1%		
C.V. (b)			53,4%		
C.V. (c)			133,9%		

CÁLCIO (g/kg) EM RAIZ SUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	30,38	15,19	2,21	0,3110 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	5,10	5,10	0,74	0,4795 ^{ns}
Erro (a)	2	13,72	6,86		
ESTÁDIO (ES)	3	80,68	26,89	6,68	0,0066**
SAF X ES	3	31,59	10,53	2,61	0,0988 ^{ns}
Erro (b)	12	48,25	4,02		
DIÂMETRO (DIA)	1	584,52	584,52	148,82	0,0000**
DIA X SAF	1	27,28	27,28	6,94	0,0179*
DIA X ES	3	22,01	7,34	1,86	0,1757 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	113,08	37,69	9,59	0,0007**
Erro (c)	16	62,84	3,93		
C.V. (a)			37,6%		
C.V. (b)			28,8%		
C.V. (c)			28,5%		

MAGNÉSIO (g/kg) EM RAIZ SUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	0,07	0,03	2,32	0,3003 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	0,11	0,11	7,55	0,1108 ^{ns}
Erro (a)	2	0,03	0,01		
ESTÁDIO (ES)	3	5,13	1,77	7,74	0,0038 ^{**}
SAF X ES	3	9,56	3,18	13,93	0,0003 ^{**}
Erro (b)	12	2,74	0,22		
DIÂMETRO (DIA)	1	53,10	53,10	514,19	0,0000 ^{**}
DIA X SAF	1	0,09	0,09	0,92	0,3509 ^{ns}
DIA X ES	3	1,36	0,45	4,39	0,1944 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	4,66	1,55	15,06	0,0000 ^{**}
Erro (c)	16	1,65	0,10		
C.V. (a)			7,2%		
C.V. (b)			28,3%		
C.V. (c)			19,0%		

ZINCO (mg/kg) EM RAIZ SUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	2001,8	1000,9	3,01	0,2488 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	6268,0	6268,0	18,90	0,0490 [*]
Erro (a)	2	663,2	331,6		
ESTÁDIO (ES)	3	10341,5	3447,2	4,90	0,0189 [*]
SAF X ES	3	1425,5	475,2	0,67	0,5834 ^{ns}
Erro (b)	12	8439,2	703,3		
DIÂMETRO (DIA)	1	12067,4	12067,4	14,99	0,0013 ^{**}
DIA X SAF	1	169,8	169,8	0,21	0,6522 ^{ns}
DIA X ES	3	16252,5	5417,5	6,73	0,0037 ^{**}
DIA X SAF X ES	3	10820,4	3606,8	4,48	0,0182 [*]
Erro (c)	16	12879,2	805,0		
C.V. (a)			62,0%		
C.V. (b)			90,2%		
C.V. (c)			96,5%		

FERRO (mg/kg) EM RAIZ SUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	142703	71351	0,6695	0,5989 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	1195	18195	0,1707	0,7195 ^{ns}
Erro (a)	2	213147	106574		
ESTÁDIO (ES)	3	1437122	479041	0,9687	0,4393 ^{ns}
SAF X ES	3	5274472	1758157	3,5554	0,0476*
Erro (b)	12	5934045	494504		
DIÂMETRO (DIA)	1	542918	542918	2,5043	0,1331 ^{ns}
DIA X SAF	1	1493205	1493205	6,8876	0,0184*
DIA X ES	3	1480032	493344	2,2756	0,1189 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	3454553	1151518	5,3115	0,0098**
Erro (c)	16	3468727	216795		
C.V. (a)			23,9%		
C.V. (b)			51,4%		
C.V. (c)			34,0%		

COBRE (mg/kg) EM RAIZ SUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	780,4	390,2	2,7150	0,2691 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	2386,6	2386,6	16,6062	0,0552 ^{ns}
Erro (a)	2	287,4	143,7		
ESTÁDIO (ES)	3	6498,3	2166,1	24,7443	0,0000**
SAF X ES	3	5573,9	1858,0	21,2244	0,0000**
Erro (b)	12	1050,5	87,5		
DIÂMETRO (DIA)	1	19478,8	19,478,8	129,4677	0,0000**
DIA X SAF	1	508,9	508,9	3,3827	0,0845 ^{ns}
DIA X ES	3	7436,8	2478,9	16,4764	0,0000**
DIA X SAF X ES	3	9001,6	3000,5	19,9432	0,0000**
Erro (c)	16	2407,3	150,5		
C.V. (a)			50,4%		
C.V. (b)			39,4%		
C.V. (c)			51,6%		

MANGANÊS (mg/kg) EM RAIZ SUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	24532	12266	23,6754	0,4053 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	163	163	0,3137	0,6317 ^{ns}
Erro (a)	2	1036	518		
ESTÁDIO (ES)	3	6391	2130	0,5780	0,6404 ^{ns}
SAF X ES	3	13917	4639	1,2586	0,3323 ^{ns}
Erro (b)	12	44229	3686		
DIÂMETRO (DIA)	1	93099	93099	67,2478	0,0000 ^{**}
DIA X SAF	1	349	349	0,2524	0,6222 ^{ns}
DIA X ES	3	4295	1432	1,0341	0,4040 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	3115	1038	0,75	0,5381 ^{ns}
Erro (c)	16	22151	1384		
C.V. (a)			31,7%		
C.V. (b)			84,7%		
C.V. (c)			51,9%		

NITROGÊNIO (g/kg) EM RAIZ SUBSUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	159,22	79,61	15,5441	0,0604 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	155,95	155,95	30,4491	0,0313 ^{**}
Erro (a)	2	10,24	5,12		
ESTÁDIO (ES)	3	85,69	28,56	0,6120	0,6201 ^{ns}
SAF X ES	3	185,79	61,93	1,3268	0,3114 ^{ns}
Erro (b)	12	560,11	46,68		
DIÂMETRO (DIA)	1	808,10	808,10	27,9564	0,0000 ^{**}
DIA X SAF	1	70,90	70,90	2,4529	0,1368 ^{ns}
DIA X ES	3	229,42	76,47	2,6456	0,0845 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	150,83	50,28	1,7393	0,1992 ^{ns}
Erro (c)	16	462,49	28,91		
C.V. (a)			16,2%		
C.V. (b)			49,0%		
C.V. (c)			38,5%		

FÓSFORO (g/kg) EM RAIZ SUBSUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	0,05	0,02	0,9422	0,5148 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	1,36	1,36	47,3157	0,0204*
Erro (a)	2	0,05	0,02		
ESTÁDIO (ES)	3	0,04	1,68	134,6867	0,0000**
SAF X ES	3	4,96	1,65	132,6221	0,0000**
Erro (b)	12	0,14	0,01		
DIÂMETRO (DIA)	1	1,48	1,48	7,3774	0,0152*
DIA X SAF	1	0,27	0,27	1,3571	0,2611 ^{ns}
DIA X ES	3	1,20	0,40	1,9867	0,1566 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	1,46	0,48	2,4190	0,1040 ^{ns}
Erro (c)	16	3,22	0,20		
C.V. (a)				37,3%	
C.V. (b)				24,5%	
C.V. (c)				98,6%	

POTÁSSIO (g/kg) EM RAIZ SUBSUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	0,12	0,06	0,4145	0,7069 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	9,83	9,83	67,9676	0,0143*
Erro (a)	2	0,28	0,14		
ESTÁDIO (ES)	3	28,09	9,36	171,6324	0,0000**
SAF X ES	3	44,50	14,83	271,8971	0,0000**
Erro (b)	12	0,65	0,05		
DIÂMETRO (DIA)	1	8,39	8,39	31,4911	0,0000**
DIA X SAF	1	4,67	4,66	17,5081	0,0007**
DIA X ES	3	10,99	3,66	13,7458	0,0001**
DIA X SAF X ES	3	12,53	4,17	15,6689	0,0000**
Erro (c)	16	4,26	0,26		
C.V. (a)				49,0%	
C.V. (b)				30,1%	
C.V. (c)				66,5%	

CÁLCIO (g/kg) EM RAIZ SUBSUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	13,38	6,69	0,8723	0,5340 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	4,31	4,31	0,5615	0,5318 ^{ns}
Erro (a)	2	15,34	7,67		
ESTÁDIO (ES)	3	109,42	36,47	3,0209	0,0715 ^{ns}
SAF X ES	3	55,90	18,63	1,5432	0,2541 ^{ns}
Erro (b)	12	144,88	12,07		
DIÂMETRO (DIA)	1	337,59	337,59	91,6870	0,0000 ^{**}
DIA X SAF	1	64,82	64,82	17,6058	0,0006 ^{**}
DIA X ES	3	25,14	8,38	2,2761	0,1188 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	48,84	16,28	4,4217	0,0190 [*]
Erro (c)	16	58,91	3,68		
C.V. (a)				53,0%	
C.V. (b)				66,5%	
C.V. (c)				36,7%	

MAGNÉSIO (g/kg) EM RAIZ SUBSUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	1,56	0,78	2,2819	0,3047 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	1,51	1,51	4,4234	0,1701 ^{ns}
Erro (a)	2	0,685	0,34		
ESTÁDIO (ES)	3	6,86	2,28	7,6077	0,0041 ^{**}
SAF X ES	3	17,61	5,87	19,5089	0,0000 ^{**}
Erro (b)	12	3,61	0,30		
DIÂMETRO (DIA)	1	54,76	54,76	230,0934	0,0000 ^{**}
DIA X SAF	1	3,25	3,25	13,6889	0,0019 ^{**}
DIA X ES	3	4,30	1,43	6,0274	0,0060 ^{**}
DIA X SAF X ES	3	5,88	1,96	8,2488	0,0015 ^{**}
Erro (c)	16	3,80	0,23		
C.V. (a)				40,8%	
C.V. (b)				38,3%	
C.V. (c)				34,0%	

ZINCO (mg/kg) EM RAIZ SUBSUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	2756,5	1378,3	3,9349	0,2026 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	5690,4	5690,4	16,2457	0,0563 ^{ns}
Erro (a)	2	700,5	350,3		
ESTÁDIO (ES)	3	4304,7	1434,9	1,6964	0,2206 ^{ns}
SAF X ES	3	578,2	192,7	0,2279	0,8752 ^{ns}
Erro (b)	12	10150,2	845,9		
DIÂMETRO (DIA)	1	1926,3	1926,3	4,4789	0,0503 ^{ns}
DIA X SAF	1	390,3	390,3	0,9074	0,3549 ^{ns}
DIA X ES	3	8150,0	2716,7	6,3165	0,0049**
DIA X SAF X ES	3	7600,5	2533,5	5,8907	0,0065**
Erro (c)	16	6881,4	430,1		
C.V. (a)				67,9%	
C.V. (b)				105,6%	
C.V. (c)				75,3%	

FERRO (mg/kg) EM RAIZ SUBSUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	2625485	1312742	4,3846	0,1857 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	1282928	1282928	4,2850	0,1742 ^{ns}
Erro (a)	2	598793	299397		
ESTÁDIO (ES)	3	5320775	1773592	4,3044	0,0280*
SAF X ES	3	8941226	2980409	7,2333	0,0049*
Erro (b)	12	4944496	412041		
DIÂMETRO (DIA)	1	5821446	5821446	10,6925	0,0048**
DIA X SAF	1	3018625	3018625	5,5444	0,0316*
DIA X ES	3	231572	77191	0,1418	0,9334 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	4725222	1575074	2,8930	0,0676 ^{ns}
Erro (c)	16	8711084	544443		
C.V. (a)				34,5%	
C.V. (b)				40,5%	
C.V. (c)				46,5%	

COBRE (mg/kg) EM RAIZ SUBSUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	2735,6	1367,8	0,4576	0,6860 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	3689,3	3689,3	1,2342	0,3822 ^{ns}
Erro (a)	2	5978,5	2989,3		
ESTÁDIO (ES)	3	3506,5	1168,8	1,1489	0,3691 ^{ns}
SAF X ES	3	3778,6	1259,5	1,2380	0,3389 ^{ns}
Erro (b)	12	12208,8	1017,4		
DIÂMETRO (DIA)	1	7092,4	7092,4	4,7788	0,0440*
DIA X SAF	1	74,1	74,1	0,0499	0,8260 ^{ns}
DIA X ES	3	2108,5	702,8	0,4736	0,7050 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	1454,6	484,9	0,3267	0,8060 ^{ns}
Erro (c)	16	23746,4	1484,2		
C.V. (a)			254,6%		
C.V. (b)			148,5%		
C.V. (c)			179,4%		

MANGANÊS (mg/kg) EM RAIZ SUBSUPERFICIAL

QUADRO DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	p-valor
BLOCO	2	83751	41875	45,4929	0,2150 ^{ns}
SAFRA (SAF)	1	11524	11524	12,5196	0,0714 ^{ns}
Erro (a)	2	1841	920		
ESTÁDIO (ES)	3	17593	5864	0,8062	0,5143 ^{ns}
SAF X ES	3	65233	21744	2,9892	0,0733 ^{ns}
Erro (b)	12	87292	7274		
DIÂMETRO (DIA)	1	187783	187783	22,8229	0,0002**
DIA X SAF	1	1350	1350	0,1641	0,6907 ^{ns}
DIA X ES	3	12573	4191	0,5094	0,6814 ^{ns}
DIA X SAF X ES	3	30821	10274	1,2486	0,3251 ^{ns}
Erro (c)	16	131646	8228		
C.V. (a)			29,6%		
C.V. (b)			83,3%		
C.V. (c)			88,6%		

4. Apêndice D

SCRIPT UTILIZADO PARA AS ANÁLISES ESTATÍSTICAS NO R (R version 3.4.4 (2018-03-15) -- "Someone to Lean On" Copyright (C) 2018 The R Foundation for Statistical Computing Platform: x86_64-pc-linux-gnu (64-bit)).

CAPITULO 1:

```
#DADOS REPETIDOS EM DIC.
```

```
ls()
```

```
rm(list=ls())
```

```
ls()
```

```
dados=read.table("Data_mudasRL.txt",head=TRUE)
```

```
dados
```

```
attach(dados)
```

```
str(dados)
```

```
#RODANDO OS DADOS.
```

```
require(ExpDes.pt)
```

```
fit3<- dic(DAS, TRL.t, quali = FALSE, mcomp = "tukey", sigT = 0.05, sigF = 0.05)
```

```
graficos(fit3, grau=1, mod = TRUE, main = "CATUAÍ VERMELHO IAC 99", xlab =
```

```
"DAS", ylab = "TRL", pch = 19,
```

```
xlim = NULL, ylim = NULL, bty = "o")
```

```
graficos(fit3, grau=2, mod = TRUE, main = "titulo", sub = "subtitulo",
```

```
xlab = "Niveis (X)", ylab = "Resposta (Y)", pch = 19,
```

```
xlim = NULL, ylim = NULL, bty = "o")
```

```
graficos(fit3, grau=3)
```

```
plotres(fit3)
```

```
plot(DAS,TRL.t,data=dados, pch=19, col="blue")
```

```

cf.m <- coef(fit2)
cf.m
curve(cf.m[1]+cf.m[2]*x, add=TRUE, lty=1, col="red")

plot(TRL.t~DAS, data=dados, pch=16, col="blue")
cf.m <- coef(fit2)
cf.m
curve(cf.m[1]+cf.m[2]*x, add=TRUE, lty=1, col="red")

require(agricolae)

#NS

model<-with(dados,ssp.plot(BL,ANO,ES,DIA,NS))
gla<-model$gl.a; glb<-model$gl.b; glc<-model$gl.c
Ea<-model$Ea; Eb<-model$Eb; Ec<-model$Ec
op<-par(mfrow=c(1,3),cex=0.6)
out1<-with(dados,LSD.test(NS,ANO,gla,Ea,console=TRUE))
out2<-with(dados,LSD.test(NS,ES,glb,Eb,console=TRUE))
out3<-with(dados,LSD.test(NS,DIA,glc,Ec,console=TRUE))
out1<-with(dados,HSD.test(NS,ANO,gla,Ea,console=TRUE))
out2<-with(dados,HSD.test(NS,ES,glb,Eb,console=TRUE))
out3<-with(dados,HSD.test(NS,DIA,glc,Ec,console=TRUE))
plot(out1,xlab="ANO",las=1,variation="IQR")
plot(out2,xlab="ES",variation="IQR")
plot(out3,xlab="DIA",variation="IQR")
AOV<-aov(NS ~ BL + ANO*ES*DIA + Error(BL/ANO/ES),data=dados)
summary(AOV)
par(op)

```