

BÁRBARA FERNANDA DA SILVA

**MARCHA DE ACÚMULO NOS FRUTOS E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES
EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA NA REGIÃO CENTRO-OESTE
PAULISTA**

**Botucatu
2024**

BÁRBARA FERNANDA DA SILVA

**MARCHA DE ACÚMULO NOS FRUTOS E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES
EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA NA REGIÃO CENTRO-OESTE
PAULISTA**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia: Agricultura

Orientador: Rogério Peres Soratto
Coorientadora: Adriana Novais Martins

**Botucatu
2024**

S586m Silva, Barbara da
Marcha de acúmulo nos frutos e exportação de nutrientes em cultivares de café arábica na região centro-oeste paulista / Barbara da Silva. -- Botucatu, 2024
155 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientadora: Rogério Peres Soratto
Coorientadora: Adriana Novais Martins

1. Exportação de nutrientes. 2. Nutrição de plantas. 3. Café arábica.
I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

MARCHA DE ACÚMULO NOS FRUTOS E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA NA REGIÃO CENTRO-OESTE PAULISTA

AUTORA: BÁRBARA FERNANDA DA SILVA

ORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

COORIENTADORA: ADRIANA NOVAIS MARTINS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Agricultura), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ROGÉRIO PERES SORATTO (Participação Presencial)
Producao Vegetal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu

Prof. Dr. ALEX MENDONÇA DE CARVALHO (Participação Virtual)
Coordenadoria do Curso de Engenharia Agrônômica / Câmpus de Registro

Prof. Dr. MARCOS JOSÉ PERDONÁ (Participação Virtual)
. / APTA - Pólo Regional Centro Oeste

Prof. Dr. RENAN JOSÉ PARECIDO (Participação Presencial)
Pós-Doutorando - Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas

Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO (Participação Presencial)
Producao Vegetal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu UNESP

Botucatu, 28 de fevereiro de 2024.

*Dedico aos meus pais, Iolanda Iris da Silva e
Nivaldo Alves da Silva Filho, por sempre confiar
e apoiar minhas decisões.
Sem vocês nada seria possível.*

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos:

A Deus, em quem confio integralmente, pela orientação nas decisões, pelo conforto nas dificuldades e por atender minhas preces nos momentos de aflição e angústia.

Aos meus pais, Nivaldo Alves e Iolanda Iris, que venceram todas as dificuldades para que pudessem me proporcionar uma formação de qualidade; agradeço pelo amor e carinho que tanto me dedicam, amo muito vocês.

Ao meu irmão Pedro Henrique, pelo amor, carinho e incentivo.

A todos os familiares, por todo amor, carinho e apoio em tudo o que faço, sem vocês nada seria possível. Principalmente à minha madrinha Cleonice e ao meu primo Antônio (*in memoriam*), que estavam sempre prontos a me confortar nos momentos mais difíceis.

Ao Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, por toda a atenção, ensinamentos, suporte e confiança em meu trabalho.

À Dr^a. Adriana Novais, pela orientação, ensinamentos, paciência e confiança.

À Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) e ao Grupo Pérez, representado pelo Sr. Antônio do Amaral Pérez, proprietário da Fazenda Recreio, por colaborar e me permitir compartilhar a área experimental para que eu pudesse realizar meu trabalho de doutorado.

Aos amigos: Gustavo, Jaque, Romão, West, Júlio, Larrisa, Marcela, Gyslane, Amanda e Tassiane, por terem me ajudado durante a minha jornada. Obrigada por tantos momentos divertidos e de aprendizado que vocês me proporcionaram, obrigada pelos conselhos e por cada sorriso que tenham dado nos momentos mais difíceis, vocês são minha família da pós-graduação.

Aos companheiros de Botucatu, Camila, Marina, Iara, Ari, Dandara, Leid, Mauricio, Daniel, Glauber, por toda a paciência comigo, pela amizade, tanto nos momentos felizes como nos estressantes, pelo carinho, pelas risadas, pelas comidas (tudo muito bom!), e pela oportunidade de ter conhecido pessoas tão especiais. Vocês foram mais que amigos, foram uma família, vou me lembrar de vocês por toda vida

Aos companheiros e amigos do Laboratório Solo-Planta pela convivência, apoio, amizade e ajuda nas análises.

A todos os professores da Unesp por contribuírem na minha formação e servirem de exemplos para a minha vida profissional.

Ao Grupo de Estudos em Fitotecnia e Manejo de Grandes Culturas (GEFEM), por todo apoio, parceria e amizade ao longo dos anos, em especial ao estagiário Gleison por todo apoio e ajuda.

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

RESUMO

O entendimento de como a interação entre os materiais genéticos e o ambiente de produção interfere na exportação de nutrientes pelos frutos colhidos, bem como na proporção de cada nutriente contida nos grãos e na casca dos frutos, são informações importante para a definição da restituições de nutrientes em lavouras de café arábica. Além disso, o conhecimento da dinâmica de acúmulo de nutrientes nos frutos e como isso afeta a concentrações dos mesmos nas folhas durante o período de frutificação de cultivares com ciclos de maturação diferentes, também são ferramentas auxiliares na definição do momento de fornecer os nutrientes para as culturas. O presente trabalho foi constituído de dois estudos, conduzidos em propriedade cafeeira no município de Vera Cruz-SP (22°7' S; 49°29' W; 645 m de altitude). No primeiro, avaliaram-se os teores e exportações dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), nas sete primeiras safras (2020/21-2021/22), bem como a partição dos mesmos entre casca e grãos dos frutos colhidos nas safras (2020/21-2021/22) de 18 cultivares de café arábica. No segundo, avaliaram-se o acúmulo de matéria seca (MS) e os teores e acúmulos de nutrientes no fruto, bem como os teores dos mesmos em folhas dos ramos produtivos, ao longo do período de frutificação de sete cultivares café arábica com períodos de maturação dos frutos contrastantes, em duas safras. Em ambos os estudos utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições. As plantas foram irrigadas por gotejamento. Na média das cultivares e safras avaliadas, a exportação de nutrientes pelo cafeeiro arábica seguiu a ordem: $K > N > Ca > P > Mg > S > Fe > B > Cu > Mn = Zn$. As duas cultivares mais produtivas (IPR 100 e IAC 125 RN) também se destacaram com as maiores exportações da maioria dos nutrientes, juntamente com a cv. Tupi IAC 4093. Houve variações nos teores de nutrientes nos frutos colhidos entre as cultivares, na maioria das safras, e entre as safras. Na média das sete safras, as cultivares IPR 100, Tupi IAC 4093 e IAC 125 RN se destacaram com as maiores exportações de N (161, 158 e 156 kg ha⁻¹, respectivamente); contudo, em uma safra específica a cv. Tupi IAC 4093 exportou 314 kg ha⁻¹ de N. As maiores exportações médias de P ocorreram na Tupi IAC 4093 (15,7 kg ha⁻¹), IPR 100 (15,2 kg ha⁻¹), IAC 125 RN (15,0 kg ha⁻¹) e IPR107 (14,6 kg ha⁻¹), sendo a maior exportação de P em uma safra específica (47,2 kg ha⁻¹) registrada na cv. IAC 125 RN. O K foi o nutriente exportado em maiores quantidades, com as maiores exportações médias obtidas nas cultivares IAC 125 RN (237 kg ha⁻¹), IPR 100 (232 kg ha⁻¹) e Tupi IAC 4093 (230 kg ha⁻¹), e chegando a 434 kg ha⁻¹ pela cv. Tupi IAC 4093 em uma safra específica. A cv. IPR 100 se destacou na exportação

de Ca (média de 43 kg ha⁻¹) e a Tupi IAC 4093, IPR 100 e IAC 125 RN na de Mg (10,3-11,0 kg ha⁻¹). As maiores exportações médias de S ocorreram na IPR 100, Obatã IAC 1669-20, IAC 125 RN e IAPAR 59 (7,4-8,3 kg ha⁻¹). Quanto aos micronutrientes, as maiores exportações, em g ha⁻¹, foram 272 (IPR 100) para o B, de 142 (IPR 100) para o Cu, de 1136 (Tupi IAC 4093) para o Fe, de 107 (IAC 125 RN) para o Mn e de 113 (IPR 98) para o Zn. Também houve diferenças entre as cultivares quanto à partição da maioria dos nutrientes entre a casca e os grãos do fruto, sendo que, em média, a percentagem de alocação para os grãos seguiu a ordem: Mg > N = P > Fe > Zn > S > Cu > Mn > B > Ca > K. Assim, o K, além de ser o nutriente contido em maior teor nos frutos, também foi aquele com maior proporção alocada na casca. O período de frutificação durou de 194 dias nas cultivares precoces (IAC 125 RN e IAPAR 59) a 225 nas cultivares intermediárias (Topázio MG 1190 e Catuaí VE IAC 144) e tardias (Obatã IAC 1669-20, IPR 99 e IPR 100), havendo acumulação constante de MS no fruto durante todo o período. Os acúmulos de N e K nos frutos foram relativamente constantes durante a frutificação, em ambas as safras, e também os de P, K, Mg, S e Cu na segunda safra. Já as quantidades de Ca, B, Fe, Mn e Zn acumuladas no fruto variaram ao longo do período. Para o B, o período de maior acumulação nos frutos se deu entre 90 e 163 dias após a antese. As acumulações de MS e de alguns nutrientes (notadamente, N, P, K, S, Cu, Mn e Zn) no fruto tenderam a ser mais rápidas nos cultivares precoces, especialmente o IAC 125 RN. Com o aumento da MS acumulada no fruto, houve redução dos teores de N, P, Ca, Mg, S, B e Mn na biomassa do fruto. Já os teores de K, Cu, Fe e Zn nos frutos tiveram variação incerta ao longo do período de frutificação e entre as safras avaliadas. Apenas os teores foliares de N, em ambas as safras, e de Ca na safra 2020/21 e de Fe na safra 2021/22, diminuíram durante a frutificação. Os teores de Mg, B e Cu nas folhas do ramo produtivo aumentaram durante o crescimento dos frutos. O acúmulo médio final dos nutrientes no fruto não teve relação clara com a produtividade de grãos ou com a exportação dos mesmos.

Palavras-chave: acúmulo de nutrientes; concentração de nutrientes; exportação de nutrientes; diversidade genética; *Coffea arabica*.

ABSTRACT

Understanding how the interaction between genetic materials and the growth environment interferes with the removal of nutrients by harvested berries, as well as the proportion of each nutrient contained in the beans and berry husk, is important information for defining nutrient restitution for Arabica coffee crops. Furthermore, knowledge of the dynamics of nutrient accumulation in berries and how this affects their concentrations in the leaves during the frutification period of cultivars with different maturation cycles are also auxiliary tools in defining the moment to supply nutrients to the crops. The present work consisted of two studies, conducted on a coffee farm in the municipality of Vera Cruz-SP (22°7' S; 49°29' W; 645 m altitude). In the first one, the concentrations and removals of nutrients (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, and Zn) were evaluated, as well as their partition between the husk and beans of harvested berries in the seven first harvests (2025/25-2021/22) of 18 Arabica coffee cultivars. In the second, the accumulation of dry matter (DM) and the concentrations and accumulations of nutrients in the berries were evaluated, as well as their levels in leaves of the productive branches, throughout the frutification period of seven Arabica coffee cultivars with contrasting periods of berries maturation, in two agricultural years. In both studies, a randomized block design was used, with three replications. The plants were drip irrigated. On average across evaluated cultivars and harvests, the removal by the Arabica coffee berries followed the order: $K > N > Ca > P > Mg > S > Fe > B > Cu > Mn = Zn$. The two most productive cultivars (IPR 100 and IAC 125 RN) also stood out with the highest removals of most nutrients, together with cv. Tupi IAC 4093. There were variations in nutrient concentrations in the harvested berries between cultivars, in most harvests, and also between harvests. On average of the seven harvests, the cultivars IPR 100, Tupi IAC 4093 and IAC 125 RN stood out with the highest N removal (161, 158 and 156 kg ha⁻¹, respectively); however, in a specific harvest the cv. Tupi IAC 4093 removed 314 kg N ha⁻¹. The highest average P removals occurred in Tupi IAC 4093 (15.7 kg ha⁻¹), IPR 100 (15.2 kg ha⁻¹), IAC 125 RN (15.0 kg ha⁻¹), and IPR107 (14.6 kg ha⁻¹), with the largest P removal in a specific harvest (47.2 kg ha⁻¹) recorded in cv. IAC 125 RN. Potassium was the nutrient removed in the largest quantities, with the highest average removals obtained in the cultivars IAC 125 RN (237 kg ha⁻¹), IPR 100 (232 kg ha⁻¹), and Tupi IAC 4093 (230 kg ha⁻¹), and reaching 434 kg ha⁻¹ by Tupi IAC 4093 in a specific harvest. The cv. IPR 100 stood out in the

Ca removal (average of 43 kg ha⁻¹) and Tupi IAC 4093, IPR 100, and IAC 125 RN in Mg removal (10.3-11.0 kg ha⁻¹). The highest average S removals occurred in IPR 100, Obatã IAC 1669-20, IAC 125 RN, and IAPAR 59 (7.4-8.3 kg ha⁻¹). For micronutrients, the largest removals, in g ha⁻¹, were 272 (IPR 100) for B, 142 (IPR 100) for Cu, 1136 (Tupi IAC 4093) for Fe, 107 (IAC 125 RN) for Mn, and 113 (IPR 98) for Zn. There were also differences between cultivars regarding the partition of most nutrients between the husk and beans of berries, and, on average, the percentage of allocation to the beans followed the order: Mg > N = P > Fe > Zn > S > Cu > Mn > B > Ca > K. Thus, K, in addition to being the nutrient contained in the highest concentration in berries, was also the one with the highest proportion allocated to the husk. The frutification period lasted from 194 days in early cultivars (IAC 125 RN and IAPAR 59) to 225 in intermediate (Topázio MG 1190 and Catuaí VE IAC 144) and late cultivars (Obatã IAC 1669-20, IPR 99 and IPR 100), with constant accumulation of DM in the berry throughout the period. The accumulations of N and K in the berry were relatively constant during frutification, in both harvests, and also those of P, K, Mg, S, and Cu in the second harvest. The amounts of Ca, B, Fe, Mn, and Zn accumulated in the berry varied throughout the period. For B, the period of greatest accumulation in berry occurred between 90 and 163 days after anthesis. Accumulations of DM and some nutrients (notably N, P, K, S, Cu, Mn, and Zn) in the berry tended to be faster in early cultivars, especially IAC 125 RN. With the increase in DM accumulated in the berry, there was a reduction in concentrations of N, P, Ca, Mg, S, B, and Mn in the berry biomass. The concentrations of K, Cu, Fe, and Zn in the berries had uncertain variations throughout the frutification period and between the evaluated harvests. Only N concentration in the leaves, in both harvests, and Ca in 2020/21 and Fe in 2021/22, decreased during frutification. The concentrations of Mg, B, and Cu in the leaves of the productive branch increased during fruit growth. The final accumulation of nutrients in the berry had no clear relationship with bean yield or with nutrient removals.

Keywords: *Coffea arabica*; genetic diversity; nutrient accumulation; nutrient concentration; nutrient removal.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 1 – CONCENTRAÇÃO, PARTIÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES NOS FRUTOS E CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA

- Figura 1 - Percentagem de acúmulo de nitrogênio na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de três anos agrícolas e na média dos anos estudados. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....45
- Figura 2 - Percentagem de acúmulo de fósforo na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de três anos agrícolas e na média dos anos estudados. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....49
- Figura 3 - Percentagem de acúmulo de potássio na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de três anos agrícolas e na média dos anos estudados. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....53
- Figura 4 - Percentagem de acúmulo de cálcio na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de três anos agrícolas e na média dos anos estudados. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....57
- Figura 5 - Percentagem de acúmulo de magnésio na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de três anos agrícolas e na média dos anos estudados. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....61
- Figura 6 - Percentagem de acúmulo de enxofre na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de três anos agrícolas e na média dos anos estudados. Letras diferentes indicam diferenças entre

cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....65

Figura 7 - Percentagem de acúmulo de boro na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de três anos agrícolas e na média dos anos estudados. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....68

Figura 8 - Percentagem de acúmulo de cobre na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de três anos agrícolas e na média dos anos estudados. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....71

Figura 9 - Percentagem de acúmulo de ferro na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de três anos agrícolas e na média dos anos estudados. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....74

Figura 10 - Percentagem de acúmulo de manganês na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de três anos agrícolas e na média dos anos estudados. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....77

Figura 11 - Percentagem de acúmulo de zinco na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de três anos agrícolas e na média dos anos estudados. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.....81

Capítulo 2 – TEORES FOLIARES E MARCHA DE ACÚMULO DE NUTRIENTES NOS FRUTOS DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA COM PERÍODOS DE MATURAÇÃO CONTRASTANTES

- Figura 1 - Acúmulo de matéria seca (MS) nos frutos de cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese.....102
- Figura 2 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de nitrogênio nos frutos de cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese.....106
- Figura 3 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de fósforo nos frutos de cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese.....109
- Figura 4 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de potássio nos frutos de cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese.....112
- Figura 5 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de cálcio nos frutos de cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese.....117
- Figura 6 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de magnésio nos frutos de cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese.....120
- Figura 7 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de enxofre nos frutos de cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese.....124
- Figura 8 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de boro nos frutos de cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, em

função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese.....127

Figura 9 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de cobre nos frutos de cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese.....131

Figura 10 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de ferro nos frutos de cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese.....133

Figura 11 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de manganês nos frutos de cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese.....137

Figura 12 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de zinco nos frutos de cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese.....140

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 – CONCENTRAÇÃO, PARTIÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES NOS FRUTOS E CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA

Tabela 1 - Dados de temperatura média e precipitação pluvial mensais de janeiro de 2014 a dezembro de 2022, Vera Cruz-SP.....	33
Tabela 2 - Principais características dos genótipos avaliados.....	34
Tabela 3 - Calagens, gessagens, adubações, épocas e modo de aplicação..	36
Tabela 4 - Produtividade de grãos e rendimento de grãos beneficiados de cultivares de café ao longo de sete anos agrícolas estudados e na média dos anos	40
Tabela 5 - Teor e exportação de nitrogênio nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de sete anos agrícolas estudados e na média dos anos.....	42
Tabela 6 - Teor e exportação de fósforo nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de sete anos agrícolas estudados e na média dos anos	48
Tabela 7 - Teor e exportação de potássio nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de sete anos agrícolas estudados e na média dos anos.....	50
Tabela 8 - Teor e exportação de cálcio nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de sete anos agrícolas estudados e na média dos anos	55
Tabela 9 - Teor e exportação de magnésio nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de sete anos agrícolas estudados e na média dos anos.....	59
Tabela 10 - Teor e exportação de enxofre nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de sete anos agrícolas estudados e na média dos anos.....	62
Tabela 11 - Teor e exportação de boro nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de sete anos agrícolas estudados e na média dos anos	66

Tabela 12 - Teor e exportação de cobre nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de sete anos agrícolas estudados e na média dos anos	69
Tabela 13 - Teor e exportação de ferro nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de sete anos agrícolas estudados e na média dos anos	72
Tabela 14 - Teor e exportação de manganês nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de sete anos agrícolas estudados e na média dos anos.....	76
Tabela 15 - Teor e exportação de zinco nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café, ao longo de sete anos agrícolas estudados e na média dos anos	79

Capítulo 2 – TEORES FOLIARES E MARCHA DE ACÚMULO DE NUTRIENTES NOS FRUTOS DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA COM PERÍODOS DE MATURAÇÃO CONTRASTANTES

Tabela 1 - Dados de temperatura média e precipitação pluvial mensais de janeiro de 2020 a dezembro de 2022, Vera Cruz-SP.....	94
Tabela 2 - Calagens, adubações, épocas e modo de aplicação.....	96
Tabela 3 - Produtividade de grãos e rendimento de grãos beneficiados de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	104
Tabela 4 - Teor e exportação de nitrogênio nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	108
Tabela 5 - Teor e exportação de fósforo nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	111
Tabela 6 - Teor e exportação de potássio nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	115
Tabela 7 - Teor e exportação de cálcio nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	119

Tabela 8 - Teor e exportação de magnésio nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	122
Tabela 9 - Teor e exportação de enxofre nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	126
Tabela 10 - Teor e exportação de boro nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	129
Tabela 11 - Teor e exportação de cobre nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	132
Tabela 12 - Teor e exportação de ferro nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	135
Tabela 13 - Teor e exportação de manganês nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	137
Tabela 14 - Teor e exportação de zinco nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, nas safras 2020/21 e 2021/22.....	142

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	23
CAPÍTULO 1 – CONCENTRAÇÃO, PARTIÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES NOS FRUTOS E CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA	29
1.1 INTRODUÇÃO.....	29
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
1.3.1 Produtividade grãos e rendimento de café beneficiado.....	39
1.3.2 Teor, exportação e partição de nitrogênio na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica.....	41
1.3.3 Teor, exportação e partição de fósforo na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica.....	45
1.3.4 Teor, exportação e partição de potássio na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica.....	49
1.3.5 Teor, exportação e partição de cálcio na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica.....	54
1.3.6 Teor, exportação e partição de magnésio na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica.....	58
1.3.7 Teor, exportação e partição de enxofre na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica.....	61
1.3.8 Teor, exportação e partição de boro na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica.....	65
1.3.9 Teor, exportação e partição de cobre na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica.....	68
1.3.10 Teor, exportação e partição de ferro na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica.....	72
1.3.11 Teor, exportação e partição de manganês na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica.....	75
1.3.12 Teor, exportação e partição de zinco na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica.....	78
1.3.13 Implicações e perspectivas da determinação do teor, exportação e partição de nutrientes na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica	82

1.4	CONCLUSÕES.....	84
	REFERÊNCIAS	86
	CAPÍTULO 2 – TEORES FOLIARES E MARCHA DE ACÚMULO DE NUTRIENTES NOS FRUTOS DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA COM PERÍODOS DE MATURAÇÃO CONTRASTANTES.....	91
2.1	INTRODUÇÃO.....	91
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	93
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	100
2.3.1	Marcha e acúmulo de biomassa no fruto e produtividade de grãos.....	100
2.3.2	Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de nitrogênio no fruto.....	104
2.3.3	Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de fósforo no fruto..	108
2.3.4	Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de potássio no fruto.....	111
2.3.5	Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de cálcio no fruto...	115
2.3.6	Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de magnésio no fruto.....	119
2.3.7	Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de enxofre no fruto..	123
2.3.8	Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de boro no fruto.....	126
2.3.9	Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de cobre no fruto.....	130
2.3.10	Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de ferro no fruto.....	132
2.3.11	Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de manganês no fruto.....	136
2.3.12	Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de zinco no fruto.....	138
2.3.13	Implicações e perspectivas da determinação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo no fruto ao longo do período de frutificação de cultivares de café arábica com ciclos de maturação contrastantes.....	142
2.4	CONCLUSÕES.....	143
	REFERÊNCIAS.....	145
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	151
	REFERÊNCIAS.....	153

INTRODUÇÃO GERAL

O cafeeiro é um arbusto, pertence à família Rubiaceae, do gênero *Coffea* L., do qual se conhecem cerca de 103 espécies (Simon-Gruita *et al.*, 2019). É uma planta cultivada em países tropicais, tanto para consumo próprio como para exportação para países de clima temperado (Damatta; Ramalho, 2006).

O Brasil é o maior produtor de café do mundo. Em 2023, foram produzidos no Brasil 55,1 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado, sendo desse total, 70% da produção correspondeu à espécie arábica (*Coffea arabica* L.) (Conab, 2023). A produção de café se estabeleceu no Brasil no final do século XVIII e foi muito importante para a formação socioeconômica da nação brasileira. Especialmente para o Estado de São Paulo, o café propiciou condição de desenvolvimento ainda no século XIX, que não só expandiu e consolidou a fronteira agrícola estadual como também financiou o parque industrial paulista (Vallarini; Bataglia; Fazuoli, 2005).

O estado de São Paulo produz 13% do total de arábica café do Brasil, em uma área de 199.800 ha (Conab, 2023). O estado de São Paulo ocupa um lugar importante na dinâmica econômica do café; duas regiões, Alta Mogiana e Centro-Oeste de São Paulo, são especialmente importantes. As dez maiores microrregiões produtoras de café no estado incluem Franca, São João da Boa Vista, Marília, Ourinhos, Bragança Paulista, Jaú, Avaré, Ribeirão Preto, Orlandia e Tupã. Segundo o Iea (2023), a quantidade de café produzido no estado de São Paulo em 2021 valia R\$ 4.021,75 bilhões, o que foi equivalente a 4,049 milhões de sacas.

A regionalização dos materiais genéticos exerce impacto direto na produtividade e na qualidade dos grãos de café. Apesar de ser possível e aconselhável ampliar a diversidade genética, apenas algumas cultivares de café são cultivadas em quantidades significativas em todo o Brasil. As recentes introduções de novas cultivares apresentam características vantajosas, como elevado potencial produtivo, melhor qualidade dos grãos e estabilidade na produção. Cultivares adaptadas a uma região respondem de forma positiva às condições ambientais, sendo essenciais para recomendações locais (Martins *et al.*, 2023). A escolha das cultivares leva em consideração o potencial produtivo, a qualidade dos grãos e a resistência a pragas e doenças (Carvalho *et al.*, 2017; Veiga *et al.*, 2018). Cultivares com alto potencial produtivo, adaptadas aos sistemas de produção regionais e às condições ambientais locais, são indispensáveis para assegurar a sustentabilidade na produção

de café, contribuindo para o aumento da renda dos cafeicultores e incentivando a continuidade do cultivo (Carvalho *et al.*, 2017).

Apesar de ser uma cultura bastante conhecida, a produtividade média da lavoura de café arábica no Brasil, situa-se na faixa de 25 sacas ha^{-1} (~1500 kg ha^{-1}) de café beneficiado (Conab, 2024), valor que está muito abaixo do potencial produtivo das principais cultivares da espécie, ao redor de 100 sacas ha^{-1} (6000 kg ha^{-1}), em experimentos, e 60 sacas ha^{-1} (3600 kg ha^{-1}), como produtividade média em lavouras irrigadas e bem conduzidas, conforme Almeida *et al.* (1984), Fazuoli (1986), Fazuoli *et al.* (2002) e Garcia e Matiello (2002). Um dos fatores que contribuem para a baixa produtividade média de café é o manejo inadequado dos fatores edáficos, principalmente os relacionados com a nutrição e adubação do cafeeiro, que se agravam pelo cultivo contínuo na mesma área, devido ao enorme desgaste do solo e desequilíbrio entre os nutrientes (Vallarini, 2005).

As exigências nutricionais do cafeeiro adulto e a distribuição dos nutrientes dependem, principalmente, da idade da planta, do crescimento vegetativo e da produção de frutos (Laviola *et al.* 2006). Segundo Corrêa *et al.* (1986), a partir dos seis primeiros meses até 78 meses de idade após o plantio, a exigência nutricional é crescente, apresentando um comportamento similar ao acúmulo de matéria seca (MS).

Por ser uma cultura exigente, a nutrição do cafeeiro é analisada principalmente sob o ponto de vista da produção e a adubação é recomendada de acordo com as quantidades dos nutrientes exportados nos grãos, o que não é uma recomendação muito correta (Costa, 2009). Para se realizar a recomendação é necessário levar em consideração também as quantidades dos elementos minerais para a manutenção da planta e para a produção de novos ramos, folhas e raízes (Malavolta *et al.*, 1974). Dessa maneira, como a análise química de frutos determina a quantidade de nutrientes exportados pela produção, a avaliação do estado nutricional de uma planta normalmente é determinada pela análise foliar. Essas análises têm mostrado que o nitrogênio (N) e o potássio (K) são os dois elementos exigidos pelo cafeeiro em maior proporção na formação dos frutos; contudo, pouco se conhece sobre os teores dos nutrientes nas folhas e frutos ao longo de toda a fase de frutificação.

Algumas pesquisas têm indicado ainda que a absorção de nutrientes nos estádios de pré e pós-floração se intensifica, variando principalmente em função das condições ambientais e do estágio fenológico da planta (Alberto *et al.*, 2023). Santos

et al. (2021) observou que, nas flores de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner), N e K foram encontrados em concentrações mais elevadas (cerca de 35 e 30 g kg⁻¹, respectivamente) do que os demais macronutrientes, que, juntos, concentraram menos de 20 g kg⁻¹. Moraes e Catani (1964), avaliando o acúmulo de nutrientes minerais no fruto de cafeeiro arábica, observaram que a concentração dos elementos sempre foi maior na flor que em qualquer outro estágio da maturação (apesar da MS nas flores ser pouco representativa), e que a acúmulo de MS no fruto intensificou-se a partir do início do quarto mês após o florescimento. Esses autores observaram também que nos dois meses que antecederam o estágio final de maturação, o fruto do cafeeiro acumulou 43% da sua MS, absorvendo 49% do N, 36% do P e 39% do K, relativamente às quantidades que continham quando da maturação completa.

Segundo Bataglia (2001), a redistribuição ou remobilização de nutrientes, dentro da planta, ocorre via floema, dos pontos de reserva nos vacúolos, para as partes apicais de crescimento, aérea ou radicular, juntamente com os fotoassimilados. Quando ocorre falta de um nutriente no ápice (demanda da parte aérea), um sinal é enviado e inicia-se a redistribuição das folhas mais velhas para as mais novas, com maior ou menor rapidez, dependendo da sua função e mobilidade na planta. Dessa maneira, a otimização da produtividade depende, entre outros fatores, não só da eficiência de absorção de nutrientes, mas também de carbono e da eficiente transformação desses elementos em compostos de reserva nos grãos.

Malavolta (1993), demonstrou, através da curva de crescimento para as cultivares de café Mundo Novo e Catuaí, entre os 6 meses até os 6,5 anos de idade, que a acumulação de matéria seca é crescente e contínua, apesar das variações consideráveis de produção. Nesse experimento, a marcha de absorção de nutrientes, de duas plantas por cova, promovida pelas raízes, caule, folhas, ramos e frutos, para uma produção de 46 e 54 sacas de café beneficiado por hectare, para Mundo Novo e Catuaí, respectivamente, foram: 410 e 400 g de N, 18 e 16 g de P, 260 e 265 g de K, 137 e 169 g de Ca, 61 e 64 g de Mg, 20 e 23 g de S. A cultivar Mundo Novo foi mais exigente que a cultivar Catuaí em N e P, menos exigente em K, Ca, B, Fe, Mn e Zn, e foram praticamente iguais para Mg, S e Cu. Por sua vez, a 'Mundo Novo', quando comparada à 'Rubi MG-1192', foi menos eficiente na utilização de S para produção de grãos (Souza, 1999). Pereira (1999) também discriminou linhagens de cafeeiros arábica com base na eficiência de utilização de N e K, indicando que a linhagem de

Catuaí (UFV 2237) exigiu fornecimentos elevados, principalmente de N, para que tenha maior eficiência no uso dos nutrientes estudados (N e K) e que o Catimor - UFV 2983 se destacou pela alta eficiência de utilização dos mesmos nutrientes quando estes se encontram escassos.

Estudos sobre a nutrição mineral da planta e a extração de macronutrientes pelas cultivares de café arábica Bourbon Amarelo, Caturra Amarelo e Mundo Novo, desenvolvidos por Malavolta *et al.* (1963), permitiram concluir que não havia diferença significativa na composição química, tanto da casca como do grão, entre as cultivares estudadas. Observou-se também que, a casca continha cerca de 50% do N, Mg e Cu, 60% do P, Ca, S, Mn e Mo e 70% do K, B, Fe e Zn, em relação ao total exportado pelos frutos.

Pouco se conhece sobre a eficiência nutricional de cafeeiros, embora muitas informações com relação à nutrição mineral sejam encontradas na literatura, como a absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes, que apresentam controle genético, existindo a possibilidade de melhorar e/ou selecionar cultivares mais eficientes quanto ao uso de nutrientes (Gabelman, Gerloff, 1983; Alberto *et al.*, 2023).

Sendo assim, é importante destacar que o conhecimento dos teores de nutrientes em vários órgãos do vegetal permite inferir sobre as exigências metabólicas desenvolvidas em cada compartimento, fornecendo base para o entendimento dessas variações e suas implicações nas respostas das culturas agrícolas. Diversos órgãos vegetais podem fornecer subsídios para um manejo nutricional adequado. A análise das flores nos permite avançar nas correções nutricionais durante o crescimento reprodutivo, evitando maiores perdas (Dubberstein *et al.*, 2016; Malavolta *et al.*, 2002). A análise de grãos e palha (casca dos frutos secos) fornece respostas essenciais sobre o cálculo dos nutrientes responsáveis pela produtividade das culturas (Covre *et al.*, 2016). Quantificar o acúmulo de nutrientes em frutos, cascas e grãos é importante, pois os resultados podem promover práticas de fertilização do solo, como a reutilização de cascas nas lavouras para melhorar o solo e reciclar nutrientes (Covre *et al.*, 2016), e otimizar a fertilização, restaurando os nutrientes removidos pela colheita e poda (Schmidt *et al.*, 2022). Além disso, a relação grão/casca é uma referência para estabelecer se um genótipo é produtivo em determinado ambiente. Sua grande diversidade no campo favorece a seleção de grupos semelhantes para colheitas, facilitando assim o processamento pós-colheita dos frutos (Senra *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2018). O órgão do cafeeiro mais utilizado

nas análises de diagnose nutricional são as folhas. São órgãos fisiologicamente ativos, presentes em todos os estádios fenológicos da cultura, favorecendo o monitoramento do estado nutricional da planta (Dubberstein *et al.*, 2016; Malavolta *et al.*, 2002).

Já o conhecimento da dinâmica dos nutrientes minerais nas cultivares de cafeeiro, principalmente no que se refere a flores e frutos, é importante para identificar o período de maior exigência nutricional pela planta e, dessa forma, melhorar a eficiência das práticas de adubação. Além disso, conhecer as variações nos teores de nutrientes nas folhas e sua mobilização para frutos durante a fase reprodutiva de cultivares de cafeeiro em diferentes ambientes é importante para auxiliar no diagnóstico do status nutricional das plantas, podendo melhorar o manejo de fertilização da cultura (Alberto *et al.*, 2023).

Dessa forma o estado nutricional da planta é uma ferramenta essencial no manejo da produção de café, determinado pelo conteúdo nutricional nos diferentes tecidos vegetais. Embora as avaliações de órgãos de cafeeiros em diferentes estádios fenológicos sejam ferramentas essenciais para determinar o manejo adequado da fertilização, os valores de referência existentes do nível crítico e faixa de suficiência para diagnóstico nutricional não consideram a diversidade genética entre os genótipos (Gomes *et al.*, 2016).

Diante da complexidade que envolve a produção de café arábica, desde sua importância histórica até os desafios contemporâneos relacionados à produtividade e manejo nutricional, é evidente a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre o comportamento e as exigências nutricionais de novos genótipos. O presente estudo, realizado em Vera Cruz, região de Marília-SP, busca preencher lacunas nesse entendimento, destacando a diversidade entre os materiais genéticos analisados.

A relevância do trabalho se fundamenta não apenas na busca por altos rendimentos, mas também na compreensão das demandas específicas de cada genótipo, considerando o cenário desafiador da produção de café no Brasil. A análise detalhada do acúmulo ao longo do período de frutificação e a exportação de nutrientes na colheita final dos frutos, associada à avaliação do teor de nutrientes na folha diagnóstica, oferece uma abordagem abrangente para o manejo nutricional, visando a sustentabilidade e o aumento da rentabilidade para os cafeicultores.

Ao reconhecer a importância da dinâmica dos nutrientes, especialmente nas fases críticas do desenvolvimento da planta, o estudo contribui para o estabelecimento

de estratégias mais eficientes de adubação e fertilização. A ênfase na diversidade genética destaca a necessidade de considerar as particularidades de cada genótipo, permitindo avanços significativos na otimização da produtividade e na preservação dos recursos naturais.

Os resultados deste trabalho não apenas enriquecerão a base de conhecimento científico, mas também oferecerão subsídios práticos para os cafeicultores, promovendo o desenvolvimento sustentável da cafeicultura nacional. Em última análise, essa abordagem integrada busca não apenas superar os desafios atuais, mas também abrir novos horizontes para o cultivo do café arábica, consolidando sua posição como uma das culturas mais emblemáticas e valiosas do Brasil.

CAPÍTULO 1

CONCENTRAÇÃO, PARTIÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES NOS FRUTOS E CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA

1.1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura desempenha um papel vital no cenário do agronegócio brasileiro, destacando-se como um dos principais motores da economia do país, não apenas como produtor, mas também como exportador global de café. Em 2023, o Brasil alcançou uma produção significativa de 55,1 milhões de sacas de café beneficiado, sendo a espécie arábica (*Coffea arabica* L.) responsável por 70% desse total, abrangendo uma área cultivada em produção de 1,49 milhões de hectares (Conab, 2023). Neste contexto, o estado de São Paulo destaca-se como um importante produtor de café arábica no Brasil, com uma produção de cerca de 5,0 milhões de sacas na última safra (Conab, 2023). As regiões da Alta Mogiana e Centro-Oeste de São Paulo desempenham papel crucial na dinâmica econômica do café no estado, porém são regiões com condições edafoclimáticas diferentes.

A regionalização dos materiais genéticos impacta diretamente a produtividade e qualidade dos grãos de café. Embora seja recomendado ampliar a diversidade genética, algumas cultivares predominam no Brasil. Introduções recentes apresentam vantagens como alto potencial produtivo, melhor qualidade dos grãos e estabilidade na produção. A adaptação regional é crucial, respondendo positivamente às condições ambientais. A escolha de cultivares considera potencial produtivo, qualidade dos grãos e resistência a pragas e doenças, sendo essencial para a sustentabilidade na produção de café e o aumento da renda dos cafeicultores no Brasil (Guerreiro-Filho; Fazuoli; Gonçalves, 2013; Carvalho *et al.*, 2015; Fernandes *et al.*, 2020).

No entanto, apesar do potencial produtivo comprovado do cafeeiro, evidenciado por pesquisas que apontam para mais de 100 sacas beneficiadas por hectare, muitas propriedades enfrentam desafios significativos em termos de produtividade (Favarin *et al.*, 2013). Esse panorama é, em grande medida, decorrente do manejo inadequado dos fatores edáficos, notadamente no que concerne à adubação e nutrição do café (Vallarini, 2005). A abordagem convencional de

adubação, focada apenas nas quantidades de nutrientes exportadas pelos grãos de café, mostra-se inadequada diante das complexidades nutricionais da planta. É fundamental compreender que o cafeeiro não requer apenas nutrientes para a produção de grãos, mas também para manter a vitalidade da planta como um todo. Assim, é crucial não apenas atender às demandas nutricionais para alcançar alta produção, mas também garantir a satisfação das necessidades para o crescimento de novos ramos, folhas e raízes, conforme destacado por Malavolta *et al.* (1974).

A adubação das culturas é calculada com base em suas necessidades nutricionais, considerando a quantidade de nutrientes presentes no solo e a eficiência de absorção de cada elemento. Embora a literatura ofereça informações substanciais sobre nutrição mineral, a eficiência nutricional específica dos cafeeiros permanece um campo pouco explorado. O controle genético das etapas de absorção, transporte e redistribuição de nutrientes abre perspectivas para a melhoria e seleção de cultivares mais eficientes, como discutido por Gabelman e Gerloff (1983).

Compreender detalhadamente os níveis de nutrientes em diferentes órgãos vegetais desempenha um papel crucial na aprimoração da gestão nutricional e na promoção da produtividade sustentável nas culturas agrícolas, conforme destacado por Malavolta em 2008. Vários órgãos vegetais proporcionam visões valiosas, e a análise sistemática desses componentes revela informações essenciais para o desenvolvimento de estratégias eficazes de fertilização e manutenção do equilíbrio nutricional. Autores como Dubberstein *et al.* (2016) e Malavolta *et al.* (2002) enfatizaram a importância do conhecimento nutricional, reconhecendo-o como uma ferramenta valiosa para garantir o crescimento saudável das plantas.

O acúmulo de nutrientes em diferentes partes, como frutos, cascas e grãos, emerge como um ponto focal. Esses dados não apenas informam práticas de fertilização, incluindo a reutilização de cascas para melhorar o solo e reciclar nutrientes, conforme enfatizado por Covre *et al.* (2016), mas também otimizam a fertilização, restaurando os nutrientes removidos pela colheita e poda, como indicado por Schmidt *et al.* (2023).

A relação grão/casca, destacada por Senra *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2018), assume um papel importante como referência para determinar a produtividade de genótipos em ambientes específicos. A diversidade no campo facilita a seleção de grupos semelhantes para colheitas, simplificando o processamento pós-colheita de grãos.

Diante desse cenário, é importante destacar que o conhecimento dos teores de nutrientes em vários órgãos do vegetal permite inferir sobre as exigências metabólicas desenvolvidas em cada compartimento, fornecendo base para o entendimento dessas variações e suas implicações nas respostas dos vegetais (Alberto *et al.*, 2023).

Com isso o questionamento sobre a variação nos teores e exportação de nutrientes nos frutos entre diferentes cultivares de café revela uma preocupação essencial para compreender a dinâmica nutricional das plantas. A diversidade genética pode influenciar significativamente a composição e a distribuição dos nutrientes nos frutos, levantando questões sobre a existência de padrões específicos entre cultivares (Santos *et al.*, 2021)

Outro aspecto relevante é a possível disparidade na partição de nutrientes entre a casca e os grãos nos diferentes cultivares. A compreensão dessa distribuição pode fornecer informações valiosas sobre como os nutrientes são alocados nas diferentes partes do fruto, o que pode ter implicações diretas na qualidade dos grãos e no desenvolvimento geral da planta (Covre *et al.*, 2016). Essas questões destacam a complexidade da interação entre genética, composição nutricional e produtividade nas culturas de café.

A indagação sobre a existência de uma relação entre os teores, o acúmulo e a partição dos nutrientes nas diversas partes do fruto com a produtividade também vêm à tona. Isso levanta a questão de saber se a composição nutricional e a alocação de nutrientes estão correlacionadas ao nível de produtividade da lavoura ou se a produtividade é predominantemente determinada por características genéticas específicas de cada cultivar.

Pensando em ampliar a base de conhecimento relativo à partição e exportação de nutrientes nos frutos, bem como as suas relações com a produtividade de grãos de novos genótipos de café arábica foi proposto este trabalho, o qual objetivou avaliar o desempenho de cultivares no município de Vera Cruz, região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, avaliando os teores, quantidades acumuladas e partição de nutrientes nos frutos colhidos e sua relação com a produtividade de grãos.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi constituído por um experimento instalado em condições de campo, em abril de 2014 e conduzido até julho de 2022, ou seja, por um período de oito anos e três meses.

1.2.1 Localização e caracterização climática da área experimental

O experimento foi instalado em uma área cultivada com cafeeiro arábica, na Fazenda Recreio, localizada no município de Vera Cruz-SP, apresentando como coordenadas geográficas 49°29'10" de longitude Oeste de Greenwich e 22°07'11" de latitude Sul, com altitude de 645 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, ou seja, com verão quente e chuvoso e inverno seco. A temperatura média do mês mais quente é próxima à 26 °C e a do mês mais frio à 18 °C e regime pluviométrico anual em torno de 1.290 mm (Cepagri, 2020). Os dados mensais de temperaturas médias e precipitação pluvial durante todo o período de condução do experimento são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de temperatura média e precipitação pluvial mensais e irrigação anual, de janeiro de 2014 a dezembro de 2022. Vera Cruz-SP

Mês	Ano								
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Temperatura média (°C)									
Jan.	25,0	27,4	25,4	25,4	25,2	27,4	25,7	26,7	25,5
Fev.	26,6	25,2	26,1	26,3	24,6	26,6	26,0	25,8	26,2
Mar.	24,9	24,6	24,9	25,3	26,6	25,3	25,2	25,7	26,1
Abr.	24,0	24,0	27,3	23,4	24,1	24,6	24,8	25,6	24,0
Mai.	21,1	21,3	19,4	19,4	22,5	22,9	23,0	25,0	20,5
Jun.	20,7	20,4	18,1	17,1	21,7	22,3	20,7	22,3	20,2
Jul.	18,7	19,8	20,5	18,1	22,8	20,8	22,8	20,7	22,5
Ago.	20,7	22,9	21,0	20,4	19,3	21,6	21,1	19,3	20,1
Set.	23,2	24,3	20,5	25,3	22,5	23,9	21,1	20,9	20,3
Out.	24,5	24,9	23,6	24,2	23,8	23,0	25,4	25,6	23,2
Nov.	25,2	24,6	24,1	23,8	24,1	26,3	27,4	25,4	22,5
Dez.	25,6	24,8	25,4	25,3	26,4	25,4	24,9	25,4	24,3
Precipitação mensal e irrigação anual (mm)									
Jan.	198,5	135,0	193,0	520,5	280,0	193,0	175,0	327,0	290,5
Fev.	120,0	290,5	252,0	269,0	122,0	207,5	287,0	128,0	75,0
Mar.	202,0	231,0	41,0	122,0	135,0	167,0	74,0	137,0	183,0
Abr.	64,0	50,0	88,0	208,0	7,5	125,0	27,0	5,0	35,5
Mai.	52,0	176,0	194,0	322,0	15,0	25,0	45,0	15,0	57,0
Jun.	2,0	40,0	126,0	29,0	8,0	25,0	94,0	55,5	50,0
Jul.	50,0	144,5	20,0	0,0	0,0	26,0	10,0	0,0	0,0
Ago.	15,0	14,0	102,5	119,0	197,0	17,5	75,0	9,5	50,0
Set.	114,5	215,0	56,0	30,0	164,0	51,0	8,0	23,0	107,0
Out.	10,5	127,0	311,0	235,5	370,0	82,0	88,0	115,0	97,0
Nov.	252,0	314,5	75,0	263,0	140,0	142,0	52,0	109,0	28,0
Dez.	271,0	321,0	292,5	136,0	133,0	157,0	222,0	136,5	271,0
Irrigação	-	-	31,5	77,0	57,8	63,0	50,1	57,3	30,0

1.2.2 Caracterização do solo e histórico da área experimental

O solo da área experimental é classificado como Latossolo eutrófico típico (Le) textura média, com média de argila entre 16 e 25%. Anteriormente a área havia sido cultivada com uma antiga lavoura de café arábica (Catuaí Vermelho). Os resultados de análises químicas da camada de 0–20 cm de profundidade do solo, antes da implantação do experimento, foram: 5,0 para pH (CaCl₂); 86 mg dm⁻³ de P(resina); 1,7 g dm⁻³ de M.O.; 1,6 mmol_c dm⁻³ de K⁺; 23 mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 9 mmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 0 mmol_c dm⁻³ de Al³⁺; 21 mmol_c dm⁻³ de H+Al; 62% de saturação por bases; 9,7 mg dm⁻³ de S-SO₄²⁻.

1.2.3 Delineamento experimental e tratamentos

No experimento foi adotado o delineamento em blocos casualizados, distribuídos em 18 tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos por 18 cultivares de café arábica (Tabela 2). Todas as mudas dos cultivares estudados foram enxertadas em porta enxerto de *C. canephora* cultivar Apoatã (IAC 2258), que possui resistência ao *Meloidogyne exigua* e *M. incognita*. Cada parcela consistiu de 60 plantas, formadas por duas fileiras de 20 m de comprimento cada uma.

Tabela 2 - Principais características dos genótipos avaliados

Cultivares	Porte	Cor de fruto	Ciclo de maturação	Resistência/Tolerância
IAC Ouro Verde	Médio	Vermelho	Intermediário	-
IAC 125 RN	Baixo	Vermelho	Precoce	Ferrugem, <i>M. incognita</i> raça 1 e <i>M. exigua</i>
Topázio MG 1190	Baixo	Amarelo	Intermediário	-
Obatã IAC 1669-20	Baixo	Vermelho	Tardio	Ferrugem
IAC Ouro Amarelo	Médio	Amarelo	Intermediário	-
IAC Ouro Verde H5010-05	Baixo	Vermelho	Intermediário	-
Catuaí Vermelho IAC 144	Baixo	Vermelho	Intermediário	-
Catuaí Amarelo IAC 62	Baixo	Amarelo	Intermediário	-
Tupi IAC 4093	Médio	Vermelho	Tardio	Ferrugem
Araponga MG	Médio	Vermelho	Intermediário	Ferrugem
IAPAR 59	Baixo	Vermelho	Precoce	Ferrugem, <i>M. exigua</i> e parcialmente à Mancha aureolada
IPR 98	Baixo	Vermelho	Precoce	Ferrugem e <i>Phoma</i>
IPR 99	Baixo	Amarelo	Tardio	Ferrugem
IPR 102	Médio	Vermelho	Tardio	Ferrugem, Mancha aureolada e <i>Phoma</i>
IPR 103	Médio	Vermelho	Tardio	Parcialmente à Ferrugem, Mancha aureolada e <i>Phoma</i>
IPR 106	Médio	Amarelo	Tardio	<i>M. paranaenses</i> , <i>M. incognita</i> e parcialmente à Mancha aureolada
IPR 107	Baixo	Vermelho	Intermediário	Ferrugem
IPR 100	Médio	Vermelho	Tardio	<i>M. paranaenses</i> , <i>M. incognita</i> e <i>M. exigua</i>

Fontes: EMBRAPA CAFÉ (2022); Martins *et al.* (2013).

1.2.4 Condução do experimento

Em março de 2014, a área foi preparada com uma gradagem pesada e duas passadas de grade leve (niveladora) em área total. Também foi realizada uma subsolagem apenas nas linhas de plantio, com posterior abertura dos sulcos, os quais receberam 1300 kg ha⁻¹ de calcário. Após isso, foram realizadas a adubação no sulco de plantio, que constou de 1300 kg ha⁻¹ de superfosfato simples, 9300 kg ha⁻¹ de cama

de frango e 4700 kg ha⁻¹ torta de mamona. Após a aplicação dos fertilizantes e preparo dos sulcos, em abril de 2014, foi realizado o plantio das mudas com cinco a seis pares de folhas, no espaçamento 3,30 x 0,65 m, perfazendo um total de 4.662 plantas ha⁻¹.

Na área do experimento, todas as plantas foram irrigadas por gotejamento, sendo o manejo da irrigação feito baseado em tensiômetros instalados e análise dos dados climáticos coletados no local, quando os tensiômetros chegam a 10 Kpa, foi feita a irrigação por gotejo (Tabela 2). A lâmina de água depende da situação e do regime pluviométrico.

Calagens, gessagens, adubações, tratamentos fitossanitários e práticas culturais foram realizados de maneira homogênea em todo o experimento e de acordo com os critérios do produtor. As doses de fertilizantes foram variáveis, dependendo da carga e de análises químicas de solo e folhas realizadas pelo produtor no talhão onde o experimento estava alocado. Após o início do experimento, as adubações foram realizadas conforme manejo do produtor, utilizando os fertilizantes formulados N-P₂O₅-K₂O sólidos 23-00-18 e 13-00-08 (Tabela 3). As doses dos fertilizantes foram parceladas entre os meses de outubro e fevereiro de cada ano agrícola. As aplicações foram feitas de forma mecanizada, distribuindo-se uniformemente os fertilizantes sob a projeção da copa das plantas de café. Também foram realizadas aplicações de esterco e palha de café (casca dos frutos).

Além da adubação via solo, em todos os anos agrícolas foram realizadas fertirrigações, entre os meses de setembro a fevereiro, com Nitran (30% N), ácido bórico (17% B), sulfato de magnésio (9% Mg; 12% S), nitrato de cálcio (15,5% N; 19% Ca) (Tabela 3). Os demais insumos, como KCl (60% K), sulfato de zinco (20% Zn; 10,5% S), cobre e DaCafé (10% N; 2,4% S; 1% B; 0,05% Mo; 5% Zn) foram aplicados via foliar nos meses de setembro e fevereiro.

Tabela 3 - Calagens, gessagens, adubações, épocas e modo de aplicação

Produto	Modo de aplicação	Dose por ano agrícola	Meses											
			A	S	O	N	D	J	F	M	A	M		
2015/16														
23-00-18	Solo	1200 kg ha ⁻¹			x	X	x	x	x					
Ácido bórico	Fertirrigação	13,6 kg ha ⁻¹		x	x	X	x	x	x					
Nitran	Fertirrigação	750 kg ha ⁻¹		x	x	X	x	x	x	x	x			
Cobre	Foliar	2 kg ha ⁻¹			x		x				x			x
KCl	Foliar	0,6 kg ha ⁻¹				X								
Sulfato de Zn	Foliar	1,8 kg ha ⁻¹				X								
DaCafé	Foliar	3 L ha ⁻¹								x	x			
2016/17														
Calcário	Solo	2 t ha ⁻¹	x											
Gesso	Solo	1 t ha ⁻¹	x											
23-00-18	Solo	1500 kg ha ⁻¹			x	X	x		x	x				
Esterco	Solo	1,5 t ha ⁻¹				X								
Ácido bórico	Fertirrigação	13,2 kg ha ⁻¹		x	x	X	x	x			x			
Nitran	Fertirrigação	650 kg ha ⁻¹		x	x	X	x	x			x	x		
Sulfato de Mg	Fertirrigação	49 kg ha ⁻¹						x	x					
Cobre	Foliar	3 L ha ⁻¹						x			x			x
KCl	Foliar	1,2 kg ha ⁻¹		x										
Sulfato de Zn	Foliar	2,3 kg ha ⁻¹		x										
DaCafé	Foliar	3 L ha ⁻¹					x		x			x		
2017/18														
Calcário	Solo	0,75 t ha ⁻¹		x										
23-00-18	Solo	1600 kg ha ⁻¹			x	X	x	x			x			
Ácido bórico	Fertirrigação	10 kg ha ⁻¹			x	X	x	x	x	x	x	x		
Nitran	Fertirrigação	685 kg ha ⁻¹			x	X	x	x	x	x	x	x		
Sulfato de Mg	Fertirrigação	113,0 kg ha ⁻¹					x	x	x	x				
Cobre	Foliar	3 L ha ⁻¹					x	x			x	x		
DaCafé	Foliar	3 L ha ⁻¹								x			x	
2018/19														
Gesso	Solo	490 kg ha ⁻¹			x									
23-00-18	Solo	900 kg ha ⁻¹				X	x	x			x			
Ácido bórico	Fertirrigação	11,8 kg ha ⁻¹				X	x	x	x	x	x	x		
Nitran	Fertirrigação	595 kg ha ⁻¹				X	x	x	x					
Cobre	Foliar	2 L ha ⁻¹						x			x			x
DaCafé	Foliar	3 L ha ⁻¹					x		x					
2019/20														
Calcário	Solo	0,4 t ha ⁻¹	x											
23-00-18	Solo	1700 kg ha ⁻¹			x	X	x	x			x			
Ácido bórico	Fertirrigação	9,9 kg ha ⁻¹				x	X			x	x			
Nitrato de Ca	Fertirrigação	706 kg ha ⁻¹		x	x	X				x	x			
Cobre	Foliar	2 L ha ⁻¹							x		x	x	x	
DaCafé	Foliar	3 L ha ⁻¹						x		x				
2020/21														
Calcário	Solo	0,2 t ha ⁻¹				X								
13-00-08	Solo	822 kg ha ⁻¹					x				x			
23-00-18	Solo	308 kg ha ⁻¹				X								
Nitrato de Ca	Fertirrigação	1000 kg ha ⁻¹				X	x	x	x	x	x	x		
Ácido bórico	Fertirrigação	12,5 kg ha ⁻¹				X	x	x	x	x	x	x		
Cobre	Foliar	2 L ha ⁻¹									x			x
DaCafé	Foliar	3 L ha ⁻¹						x		x		x		
2021/22														
13-00-08	Solo	1550 kg ha ⁻¹				X		x	x					
23-00-18	Solo	383 kg ha ⁻¹		x										
Nitrato de Ca	Fertirrigação	468 kg ha ⁻¹		x	X			x	x					
Ácido bórico	Fertirrigação	6,2 kg ha ⁻¹		x				x	x					
Cobre	Foliar	2 L ha ⁻¹						x			x		x	
DaCafé	foliar	3 L ha ⁻¹						x					x	

O manejo fitossanitário foi realizado de acordo com os critérios do produtor. Em todos os anos agrícolas, foram utilizados de forma alternada e em toda a área experimental os seguintes produtos: Piori Xtra[®] (fungicida azoxistrobina+ciproconazol), Vertimec[®] 18 EC (acaricida/inseticida/nematicida abamectina), Batent[®] (inseticida/acaricida abamectina), Verdadero[®] 600 WG (inseticida/fungicida tiametoxam+ciproconazol), Alto[®] 100 (fungicida ciproconazol), Amistar Top[®] (fungicida azoxistrobina+difenoconazol), Supera[®] (fungicida hidróxido de cobre), Actara[®] 250 WG (inseticida tiametoxam), Voliam Targo[®] (inseticida/acaricida clorantraniliprole+abamectina) e Durivo[®] (inseticida tiametoxam+clorantraniliprole), Ochima[®] (adjuvante penetrante do grupo químico ésteres alquílicos do ácido fosfórico), Nimbus[®] (adjuvante penetrante do grupo químico dos hidrocarbonetos alifáticos).

O manejo de plantas daninhas foi realizado com Zapp[®] QI 620 (herbicida seletivo sistêmico glifosato potássico, para aplicação em pós-emergência de plantas infestantes). Todas as aplicações de herbicidas foram feitas com o pulverizador de barras protegida, para evitar problemas com deriva no cafeeiro.

Nos meses de março ou abril de cada ano, a partir de 2015, foi realizado o preparo para colheita, através da arruação, visando manter a projeção da copa das plantas na terra limpa, puxando todas as folhas e galhos do cafeeiro e plantas daninhas para a entrelinha.

1.2.5 Variáveis analisadas

1.2.5.1 Produtividade de grãos e rendimento de benefício

Para avaliação da produtividade de grãos, um total de 10 plantas foram colhidas por parcela, sendo cinco plantas de cada fileira da parcela. Os frutos colhidos em cada parcela foram secos em terreiro suspenso até 11% de umidade (café “em coco”) e posteriormente pesados (Martins *et al.*, 2023). O rendimento de café beneficiado foi determinado a partir do processamento de subamostras de 300 g de cada parcela, sendo os grãos pesados em balança de precisão, para o cálculo do rendimento, em % (Martins *et al.*, 2023). Posteriormente, foi calculada a produtividade de café beneficiado, em kg ha⁻¹, considerando o número total de plantas por hectare e o rendimento de cada amostra. Os dados de produtividade e rendimento já foram

explorados por Martins *et al.* (2023), portanto, serão apresentados aqui apenas para embasar os resultados de teor, partição e exportação de nutrientes nos frutos.

1.2.5.2 Teor de nutrientes nos frutos e exportação de nutrientes

Para determinação dos teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos frutos, uma amostra de aproximadamente 2,0 kg de café “em coco” de cada parcela foi seca em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas, sendo em seguida moídas (frutos inteiros, ou seja, grãos + casca) em moinho tipo Wiley, com peneiras de 1 mm de malha. Os teores de nutrientes foram determinados segundo metodologias descritas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Para se obter as quantidades de nutrientes exportados, multiplicou-se a produtividade de café “em coco” (base seca) de cada parcela, que por sua vez foi calculada a partir dos valores de produtividade de café beneficiado e rendimento de benefício (Martins *et al.*, 2023), pelos respectivos teores dos nutrientes e os valores foram convertidos para kg ha⁻¹ (N, P, K, Ca, Mg e S) ou g ha⁻¹ (B, Cu, Fe, Mn e Zn).

1.2.5.3 Teor e acúmulo de nutrientes na casca e nos grãos

Nos anos agrícolas 2019/20, 2020/21 e 2021/22, amostras dos frutos colhidos e secos (frutos “em coco”) de cada parcela foram submetidas ao beneficiamento e separadas em casca e grãos. Assim, as amostras de casca e grãos foram secas em estufa a 65 °C, por 72 horas, e moídas em moinho do tipo Wiley, com peneiras de 1 mm de malha. Em seguida, as amostras foram submetidas à análise para determinação dos teores dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), segundo os métodos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Foram então calculados as quantidades e percentagens de cada nutrientes acumuladas na casca do fruto e nos grãos beneficiados.

1.2.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011). Também foram realizadas análises de correlação

linear de Pearson entre a produtividade de grãos, o teor no fruto e a exportação de cada nutriente, utilizando o programa SigmaPlot 14.0.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Produtividade grãos e rendimento de café beneficiado

As produtividades de café beneficiado e os rendimentos das diferentes cultivares ao longo dos anos são apresentados na Tabela 4. Estes dados foram apresentados e discutidos no estudo de Martins *et al.* (2023), que investigou o desempenho produtivo e a qualidade física de grãos ao longo de sete safras, portanto, não serão discutidos no presente estudo.

Tabela 4 - Produtividade de grãos e rendimento de grãos beneficiados de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de sete safras estudadas e na média das safras, em Vera Cruz-SP

Cultivar	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
Produtividade de grãos beneficiados (kg ha ⁻¹)								
IAC Ouro Verde	2900b	2889c	2828d	1724c	5693a	3576a	3333e	3278c
IAC 125 RN	3761a	1687e	4980a	1467c	5892a	2294b	4182d	3466b
Topázio MG 1190	3161b	2691c	2638d	1501c	5575a	2986a	3456e	3144d
Obatã IAC 1669-20	3156b	2195d	4213b	1296d	5717a	3487a	4567c	3519b
IAC Ouro Amarelo	2598c	3046b	2643d	1921c	4291b	3152a	3371e	3003d
IAC OV H5010-05	3186b	2641c	2876d	2087b	4533b	2997a	2373f	2956d
Catuaí VE IAC 144	2829b	2176d	3292c	1860c	4454b	3319a	3682e	3088d
Catuaí AM IAC 62	3005b	2389d	2998d	1544c	4532b	3042a	4023d	3076d
Tupi IAC 4093	3690a	1658e	3875b	868d	5781a	1209c	5001b	3155d
Araponga MG	3042b	3185b	4095b	794d	5383a	2133b	4495c	3304c
IAPAR 59	2208d	3264b	4179b	2749a	4865b	3280a	3404e	3421b
IPR 98	2193d	2157d	3849b	1807c	4591b	2427b	4487c	3073d
IPR 99	3147b	2394d	3014d	1038d	5373a	1657c	5210b	3119d
IPR 102	1926d	2497d	4004b	1863c	5331a	3290a	4552c	3352c
IPR 103	2582c	3055b	3333c	2259b	4297b	3277a	4178d	3283c
IPR 106	2781b	3775a	3321c	3084a	4197b	3663a	2411f	3319c
IPR 107	2872b	3118b	3955b	1872c	4887b	3185a	5277b	3595b
IPR 100	3208b	2750c	4125b	2723a	5871a	2621b	5953a	3893a
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	9,0	10,4	6,5	14,0	6,0	9,7	6,7	3,4
Rendimento de benefício (%)								
IAC Ouro Verde	55,1a	50,0b	40,8c	54,0b	50,8c	52,8c	49,3b	50,4c
IAC 125 RN	50,4b	44,7c	40,1c	46,8d	47,2d	46,7d	41,3e	45,3d
Topázio MG 1190	58,4a	47,9b	41,7c	50,7c	51,0c	52,1c	48,8b	50,1c
Obatã IAC 1669-20	56,7a	47,9b	44,9a	54,6b	56,2a	52,4c	50,2b	51,8b
IAC Ouro Amarelo	57,3a	48,8b	41,5c	51,6c	51,2c	50,8c	47,0c	49,7c
IAC OV H5010-05	57,1a	50,1b	41,4c	50,9c	49,6c	51,0c	46,2c	49,8c
Catuaí VE IAC 144	54,2a	49,3b	43,0b	53,9b	51,3c	54,6b	49,4b	50,8b
Catuaí AM IAC 62	60,8a	48,6b	42,0c	51,2c	51,2c	51,4c	51,6a	51,0b
Tupi IAC 4093	45,8b	39,7d	36,9d	45,1d	46,4d	42,4e	38,1d	42,1e
Araponga MG	54,1a	48,8b	44,9a	50,2c	50,0c	50,3c	49,3b	49,7c
IAPAR 59	54,8a	53,2a	42,5b	54,1b	52,3b	56,7a	45,7c	51,3b
IPR 98	52,1b	49,7b	42,5b	51,4c	51,4c	53,3c	46,3c	49,5c
IPR 99	55,8a	49,3b	43,5b	52,1c	55,9a	48,7d	48,8b	50,6b
IPR 102	49,2b	50,8b	41,4c	52,9b	52,8b	54,7b	47,8c	49,9c
IPR 103	56,1a	50,5b	43,8b	51,1c	53,4b	52,5c	49,7b	51,0b
IPR 106	60,7a	54,2a	46,2a	54,6b	57,5a	54,5b	53,0a	54,4a
IPR 107	56,1a	54,6a	43,1b	57,2a	53,0b	58,2a	51,8a	53,4a
IPR 100	52,8b	49,5b	44,3a	53,2b	56,2a	50,1c	49,9b	50,8b
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	5,2	2,3	2,7	2,9	2,2	3,3	3,6	3,4

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

1.3.2 Teor, exportação e partição de nitrogênio na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica

O teor de N nos frutos secos de café (denominados café "em coco") variou de acordo com a cultivar, em algumas safras específicas (2015/16, 2016/17, 2020/21 e 2021/22) e na média das safras (Tabela 5). Na safra 2015/16, a cv. IPR 107 apresentou o maior teor de N nos frutos ($24,2 \text{ g kg}^{-1}$), porém sem diferir das cultivares IPR 99, IPR102, IPR 103, IAC 125 RN, Catuaí AM IAC 62 e Tupi IAC 4093, enquanto a IPR 106 teve o menor ($17,9 \text{ g kg}^{-1}$). Na safra seguinte, a IAC 125 RN apresentou o maior teor de N ($26,0 \text{ g kg}^{-1}$), e a IPR 103 apresentou o menor ($17,9 \text{ g kg}^{-1}$). Já em 2020/21, a Tupi IAC 4093 teve o maior teor de N ($23,1 \text{ g kg}^{-1}$), enquanto a Topázio MG 1190 apresentou o menor ($13,7 \text{ g kg}^{-1}$). Na última safra avaliada (2021/22), as cultivares IPR 103 ($25,0 \text{ g kg}^{-1}$) e IAC 125 RN ($19,9 \text{ g kg}^{-1}$) tiveram os maiores e menores teores de N nos frutos, respectivamente. Considerando a média dos sete anos agrícolas, os teores mais baixos de N foram de $20,3 \text{ g kg}^{-1}$ (IPR 98 e IPR 106), enquanto o maior teor médio foi de $22,2 \text{ g kg}^{-1}$ (IAPAR 59). Constata-se, de maneira geral, relativamente pequena variação no teor de N nos frutos das diferentes cultivares de café arábica. Catani *et al.* (1967) avaliaram a MS de 1.000 frutos de café da cv. Bourbon Vermelho, colhidos no estágio de cereja, e encontraram teor de N de $15,3 \text{ g kg}^{-1}$. De acordo com Quaggio *et al.* (2022), o teor médio de N nos frutos de café com casca é de $19,1 \text{ g kg}^{-1}$. No presente estudo, os valores na maioria das cultivares e safras ficaram acima desses valores. Contudo, as safras 2015/16, 2017/18 e 2019/20 tiveram valores próximos ou abaixo do citado pelos referidos autores. Mancuso *et al.* (2014), ao estudar o efeito do K na produtividade na nutrição e exportação de macronutrientes do café arábica cv. Mundo Novo obtiveram concentrações de N entre $20,4$ a $26,3 \text{ g kg}^{-1}$ no fruto seco de café, resultados semelhantes aos encontrados neste estudo. Os teores de N nos frutos das diferentes cultivares apresentam variações significativas entre as safras, indicando influências que podem estar relacionadas a diversos fatores, como altitude, condições climáticas, práticas agrícolas, adubação e interações genéticas (Laviola *et al.*, 2006; 2008).

O teor de N nos frutos de café se correlacionou negativamente e ligeiramente com a produtividade de grãos ($r = -0,383$; $p < 0,001$), sugerindo um certo efeito diluição, ou seja, quando a planta de café tem uma carga mais alta de frutos, ocorreu concentração menor de N nos mesmos.

Tabela 5 - Teor e exportação de nitrogênio nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de sete safras estudadas e na média das safras, em Vera Cruz-SP

Cultivar	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
Teor de N (g kg ⁻¹)								
IAC Ouro Verde	19,7b	23,5a	17,1a	27,8a	20,0a	21,7a	21,7b	21,7a
IAC 125 RN	21,9a	26,0a	16,7a	28,1a	18,8a	19,9a	19,9b	21,6a
Topázio MG 1190	19,4b	22,8a	20,0a	25,9a	20,5a	13,7b	24,7a	21,0b
Obatã IAC 1669-20	19,0b	23,3a	18,4a	25,0a	19,1a	21,8a	21,0b	21,1b
IAC Ouro Amarelo	18,2b	21,6b	16,8a	25,4a	18,5a	21,8a	23,8a	20,9b
IAC OV H5010-05	20,7b	22,3a	17,4a	22,8a	18,9a	22,3a	20,1b	20,6b
Catuaí VE IAC 144	20,7b	21,9a	15,4a	23,8a	19,8a	21,5a	23,1a	20,9b
Catuaí AM IAC 62	22,4a	21,0b	18,9a	25,6a	19,3a	22,0a	23,4a	21,8a
Tupi IAC 4093	22,6a	24,0a	17,6a	26,3a	16,8a	23,1a	23,9a	22,0a
Araponga MG	19,4b	21,8a	16,4a	25,0a	19,5a	22,2a	20,8b	20,7b
IAPAR 59	19,9b	23,7a	20,3a	26,3a	19,9a	23,0a	22,4a	22,2a
IPR 98	20,8b	20,6b	18,4a	26,4a	20,9a	14,2b	20,7b	20,3b
IPR 99	21,7a	20,9b	19,1a	28,9a	19,2a	22,3a	22,9a	22,1a
IPR 102	23,5a	20,4b	17,5a	27,6a	20,2a	22,4a	22,0b	21,9a
IPR 103	21,3a	17,9b	21,5a	26,0a	19,4a	21,0a	25,0a	21,7a
IPR 106	17,9b	18,7b	17,7a	26,8a	17,9a	20,1a	23,0a	20,3b
IPR 107	24,2a	20,5b	20,5a	24,1a	21,0a	20,3a	22,2b	21,8a
IPR 100	18,8b	19,7b	18,2a	26,9a	20,7a	22,4a	21,4b	21,0b
Teste F	<0,001	<0,001	0,213	0,225	0,699	0,037	0,004	0,020
CV (%)	7,43	7,2	13,0	8,9	10,8	15,5	6,9	3,4
Exportação de N (kg ha ⁻¹)								
IAC Ouro Verde	104,4b	135,5a	118,7b	88,7c	226,6a	146,0a	146,4e	138,1c
IAC 125 RN	162,9a	98,2b	207,8a	87,7c	234,7a	98,0b	200,6c	155,7a
Topázio MG 1190	104,9b	127,6a	126,3b	76,7c	224,0a	76,4b	175,0d	130,1d
Obatã IAC 1669-20	106,4b	106,3b	174,0a	59,7d	194,5a	145,2a	191,6c	139,7c
IAC Ouro Amarelo	82,4c	135,1a	106,3b	94,7c	155,8b	134,9a	170,6d	125,7d
IAC OV H5010-05	116,2b	117,1b	120,6b	93,5c	172,1b	130,8a	102,8f	121,9d
Catuaí VE IAC 144	108,0b	96,5b	117,6b	81,1c	172,6b	130,7a	171,7d	125,5d
Catuaí AM IAC 62	111,2b	103,4b	135,2b	77,8c	171,3b	130,5a	182,3d	130,2d
Tupi IAC 4093	182,2a	99,8b	185,0a	49,5d	209,5a	65,8b	313,9a	158,0a
Araponga MG	108,9b	142,2a	149,7b	39,3d	210,3a	93,9b	189,0c	133,3c
IAPAR 59	79,9c	145,8a	201,5a	133,6a	185,4b	132,1a	166,8d	149,3b
IPR 98	88,2c	89,4b	166,1a	92,7c	186,8b	68,5b	200,4c	127,4d
IPR 99	123,1b	100,6b	132,2b	57,8d	184,2b	76,2b	245,2b	131,3d
IPR 102	91,8c	100,2b	169,1a	97,2c	204,8a	134,7a	209,5c	143,9b
IPR 103	97,9c	108,3b	163,4a	114,5b	156,1b	131,5a	210,8c	140,3c
IPR 106	81,5c	129,9a	127,2b	151,0a	129,9b	135,2a	104,7f	122,8d
IPR 107	123,8b	117,7b	190,7a	78,4c	193,4a	111,4a	225,6b	148,7b
IPR 100	115,2b	109,9b	171,2a	138,1a	217,7a	116,9a	255,8b	160,7a
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	12,0	11,0	16,9	14,7	12,6	16,5	9,4	5,0

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A exportação de N nos frutos variou significativamente entre as cultivares em todas as safras e de forma expressiva entre as safras analisadas (Tabela 5). Na safra

2015/16, a cv. Tupi IAC 4093 teve a maior exportação de N ($182,2 \text{ kg ha}^{-1}$), porém sem diferir da IAC 125 RN ($162,9 \text{ kg ha}^{-1}$), enquanto a cv. IAPAR 59 apresentou o menor valor ($79,9 \text{ kg ha}^{-1}$). No ano seguinte, a IAPAR 59 exportou mais N ($145,8 \text{ kg ha}^{-1}$), e a IPR 98 teve a menor exportação ($84,4 \text{ kg ha}^{-1}$). Em 2017/18, a IAC 125 RN alcançou a maior exportação de N ($207,8 \text{ kg ha}^{-1}$), enquanto a IAC Ouro Amarelo teve a menor ($106,3 \text{ kg ha}^{-1}$). Na safra 2018/19, a IPR 106 teve a maior exportação ($151,0 \text{ kg ha}^{-1}$) e a Araponga MG registrou a menor ($39,3 \text{ kg ha}^{-1}$). Na safra 2019/20, a IAC 125 RN liderou com exportação de $234,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, enquanto a IAC Ouro Amarelo teve a menor exportação ($155,8 \text{ kg ha}^{-1}$). Em 2020/21, a IAC Ouro Verde teve a maior exportação ($146,0 \text{ kg ha}^{-1}$), enquanto a Tupi IAC 4093 teve a menor ($65,8 \text{ kg ha}^{-1}$). Como na primeira safra, a Tupi IAC 4093 também teve a maior exportação de N ($313,9 \text{ kg ha}^{-1}$) na safra 2021/22, enquanto a menor ($102,8 \text{ kg ha}^{-1}$) foi registrada na cv. IAC OV H5010-05. Na média das sete safras, as cultivares IPR 100, Tupi IAC 4093 e IAC 125 RN tiveram as maiores exportações de N, com $160,7$, $158,0$ e $155,7 \text{ kg ha}^{-1}$. Por outro lado, o menor foi de $121,9 \text{ kg N ha}^{-1}$ na cv. IAC OV H5010-05.

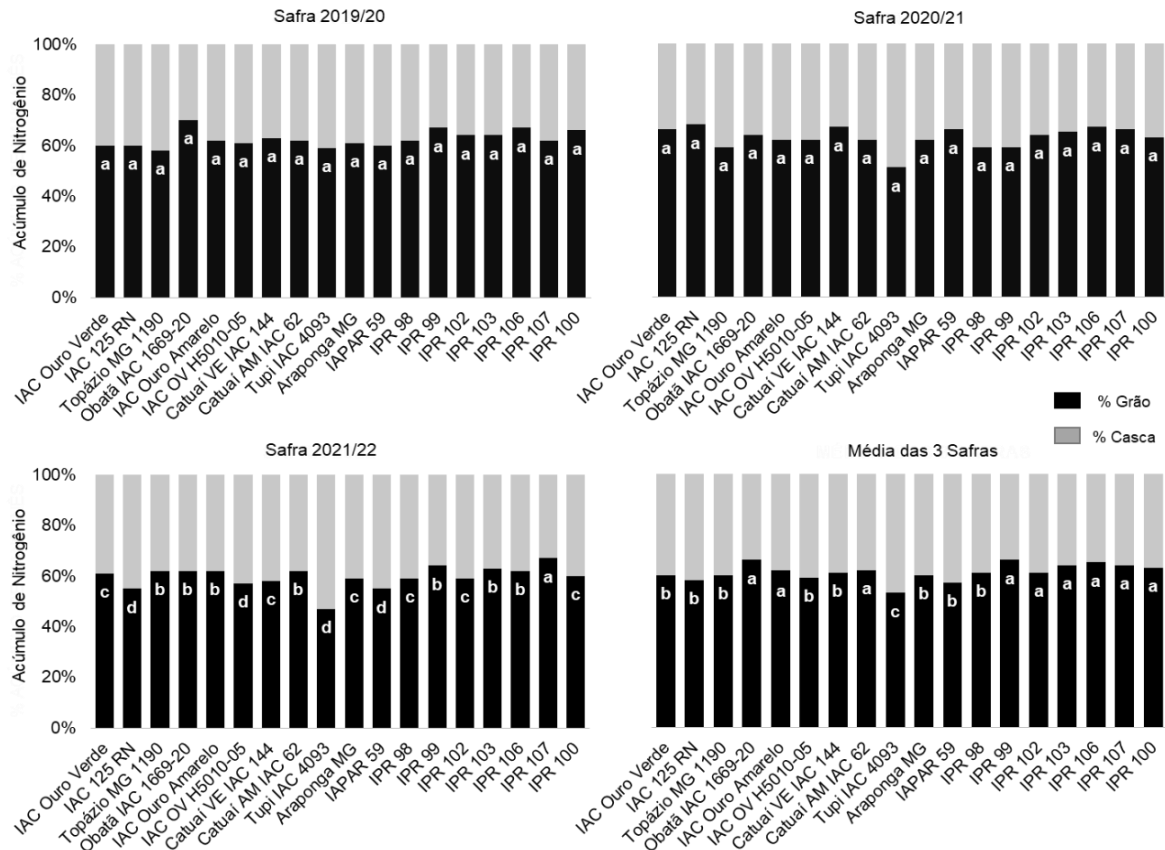
O teor de N nos frutos não se correlacionou com a exportação de N ($r = -0,047$; $p = 0,361$). Por outro lado, a produtividade de grãos teve forte correlação com a exportação de N ($r = 0,889$; $p < 0,001$). Isso sugere que, quanto maior a produtividade, mais N proporcionalmente a planta irá acumular nos grãos.

A avaliação da percentagem de N acumulada na casca e nos grãos de café indicou que não houve diferença entre as cultivares quanto à partição do N entre as partes dos frutos colhidos nas safras 2019/20 e 2020/21 (Figura 1). No entanto, na safra 2021/22 e na média das três safras, houve diferenças entre as cultivares. Em 2021/2022, a cv. IPR 107 apresentou maior percentagem de acúmulo de N nos grãos (67%) que as demais cultivares, enquanto o menor valor (47%) foi observado na cv. Tupi IAC 4093. Na média das três safras, destacaram-se diversas cultivares, como Obatã IAC 1669-20, IAC Ouro Amarelo, Catuai AM IAC 62, IPR 99, IPR 102, IPR 103, IPR 106, IPR 107 e IPR 100 (com 66, 62, 62, 66, 61, 64, 65, 64 e 63% do N acumulado nos grãos, respectivamente). De maneira geral, uma maior percentagem do N contido nos frutos (em média 61%) foi acumulada nos grãos beneficiados. O estudo realizado por Malavolta *et al.* (1963), sobre a nutrição mineral do cafeeiro e a extração de macronutrientes pelas cv. Bourbon Amarelo, Caturra Amarelo e Mundo Novo, levaram à conclusão, por meio da análise química dos frutos, de que não havia diferenças significativas na composição química entre as cultivares investigadas, tanto na casca

quanto no grão. Observaram também, que a casca continha cerca de 50% de N do total exportado. Já Garcia, Carvalho e Garcia (2009), ao avaliar acúmulo de nutrientes nos frutos do cafeeiro arábica, constataram que cerca de 55% do N extraído foi para o grão e 45% para a casca de café. Esses últimos resultados foram semelhantes aos relatados por Quaggio *et al.* (2022) e os deste estudo. Esses resultados indicam uma variação sazonal na resposta das cultivares ao acúmulo de N, sendo a cv. IPR 107, em especial, demonstrou uma notável capacidade de acumulação de N nos frutos e partição dos mesmos para os grãos (Tabela 5; Figura 1), ressaltando seu potencial genético nesses atributos específicos.

Vários estudos descrevem diferenças nas concentrações nutricionais entre genótipos de café arábica, sob as mesmas condições de manejo (Martins *et al.*, 2015; Gomes *et al.*, 2016). Isso está relacionado a uma ampla variabilidade interespecífica entre os genótipos, especialmente em relação a características como crescimento, ciclo de maturação, acúmulo de nutrientes e tolerância ao estresse (Marraccine *et al.*, 2012). Por outro lado, a diferença na alocação de N entre grãos e cascas entre as safras e cultivares sugere que fatores genéticos e ambientais podem desempenhar papéis cruciais na composição química dos frutos de café. Essas descobertas têm implicações práticas para a gestão nutricional das lavouras, podendo orientar escolhas de cultivares e estratégias de fertilização para otimizar a qualidade do café produzido. A quantidade de N aplicada em cada ano agrícola variou de 333 a 573 kg ha⁻¹ (Tabela 3). Devido à influência direta no crescimento vegetativo e na produção de frutos do cafeeiro arábica, uma nutrição adequada com N tende a fortalecer a cultura e a aumentar a média de produtividade. Grandes quantidades do elemento são exportadas dos campos cultivados a cada colheita, devido à alta translocação de N para os frutos do cafeeiro (Catani; Moraes, 1958; Malavolta, 1993), algo que foi notado neste estudo, onde, para produtividades de grãos >5000 kg ha⁻¹ (83 sc ha⁻¹), entre 226 e 314 kg ha⁻¹ de N são exportados. Além disso, os resultados deste estudo demonstram também que diferentes cultivares de uma mesma espécie podem ser distintos em termos de concentração, acúmulo e partição do N nas diferentes partes do fruto (Tabela 5; Figura 1), como já mencionado por outros autores (Amaral *et al.*, 2011; Prezotti; Fullin, 2007; Carvalho *et al.*, 2015).

Figura 1 - Percentagem de acúmulo de nitrogênio na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de três safras e na média das safras, em Vera Cruz-SP. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade



1.3.3 Teor, exportação e partição de fósforo na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica

Quanto ao teor de P no café “em coco”, somente na safra 2018/19 não houve diferença entre as cultivares avaliadas (Tabela 6). Em 2015/16, as cultivares IPR 100 ($1,46 \text{ g kg}^{-1}$), IAC OV H5010-05 e Catuaí VE IAC 144 ($1,14 \text{ g kg}^{-1}$), apresentaram os maiores e menores teores de P, respectivamente. Na safra seguinte, a IPR 107 teve o maior teor ($3,61 \text{ g kg}^{-1}$) e a IAC OV H5010-05 teve o menor ($3,02 \text{ g kg}^{-1}$). Na safra 2017/18, a IPR 106 registrou o maior teor ($4,40 \text{ g kg}^{-1}$), e a Obatã IAC 1669-20 o menor ($3,34 \text{ g kg}^{-1}$). Em 2019/20, as cultivares IPR 99 e IPR 103 tiveram teores mais elevados ($1,26 \text{ g kg}^{-1}$), enquanto a Topázio MG 1190 teve o menor ($0,75 \text{ g kg}^{-1}$).

Tabela 6 - Teor e exportação de fósforo nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de sete safras estudadas e na média das safras, em Vera Cruz-SP

Cultivar	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
IAC Ouro Verde	1,20b	3,43a	3,80c	0,89a	0,93b	0,94b	1,79a	1,86b
IAC 125 RN	1,21b	3,42a	3,80c	1,29a	0,80b	1,28a	1,53b	1,91b
Topázio MG 1190	1,21b	3,23b	3,90c	0,99a	0,75b	1,40a	1,74a	1,89b
Obatã IAC 1669-20	1,21b	3,42a	3,34d	1,08a	1,14a	1,51a	1,82a	1,94b
IAC Ouro Amarelo	1,22b	3,20b	3,83c	0,75a	0,91b	1,46a	1,81a	1,89b
IAC OV H5010-05	1,14b	3,02b	3,75c	1,03a	1,24a	1,55a	1,74a	1,92b
Catuaí VE IAC 144	1,14b	3,14b	3,83c	1,25a	1,03b	1,61a	1,79a	1,97a
Catuaí AM IAC 62	1,20b	3,31a	3,77c	0,89a	1,07b	1,49a	1,48b	1,89b
Tupi IAC 4093	1,37a	3,42a	3,80c	1,30a	1,08b	1,68a	1,81a	2,07a
Araponga MG	1,37a	3,21b	3,97c	1,08a	0,97b	1,64a	0,53d	1,83b
IAPAR 59	1,38a	3,17b	3,78c	0,82a	1,05b	1,46a	1,39b	1,87b
IPR 98	1,34a	3,12b	4,15b	0,95a	1,03b	1,53a	1,09c	1,89b
IPR 99	1,40a	3,35a	4,00b	1,16a	1,26a	1,64a	1,53b	2,06a
IPR 102	1,36a	3,35a	4,08b	0,95a	0,90b	1,52a	1,33b	1,93b
IPR 103	1,37a	3,31a	4,28a	0,89a	1,26a	1,61a	1,63a	2,05a
IPR 106	1,35a	3,51a	4,40a	0,99a	1,00b	1,45a	1,46b	2,03a
IPR 107	1,34a	3,61a	4,14b	0,71a	1,00b	1,29a	1,74a	1,98a
IPR 100	1,46a	3,53a	4,34a	0,69a	0,98b	0,92b	1,58b	1,93b
Teste F	<0,001	0,001	0,0001	0,032	0,004	<0,001	<0,001	<0,002
CV (%)	7,4	4,5	4,1	22,3	14,0	9,3	9,5	2,8
Cultivar	Exportação de P (kg ha ⁻¹)							
	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
IAC Ouro Verde	6,4c	19,7b	26,4d	2,9b	10,5a	6,4b	12,2c	12,1c
IAC 125 RN	9,1b	12,9d	47,2a	4,0a	10,0a	6,3b	15,2b	15,0a
Topázio MG 1190	6,6c	18,1b	24,7d	2,9b	8,4a	8,1a	12,5c	11,6c
Obatã IAC 1669-20	6,8c	15,6c	31,6c	2,6b	11,7a	10,1a	16,6b	13,6b
IAC Ouro Amarelo	5,5c	20,0b	24,4d	2,8b	7,6a	9,1a	13,0c	11,8c
IAC OV H5010-05	6,4c	15,9c	26,1d	4,3a	11,3a	9,1a	8,9d	11,7c
Catuaí VE IAC 144	6,0c	13,9d	29,3c	4,2a	9,0a	9,8a	13,3c	12,2c
Catuaí AM IAC 62	6,0c	16,3c	26,9d	2,7b	9,5a	8,8a	11,6c	11,7c
Tupi IAC 4093	11,1a	14,3d	39,9b	2,5b	13,5a	4,8c	23,9a	15,7a
Araponga MG	7,7b	20,9b	36,1b	1,7b	10,5a	7,0b	4,9e	12,7c
IAPAR 59	5,6c	19,5b	37,3b	4,2a	9,8a	8,4a	10,3c	13,6b
IPR 98	5,6c	13,6d	37,5b	3,3b	9,3a	7,0b	10,6c	12,4c
IPR 99	8,0b	16,3c	27,8d	2,3b	12,1a	5,6c	16,4b	12,6c
IPR 102	5,3c	16,5c	39,6b	3,4b	9,1a	9,2a	12,7c	13,7b
IPR 103	6,3c	20,1b	32,5c	3,9a	10,2a	10,1a	13,7c	13,8b
IPR 106	6,2c	24,5a	31,7c	5,6a	7,4a	9,7a	6,6e	13,1c
IPR 107	7,0c	20,6b	38,1b	2,4b	9,2a	7,1b	17,7b	14,6a
IPR 100	8,9b	19,7b	40,5b	3,6a	10,2a	4,8c	18,8b	15,2a
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0165	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	12,1	10,0	7,7	25,3	17,3	12,4	10,6	4,7

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em 2020/21, todas as cultivares apresentaram teores similares, exceto as cultivares IAC Ouro Verde ($0,94 \text{ g kg}^{-1}$) e IPR 100 ($0,92 \text{ g kg}^{-1}$), cujos teores de P foram significativamente menores que os das demais cultivares (Tabela 6). Na última safra, a cv. Araponga MG teve o menor teor ($0,53 \text{ g kg}^{-1}$) e a Obatã IAC 1669-20 ($1,82 \text{ g kg}^{-1}$) o maior teor de P nos frutos. Na média das safras, a cv. Tupi IAC 4093 apresentou o maior teor de P nos frutos ($2,07 \text{ g kg}^{-1}$), porém sem diferir de várias outras, enquanto o menor teor médio foi de $1,83 \text{ g kg}^{-1}$, observado na Araponga MG. Destaca-se também que, o teor de P nos frutos de café não se correlacionou com a produtividade de grãos ($r = -0,063$; $p = 0,224$), sugerindo ausência de efeito diluição.

Na análise da exportação de P, somente na safra 2019/20 não houve variação significativa entre as cultivares (Tabela 6). Em 2015/16, a cv. Tupi IAC 4093 apresentou exportação de P ($11,1 \text{ kg ha}^{-1}$) significativamente maior que as demais, enquanto a IPR 102 teve a menor ($5,3 \text{ kg ha}^{-1}$), apesar de não diferir de diversas outras cultivares. Na safra seguinte, a IPR 106 liderou com $24,5 \text{ kg ha}^{-1}$, e a IAC 125 RN teve o menor valor ($12,9 \text{ kg ha}^{-1}$). Em 2017/18, a IAC 125 RN registrou a maior exportação ($47,2 \text{ kg ha}^{-1}$), e a IAC Ouro Amarelo teve a menor ($24,4 \text{ kg ha}^{-1}$). Novamente, na safra 2018/19, a IPR 106 teve a maior exportação ($5,6 \text{ kg ha}^{-1}$), enquanto a Araponga MG registrou a menor ($1,7 \text{ kg ha}^{-1}$). Em 2020/21, a Obatã IAC 1669-20 e a IPR 103 apresentaram maiores valores ($10,1 \text{ kg ha}^{-1}$) e a Tupi IAC 4093 e IPR 100 tiveram os menores ($4,08 \text{ kg ha}^{-1}$). Na safra 2021/22, a cv. Tupi IAC 4093 se destacou, com exportação de $23,9 \text{ kg ha}^{-1}$ de P, enquanto a Araponga MG novamente teve o menor valor. Considerando a média das safras, as cultivares Tupi IAC 4093, IPR 100, IAC 125 RN e IPR 107 foram superiores, com valores de exportação de P variando de $14,6$ a $15,7 \text{ kg ha}^{-1}$. A menor exportação média de P ($11,6 \text{ kg ha}^{-1}$) foi observada na cv. Topázio MG 1190.

Catani *et al.* (1965) demonstraram que para produzir 2000 kg de café “em coco”, a quantidade de nutrientes remobilizadas pelos frutos do cafeeiro cv. Mundo Novo foi de aproximadamente $1,8 \text{ kg}$ de P. Catani *et al.* (1967) verificaram teor de $1,60 \text{ g kg}^{-1}$ de P na MS de frutos de cafeeiros arábica cv. Bourbon Vermelho, com 9 anos de idade. Já Quaggio *et al.* (2022) relataram que para produção de 1000 kg de café beneficiado, os frutos “em coco” acumularam $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ de P. Esses valores são inferiores à maioria daqueles observados no presente trabalho, especialmente nos anos de safras mais altas (Tabela 6). De forma geral, a variação dos teores e na exportação de P pelos frutos secos pode estar relacionada com a força do dreno, ou

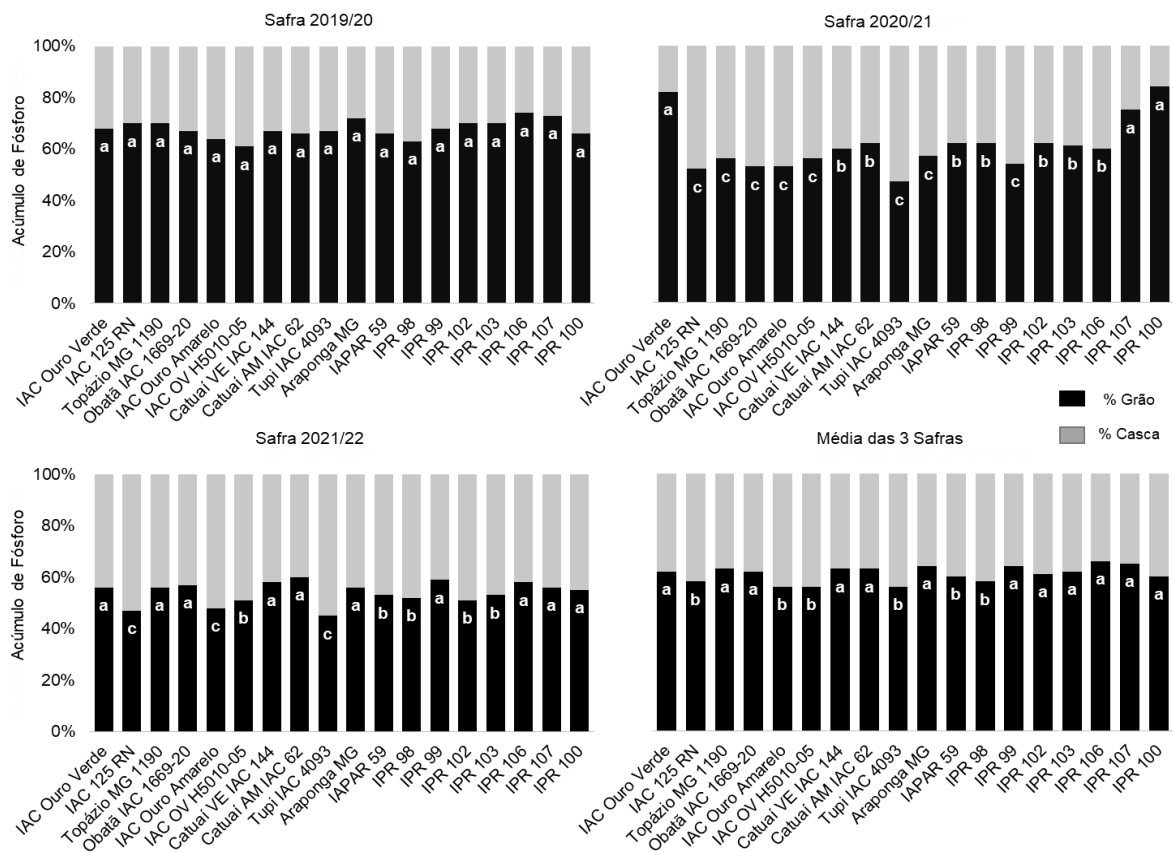
seja, quanto maior a carga de frutos, maior será a força de dreno dos frutos e maior poderá ser a partição do nutriente para os mesmos (Laviola *et al.*, 2006; 2008). Os resultados deste trabalho sugerem isso, já que na 2018/19, uma safra baixa, os valores de teor e exportação de P nos frutos de café foram menores do que em anos de safra alta, como 2017/18, 2019/20 e 2021/22 (Tabelas 4 e 6). As análises de correlação dos dados do presente trabalho indicaram forte e positiva correlação da exportação de P com o teor do nutriente nos frutos ($r = 0,866$; $p < 0,001$), enquanto a correlação com a produtividade de grãos foi menor ($r = 0,334$; $p < 0,001$). Além disso, o P é um macronutriente que é requerido e exportado apenas em pequenas quantidades pela cultura do café (Guimarães *et al.*, 2011).

Durante a safra 2019/20, não foram observadas diferenças significativas na percentagem de acúmulo de P na casca ou grãos nas diferentes cultivares de café analisadas, apesar dos valores terem variado de 61 a 73% de P acumulado nos grãos (Figura 2). No entanto, nas safras subsequentes, houve variações expressivas entre algumas cultivares. Em 2020/21, as cultivares IPR 100 (84%), IAC Ouro Verde (82%) e IPR 107 (75%) apresentaram valores expressivamente maiores que as demais cultivares e em comparação com a safra anterior. Essa variação pode indicar diferenças na dinâmica de absorção e alocação do P durante o desenvolvimento dos frutos. Já em 2021/22, as cultivares IAC Ouro Verde, Topázio MG 1190, Obatã IAC 1669-20, Catuaí VE IAC 144, Catuaí AM IAC 62, Araponga MG, IPR 99, IPR 106, IPR 107 e IPR 100 (56%, 56%, 57%, 58%, 60%, 56%, 59%, 58%, 56% e 55%, respectivamente) se destacaram perante as demais quando a percentagem de P acumulada nos grãos, em relação à casca. Esses resultados sugerem uma influência sazonal e varietal na dinâmica de partição do P antes os grãos e a casca do fruto de café.

Considerando as médias das três safras, algumas cultivares, como IAC Ouro Verde, Topázio MG 1190, Obatã IAC 1669-20, Catuaí VE IAC 144, Catuaí AM IAC 62, Araponga MG, IPR 99, IPR 102, IPR 103, IPR 106, IPR 107 e IPR 100 (62%, 63%, 62%, 63%, 63%, 64%, 64%, 61%, 62%, 66%, 65% e 60%, respectivamente), exibiram, consistentemente, percentagem maior de acumulação de P nos grãos, em comparação com a casca. Estudo realizado por Malavolta *et al.* (1963), sobre a nutrição mineral do cafeeiro e a extração de macronutrientes pelas cultivares Bourbon Amarelo, Caturra Amarelo e Mundo Novo, demonstrou que não havia diferenças significativas na composição química entre as cultivares investigadas, tanto com

relação a composição da casca quanto dos grãos. Observaram também, que a casca continha cerca de 60% de P do total exportado. Por outro lado, Garcia, Carvalho e Garcia (2009) avaliaram partição de nutrientes entre os grãos e a casca dos frutos do cafeeiro arábica e constataram que 64% do P foi para o grão. Esses últimos resultados foram semelhantes aos deste estudo.

Figura 2 - Percentagem de acúmulo de fósforo na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de três safras e na média das safras, em Vera Cruz-SP. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade



1.3.4 Teor, exportação e partição de potássio na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica

O K é o nutriente em maiores teores nos frutos do café arábica (Chaves; Sarruge, 1984; Laviola *et al.*, 2006; 2008; Quaggio *et al.*, 2022), resultados também observados no presente trabalho (Tabelas 5 e 7). Somente na safra 2019/20, os teores de K nos frutos secos de café não foram influenciados pelas cultivares (Tabela 7).

Tabela 7 - Teor e exportação de potássio nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de sete safras estudadas e na média das safras, em Vera Cruz-SP

Cultivar	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
	Teor de K (g kg ⁻¹)							
IAC Ouro Verde	29,0a	27,7b	31,1a	34,8a	31,4a	24,4a	34,9b	30,1a
IAC 125 RN	27,0b	29,5a	25,7b	33,3a	33,0a	21,1b	33,8b	29,8b
Topázio MG 1190	27,2b	29,5a	27,3a	34,2a	32,5a	24,1a	36,7a	30,0a
Obatã IAC 1669-20	27,5b	27,6b	27,4a	34,1a	35,5a	23,5a	35,9a	30,2a
IAC Ouro Amarelo	27,6b	29,5a	28,3a	33,5a	34,4a	23,8a	37,2a	30,5a
IAC OV H5010-05	27,4b	28,5a	30,0a	33,3a	38,4a	23,9a	34,2b	30,6a
Catuaí VE IAC 144	27,6b	28,3a	27,6a	34,1a	35,8a	23,4a	38,8a	31,2a
Catuaí AM IAC 62	33,1a	26,6b	27,7a	34,3a	35,5a	23,8a	37,7a	31,2a
Tupi IAC 4093	28,7b	26,4b	24,4b	34,0a	33,5a	22,8b	33,0b	29,4b
Araponga MG	31,8a	28,2a	24,7b	31,2b	33,4a	22,3b	36,3a	29,6b
IAPAR 59	30,4a	29,7a	27,2a	31,8b	30,9a	21,9b	36,3a	29,4b
IPR 98	28,6b	26,4b	23,1b	34,2a	32,7a	20,6b	35,9a	29,4b
IPR 99	30,6a	29,2a	24,3b	34,6a	35,1a	22,0b	37,7a	30,4a
IPR 102	28,0b	25,8b	22,6b	32,3b	28,0a	21,8b	36,6a	28,1b
IPR 103	27,4b	27,5b	25,1b	32,1b	32,8a	24,2a	35,8a	28,9b
IPR 106	26,8b	27,7b	24,5b	32,8b	31,8a	24,3a	39,0a	29,6b
IPR 107	26,7b	30,8a	25,4b	31,5b	33,3a	23,3a	34,9b	29,3b
IPR 100	31,6a	26,7b	31,1a	32,8b	34,7a	25,3a	32,2b	29,8b
Teste F	<0,001	0,026	0,001	0,050	0,031	0,012	<0,001	0,001
CV (%)	6,16	5,87	7,5	4,17	8,14	6,05	4,56	2,42
	Exportação de K (kg ha ⁻¹)							
IAC Ouro Verde	153,0c	160,3a	198,8d	111,0c	350,7b	165,5a	236,5e	196,5b
IAC 125 RN	201,3b	111,4b	385,6a	103,3c	410,7a	103,9c	342,8c	237,0a
Topázio MG 1190	147,3c	165,8a	163,2d	101,7c	353,3b	138,3b	261,0e	190,1b
Obatã IAC 1669-20	153,9c	126,6 b	255,6c	81,1d	361,0b	156,2a	325,8c	208,6b
IAC Ouro Amarelo	124,9d	184,0a	175,1d	124,5c	288,7c	147,2a	267,1e	187,4b
IAC OV H5010-05	152,2c	150,6b	197,1d	136,7b	351,3b	139,9b	175,8 f	186,2b
Catuaí VE IAC 144	144,7c	125,0b	229,8c	117,6c	310,3c	142,8b	289,1d	194,2b
Catuaí AM IAC 62	164,0c	130,9b	197,5d	103,6c	314,8c	140,8b	293,9d	192,2b
Tupi IAC 4093	232,6a	109,9b	285,2b	65,1d	417,2a	65,0d	434,0a	229,9a
Araponga MG	178,4b	183,3a	222,2c	49,1d	358,6b	94,9c	331,0c	202,5b
IAPAR 59	121,7d	182,6a	244,0c	161,8a	288,1c	126,0b	269,7e	199,1b
IPR 98	120,4d	114,3b	245,8c	119,7c	291,7c	94,2c	347,9c	190,6b
IPR 99	172,7b	142,3b	160,2d	69,2d	337,7b	75,1d	403,0b	194,3b
IPR 102	109,8d	125,9b	235,3c	114,2c	283,5c	131,5b	348,0c	192,6b
IPR 103	126,2d	166,4a	170,4d	141,8b	263,8c	151,6a	300,6d	188,7b
IPR 106	122,1d	193,5a	180,9d	185,2a	231,5c	163,5a	177,5f	179,2b
IPR 107	138,1c	176,8a	225,8c	103,0c	307,5c	127,2b	354,6c	204,7b
IPR 100	191,9b	148,4b	236,3c	167,0a	364,6b	132,5b	384,1b	232,1a
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	11,3	12,0	9,6	12,8	9,1	10,5	7,7	5,2

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na safra 2015/16, a cv. Catuaí AM IAC 62 registrou o maior teor de K nos frutos ($33,1 \text{ g kg}^{-1}$), apesar de não ter diferido de algumas outras, enquanto a IPR 107 teve o menor ($26,7 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 7). Em 2016/2017, contudo, houve uma inversão e a IPR 107 apresentou o maior teor de K ($30,8 \text{ g kg}^{-1}$), e as cultivares Tupi IAC 4093 e IPR 98 apresentaram os menores ($26,4 \text{ g kg}^{-1}$). Em 2017/18, as cultivares IAC Ouro Verde e IPR 100 tiveram os maiores teores de K ($31,1 \text{ g kg}^{-1}$), enquanto a IPR 102 apresentou o menor ($22,6 \text{ g kg}^{-1}$). Em 2018/19, o maior teor de K ($34,8 \text{ g kg}^{-1}$) foi observado na cv. IAC Ouro Verde, enquanto o menor na Araponga MG ($31,2 \text{ g kg}^{-1}$). Na safra seguinte, a IPR 100 apresentou o maior teor de K ($25,3 \text{ g kg}^{-1}$), e a cv. IPR 98 apresentou o menor ($20,6 \text{ g kg}^{-1}$). Na última safra, a cv. IPR 106 ($39,0 \text{ g kg}^{-1}$) e IPR 100 ($32,2 \text{ g kg}^{-1}$) tiveram o maior e menor teores de K nos frutos, respectivamente. Considerando a média das sete safras, o teor mais baixo de K foi de $28,1 \text{ g kg}^{-1}$ (IPR 102), enquanto os maiores teores médios foram de $31,2 \text{ g kg}^{-1}$ (Catuaí VE IAC 144 e Catuaí AM IAC 62). Pouca variação nos teores de K entre as cultivares na média das safras reflete a alternância de posição entre os cultivares quando aos teores de K no fruto. Catani *et al.* (1965) encontraram teores de K nos frutos secos de café arábica cv. Mundo Novo variando de $21,8$ a $22,5 \text{ g kg}^{-1}$. Catani *et al.* (1967) verificaram teor de K de $23,3 \text{ g kg}^{-1}$ de MS de frutos maduros de café cv. Bourbon Vermelho, com nove anos de idade. Chaves e Sarruge (1984) verificaram teor de K nos frutos maduros de café cv. Catuaí Amarelo de aproximadamente $28,0 \text{ g kg}^{-1}$. Quaggio *et al.* (2022) reportaram teor de $21,9 \text{ g kg}^{-1}$ de K em frutos inteiro de K. Esses valores, com exceção dos de Chaves e Sarruge (1984), são bastante inferiores aos observados no presente trabalho.

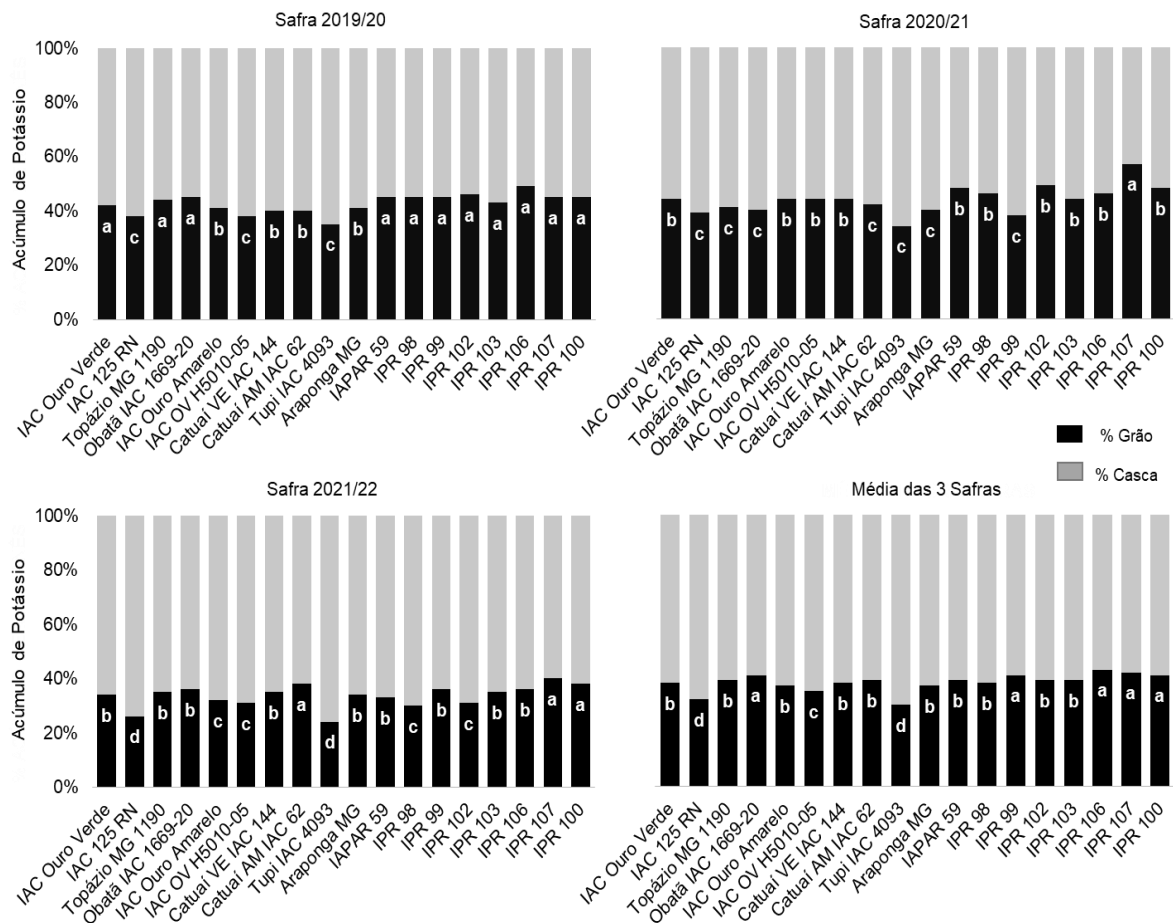
A exportação de K nos frutos secos variou significativamente entre as cultivares em todas as safras avaliadas e teve grande variação no decorrer das safras (Tabela 7). A cv. Tupi IAC 4093 apresentou as maiores exportações de K nos frutos nas safras 2015/16, 2019/20 e 2021/22, com valores de $232,6$, $417,2$ e $434,0 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. Na safra 2016/17, a maior exportação de K foi observada na cv. IPR 106 ($193,5 \text{ kg ha}^{-1}$). Em 2017/18, a IAC 125 RN alcançou a maior exportação de K ($385,6 \text{ kg ha}^{-1}$), enquanto em 2018/19, a IPR 106 teve maior valor ($185,2 \text{ kg ha}^{-1}$). A cv. IAC Ouro Verde registrou o maior teor de exportação de K ($165,5 \text{ kg ha}^{-1}$) na safra 2020/21. Por outro lado, as menores exportações de K nos frutos foram observadas nas cultivares IPR 102 ($109,8 \text{ kg ha}^{-1}$), Tupi IAC 4093 ($109,9 \text{ kg ha}^{-1}$), IPR 99 ($160,2 \text{ kg ha}^{-1}$), Araponga MG ($49,1 \text{ kg ha}^{-1}$), IPR 106 ($231,5 \text{ kg ha}^{-1}$), Tupi IAC 4093 ($65,0 \text{ kg ha}^{-1}$).

ha⁻¹) e IAC OV H5010-05 (175,8 kg ha⁻¹), nas safras 2015/16, 2016/17, 2017/18, 2018/19, 2019/20, 2020/21 e 2021/22, respectivamente. Na média das sete safras, a cv. IAC 125 RN teve a maior média de exportação de K (237,0 kg ha⁻¹), porém seguida de perto por IPR 100 (232,1 kg ha⁻¹) e Tupi IAC 4093 (229,9 kg ha⁻¹), enquanto a menor foi de 179,2 kg ha⁻¹ para a cv. IPR 106. O K é um nutriente altamente móvel e com uma função crucial no transporte de fotoassimilados no floema (Marschner, 1995), com isso, a deposição de biomassa no fruto está diretamente relacionada ao acúmulo de K. No presente trabalho, verificou-se fraca correlação do teor de K nos frutos com a produtividade de grãos ($r = 0,229$; $p < 0,001$), porém bem mais elevadas correlações do teor ($r = 0,504$; $p < 0,001$) e da produtividade ($r = 0,918$; $p < 0,001$) com a exportação de K. A partir dos dados de Malavolta *et al.* (1963), calculou-se a remoção de macronutrientes para produzir uma tonelada de café “em coco” e obteve-se para o K o valor de 52,7 kg. De acordo com Matiello *et al.* (2016), um cafeeiro na fase adulta necessita, para cada saca de café produzida por hectare, uma média de 4,9 kg de K. Entretanto, essa quantidade é utilizada, tanto para a vegetação quanto para a produção dos cafeeiros, sendo que 2,5 kg ha⁻¹ de K seriam destinados à produção de frutos. Portanto, para cada tonelada de grãos beneficiados produzidos, seriam exportados cerca de 42 kg de K. Segundo Quaggio *et al.* (2022), em média, são exportados 48,6 kg de K para cada tonelada de grãos de café beneficiado produzido. No presente trabalho e considerando a média das sete safras, a quantidade de K exportada pelos frutos inteiros (casca+grãos) para cada tonelada de grãos beneficiados colhidos variou de 54 a 72,9 kg, ou seja, valores bem maiores que os relatados na literatura.

Nas três últimas safras (2019/20, 2020/21 e 2021/22) e na média delas, houve diferença entre as cultivares de café arábica quanto à partição de K entre a casca e os grãos do fruto (Figura 3). Praticamente todas as cultivares acumularam mais K na casca do que nos grãos. Em 2019/20, diversas cultivares, incluindo IAC Ouro Verde (42%), Topázio MG 1190 (44%), Obatã IAC 1669-20 (45%), IAPAR 59 (45%), IPR 98 (45%), IPR 99 (45%), IPR 102 (46%), IPR 103 (43%), IPR 106 (49%), IPR 107 (45%) e IPR 100 (45%), tiveram valores superior de acúmulo de K nos grãos do que as demais. Na safra 2020/21, destacou-se a cv. IPR 107, que foi uma exceção ao acumular uma maior proporção de K nos grãos (57%). Em 2021/22, as cultivares IPR 107 (40%), Catuaí AM IAC 62 (38%) e IPR 100 (38%) apresentaram os maiores acúmulos de K nos grãos. Na média das três safras, as cultivares Obatã IAC 1669-20,

IPR 99, IPR 106, IPR 107 e IPR 100 acumularam as maiores quantidade de K nos grãos (41-43%).

Figura 3 - Percentagem de acúmulo de potássio na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de três safras e na média das safras, em Vera Cruz-SP. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade



Esses resultados destacam variações significativas na alocação de K entre grãos e cascas, indicando influências genéticas e sazonais na partição deste nutriente entre as estruturas do fruto de café arábica. Malavolta *et al.* (1963) observaram que a casca dos frutos do cafeeiro arábica continha cerca de 70% de K do total exportado. Garcia, Carvalho e Garcia (2009) constataram que cerca de 41% do K exportado foi para o grão e 59% para a casca do fruto do café arábica, resultados semelhantes ao deste estudo. Conforme observado por Arzolla *et al.* (1963), o grão de café apresenta uma concentração de N superior, em comparação a casca, que por sua vez apresenta maior concentração de K. A casca do fruto de café é notavelmente rica em

carboidratos, proteínas e minerais, especialmente em K (Woiciechowski *et al.*, 2000; Lima *et al.*, 2014).

1.3.5 Teor, exportação e partição de cálcio na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica

Na análise do teor de Ca nos frutos secos de café, somente nas safras 2016/17 e 2019/20 não houve diferenças entre as cultivares avaliadas (Tabela 8). Em 2015/16, as cultivares IPR 100 (3,21 g kg⁻¹) e IAC OV H5010-05 (2,02 g kg⁻¹), apresentaram os maiores e menores teores de Ca, respectivamente. Na safra 2017/18, a cv. IAC 125 RN teve o maior teor 4,42g kg⁻¹ e a IPR 103 teve o menor teor (2,55 g kg⁻¹). Em 2018/19, a IPR 100 registrou o maior teor (7,96 g kg⁻¹), já a IPR 103 o menor (4,85 g kg⁻¹). Em 2020/21, as cultivares IPR 102 (4,11 g kg⁻¹), IAPAR 59 (3,88 g kg⁻¹) e IPR 107 (3,62 g kg⁻¹) tiveram os maiores teores de Ca nos frutos e diferiram de todas as demais. Em 2021/22, houve grande variação entre as cultivares, com a cv. IPR 100 apresentando o maior teor de Ca (10,1 g kg⁻¹) e a Catuaí VE IAC 144 menor (2,70 g kg⁻¹). Na média das sete safras, as cultivares IPR 100 e IPR 107 apresentaram os maiores teores de Ca nos frutos secos (5,15 e 5,02 g kg⁻¹, respectivamente), enquanto os menores teores (4,09-4,13 g kg⁻¹) foram verificados nas cultivares Obatã IAC 1669-20, IPR 103 e IAC 125 RN.

Observou-se um aumento dos teores de Ca nos frutos das primeiras safras para a safra 2017/18 (Tabela 8). As aplicações de calcário, gesso e nitrato de cálcio a partir da safra 2016/17 (Tabela 3), provavelmente, resultaram no aumento dos níveis de Ca nos frutos do cafeeiro. A presença de elevada concentração de Ca²⁺ no solo durante esse período, pode ter facilitado a absorção desse elemento pelas plantas, elevando sua concentração nos frutos. A manutenção de teores adequados de Ca²⁺ no solo é essencial para uma absorção contínua, pois este elemento é considerado imóvel pela planta (Faquin, 2005). Catani *et al.* (1965) encontraram teores de Ca nos frutos secos de café arábica cv. Mundo Novo variando de 1,6 a 2,5 g kg⁻¹. Já Catani *et al.* (1967) verificaram teor de Ca de 3,1 g kg⁻¹ em frutos secos de cafeeiro arábica adultos cv. Bourbon Vermelho. Chaves e Sarruge (1984) encontraram teor de Ca de cerca de 2,0 g kg na MS de frutos maduros de cafeeiro arábica cv. Catuaí Amarelo (11 2077-2-5-39).

Tabela 8 - Teor e exportação de cálcio nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de sete safras estudadas e na média das safras, em Vera Cruz-SP

Cultivar	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
	Teor de Ca (g kg ⁻¹)							
IAC Ouro Verde	3,13a	3,45a	3,25b	7,50a	5,12a	2,78b	6,03c	4,47c
IAC 125 RN	2,92a	3,11a	4,42a	5,76b	4,90a	2,64b	5,13d	4,13c
Topázio MG 1190	2,28b	3,52a	3,73a	7,50a	5,71a	2,80b	7,26b	4,69b
Obatã IAC 1669-20	2,57b	3,94a	3,54a	7,41a	5,49a	2,87b	2,78f	4,09c
IAC Ouro Amarelo	2,42b	4,01a	3,59a	7,13a	5,05a	3,10b	3,82e	4,16c
IAC OV H5010-05	2,02b	4,28a	3,25b	7,41a	5,19a	3,03b	4,77d	4,28c
Catuaí VE IAC 144	2,50b	3,73a	3,94a	7,41a	5,71a	2,83b	2,70f	4,12c
Catuaí AM IAC 62	3,07a	3,52a	3,73a	6,68a	5,41a	3,05b	3,67e	4,17c
Tupi IAC 4093	2,64b	3,63a	3,94a	7,13a	6,07a	3,12b	5,64d	4,60b
Araponga MG	3,00a	3,32a	3,45a	6,22b	5,63a	2,96b	6,30c	4,41c
IAPAR 59	2,64b	3,39a	2,63b	6,49a	6,44a	3,88a	6,34c	4,54b
IPR 98	2,50b	3,52a	3,18b	7,23a	6,15a	3,23b	7,69b	4,79b
IPR 99	2,43b	3,38a	3,11b	6,77a	5,05a	2,99b	7,69b	4,49c
IPR 102	2,35b	3,70a	2,97b	6,59a	5,19a	4,11a	7,73b	4,67b
IPR 103	2,50b	3,11a	2,55b	4,85b	4,75a	3,27b	7,72b	4,11c
IPR 106	2,57b	3,56a	2,63b	5,03b	4,83a	3,30b	8,03b	4,28c
IPR 107	2,92a	3,94a	2,97b	5,95b	6,07a	3,62a	9,62a	5,02a
IPR 100	3,21a	3,38a	2,84b	7,96a	5,56a	3,00b	10,1a	5,15a
Teste F	0,002	0,023	<0,001	0,002	0,581	0,046	<0,001	<0,001
CV (%)	11,8	10,2	12,6	12,5	16,5	15,1	7,7	5,65
	Exportação de Ca (kg ha ⁻¹)							
IAC Ouro Verde	16,4b	20,0a	22,7d	24,0c	57,3a	19,0a	40,6g	28,6d
IAC 125 RN	21,8a	11,7b	55,0a	18,2d	61,2a	13,0b	51,8f	33,2c
Topázio MG 1190	12,3d	19,9a	23,7d	22,4d	62,4a	16,1b	51,4f	29,7d
Obatã IAC 1669-20	14,4c	18,0b	32,9c	17,5d	55,6a	19,3a	25,1i	26,1e
IAC Ouro Amarelo	11,0d	25,1a	23,0d	26,6c	42,3b	19,2a	27,4i	24,9e
IAC OV H5010-05	11,3d	22,7a	22,8d	30,1c	47,6b	17,8a	24,5i	25,2e
Catuaí VE IAC 144	13,0c	16,4b	30,1c	25,3c	49,1b	17,3a	20,2i	24,5e
Catuaí AM IAC 62	15,2c	17,2b	26,6c	20,4d	48,1b	18,2a	28,6i	24,9e
Tupi IAC 4093	21,4a	15,1b	41,5b	13,8e	75,5a	8,9b	74,1d	35,8b
Araponga MG	16,8b	21,6a	31,5c	9,7e	60,4a	12,6b	57,4f	30,0d
IAPAR 59	10,7d	20,8a	25,9c	33,0b	60,1a	22,7a	47,2g	31,5c
IPR 98	10,5d	15,3b	28,9c	25,5c	55,0a	14,8b	74,2d	32,0c
IPR 99	13,7c	16,4b	21,5d	13,7e	48,5b	10,1b	82,2c	29,5d
IPR 102	9,3d	18,4b	28,7c	23,7c	52,7a	24,8a	73,6d	33,0c
IPR 103	11,5d	18,9b	19,6d	21,5d	38,3b	20,6a	65,1e	27,9d
IPR 106	11,7d	24,9a	18,8d	28,4c	35,0b	22,3a	36,5h	25,4e
IPR 107	14,9c	22,6a	27,3c	19,5d	55,8a	19,9a	97,9b	36,9b
IPR 100	19,4a	18,9b	26,7c	40,7a	58,4a	15,7b	120,5a	42,9a
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	14,7	15,1	15,8	19,1	16,6	19,2	7,8	7,6

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

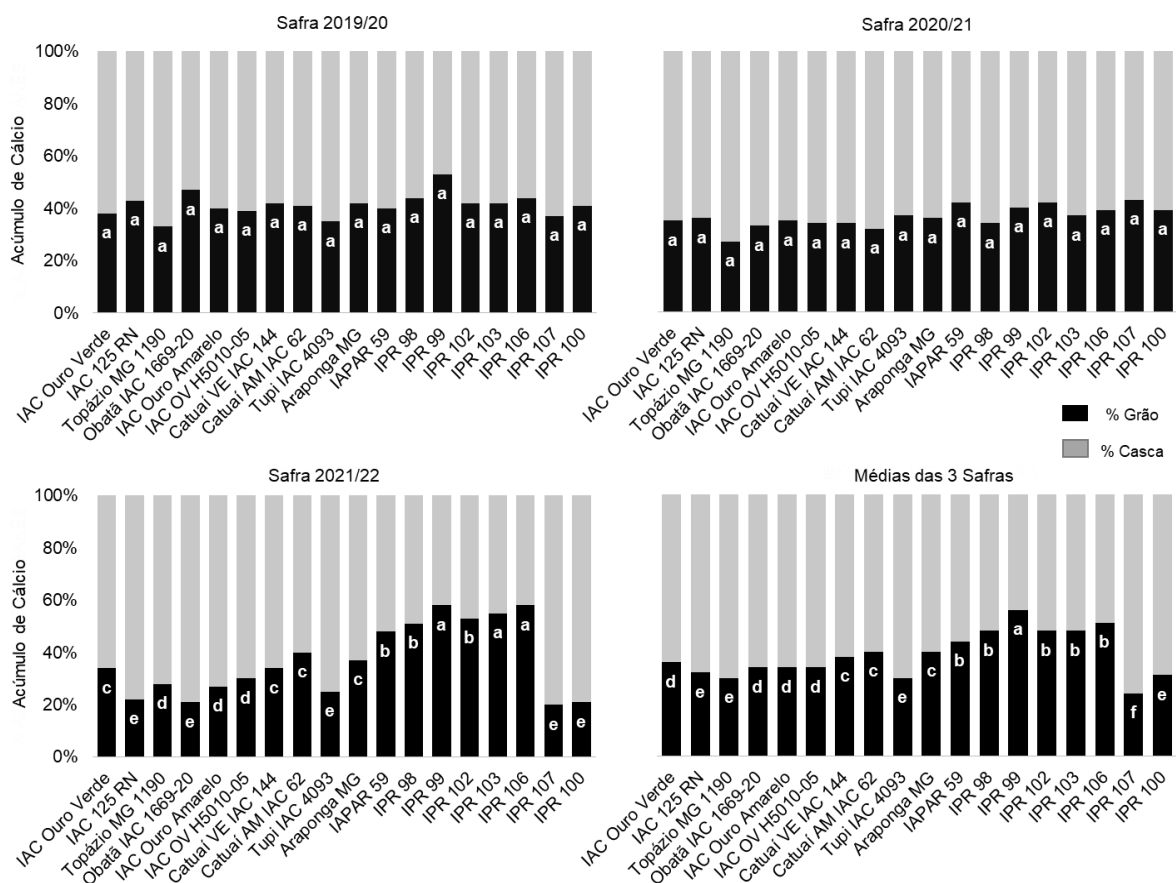
Os valores encontrados no presente trabalho (Tabela 8) são relativamente superiores os relatados por Catani *et al.* (1965, 1967) e Chaves e Sarruge (1984), o que se deve, provavelmente, a melhor fertilidade do solo e nutrição das plantas, além do uso de irrigação, no presente estudo. Vale destacar também, que, com exceção da última safra, houve maior variação nos teores de Ca entre as safras do que entre as cultivares de café arábica estudadas, sugerindo que fatores ambientais e/ou a carga de frutos tenha maior influência na concentração de Ca nos frutos do que fatores genéticos. Apesar disso, houve apenas muito fraca correlação do teor de Ca nos frutos com a produtividade de grãos ($r = 0,145$; $p = 0,004$).

Quanto à exportação de Ca nos frutos, houve variação entre as cultivares avaliadas em todas as safras avaliadas (Tabela 8). Em 2015/16, a cv. IAC 125 RN ($21,8 \text{ kg ha}^{-1}$), Tupi IAC 4093 ($21,4 \text{ g kg}^{-1}$) e IPR 100 ($19,4 \text{ g kg}^{-1}$) se destacaram com as maiores exportações de Ca, enquanto a menor exportação ($9,3 \text{ kg ha}^{-1}$) foi registrada na IPR 102. Na safra 2016/2017, a IAC Ouro Amarelo liderou com $25,1 \text{ kg ha}^{-1}$, e a IAC 125 RN teve o menor valor ($11,7 \text{ kg ha}^{-1}$). Em 2017/18, a IAC 125 RN registrou a maior exportação ($55,0 \text{ kg ha}^{-1}$) e a IPR 106 teve a menor ($18,8 \text{ kg ha}^{-1}$). Na safra 2018/19, a IPR 100 teve a maior exportação ($40,7 \text{ kg ha}^{-1}$), enquanto a Araponga MG registrou a menor ($9,7 \text{ kg ha}^{-1}$). Em 2019/20, a Tupi IAC 4093 liderou com $75,5 \text{ kg ha}^{-1}$, enquanto a IPR 106 teve a menor exportação. Em 2020/21, a IPR 102 apresentou a maior exportação de Ca ($24,8 \text{ kg ha}^{-1}$) e a Tupi IAC 4093 teve a menor exportação ($8,9 \text{ kg ha}^{-1}$). Na safra 2021/22, a cv. IPR 100 se destacou com maior exportação de Ca ($120,5 \text{ kg ha}^{-1}$), enquanto a Catuaí VE IAC 144 teve a menor ($20,1 \text{ kg ha}^{-1}$). Considerando a média das safras analisadas, as cultivares IPR 100 e Catuaí VE IAC 144 tiveram as maiores e menores exportações de Ca nos frutos secos ($42,9$ e $24,5 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente). Tanto o teor nos frutos ($r = 0,682$; $p < 0,001$) quanto a produtividade de grãos ($r = 0,768$; $p < 0,001$) tiveram forte correlação com a exportação de Ca.

A análise dos dados referentes à partição do Ca entre os grãos e a casca do fruto café revelou padrões interessantes nas diferentes safras (Figura 4). Nas safras 2019/20 e 2020/21, não houve diferença significativa na percentagem de acúmulo de Ca nos grãos, indicando uma estabilidade entre as cultivares nesses dois anos agrícolas, com acúmulo médio de Ca nos grãos de 38,8%. Contudo, na safra 2021/22, as cultivares IPR 99, IPR 103 e IPR 106 registraram 58, 55 e 58% de acumulação de Ca nos grãos, respectivamente, valores muito superiores aos observados nas

cultivares IPR 100, IPR 107, IAC 125 RN, Obatã IAC 1669-20 e Tupi IAC 4093 (20-25%), por exemplo. Na média das safras, a cv. IPR 99 se destacou com a maior partição do Ca para os grãos (56%), ou seja, uma percentagem maior de acúmulo de Ca nos grãos em comparação com a casca do fruto de café (Figura 4). Por outro lado, a cv. IPR 107 teve a menor partição do Ca para os grãos (24%). Garcia, Carvalho e Garcia (2009), ao avaliar a extração de nutrientes em cafeeiro arábica, constataram que cerca de 21% do Ca estava contido nos grãos e 79% na casca dos frutos. Quaggio *et al.* (2022) reportaram que, em média, 30% do Ca do fruto é alocado nos grãos. Esses resultados foram semelhantes ao deste estudo.

Figura 4 - Percentagem de acúmulo de cálcio na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de três safras e na média das safras, em Vera Cruz-SP. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade



1.3.6 Teor, exportação e partição de magnésio na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica

Nas safras 2016/17, 2018/19, 2019/20 e 2020/21 não houve diferenças entre as cultivares de café arábica quanto ao teor de Mg na MS dos frutos (Tabela 9). Em 2015/16, a cv. Tupi IAC 4093 ($1,49 \text{ g kg}^{-1}$) apresentou o maior teor de Mg, enquanto as cultivares IPR 103 e IPR 106 ($0,80 \text{ g kg}^{-1}$) os menores. Na safra de 2017/18, a Obatã IAC 1669-20 teve o maior teor ($1,30 \text{ g kg}^{-1}$) e a IAC OV H5010-05 o menor ($0,93 \text{ g kg}^{-1}$). Em 2021/22, a IPR 100 registrou o maior teor de Mg ($1,83 \text{ g kg}^{-1}$) e a IPR 106 o menor ($1,25 \text{ g kg}^{-1}$). Considerando a média das sete safras, as cultivares IPR 102, IPR 103, IPR 106 e IPR 107 apresentaram os menores teores de Mg na MS dos frutos ($1,13\text{-}1,21 \text{ g kg}^{-1}$), diferindo de todas as demais, com média de $1,35 \text{ g kg}^{-1}$. Catani *et al.* (1965) e Chaves e Sarruge (1984) verificaram teores de Mg nos frutos secos de café arábica adultos de $1,4 \text{ g kg}^{-1}$. Já Catani *et al.* (1967) verificaram teor de Mg de $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ em frutos secos de cafeeiro arábica adultos cv. Bourbon Vermelho. Por outro lado, Quaggio *et al.* (2022) reportaram teor médio de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg na MS de café “em coco”. Os valores obtidos no presente trabalhos são condizentes com todos esses relatados. Contudo, é importante destacar relativamente grandes variações nas concentrações de Mg nos frutos de café arábica em função da cultivar e da safra. Contudo, houve apenas fraca correlação do teor de Mg nos frutos com a produtividade de grãos ($r = 0,235$; $p < 0,001$), sugerindo que não necessariamente cultivares ou safras mais produtivas terão maiores teores de Mg nos frutos.

Apesar da relativamente pequena variação na concentração na MS dos frutos, a exportação de Mg diferiu entre as cultivares em todas as safras (Tabela 9). Em 2015/16, a cv. Tupi IAC 4093 se destacou com a maior exportação de Mg ($12,0 \text{ kg ha}^{-1}$), enquanto as cultivares IPR 103 e IPR 106 tiveram as menores ($3,7 \text{ kg ha}^{-1}$). Na safra seguinte, a cv. IAPAR 59 teve a maior exportação ($8,7 \text{ kg ha}^{-1}$) e a Tupi IAC 4093 a menor ($5,3 \text{ kg ha}^{-1}$), apesar de não diferirem de outras cultivares. Em 2017/18, a cv. IAC 125 RN ($15,1 \text{ kg ha}^{-1}$) superou todas as demais cultivares, enquanto a menor exportação de Mg ($6,5 \text{ kg ha}^{-1}$) foi registrada na cv. IAC OV H5010-05. Na safra 2018/19, a cv. IPR 100 teve o maior valor ($8,6 \text{ kg ha}^{-1}$) e a Araponga MG o menor ($2,1 \text{ kg ha}^{-1}$). Em 2019/20, a Tupi IAC 4093 teve a maior exportação ($20,7 \text{ kg ha}^{-1}$), enquanto a IPR 106 teve a ($9,8 \text{ kg ha}^{-1}$). Em 2020/21, a cv. IAC Ouro Verde exportou mais Mg ($6,7 \text{ kg ha}^{-1}$) e a cv. Tupi IAC 4093 menor ($2,6 \text{ kg ha}^{-1}$).

Tabela 9 - Teor e exportação de magnésio nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de sete safras estudadas e na média das safras, em Vera Cruz-SP

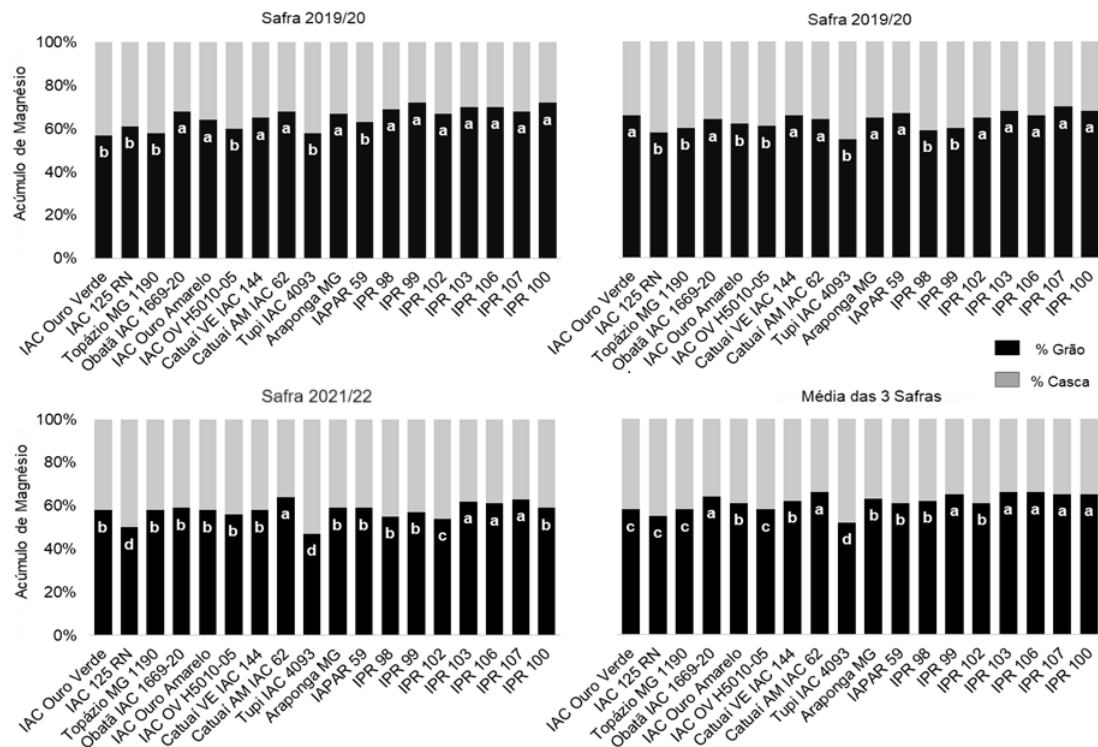
Cultivar	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
IAC Ouro Verde	1,35a	1,47a	1,27a	1,74a	1,51a	0,98a	1,69a	1,44a
IAC 125 RN	1,15b	1,58a	1,22a	1,42a	1,58a	0,90a	1,36b	1,32a
Topázio MG 1190	1,09c	1,36a	1,19a	1,57a	1,69a	0,99a	1,46b	1,34a
Obatã IAC 1669-20	1,18b	1,58a	1,30a	1,52a	1,53a	0,92a	1,78a	1,40a
IAC Ouro Amarelo	1,09c	1,27a	1,07b	1,55a	1,44a	1,02a	1,48b	1,28a
IAC OV H5010-05	1,11c	1,51a	0,93b	1,59a	1,59a	0,99a	1,49b	1,32a
Catuaí VE IAC 144	1,21b	1,40a	1,04b	1,53a	1,56a	1,00a	1,77a	1,36a
Catuaí AM IAC 62	1,41a	1,27a	1,01b	1,49a	1,55a	1,03a	1,52b	1,33a
Tupi IAC 4093	1,49a	1,27a	1,19a	1,54a	1,66a	0,92a	1,56b	1,38a
Araponga MG	1,28b	1,28a	1,07b	1,30a	1,59a	0,99a	1,41b	1,28a
IAPAR 59	1,35a	1,40a	1,10b	1,38a	1,67a	1,00a	1,38b	1,33a
IPR 98	1,27b	1,24a	1,22a	1,56a	1,66a	1,12a	1,41b	1,36a
IPR 99	1,23b	1,38a	1,19a	1,61a	1,76a	0,97a	1,66a	1,41a
IPR 102	1,10c	1,17a	1,04b	1,40a	1,44a	1,00a	1,32b	1,21b
IPR 103	0,80d	1,14a	0,99b	1,41a	1,40a	1,03a	1,36b	1,17b
IPR 106	0,80d	1,21a	0,99b	1,36a	1,35a	0,92a	1,25b	1,13b
IPR 107	0,85d	1,35a	0,97b	1,41a	1,42a	0,94a	1,38b	1,19b
IPR 100	1,06c	1,36a	0,95b	1,68a	1,69a	0,94a	1,83a	1,36a
Teste F	<0,001	0,042	<0,001	0,038	0,165	0,326	<0,001	<0,001
CV (%)	7,9	11,8	7,6	9,3	10,6	8,6	8,1	4,08
	Exportação de Mg (kg ha ⁻¹)							
IAC Ouro Verde	7,2c	8,5a	8,8c	5,6b	17,1a	6,7a	11,5d	9,3b
IAC 125 RN	8,6b	5,9b	15,1a	4,5c	19,8a	4,5b	13,8c	10,3a
Topázio MG 1190	5,9c	7,7a	7,6d	4,7c	18,5a	5,7a	10,4d	8,7c
Obatã IAC 1669-20	6,6c	7,2a	12,1b	3,7d	15,6b	6,2a	16,2b	9,7b
IAC Ouro Amarelo	4,9d	7,9a	6,9d	5,8b	12,1c	6,3a	10,6d	7,8d
IAC OV H5010-05	6,2c	8,0a	6,5d	6,5b	14,6b	5,8a	7,6e	7,9d
Catuaí VE IAC 144	6,4c	6,2b	8,0d	5,3c	13,5b	6,1a	13,2c	8,4c
Catuaí AM IAC 62	7,0c	6,2b	7,2d	4,5c	13,8b	6,1a	11,9d	8,1d
Tupi IAC 4093	12,0a	5,3b	12,6b	2,9d	20,7a	2,6c	20,6a	11,0a
Araponga MG	7,3c	8,5a	9,8c	2,1d	17,1a	4,2b	13,0c	8,8c
IAPAR 59	5,4d	8,7a	10,9b	7,0a	15,6b	5,8a	10,3d	9,1c
IPR 98	5,4d	5,4b	11,1b	5,5b	14,9b	5,3a	13,6c	8,7c
IPR 99	7,0c	6,7b	8,3c	3,2d	16,9a	3,3c	17,8b	9,0c
IPR 102	4,3e	5,7b	10,1c	5,0c	14,7b	6,0a	12,6c	8,3c
IPR 103	3,7e	7,0b	7,6d	6,2b	11,3c	6,5a	11,4d	7,7d
IPR 106	3,7e	8,4a	7,1d	7,8a	9,8c	6,2a	5,7e	7,0e
IPR 107	4,4e	7,7a	8,9c	4,6c	13,0b	5,2a	14,1c	8,3c
IPR 100	6,5c	7,6a	8,8c	8,6a	17,7a	4,9a	21,9a	10,9a
Teste F	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	13,2	15,0	10,9	17,6	12,3	14,0	9,2	5,4

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na safra 2021/22, as cultivares IPR 100 (21,9 kg ha⁻¹) e Tupi IAC 4093 (20,6 kg ha⁻¹) superaram as demais em exportação de Mg. Por outro lado, as cultivares IPR 106 (5,7 kg ha⁻¹) e IAC OV H5010-05 (7,6 kg ha⁻¹) tiveram as menores exportações. Na média das safras, as cultivares Tupi IAC 4093, IPR 100 e IAC 125 RN se destacaram com maiores exportações de Mg (11,0, 10,9 e 10,3 kg ha⁻¹, respectivamente), enquanto a menor exportação foi registrada na cv. IPR 106 (7,0 kg ha⁻¹). Tanto o teor nos frutos ($r = 0,563$; $p < 0,001$) quanto a produtividade de grãos ($r = 0,900$; $p < 0,001$) tiveram forte correlação com a exportação de Mg.

Quanto à percentagem de acúmulo de Mg na casca e nos grãos de frutos, observou-se diferenças entre as cultivares nas três safras analisadas (Figura 5). As cultivares IPR 99 (72%), IPR 100 (72%), IPR 103 (70%), IPR 106 (70%), IPR 98 (69%), Obatã IAC 1669-20 (68%), Catuaí AM IAC 62 (68%), IPR 107 (68%), Araponga MG (67%), IPR 102 (67%), Catuaí VE IAC 144 (65%) e IAC Ouro Amarelo (64%) tiveram maiores as maiores percentagens de acúmulo de Mg nos grãos, na safra 2019/20. Já na safra 2020/21, as cultivares que se destacaram partição de Mg nos grãos foram IPR 107 (70%), IPR 100 (68%), IPR 103 (68%), IAPAR 59 (67%), IAC Ouro Verde (66%), Catuaí VE IAC 144 (66%), IPR 106 (66%), Araponga MG (65%), IPR 102 (65%), Obatã IAC 1669-20 (64%) e Catuaí AM IAC 62 (64%). As cultivares Catuaí AM IAC 62 (64%), IPR 107 (63%), IPR 103 (62%) e IPR 106 (61%) se destacaram na safra 2021/22. Na média das três safras, as cultivares Catuaí AM IAC 62 (66%), IPR 103 (66%), IPR 106 (66%), IPR 99 (65%), IPR 107 (65%), IPR 100 (65%) e Obatã IAC 1669-20 (64%) registraram as proporções mais elevadas de acúmulo de Mg nos grãos de café. Destaca-se que em todas as safras avaliadas, todas as cultivares apresentaram maior proporção de Mg alocado nos grãos do que na casca dos frutos colhidos, em média 62%. Garcia, Carvalho e Garcia (2009) constataram que cerca de 61% do Mg foi alocado nos grãos e 39% na casca dos frutos de café, mesmo valor reportado por Quaggio *et al.* (2022) e muito próximo da média obtida no presente trabalho. Apesar disso, deve-se destacar que, em algumas safras houve variações entre cultivares de até 27% na proporção do Mg alocado nos grãos (Figura 5).

Figura 5 - Percentagem de acúmulo de magnésio na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de três safras e na média das safras, em Vera Cruz-SP. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade



1.3.7 Teor, exportação e partição de enxofre na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica

O teor de S nos frutos secos de café arábica variou de acordo com a cultivares em cinco das sete safras e na média delas (Tabela 10). Em 2015/16, as cultivares IAC Ouro Amarelo, Catuai AM IAC 62, Araponga MG e IPR 100 se destacaram com os maiores teores de S ($1,29$ - $1,50 \text{ g kg}^{-1}$), diferindo das demais. O menor valor ocorreu na cv. IPR 107 ($0,96 \text{ g kg}^{-1}$). Em 2016/17, os maiores teores foram nas cultivares IAC Ouro Amarelo e IAC OV H5010-05 ($2,02 \text{ g kg}^{-1}$) e os menores nas IPR 98 e IPR 102 ($1,26$ e $1,20 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente). Em 2017/18, as cultivares IAC Ouro Verde ($2,00 \text{ g kg}^{-1}$) e IAC 125 RN ($1,83 \text{ g kg}^{-1}$) superaram as demais, sendo o menor teor observado na IPR 102 ($1,17 \text{ g kg}^{-1}$). Em 2018/19, a cv. IPR 98 teve o maior valor absoluto ($1,82 \text{ g kg}^{-1}$), apesar de não diferir de diversas outras, enquanto os menores teores ocorreram na cultivares Topázio MG 1190 ($1,12 \text{ g kg}^{-1}$) e IPR 103 ($1,11 \text{ g kg}^{-1}$).

Tabela 10 - Teor e exportação de enxofre nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de sete safras estudadas e na média das safras, em Vera Cruz-SP

Cultivar	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
	Teor de S (g kg ⁻¹)							
IAC Ouro Verde	1,16b	1,74b	2,00a	1,56a	0,43a	0,97a	1,05a	1,27a
IAC 125 RN	1,08b	1,45b	1,83a	1,36b	0,38a	0,86b	0,73a	1,10b
Topázio MG 1190	1,08b	1,42c	1,54b	1,12b	0,48a	1,01a	0,96a	1,09b
Obatã IAC 1669-20	1,22b	1,85c	1,53b	1,35b	0,56a	0,92b	1,40a	1,26a
IAC Ouro Amarelo	1,50a	2,02a	1,43b	1,25b	0,46a	0,90b	1,05a	1,23a
IAC OV H5010-05	1,18b	2,02a	1,28b	1,20b	0,55a	0,96a	1,07a	1,18a
Catuaí VE IAC 144	1,14b	1,65b	1,33b	1,66a	0,44a	1,08a	0,96a	1,18a
Catuaí AM IAC 62	1,29a	1,64b	1,35b	1,48a	0,47a	1,02a	0,84a	1,16a
Tupi IAC 4093	1,20b	1,27d	1,22b	1,38b	0,47a	0,86b	0,91a	1,05b
Araponga MG	1,42a	1,47c	1,39b	1,37b	0,42a	0,98a	0,89a	1,13b
IAPAR 59	1,17b	1,54c	1,38b	1,56a	0,61a	0,98a	0,69a	1,13b
IPR 98	1,09b	1,26d	1,60b	1,82a	0,52a	0,81b	0,75a	1,12b
IPR 99	1,10b	1,45c	1,32b	1,55a	0,45a	0,99a	0,91a	1,12b
IPR 102	1,08b	1,20d	1,17b	1,39b	0,46a	0,89a	0,77a	0,99b
IPR 103	1,10b	1,46c	1,40b	1,11b	0,50a	0,94a	0,89a	1,06b
IPR 106	0,99b	159c	1,42b	1,19b	0,38a	1,06a	0,78a	1,06b
IPR 107	0,96b	1,71b	1,21b	1,36b	0,46a	0,86b	0,94a	1,07b
IPR 100	1,38a	1,70b	1,23b	1,51a	0,48a	0,81b	0,95a	1,15a
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	0,835	0,002	0,005	<0,001
CV (%)	9,7	10,1	11,7	14,0	27,6	8,0	18,6	5,33
	Exportação de S (kg ha ⁻¹)							
IAC Ouro Verde	6,1d	10,1c	13,9b	5,0c	4,8a	6,6a	7,1b	7,7a
IAC 125 RN	8,1b	5,6e	22,7a	4,2c	4,7a	4,2b	7,5b	8,1a
Topázio MG 1190	5,8d	7,9d	9,7c	3,3d	5,1a	5,8a	6,7b	6,4b
Obatã IAC 1669-20	6,8c	8,4d	14,5b	3,2d	5,7a	6,1a	12,6a	8,2a
IAC Ouro Amarelo	6,8c	12,6a	9,1c	4,7c	3,9a	5,5a	7,5b	7,2b
IAC OV H5010-05	6,6c	10,7b	8,9c	5,0c	5,0a	5,6a	5,5c	6,8b
Catuaí VE IAC 144	5,9d	7,4d	10,2c	5,7b	3,8a	6,6a	7,1b	6,7b
Catuaí AM IAC 62	6,4c	8,1d	9,7c	4,5c	4,2a	6,0a	6,5b	6,5b
Tupi IAC 4093	9,6a	5,3e	12,7b	2,6d	5,9a	2,5c	12,0a	7,2b
Araponga MG	7,9b	9,5c	12,7b	2,1d	4,5a	4,2b	8,1b	7,0b
IAPAR 59	4,7e	9,4c	13,6b	7,9a	5,7a	5,7a	5,1c	7,4a
IPR 98	4,6e	5,5e	14,5b	6,4b	4,7a	3,7c	7,2b	6,7b
IPR 99	6,7c	7,0d	9,1c	3,1d	4,3a	3,4c	9,7a	6,2b
IPR 102	4,3e	5,9e	11,3c	5,0c	4,7a	5,4a	7,4b	6,3b
IPR 103	5,1e	8,8c	10,6c	4,9c	4,0a	5,9a	7,4b	6,7b
IPR 106	4,5e	11,1b	10,2c	6,7b	2,8a	7,2a	3,5c	6,6b
IPR 107	5,0e	9,8c	11,3c	4,4c	4,3a	4,7b	9,6a	7,0b
IPR 100	8,3b	9,4c	11,6c	7,7a	5,1a	4,3b	11,3a	8,3a
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,435	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	12,1	12,0	15,0	18,3	28,0	14,1	19,9	7,3

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em 2019/2020 e 2021/22, não houve diferenças entre as cultivares para o teor de S nos frutos e, por sua vez, as medias foram de 0,47 e 0,92 g kg⁻¹ (Tabela 10). Na safra 2020/21, o maior teor de S foi verificado na cv. Catuaí VE IAC 144 (1,08 g kg⁻¹), porém sem diferir de algumas outra cultivares, enquanto o menor teor (0,81 g kg⁻¹) foi verificado na cultivares IPR 98 e IPR 100. Considerando a média das sete safras, os teores mais baixos de S foram de 0,99 g kg⁻¹ (IPR 102), enquanto o maior teor médio foi de 1,27 g kg⁻¹ (IAC Ouro Verde). De modo geral, os maiores teores de S foram obtidos nas safras 2016/17, 2017/18 e 2018/19, o que pode estar relacionado às aplicações de gesso e/ou sulfato de magnésio nesses anos agrícolas (Tabela 3). É importante salientar que o gesso é excelente fonte desse nutriente (Caires *et al*, 1998). Assim, o aumento nos teores de S-SO₄²⁻ no solo, proporcionado pela aplicação de gesso possivelmente possibilitou maior absorção de S pelas plantas, refletindo na translocação desse elemento para os frutos.

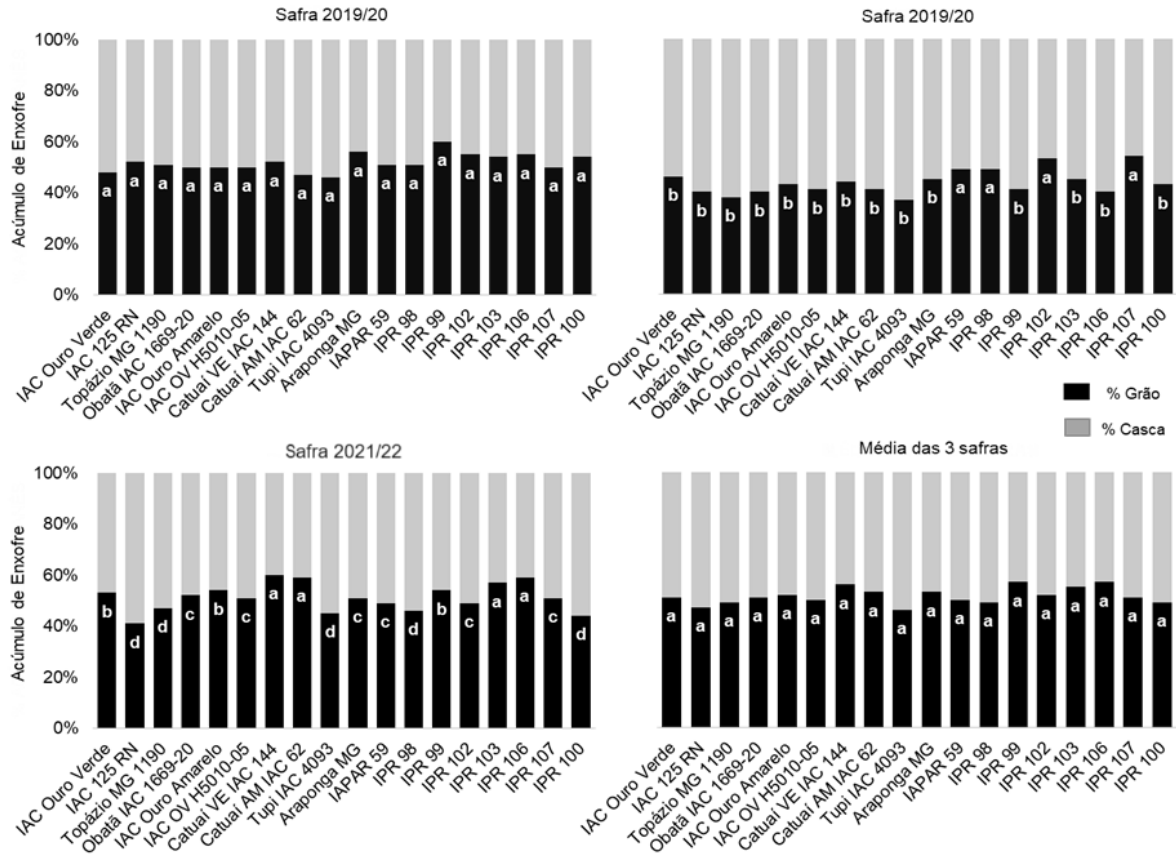
Catani *et al.* (1965) verificaram teores de S nos frutos secos de café arábica adultos variando de 1,1 a 1,3 g kg⁻¹. Catani *et al.* (1967) verificaram teor de S de 0,9 g kg⁻¹ em frutos secos de cafeeiro arábica adultos cv. Bourbon Vermelho. Chaves e Sarruge (1984) verificaram teores de S de 1,7 g kg⁻¹ nos frutos maduros da cv. Catuaí Amarelo (11 2077-2-5-39), enquanto Quaggio *et al.* (2022) reportaram teor médio de 1,6 g kg⁻¹ de S na MS de café “em coco”. Os resultados encontrados no presente trabalho são condizentes com os repostados por esses autores. Nota-se concentrações de S nos frutos colhidos relativamente menores na safra 2019/20 (Tabela 10), o que pode ser explicado pelo efeito diluição, já que essa foi a safra de produtividades mais elevadas. A análise de correlação indicou correlação negativa ($r = -0,539$; $p < 0,001$) entre o teor de S nos frutos e a produtividade de grãos, o que confirma um possível efeito diluição.

As cultivares estudadas diferiram quando à exportação de S nos frutos colhidos, com exceção da safra de 2019/20 (Tabela 10). Na safra 2015/16, a cv. Tupi IAC 4093 teve a maior exportação de S (9,6 kg ha⁻¹), enquanto a IPR 102 registrou a menor (4,3 kg ha⁻¹), apesar de não diferir de algumas outras. No ano seguinte, a cv. IAC Ouro Amarelo exportou 12,6 kg ha⁻¹, superando todas as demais, enquanto a cv. Tupi IAC 4093 teve a menor exportação (5,3 kg ha⁻¹), porém, também sendo similar a algumas outras cultivares. Em 2017/18, a IAC 125 RN alcançou a maior exportação de S (22,7 kg ha⁻¹), enquanto a IAC OV H5010-05 teve a menor (8,9 kg ha⁻¹). Na safra 2018/19, a IAPAR 59 teve a maior exportação (7,9 kg ha⁻¹) e a Araponga MG a menor

(2,1 kg ha⁻¹). Em 2019/20, a exportação média de S foi de 4,6 kg ha⁻¹. Em 2020/21, a cv. IPR 106 teve a maior exportação de S (7,2 kg ha⁻¹) e a Tupi IAC 4093 a menor (2,5 kg ha⁻¹). Na safra 2021/22, a cv. Obatã IAC 1669-20 teve o maior valor (12,6 kg ha⁻¹), enquanto a IPR 106 o menor (3,5 kg ha⁻¹). Na média de todas as safras, as cultivares IPR 100, Obatã IAC 1669-20, IAC 125 RN, IAC Ouro Verde e IAPAR 59 tiveram as maiores exportações de S (8,3, 8,2, 8,1, 7,7 e 7,4 kg ha⁻¹, respectivamente), diferindo de todas as demais. Apesar do efeito diluição, a exportação de S se correlacionou positivamente ($r = 0,547$; $p < 0,001$) com o teor de N nos frutos, mas apenas fracamente com a produtividade de grãos ($r = 0,307$; $p < 0,001$).

Na safra 2019/20, não houve uma diferença significativa entre as cultivares quanto à percentagem de alocação de S nos grãos (Figura 6). Na safra 2020/21, as cultivares IPR 107 (54%), IPR 102 (53%), IAPAR 59 (49%) e IPR 98 (49%) apresentaram as maiores alocações de S nos grãos, diferindo das demais cultivares. Já na safra 2021/22, as cultivares Catuaí VE IAC 144 (60%), Catuaí AM IAC 62 (59%), IPR 103 (59%) e IPR 106 (57%) tiveram as maiores percentagens de alocação de S nos grãos, enquanto a menor foi obtida na cv. IAC 125 RN (41%). Considerando as médias das três safras, não houve diferença entre as cultivares. Assim, é possível verificar que, apesar de alguma variação entre as cultivares e as safras, a média geral de alocação do S para os grãos foi de 52%. Garcia, Carvalho e Garcia (2009) relataram que cerca de 41% do S foi alocado nos grãos e 59% na casca dos frutos de café. Por outro lado, Quaggio *et al.* (2022) reportaram alocação média de 43% do S contido no café “em coco” para os grãos. Esses valores são relativamente inferiores aos observados no presente trabalho, apesar de algumas cultivares em algumas das safras avaliadas terem alocado também apenas entre 38 e 43% do S do fruto nos grãos.

Figura 6 - Percentagem de acúmulo de enxofre na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de três safras e na média das safras, em Vera Cruz-SP. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade



1.3.8 Teor, exportação e partição de boro na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica

Em 2015/16, a cv. IPR 102 (39,8 mg kg⁻¹) e IAC Ouro Amarelo (21,6 mg kg⁻¹), apresentaram os maiores e menores teores de B na MS dos frutos de café arábica, respectivamente (Tabela 11). Na safra de 2016/17, a cv. IAC 125 RN teve o maior teor (34,1 mg kg⁻¹) e a Catuaí AM IAC 62 teve o menor teor (5,0 mg kg⁻¹). Em 2017/18, a cv. IPR 99 registrou o maior teor (35,5 mg kg⁻¹), enquanto a Obatã IAC 1669-20 o menor (19,3 mg kg⁻¹). Durante as safras de 2018/19, 2019/20 e 2020/21, os teores de B não diferiram entre as cultivares, apesar de variar bastante entre as safras. Na safra 2021/22, a cv. IPR 107 registrou o maior teor de B (62,3 mg kg⁻¹) e a IPR 99 o menor (30,6 mg kg⁻¹).

Tabela 11 - Teor e exportação de boro nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de sete safras estudadas e na média das safras, em Vera Cruz-SP

Cultivar	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
	Teor de B (mg kg ⁻¹)							
IAC Ouro Verde	38,7a	23,5b	21,0c	35,9a	33,9a	14,8a	30,8c	28,4c
IAC 125 RN	39,5a	34,1a	28,7b	49,9a	32,0a	13,4a	37,4c	33,6a
Topázio MG 1190	39,4a	20,7b	28,2b	51,6a	34,6a	12,4a	59,2a	35,2a
Obatã IAC 1669-20	38,2a	25,8b	19,3c	39,8a	32,7a	16,5a	45,1b	31,1b
IAC Ouro Amarelo	21,6c	25,2b	26,6b	28,0a	33,4a	14,1a	43,3b	27,5c
IAC OV H5010-05	29,0b	21,6b	28,0b	31,2a	34,5a	15,0a	33,8c	27,6c
Catuaí VE IAC 144	30,1b	22,7b	33,1a	28,1a	33,6a	15,6a	33,5c	28,1c
Catuaí AM IAC 62	27,3b	5,0c	19,8c	39,8a	33,5a	9,8a	33,5c	24,1d
Tupi IAC 4093	29,8b	28,7a	23,2c	35,8a	32,5a	15,9a	35,8c	28,8c
Araponga MG	37,2a	25,1b	27,4b	34,7a	31,9a	16,2a	34,0c	29,5c
IAPAR 59	28,9b	21,1b	26,4b	34,0a	32,1a	18,2a	34,3c	27,9c
IPR 98	29,5b	24,2b	28,9b	31,7a	33,9a	18,5a	37,1c	29,1c
IPR 99	28,1b	22,2b	35,5a	32,2a	35,4a	10,8a	30,6c	27,8c
IPR 102	39,8a	24,3b	27,6b	36,2a	33,4a	18,9a	42,8b	31,9b
IPR 103	37,4a	25,5b	28,0b	38,2a	34,2a	15,0a	34,7c	30,4b
IPR 106	35,1a	23,3b	25,6b	44,1a	35,4a	17,5a	37,2c	31,2b
IPR 107	37,3a	25,2b	22,8c	36,4a	33,2a	17,0a	62,3a	33,5a
IPR 100	38,3a	19,0b	29,4b	30,9a	32,3a	14,1a	60,0a	32,0b
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	0,052	0,942	0,029	<0,001	<0,001
CV (%)	9,3	15,0	9,9	22,6	8,1	19,6	8,3	5,79
	Exportação de B (g ha ⁻¹)							
IAC Ouro Verde	205,2b	135,7a	145,8d	116,1c	382,9a	101,0a	208,2e	185,0d
IAC 125 RN	294,1a	128,7b	355,6a	152,6b	398,6a	66,2b	377,7c	253,3b
Topázio MG 1190	213,1b	117,6b	177,3c	154,8b	379,8a	71,4b	418,1c	218,9c
Obatã IAC 1669-20	213,8b	118,1b	184,1c	96,3c	332,5b	110,3a	414,4c	209,9c
IAC Ouro Amarelo	99,5d	158,0a	170,7c	104,2c	279,1c	86,8a	310,8d	172,7e
IAC OV H5010-05	161,4c	114,2b	193,9c	127,1c	316,1c	88,4a	173,5e	167,8e
Catuaí VE IAC 144	157,1c	100,5b	253,3b	96,2c	289,9c	95,8a	249,5d	177,5d
Catuaí AM IAC 62	136,4d	24,7c	141,2d	119,0c	296,6c	59,1b	260,9d	148,3f
Tupi IAC 4093	240,7b	119,9b	243,2b	68,1c	404,2a	44,9b	469,2c	227,2c
Araponga MG	208,0b	163,8a	249,2b	54,6c	342,6b	68,1b	310,3d	199,5d
IAPAR 59	116,3d	129,5b	259,9b	172,9b	298,9c	104,2a	256,0d	191,1d
IPR 98	124,1d	104,8b	259,8b	111,1c	302,1c	86,2a	358,7c	192,4d
IPR 99	158,8c	108,0b	245,9b	63,0c	340,1b	35,6b	326,3d	182,5d
IPR 102	155,7c	117,0b	266,8b	130,8c	338,0b	114,4a	407,8c	218,6c
IPR 103	172,0c	153,7a	212,3c	168,9b	275,0c	94,3a	291,8d	195,4d
IPR 106	160,4c	160,2a	183,6c	244,9a	258,1c	117,4a	169,1e	184,8d
IPR 107	193,0b	143,9a	210,4c	120,6c	307,1c	92,9a	633,8b	243,1b
IPR 100	233,3b	105,4b	273,4b	159,3b	339,2b	73,7b	718,2a	271,8a
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	14,0	17,5	10,1	27,3	9,6	22,1	11,6	5,5

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

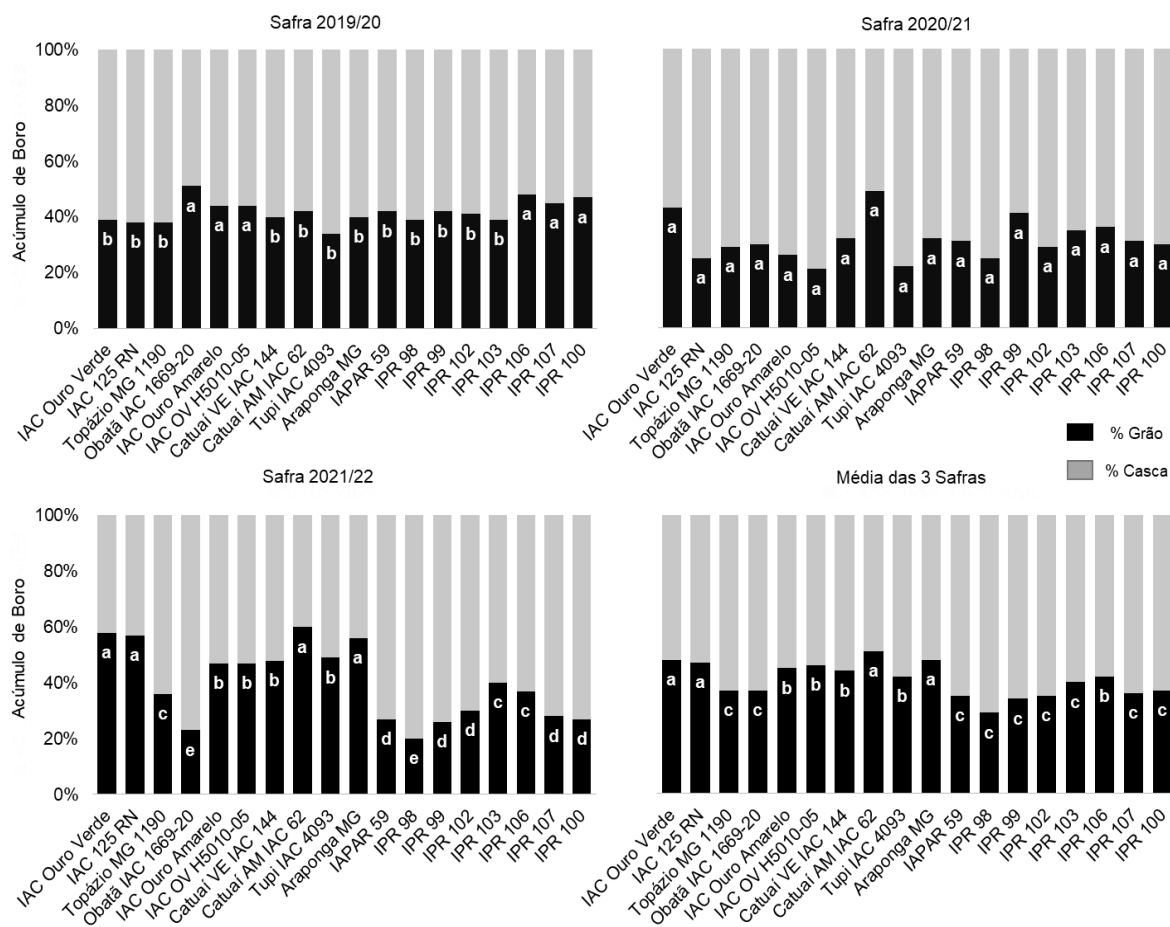
Na média das sete safras, as cultivares Topázio MG 1190 (35,2 mg kg⁻¹), IAC 125 RN (33,6 mg kg⁻¹) e IPR 107 (33,5 mg kg⁻¹) apresentaram os maiores teores de B nos frutos, enquanto o menor teor médio foi de 24,1 mg kg⁻¹, observado na Catuaí AM IAC 62 (Tabela 11). Houve apenas uma fraca correlação entre o teor de B nos frutos e a produtividade de grãos ($r = 0,182$; $p < 0,001$), sugerindo pouco ou ausência de efeito diluição, nas condições do presente estudo.

Quanto à exportação de B nos frutos, em 2015/16, a cv. IAC 125 RN registrou o maior valor (294,1 kg ha⁻¹), enquanto a IAC Ouro Amarelo o menor (99,5 g ha⁻¹) (Tabela 11). Na safra seguinte, a cv. Araponga MG liderou com 163,8 g ha⁻¹ e a Catuaí AM IAC 62 teve o menor valor (24,7 g ha⁻¹). Em 2017/18, a IAC 125 RN registrou a maior exportação (355,6 g ha⁻¹), e a cv. Catuaí AM IAC 62 teve a menor (141,2 g ha⁻¹). Na safra 2018/19, a IPR 106 teve a maior exportação (244,9 g ha⁻¹), enquanto a Araponga MG registrou a menor (54,6 g ha⁻¹). Em 2019/20, a cv. Tupi IAC 4093 liderou com 404,2 g ha⁻¹ e a IPR 106 teve a menor exportação (258,1 g ha⁻¹). Em 2020/21, a maior exportação de B ocorreu na cv. IPR 106 (117,4 g ha⁻¹) e a menor na IPR 99 (35,6 g ha⁻¹). Na safra 2021/22, a cv. IPR 100 se destacou das demais com exportação de 718,2 g ha⁻¹ de B, enquanto a cv. IPR 106 teve a menor exportação (169,1 g ha⁻¹). Considerando a média das safras, as cultivares IPR 100 e Catuaí AM IAC 62 tiveram a maior e a menor exportações de B nos frutos secos (271,8 e 148,3 g ha⁻¹, respectivamente). Houve fortes correlações do teor de B nos frutos ($r = 0,659$; $p < 0,001$) e da produtividade de grãos ($r = 0,806$; $p < 0,001$) com a exportação de B.

Apenas nas safras 2019/20 e 2021/22 houve uma diferença significativa entre as cultivares quanto percentagem de B acumulada nos grãos café (Figura 7). Na safra 2019/202, as cultivares Obatã IAC 1669-20, IAC Ouro Amarelo, IAC OV H5010-05, IPR 106, IPR 107 e IPR 100 registraram 51%, 44%, 44%, 48%, 45% e 47%, respectivamente, do B acumulado nos grãos. Na safra 2021/22, as cultivares IAC Ouro Verde, IAC 125 RN, Catuaí AM IAC 62, Araponga MG apresentaram 58%, 57%, 60% e 56% do B acumulado nos grãos do café, enquanto as demais cultivares apresentaram menores valores e maior proporção do B acumulado na casca do fruto. Ao considerar a média das três safras, as cultivares IAC Ouro Verde, IAC 125 RN, Catuaí AM IAC 62 e Araponga MG tiveram maiores valores da proporção do B alocado nos grãos (48%, 47%, 51% e 48%, respectivamente). Destaca-se que, na média das safras, praticamente todas as cultivares alocaram menos B nos grãos do que na casca, sendo a média das cultivares 41%. Garcia, Carvalho e Garcia (2009), em

cultivares Catucaí Vermelho 785-15 e Catucaí Amarelo 20/15 de 3,5 anos, verificaram que 38% do B foram alocados nos grãos, enquanto 62% na casca.

Figura 7 - Percentagem de acúmulo de boro na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de três safras e na média das safras, em Vera Cruz-SP. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade



1.3.9 Teor, exportação e partição de cobre na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica

Os teores de Cu nos frutos colhidos das diferentes cultivares de café arábica, não variaram significativamente apenas safras 2019/20 e 2020/21 (Tabela 12). Em 2015/16, a cv. IPR 100 (13,2 g kg⁻¹) e Topázio MG 1190 (8,5 mg kg⁻¹) apresentaram o maior e menor teores de Cu, respectivamente. Na safra de 2016/17, a cv. IPR 100 também teve o maior teor (19,0 mg kg⁻¹), enquanto a IPR 106 teve o menor (3,0 mg kg⁻¹).

Tabela 12 - Teor e exportação de cobre nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de sete safras estudadas e na média das safras, em Vera Cruz-SP

Cultivar	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
Teor de Cu (mg kg ⁻¹)								
IAC Ouro Verde	10,0b	12,1b	17,4b	9,9c	19,6a	12,1a	24,3a	15,0a
IAC 125 RN	8,9b	13,6b	19,1b	7,6c	19,2a	13,1a	20,8b	14,6a
Topázio MG 1190	8,5b	12,1b	14,4c	10,7c	13,9a	44,3a	17,9b	17,4a
Obatã IAC 1669-20	9,3b	13,6b	18,0b	13,5c	21,4a	15,2a	20,8b	16,0a
IAC Ouro Amarelo	9,8b	10,6c	12,9c	19,8a	18,0a	12,5a	16,9c	14,4a
IAC OV H5010-05	9,3b	9,8c	17,4b	16,1b	15,4a	13,8a	18,3b	14,3a
Catuaí VE IAC 144	12,1a	9,1d	18,9b	14,6b	16,9a	13,6a	19,4b	14,9a
Catuaí AM IAC 62	11,4a	5,3e	19,7b	17,7b	18,4a	16,9a	14,1c	14,8a
Tupi IAC 4093	9,6b	8,3d	16,6b	18,7b	17,2a	15,3a	15,8c	14,5a
Araponga MG	12,8a	7,6d	12,1c	16,1b	16,3a	14,5a	14,4c	13,4a
IAPAR 59	11,0a	10,6c	17,4b	13,0c	18,2a	12,7a	12,1c	13,6a
IPR 98	10,3b	6,1e	18,9b	15,6b	16,0a	11,9a	10,9c	12,8a
IPR 99	11,0a	6,8d	10,2c	21,8a	14,3a	15,8a	13,2c	13,3a
IPR 102	10,3b	6,8d	14,4c	16,1b	19,2a	16,8a	20,6b	14,9a
IPR 103	11,7a	5,3e	17,4b	17,2b	15,8a	17,6a	18,6b	14,8a
IPR 106	10,0b	3,0e	13,6c	15,4b	15,6a	16,1a	20,6b	13,5a
IPR 107	11,7a	4,6e	27,2a	17,2b	19,7a	14,7a	25,0a	17,2a
IPR 100	13,2a	19,0a	24,2a	22,9a	16,5a	10,2a	19,7b	17,9a
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,285	0,369	<0,001	0,099
CV (%)	10,1	17,3	13,3	18,2	18,4	75,1	12,1	13,1
Exportação de Cu (g ha ⁻¹)								
IAC Ouro Verde	52,4c	70,1b	120,4c	31,8d	223,2a	82,9a	164,0c	106,4b
IAC 125 RN	66,2b	51,8c	236,6a	23,5d	240,1a	64,3a	208,8b	127,3a
Topázio MG 1190	45,9c	67,5b	91,0d	33,4d	150,7b	268,9a	128,8c	112,3b
Obatã IAC 1669-20	51,6c	61,9b	171,0b	32,7d	217,3a	101,5a	189,4b	117,9b
IAC Ouro Amarelo	44,7c	65,4b	82,5d	73,5b	151,2b	77,7a	120,9d	88,0c
IAC OV H5010-05	51,7c	51,9c	121,5c	65,8b	140,6b	80,7a	94,1d	86,6c
Catuaí VE IAC 144	63,5b	40,1d	144,6c	49,6c	146,9b	82,6a	144,0c	95,9c
Catuaí AM IAC 62	56,0c	25,8d	141,0c	54,1c	162,6b	98,7a	109,8d	92,6c
Tupi IAC 4093	77,7a	34,9d	174,8b	35,3d	214,1a	43,6a	207,8b	112,6b
Araponga MG	71,6a	48,8c	110,0c	25,2d	175,4b	61,8a	131,1c	89,1c
IAPAR 59	44,3c	65,4b	170,6b	65,9b	167,7b	72,9a	90,1d	96,7c
IPR 98	43,6c	26,2d	171,5b	55,2c	143,7b	55,2a	106,3d	85,9c
IPR 99	62,5b	33,0d	70,6d	43,7c	136,5b	54,6a	142,0c	77,6c
IPR 102	40,4c	32,9d	138,7c	57,4c	193,3a	100,4a	196,3b	108,5b
IPR 103	53,9c	31,8d	133,2c	75,8b	127,4b	109,7a	156,5c	98,3c
IPR 106	45,6c	20,8d	97,2d	87,1b	112,9b	109,5a	93,5d	81,0c
IPR 107	60,1b	26,0d	249,5a	55,7c	181,9b	80,6a	252,9a	129,5a
IPR 100	80,2a	105,3a	226,7a	117,2a	172,3b	53,2a	236,0a	141,6a
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,300	<0,001	<0,001
CV (%)	13,2	17,6	16,0	22,6	19,7	86,9	13,8	12,4

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

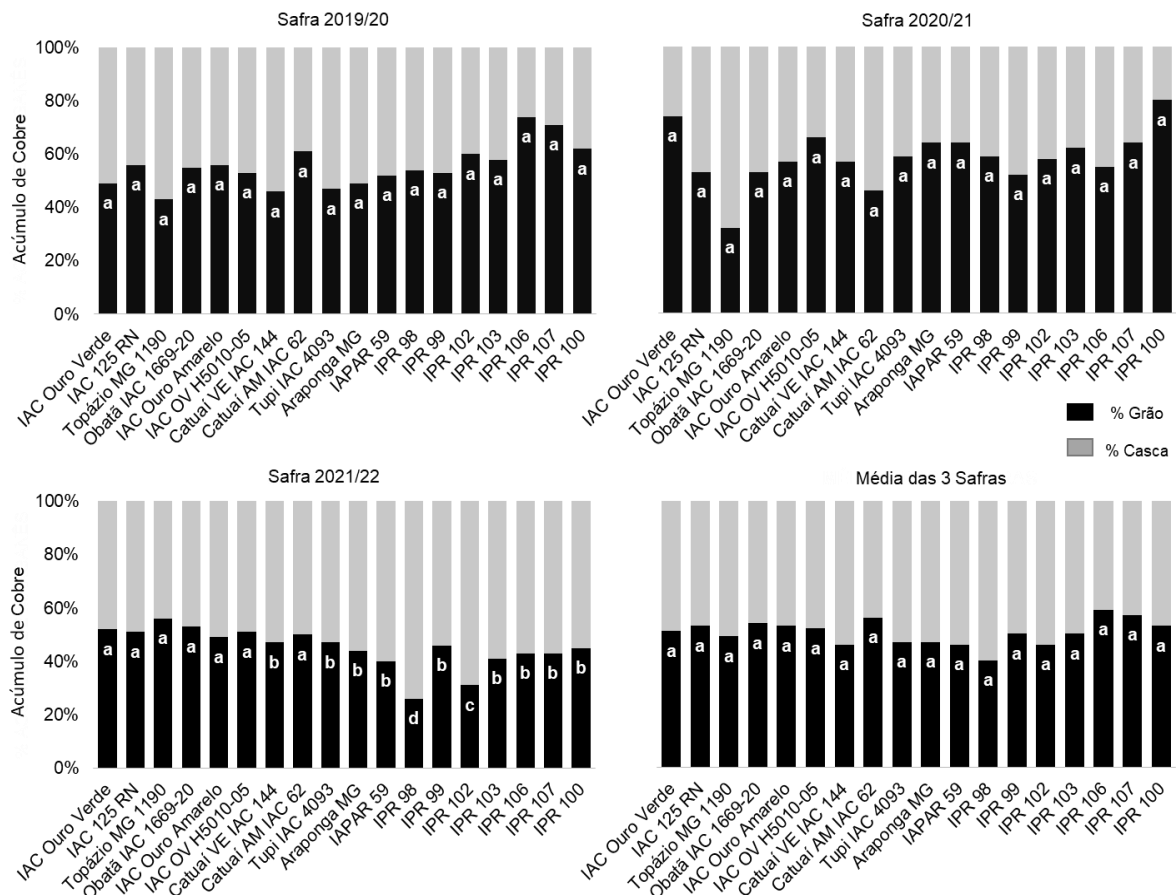
Em 2017/18, as cultivares IPR 107 (27,2 mg kg⁻¹) e IPR 100 (24,2 mg kg⁻¹) registraram os maiores teores, enquanto a IPR 99 o menor (10,2 mg kg⁻¹) (Tabela 12). Na safra 2018/19, a cv. IPR 100 teve o maior teor (22,9 mg kg⁻¹) e a IAC 125 RN o menor (7,6 mg kg⁻¹). Na safra 2021/22, os maiores teores de Cu nos frutos foram verificados nas cultivares IPR 107 (25,0 mg kg⁻¹) e IAC Ouro Verde (24,3 mg kg⁻¹), ao mesmo tempo que o menor teor foi registrado na cv. IPR 98 (10,9 mg kg⁻¹). Considerando a média das sete safras, não se verificou diferença entre as cultivares, quanto aos teores de Cu nos frutos secos de café. Apenas uma fraca correlação entre o teor de Cu nos frutos e a produtividade de grãos foi constatada ($r = 0,221$; $p < 0,001$), sugerindo pouco efeito diluição, nas condições do presente estudo.

Na análise da exportação de Cu nos frutos secos de café, houve variação entre as diferentes cultivares avaliadas, exceto na safra de 2021 (Tabela 12). Em 2015/16, a cv. IPR 100 registrou a maior exportação de Cu pelos frutos de café (80,2 kg ha⁻¹), enquanto a cv. IPR 102 teve a menor exportação (40,4 g ha⁻¹). Na safra seguinte, a IPR 100 liderou com 105,3 g ha⁻¹, e a IPR 106 teve o menor valor (20,8 g ha⁻¹). Em 2017/18, a IPR 107 registrou a maior exportação (249,5 g ha⁻¹), e a IPR 99 teve a menor (70,6 g ha⁻¹). Na safra 2018/19, a IPR 100 teve a maior exportação (117,2 g ha⁻¹), enquanto a IAC 125 RN registrou a menor (23,5 g ha⁻¹). Em 2019/20, a IAC 125 RN liderou com 240,1 g ha⁻¹, e a IPR 106 teve a menor exportação. Na safra 2021/22, apenas a IPR 107 teve a maior exportação (252,9 g ha⁻¹), e a IAPAR 59 teve a menor exportação (90,1 g ha⁻¹). Considerando a média dos anos analisados, as cultivares IPR 100 e IPR 99 tiveram as maiores e menores exportações de Cu nos frutos secos (141,6 e 77,6 g ha⁻¹, respectivamente). Houve fortes correlações do teor de Cu nos frutos ($r = 0,778$; $p < 0,001$) e da produtividade de grãos ($r = 0,735$; $p < 0,001$) com a exportação de Cu.

Na safra 2021/22, foi observado um efeito significativo apenas na percentagem de acúmulo de Cu entre a casca e os grãos dos frutos de café nas diferentes cultivares. Nesta safra, as cultivares IAC Ouro Verde, IAC 125 RN, Topázio MG 1190, Obatã IAC 1669-20, IAC Ouro Amarelo, IAC OV H5010-05 e Catuaí AM IAC 62 (52%, 51%, 56%, 53%, 49% e 51%, respectivamente) destacaram-se ao apresentarem maior teor percentual de Cu nos grãos. Entretanto, considerando as médias das safras, não se observou um efeito significativo entre as diferentes cultivares, com alocação média de 51% do Cu nos grãos de café (Figura 8). Esse valor médio é bem acima daquele observado por Garcia, Carvalho e Garcia (2009), que, em cultivares

Catucaí Vermelho 785-15 e Catucaí Amarelo 20/15 de 3,5 anos, verificaram apenas 41% do Cu alocado nos grãos, enquanto 59% na casca.

Figura 8 - Percentagem de acúmulo de cobre na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de três safras e na média das safras, em Vera Cruz-SP. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade



1.3.10 Teor, exportação e partição de ferro na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica

Os teores de Fe nos frutos de café colhidos apenas não variaram significativamente entre cultivares nas safras 2019/20 e 2020/21 (Tabela 13). Em 2015/16, as cultivares IPR 100 (247,8 g kg⁻¹) e IPR 98 (231,0 mg kg⁻¹) se superaram as demais, enquanto o menor teor Fe foi verificado na IAC Ouro Verde (127,7 mg kg⁻¹). Na safra de 2016/17, a cv. IAC OV H5010-05 teve o maior teor (204,2 mg kg⁻¹) e a IPR 102 teve o menor (146,1 mg kg⁻¹). Em 2017/18, a cv. IPR 99 registrou o maior teor (178,0 mg kg⁻¹) e a Catucaí AM IAC 62 o menor (73,1 mg kg⁻¹).

Tabela 13 - Teor e exportação de ferro nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de sete safras estudadas e na média das safras, em Vera Cruz-SP

Cultivar	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
Teor de Fe (mg kg ⁻¹)								
IAC Ouro Verde	127,7c	150,8b	140,5a	88,6a	240,2a	38,5a	133,1b	131,3b
IAC 125 RN	158,1c	150,8b	146,1a	62,0b	215,5a	63,0a	109,8c	129,3b
Topázio MG 1190	155,0c	202,1a	166,3a	72,0b	229,4a	61,0a	118,5b	143,5a
Obatã IAC 1669-20	149,0c	202,3a	134,9a	60,9b	214,9a	45,1a	110,5c	131,1b
IAC Ouro Amarelo	145,9c	185,5a	137,7a	89,7a	228,2a	76,4a	104,2c	138,2a
IAC OV H5010-05	146,8c	204,2a	108,9b	97,4a	241,5a	65,6a	128,9b	141,9a
Catuaí VE IAC 144	179,4b	171,4b	92,6b	105,2a	221,2a	56,1a	125,8b	136,0a
Catuaí AM IAC 62	197,6b	198,6a	73,1b	66,5b	228,2a	48,4a	79,9d	127,5b
Tupi IAC 4093	167,2c	187,3a	103,0b	97,5a	220,6a	55,1a	125,0b	136,5a
Araponga MG	156,6c	175,1a	91,4b	76,4b	242,7a	80,3a	96,6c	131,3b
IAPAR 59	153,5c	176,1a	103,0b	122,9a	205,4a	100,9a	118,5b	140,0a
IPR 98	231,0a	166,7b	171,4a	108,5a	241,5a	80,0a	10,1g	144,2a
IPR 99	156,6c	190,1a	178,0a	103,0a	238,9a	83,9a	79,9d	147,2a
IPR 102	133,8c	146,1b	136,3a	62,0b	225,7a	81,7a	32,0f	116,8b
IPR 103	186,7b	148,9b	132,4a	59,8b	202,3a	101,6a	58,0e	127,1b
IPR 106	183,3b	192,6a	114,1b	35,4b	205,4a	71,1a	70,2d	124,6b
IPR 107	196,4b	190,1a	100,2b	52,0b	221,2a	33,0a	181,0a	139,2a
IPR 100	247,8a	180,7a	113,4b	57,6b	216,8a	17,1a	55,9e	127,1b
Teste F	<0,001	0,003	<0,001	<0,001	0,427	0,324	<0,001	0,046
CV (%)	13,2	10,8	19,0	18,5	9,8	56,0	8,4	7,4
Exportação de Fe (g ha ⁻¹)								
IAC Ouro Verde	684,3c	873,8b	978,7c	283,9c	2708,4a	264,4a	899,9d	956,2b
IAC 125 RN	1174,1a	571,4b	1812,0a	195,1c	2686,5a	308,1a	1102,5c	1121,4a
Topázio MG 1190	838,2b	1134,6a	1053,4c	214,8c	2512,7a	359,0a	838,1d	993,0b
Obatã IAC 1669-20	828,5b	926,3b	1270,5b	144,6c	2191,3b	300,2a	1009,0c	952,9b
IAC Ouro Amarelo	661,8c	1158,4a	871,3c	336,3b	1916,2c	478,6a	747,6e	881,5c
IAC OV H5010-05	827,0b	1075,5a	760,1c	398,9b	2229,1b	376,5a	661,6e	904,1c
Catuaí VE IAC 144	940,3b	757,6b	708,3c	366,4b	1917,5c	345,4a	937,1d	853,2c
Catuaí AM IAC 62	979,1b	965,8a	521,1c	205,0c	2019,2c	285,1a	622,0e	799,6c
Tupi IAC 4093	1359,2a	786,2b	1080,9c	180,2c	2748,0a	155,6a	1644,8b	1136,4a
Araponga MG	874,0b	1143,3a	836,9c	120,3c	2613,1a	333,9a	879,5d	971,6b
IAPAR 59	620,2c	1086,7a	1018,8c	624,4a	1903,9c	601,3a	885,9d	963,0b
IPR 98	974,0b	723,5b	1555,3a	381,2b	2158,2b	357,5a	97,2h	892,4c
IPR 99	874,1b	919,2b	1231,1b	203,9c	2297,6b	303,6a	850,5d	954,3b
IPR 102	527,5c	712,9b	1329,2b	220,0c	2281,6b	496,3a	304,0g	838,8c
IPR 103	860,6b	907,9b	1002,2c	266,0c	1630,8c	652,2a	488,3f	829,7c
IPR 106	851,3b	1349,5a	812,1c	200,7c	1501,9c	483,5a	319,4g	788,3c
IPR 107	1000,6b	1086,2a	925,6c	168,2c	2031,0c	178,7a	1839,2a	1032,8b
IPR 100	1508,4a	1007,6a	1067,3c	300,6c	2268,6b	90,2a	668,8e	987,4b
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,188	<0,001	<0,001
CV (%)	18,4	14,9	21,5	24,3	12,9	60,1	10,0	7,8

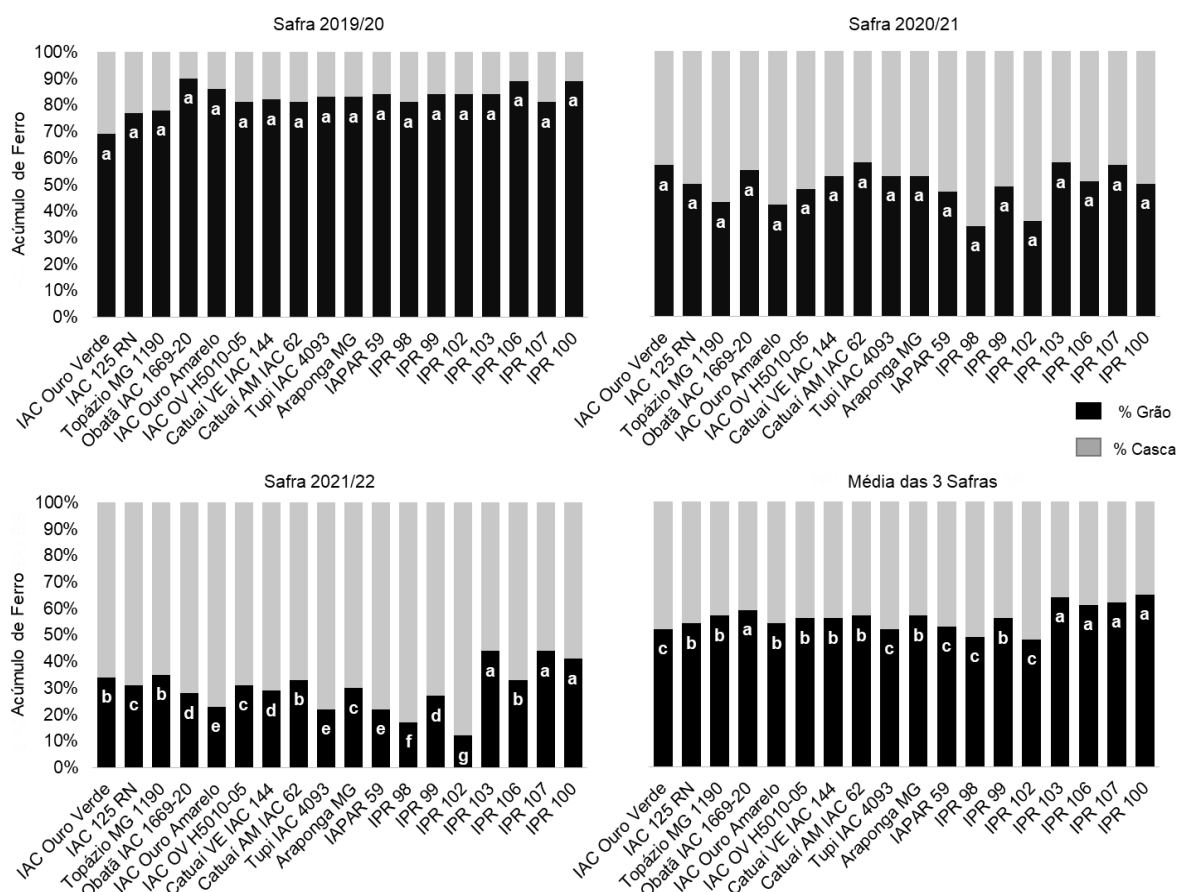
Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na safra 2018/19, a cv. IAPAR 59 teve o maior teor de Fe ($122,9 \text{ mg kg}^{-1}$), enquanto a IPR 106 o menor ($35,4 \text{ mg kg}^{-1}$). Em 2021/22, a IPR 107 registrou o maior teor ($181,0 \text{ mg kg}^{-1}$) e a IPR 98 o menor ($10,1 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 13). Na média das sete safras, a cv. IPR 99 apresentou o maior teor de Fe nos frutos secos ($147,2 \text{ mg kg}^{-1}$), enquanto o menor teor médio ($116,8 \text{ mg kg}^{-1}$) foi observado na cv. IPR 102. Destaca-se também a grande variação nos teores de Fe entre as safras. Apesar de na safra mais baixa (2018/19) terem sido verificados relativamente baixos teores de Fe nos frutos e, por outro lado, na safra com as maiores produtividades (2019/20) terem sido verificados os teores foram mais elevados (Tabelas 4 e 13), não houve uma forte correlação entre os teores de Fe nos frutos e a produtividade de grãos, apesar de significativa ($r = 0,353$; $p < 0,001$). Isso sugere pouco efeito de diluição, ou seja, uma safra alta, ou uma cultivar mais produtiva, não necessariamente apresenta menor teor de Fe nos frutos colhidos.

Com relação à exportação de Fe, houve variação entre as cultivares avaliadas, exceto na safra de 2020/21 (Tabela 13). Em 2015/16, as cultivares IPR 100, Tupi IAC 4093 e IAC 125 RN registraram as maiores exportações de Fe ($1508,4$, $1359,2$ e $1174,1 \text{ g ha}^{-1}$, respectivamente), enquanto a cv. IPR 102 teve a menor ($527,5 \text{ g ha}^{-1}$). Em 2016/17, a cv. IPR 106 liderou com $1349,5 \text{ g ha}^{-1}$, e a IAC 125 RN teve o menor valor ($571,4 \text{ g ha}^{-1}$). Em 2017/18, a cv. IAC 125 RN registrou a maior exportação ($1812,0 \text{ g ha}^{-1}$) e a Catuaí AM IAC 62 teve a menor ($521,1 \text{ g ha}^{-1}$). Na safra 2018/19, a cv. IAPAR 59 teve a maior exportação ($624,4 \text{ g ha}^{-1}$), enquanto a Araponga MG registrou a menor ($120,3 \text{ g ha}^{-1}$). Em 2019/20, a cv. IAC Ouro Verde liderou com $2708,4 \text{ g ha}^{-1}$, enquanto a IPR 106 teve a menor exportação ($1501,9 \text{ g ha}^{-1}$). Em 2020/21, apesar de grande variação, não houve diferença estatística devido ao elevado coeficiente de variação dos dados ($60,1\%$), e a exportação média de Fe foi de $353,9 \text{ g ha}^{-1}$. Na safra 2021/22, a cv. IPR 107 se destacou com a maior exportação ($1839,2 \text{ g ha}^{-1}$) e a IPR 98 teve a menor exportação ($97,2 \text{ g ha}^{-1}$). Nas médias das safras, as cultivares Tupi IAC 4093 e IPR 106 tiveram a maior e a menor exportações de Fe nos frutos secos ($1136,4$ e $788,3 \text{ g ha}^{-1}$, respectivamente). Tanto o teor nos frutos ($r = 0,831$; $p < 0,001$) quanto à produtividade ($r = 0,750$; $p < 0,001$) se correlacionaram positivamente com a exportação de Fe no café colhido, sugerindo que condições, sejam genéticas ou ambientais, que proporcionam maiores teores de Fe nos frutos ou maiores produtividades de grãos contribuem para aumentar a exportação de Fe pelos frutos colhidos.

No que diz a respeito à percentagem de acúmulo de Fe, houve influência nas cultivares apenas na safra 2021/22 e na média das três safras (Figura 9). Em específico, na safra 2021/22, as cultivares IPR 103, IPR 107 e IPR 100 apresentaram 44%, 44% e 41%, respectivamente, do Fe do fruto acumulado nos grãos, valores significativamente superior aos das demais cultivares. Na média das três safras, as cultivares Obatã IAC 1669-20, IPR 103, IPR 106, IPR 107 e IPR 100 tiveram 64%, 61%, 62% e 65%, respectivamente, do Fe alocado nos grãos, diferindo das demais cultivares.

Figura 9 - Percentagem de acúmulo de ferro na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de três safras e na média das safras, em Vera Cruz-SP. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade



Destaca-se que houve grande variação entre as safras, quanto à alocação de Fe entre grãos e casca. Na safra de maior nível de produtividade (2019/20), em média, 83% do Fe foi alocado nos grãos e somente 17% na casca (Tabela 4; Figura 9). Por

outro lado, na safra 201/22, apenas uma média de 30 do Fe do fruto foi alocado nos grãos. Isso sugere que, fatores ambientais ou da fisiologia da planta afetam mais a alocação de Fe entre grãos e casca do fruto do café arábica, do que fatores genéticos.

1.3.11 Teor, exportação e partição de manganês na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica

O teor de Mn variou entre as cultivares nas safras 2015/16, 2016/17, 2017/18, 2021/22 e na média das safras (Tabela 14). Em 2015/16, as cultivares Catuaí VE IAC 144 (23,1 mg kg⁻¹), Araponga MG (23,1 g kg⁻¹) apresentaram os maiores teores de Mn, enquanto a IAC Ouro Amarelo (16,2 mg kg⁻¹) apresentou o menor teor. Na safra de 2016/17, a cv. IPR 107 teve o maior teor (21,2 mg kg⁻¹) e a IPR 103 teve o menor (3,8 mg kg⁻¹). Em 2017/18, a cv. IAC Ouro Verde registrou o maior teor (19,0 mg kg⁻¹) e a IPR 102 o menor (3,2 mg kg⁻¹). Na safra 2021/22, a cv. Obatã IAC 1669-20 registrou o maior teor (14,1 mg kg⁻¹) e a IPR 106 o menor (5,2 mg kg⁻¹). Na média das safras, a cv. IAC Ouro Verde apresentou o maior teor de Mn nos frutos secos (15,2 mg kg⁻¹), enquanto o menor teor médio foi de 9,1 mg kg⁻¹, observado nas cultivares IPR 103. Apesar de significativa e negativa ($r = -0,261$; $p < 0,001$), a correlação do teor de Mn nos frutos com a produtividade de grãos não foi consistente, sugerindo que o nível de produtividade interfere pouco no teor de Mn nos frutos de café arábica.

Na análise da exportação de Mn, houve variação entre as cultivares avaliadas, exceto na safra de 2019/20 (Tabela 14). Em 2015/16, a cv. Tupi IAC 4093 registrou a maior exportação de Mn (170,8 kg ha⁻¹), enquanto a IPR 102 teve a menor exportação (69,7 g ha⁻¹). Na safra seguinte, a cv. IPR 106 liderou com 130,8 g ha⁻¹ e a IPR 103 teve o menor valor (22,9 g ha⁻¹). Em 2017/18, a cv. IAC 125 RN registrou a maior exportação (222,0 g ha⁻¹), enquanto a IPR 99 teve a menor (29,5 g ha⁻¹). Na safra 2018/19, a cv. IPR 100 teve a maior exportação (74,4 g ha⁻¹), enquanto a Araponga MG registrou a menor (18,8 g ha⁻¹). Em 2020/21, a IAC Ouro Amarelo liderou com 82,5 g ha⁻¹ e a IPR 99 teve a menor exportação (31,7 g ha⁻¹). Na safra 2021/22, a cv. Obatã IAC 1669-20 se destacou com a maior exportação (127,3 g ha⁻¹) e a IPR 106 teve o menor valor (23,9 g ha⁻¹).

Tabela 14 - Teor e exportação de manganês nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de sete safras estudadas e na média das safras, em Vera Cruz-SP

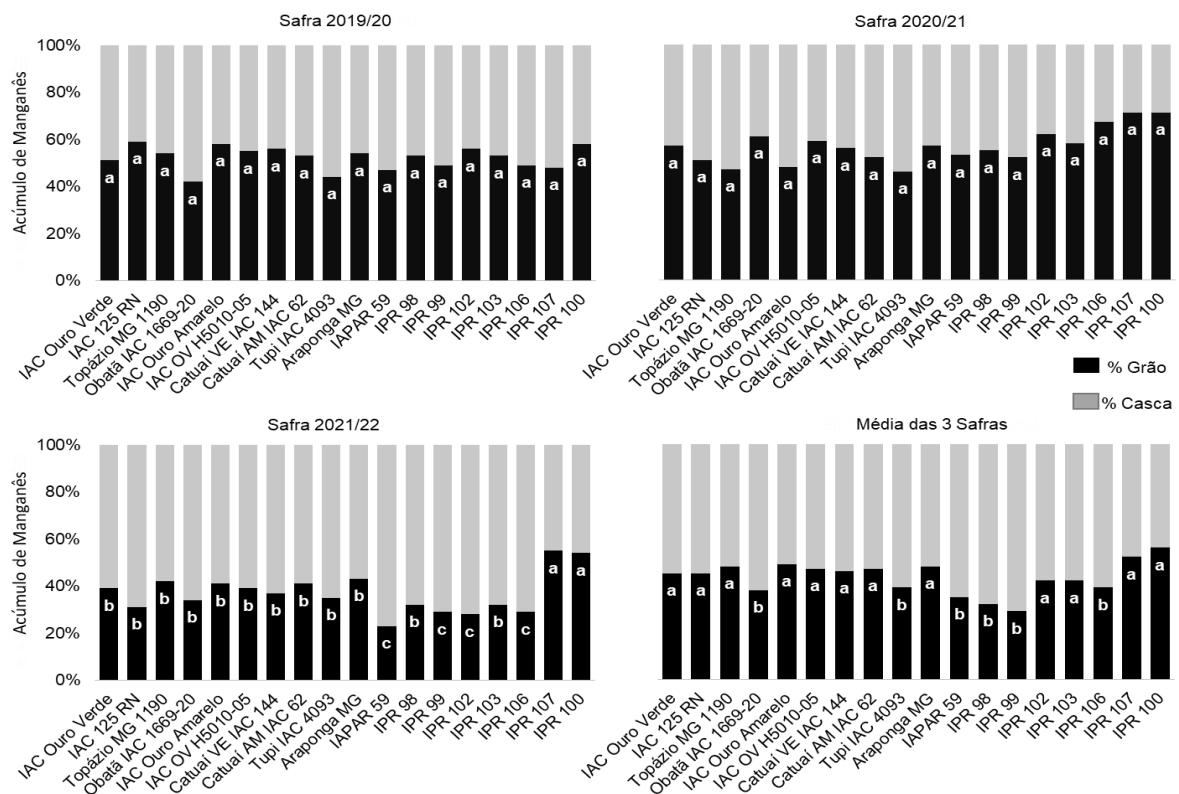
Cultivar	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
	Teor de Mn (mg kg ⁻¹)							
IAC Ouro Verde	17,7b	18,5a	19,0a	14,3a	10,9a	11,9a	13,8a	15,2a
IAC 125 RN	18,2b	15,2a	17,9a	12,4a	10,6a	11,6a	10,2b	13,7a
Topázio MG 1190	19,6b	16,8a	10,4b	11,8a	7,6a	14,0a	10,7b	13,0a
Obatã IAC 1669-20	19,5b	18,5a	7,6c	15,5a	10,8a	9,6a	14,1a	13,7a
IAC Ouro Amarelo	16,2b	12,2b	6,0d	14,9a	10,3a	13,3a	9,8b	11,8b
IAC OV H5010-05	19,2b	12,5b	4,9d	11,2a	8,8a	12,0a	9,8b	11,2b
Catuaí VE IAC 144	23,1a	9,9b	8,1c	18,2a	10,9a	12,5a	13,6a	13,8a
Catuaí AM IAC 62	22,6a	12,8b	6,0d	12,8a	8,8a	11,7a	11,0b	12,2b
Tupi IAC 4093	21,1a	10,9b	4,7d	13,9a	9,1a	14,1a	9,5b	11,9b
Araponga MG	23,1a	9,6b	3,9d	12,1a	8,1a	15,8a	10,7b	11,9b
IAPAR 59	19,6b	9,5b	6,5d	12,4a	10,0a	13,3a	10,0b	11,6b
IPR 98	21,1a	5,7c	4,3d	11,8a	10,7a	11,6a	9,8b	10,7b
IPR 99	22,6a	7,1c	4,3d	11,8a	9,4a	9,3a	8,1c	10,4b
IPR 102	17,7b	10,6b	3,2d	12,1a	13,3a	10,0a	6,0d	10,4b
IPR 103	18,7b	3,8c	4,3d	13,4a	8,7a	8,5a	6,4d	9,1b
IPR 106	18,2b	18,8a	4,3d	10,0a	6,5a	9,5a	5,2d	10,3b
IPR 107	18,2b	21,2a	4,9d	13,1a	10,0a	8,7a	8,8c	12,1b
IPR 100	21,1a	19,3a	4,7d	14,3a	12,4a	7,0a	8,1c	12,4b
Teste F	0,008	<0,001	<0,001	0,448	0,429	0,060	<0,001	<0,001
CV (%)	11,2	16,3	20,6	24,1	28,3	25,8	15,1	10,4
	Exportação de Mn (g ha ⁻¹)							
IAC Ouro Verde	92,6d	106,3b	131,9b	45,7b	122,8a	81,8a	93,4b	96,4a
IAC 125 RN	135,2b	57,6c	222,0a	38,3b	132,7a	56,8b	103,3b	106,6a
Topázio MG 1190	105,5c	94,9b	65,8c	36,0b	83,9a	80,9a	76,1c	77,6c
Obatã IAC 1669-20	108,8c	85,1b	73,0c	37,8b	109,1a	64,3a	127,3a	86,5b
IAC Ouro Amarelo	73,9d	76,0c	38,2d	55,1a	86,6a	82,5a	70,1c	68,9c
IAC OV H5010-05	106,8c	65,7c	34,1d	46,4b	79,8a	70,1a	50,2d	64,7d
Catuaí VE IAC 144	120,8b	44,0d	62,3c	62,2a	94,9a	77,0a	101,1b	80,3b
Catuaí AM IAC 62	112,2c	64,1c	42,4d	37,7b	77,8a	69,6a	85,7b	69,9c
Tupi IAC 4093	170,8a	44,9d	49,0d	27,5b	114,0a	40,4b	125,3a	81,7b
Araponga MG	129,4b	63,2c	35,9d	18,8b	87,0a	68,4a	97,8b	71,5c
IAPAR 59	79,8d	58,0c	65,3c	63,2a	92,1a	76,3a	73,9c	72,6c
IPR 98	88,5d	24,7d	39,5d	41,2b	95,5a	51,6b	94,8b	62,3d
IPR 99	127,6b	34,0d	29,5d	23,2b	90,7a	31,7b	86,0b	60,4d
IPR 102	69,7d	50,4c	31,3d	44,4b	134,6a	60,8a	56,7d	64,0d
IPR 103	86,2d	22,9d	32,0d	58,2a	70,4a	53,1b	54,1d	53,9d
IPR 106	82,6d	130,8a	30,6d	56,4a	46,7a	64,1a	23,9e	62,2d
IPR 107	94,3d	121,1a	44,2d	41,9b	91,4a	47,1b	89,4b	75,7c
IPR 100	128,5b	107,4b	44,0d	74,4a	132,7a	36,7b	97,6b	88,8b
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,046	0,012	<0,001	<0,001
CV (%)	15,3	19,0	23,7	27,6	30,1	28,1	15,1	11,1

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Considerando a média das safras, as cultivares IAC 125 RN e IPR 103 tiveram as maiores e menores exportações de Mn nos frutos secos (106,6 e 53,9 g ha⁻¹, respectivamente). A análise de correlação indica que tanto o teor ($r = 0,626$; $p < 0,001$), quando a produtividade ($r = 0,514$; $p < 0,001$) interferiram positivamente na exportação de Mn pelos frutos colhidos.

Nas safras 2019/20 e 2020/21, não observada diferença entre as cultivares quando à alocação do Mn nos grãos dos frutos de café colhidos, com valores médios de 52 e 57%, respectivamente (Figura 10).

Figura 10 - Percentagem de acúmulo de manganês na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de três safras e na média das safras, em Vera Cruz-SP. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade



Em 2021/22, as cultivares IPR 107 (55%) e IPR 100 (54%) destacaram-se com os maiores percentuais de Mn alocados nos grãos, enquanto as demais cultivares apresentaram maiores percentuais de Mn na casca de café, em média 35% (Figura 10). Entretanto, considerando as médias das três safras, as cultivares IPR 100 (56%), IPR 107 (52%), IAC Ouro Amarelo (49%), Topázio MG 1190 (48%), Araponga MG

(48%), IAC OV H5010-05 (47%), Catuaí VE IAC 144 (46%), Catuaí AM IAC 62 (47%), IAC Ouro Verde (45%), IAC 125 RN (45%), IPR 102 (42%), e IPR 103 (42%) apresentaram alocações de Mn nos grãos superiores aos das demais cultivares. Vale destacar que, somente as cultivares IPR 100 e IPR 107 apresentaram consistentemente maior alocação de Mn nos grãos do que na casca. Garcia, Carvalho e Garcia (2009) também verificaram que 44% do Mn foi alocado nos grãos e o restante na casca do fruto do café arábica.

1.3.12 Teor, exportação e partição de zinco na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica

Os teores de Zn no café “em coco” colhido variaram significativamente entre as cultivares, com exceção da safra 2019/20 (Tabela 15). Em 2015/16, as cultivares IPR 100 (13,34 g kg⁻¹) e IPR 107 (6,73 mg kg⁻¹) apresentaram o maior e o menor teores de Zn, respectivamente. Já na safra de 2016/17, a cv. IPR 102 teve o maior teor (23,0 mg kg⁻¹) e a IAPAR 59 teve o menor (11,88 mg kg⁻¹). Na safra 2017/18, a cv. Topázio MG 1190 registrou o maior teor (21,45 mg kg⁻¹) e a Tupi IAC 4093 o menor (9,34 mg kg⁻¹). Na safra 2018/19, a cv. IAC Ouro Verde registrou o maior teor (10,63 mg kg⁻¹), enquanto a Obatã IAC 1669-20 e Araponga MG tiveram os menores (4,16 mg kg⁻¹). Na safra 2020/21, a cv. IAPAR 59 apresentou o maior teor (22,49 mg kg⁻¹) e a IPR 99 o menor (6,96 mg kg⁻¹). Na safra 2021/22, a cv. IPR 98 registrou o maior (33,5 mg kg⁻¹) e a IPR 99 o menor (3,78 mg kg⁻¹) teor de Zn nos frutos colhidos. Considerando a média das sete safras, a cv. IPR 98 apresentou o maior teor (15,15 mg kg⁻¹), enquanto o menor teor médio foi de 9,19 mg kg⁻¹, observado na cv. IPR 106. Apesar de significativamente, o teor de N nos grãos foi pouco correlacionado à produtividade de grãos ($r = 0,194$; $p < 0,001$).

A exportação de Zn também só não foi afetada pelas cultivares na safra de 2019/20 (Tabela 15). Em 2015/16, a cv. Tupi IAC 4093 registrou a maior exportação de Zn pelos frutos de café (98,2 kg ha⁻¹), enquanto a cultivar IPR 107 teve a menor exportação (34,7 g ha⁻¹). Na safra seguinte, a cv. IPR 103 liderou com 127,3 g ha⁻¹ e a IPR 98 teve o menor valor (52,9 g ha⁻¹). Em 2017/18, a cv. IAC 125 RN registrou a maior exportação (198,6 g ha⁻¹) e a Catuaí VE IAC 144 teve a menor (79,5 g ha⁻¹). Na safra 2018/19, a cv. IAPAR 59 teve a maior exportação (41,6 g ha⁻¹), enquanto a Araponga MG registrou a menor (6,5 g ha⁻¹).

Tabela 15 - Teor e exportação de zinco nos frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de sete safras estudadas e na média das safras, em Vera Cruz-SP

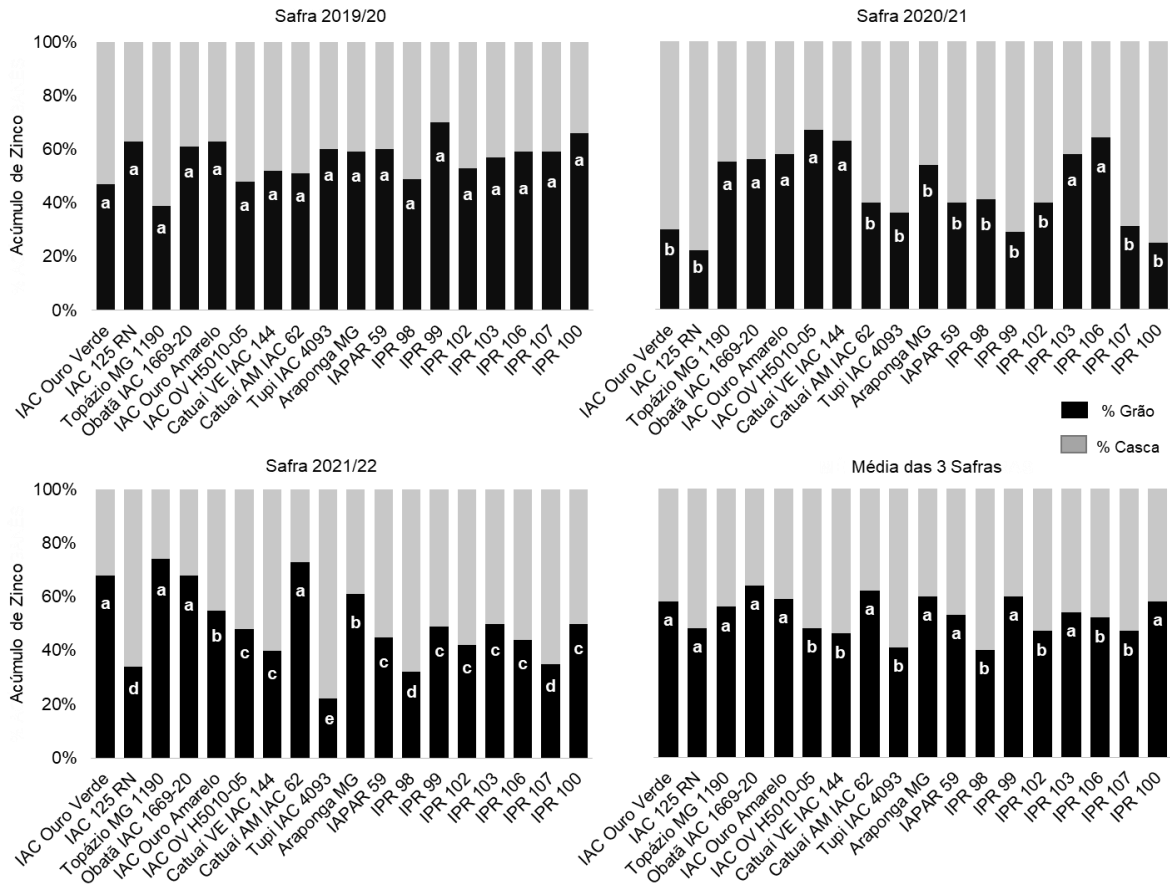
Cultivar	2015/16	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	Média
IAC Ouro Verde	9,87b	14,80b	13,64c	10,63a	9,09a	10,46b	11,29c	11,40b
IAC 125 RN	9,07b	15,98b	15,96b	8,10a	9,94a	9,90b	4,18d	10,45c
Topázio MG 1190	9,07b	16,10b	21,45a	5,02b	12,20a	7,96b	6,83d	11,24b
Obatã IAC 1669-20	11,47a	20,90a	18,28b	4,16b	10,31a	10,50b	8,58d	12,03b
IAC Ouro Amarelo	8,81b	19,69a	15,67b	5,17b	11,95a	10,83b	7,23d	11,34b
IAC OV H5010-05	8,01b	15,70b	14,80b	5,26b	9,68a	9,75b	6,66d	9,98c
Catuaí VE IAC 144	9,61b	17,70b	10,39d	6,32b	10,81a	10,57b	12,59c	11,14b
Catuaí AM IAC 62	9,87b	13,93b	11,90c	4,45b	8,68a	11,27b	5,14d	9,32c
Tupi IAC 4093	12,15a	16,25b	9,34d	5,31b	7,04a	9,56b	5,14d	9,26c
Araponga MG	10,41b	15,26b	12,77c	4,16b	11,44a	7,12b	28,35b	12,79b
IAPAR 59	9,87b	11,88b	16,67b	8,19a	13,96a	22,49a	8,02d	13,01b
IPR 98	8,54b	12,19b	15,67b	5,31b	16,85a	14,10b	33,35a	15,15a
IPR 99	9,87b	13,64b	14,36c	4,88b	14,65a	6,96b	3,78d	9,74c
IPR 102	9,07b	23,00a	12,19c	4,88b	12,58a	8,93b	4,07d	10,68c
IPR 103	8,47b	21,18a	13,49c	4,45b	9,05a	12,23b	11,75c	11,52b
IPR 106	8,54b	16,64b	14,45c	5,03b	9,31a	9,20b	4,18d	9,19c
IPR 107	6,73b	16,10b	16,97b	6,89a	12,70a	9,05b	13,44c	11,70b
IPR 100	13,34a	14,80b	16,06b	7,18a	11,73a	7,70b	14,62c	12,20b
Teste F	0,001	<0,001	<0,001	0,002	0,221	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	14,8	14,7	12,8	28,2	31,9	26,6	26,8	10,2
	Exportação de Zn (g ha ⁻¹)							
IAC Ouro Verde	51,7c	85,1c	94,7c	34,1a	101,0a	71,9b	75,6e	73,4c
IAC 125 RN	67,8b	60,0c	198,6a	25,9a	124,7a	48,9c	42,2f	81,2c
Topázio MG 1190	49,1c	90,6b	136,2b	15,1b	133,5a	46,0c	49,6f	74,3c
Obatã IAC 1669-20	63,8b	96,1b	173,4a	10,1b	105,3a	70,5b	79,0e	85,4b
IAC Ouro Amarelo	40,2d	123,1a	100,0c	19,2b	99,7a	67,4b	52,2f	71,7c
IAC OV H5010-05	44,6d	82,3c	103,5c	21,4b	89,4a	57,3b	34,1f	61,8c
Catuaí VE IAC 144	50,6c	77,3c	79,5c	21,9b	93,6a	64,0b	94,2e	68,7c
Catuaí AM IAC 62	49,5c	68,6c	84,8c	13,6b	77,2a	66,3b	40,1f	57,2c
Tupi IAC 4093	98,2a	68,2c	98,3c	10,1b	87,6a	27,5c	67,4f	65,3c
Araponga MG	58,4c	99,2b	116,2c	6,5b	124,4a	30,1c	257,1b	98,8a
IAPAR 59	40,1d	72,8c	164,1b	41,6a	129,5a	129,6a	59,8f	91,1b
IPR 98	35,9d	52,9c	141,8b	18,5b	151,0a	64,6b	323,4a	112,6a
IPR 99	55,6c	65,7c	99,5c	9,4b	139,9a	23,9c	40,2f	62,0c
IPR 102	35,4d	111,0a	118,2c	17,9b	127,0a	53,9b	38,7f	71,7c
IPR 103	39,0d	127,3a	102,9c	19,9b	73,0a	74,3b	98,1e	76,4c
IPR 106	39,1d	94,5b	104,0c	27,9a	67,0a	62,1b	19,0f	59,1c
IPR 107	34,7d	91,9b	155,6b	23,1b	117,0a	50,3c	136,4d	87,0b
IPR 100	80,6b	82,6c	150,0b	37,3a	123,1a	40,5c	175,2c	98,5a
Teste F	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,165	<0,001	<0,001	<0,001
CV (%)	17,8	13,9	16,1	37,5	31,9	29,6	26,3	12,7

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Em 2020/21, a IAPAR 59 liderou com $129,6 \text{ g ha}^{-1}$ e a IPR 99 teve a menor exportação ($23,9 \text{ mg kg}^{-1}$). Na safra 2021/22, a cv. IPR 98 se destacou com a exportação de Zn mais elevada ($323,4 \text{ g ha}^{-1}$), enquanto a IPR 106 teve a menor ($19,0 \text{ g ha}^{-1}$) (Tabela 15). Na média das safras, as cultivares IPR 98 e Catuaí AM IAC 62 tiveram a maior e a menor exportações de Zn nos frutos secos ($112,6$ e $57,2 \text{ g ha}^{-1}$, respectivamente). A análise de correlação indicou que a produtividade de grãos influenciou a exportação de Zn ($r = 0,609$; $p < 0,001$), mas que o teor do elemento nos frutos teve maior influência ($r = 0,838$; $p < 0,001$), isso, provavelmente, devido à ausência de efeito diluição.

Apesar de grande variação, apenas nas safras 2020/21 e 2021/22 e na média das três safras houve diferenças significativas entre as cultivares na percentagem de Zn alocada nos grãos de café arábica (Figura 11).

Figura 11 - Percentagem de acúmulo de zinco na casca e nos grãos de frutos secos (café “em coco”) de cultivares de café arábica enxertadas e irrigadas, ao longo de três safras e na média das safras, em Vera Cruz-SP. Letras diferentes indicam diferenças entre cultivares quanto à percentagem de acúmulo nos grãos pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade



Em 2020/21, as cultivares Topázio MG 1190, Obatã IAC 1669-20, IAC Ouro Amarelo, IAC OV H5010-05, Catuai VE IAC 144, IPR 103 e IPR 106 registraram 55%, 56%, 58%, 67%, 63%, 58% e 64%, respectivamente do Zn alocado nos grãos (Figura 11). Na safra 2021/22, as cultivares IAC Ouro Verde, Topázio MG 1190, Obatã IAC 1669-20, Catuai AM IAC 62 apresentaram 68%, 74%, 68% e 73% de alocação de Zn nos grãos. Ao considerar a média das três safras, as cultivares IAC Ouro Verde, IAC 125 RN, Topázio MG 1190, Obatã IAC 1669-20, IAC Ouro Amarelo, Catuai AM IAC 62, Araponga MG, IAPAR 59, IPR 99, IPR 103 e IPR 100 tiveram 58%, 48%, 56%, 64%, 59%, 62%, 60%, 53% 60%, 54% e 58% do Zn contido no fruto alocado nos grãos. Esses valores são superiores aos relatados por Garcia, Carvalho e Garcia (2009), que observaram 39% do Zn nos grãos e 61% na casca dos frutos de café arábica cultivares Catucaí Vermelho 785-15 e Catucaí Amarelo 20/15. Contudo,

destaca-se que, no presente trabalho, algumas cultivares apresentaram alocação de Zn nos grãos bastante baixas, em alguns casos inferiores a 25%.

1.3.13 Implicações e perspectivas da determinação do teor, exportação e partição de nutrientes na casca e grãos de frutos secos de cultivares de café arábica

Neste estudo, foi possível identificar um possível efeito de diluição de alguns nutrientes nos frutos de café arábica colhidos, decorrente do maior crescimento e produtividade das plantas. Isso foi mais importante para o S > N > Mn. Isso pode explicar a pequena variação nos teores desses macro e micronutrientes nos frutos do cafeeiro, independentemente da cultivar utilizada, ao comparar os anos de alta e baixa bienalidade (Tabela 4). A exigência do cafeeiro por alguns nutrientes tende a variar pouco em relação à produtividade, já que em períodos de frutificação reduzida, há crescimento de ramos plagiotrópicos, formação de novas folhas e ramos, substituindo os frutos como principais consumidores de carboidratos e nutrientes (Malavolta *et al.*, 2002). Durante as fases de produção máxima (frutificação em ano de carga alta), boa parte dos nutrientes absorvidos pela planta é direcionada para a frutificação, enquanto outra parte é utilizada para o desenvolvimento de novos ramos e folhas (Guimarães; Reis, 2010). No entanto, para alguns nutrientes, notadamente o S, elevados níveis de produtividade reduziram de forma importante o teor do nutriente nos frutos colhidos, de forma que a exportação de S variou pouco em função da produtividade de grãos. Por outro lado, para a maioria dos nutrientes, o nível de produtividade teve pouco efeito no teor deles nos frutos colhido, sendo que dessa forma quanto maior a produtividade maior a exportação de nutrientes (Tabelas 4-9; 11-15).

Apesar das variações entre os anos de safra alta e baixa (bienalidade) na exportação de macro e micronutrientes pelos frutos do café, é essencial considerar a quantidade de elementos minerais necessários para manutenção das plantas (Malavolta *et al.*, 1974). Mesmo em anos de baixa produtividade, a planta continua exigindo uma quantidade significativa de nutrientes, especialmente para sustentar seu crescimento vegetativo (Malavolta *et al.*, 2002; Matiello *et al.*, 2016).

No processo de beneficiamento do café, a separação da casca dos grãos gera um subproduto que, em muitas propriedades, é descartado em pilhas, onde permanece em processo de fermentação ou é utilizado como combustível para fornalhas (Garcia, Carvalho e Garcia, 2009). A análise mineral realizada nas duas

partes resultantes do beneficiamento dos frutos de café revela que quantidades significativas de nutrientes são eliminadas junto com a casca (Figuras 1-11). Portanto, ao reintroduzir a casca de café na lavoura, está se mostra uma fonte rica em nutrientes (Matiello *et al.*, 2016; Quaggio *et al.*, 2022). Sua utilização pode ser considerada no cálculo da demanda nutricional da plantação, visando à redução de custos, especialmente em anos de elevados preços de fertilizantes e para incrementar a matéria orgânica do solo (Garcia; Carvalho; Garcia, 2009). Contudo, é importante lembrar que pode haver variação nos teores e proporções de nutrientes alocados na casca em função da cultivar utilizada (Figuras 1-11).

A eficiência do manejo nutricional pode resultar em melhorias significativas na produtividade, na maximização dos recursos e na rentabilidade para o produtor. Assim, compreender quanto de cada nutriente pode estar sendo exportado da área com os frutos colhidos, bem como quanto potencialmente poderia ser restituído à lavoura mediante uso da casca dos frutos (“palha de café”) como fertilizante orgânico, em função da cultivar utilizada, idade das plantas e nível de produtividade é importante é essencial para criar um plano de fertilização que otimize a produtividade de maneira econômica e sustentável.

Diante desses resultados, observa-se uma grande variação de resposta para a exportação de nutrientes entre os materiais genéticos estudados. A partir da identificação de genótipos com maiores potenciais de exportação de nutrientes, deve-se atentar para suas necessidades nutricionais, uma vez que, quanto maior a exportação de nutrientes por um cultivar, maior deverá ser a restituição nutrientes para o mesmo, visando atender a demanda nutricional e minimizando a possibilidade de quedas na produtividade devido à baixa disponibilidade de nutrientes no solo (Matiello *et al.*, 2016; Quaggio *et al.*, 2022). Além disso, a existência de variabilidade mostra que a nutrição dos diferentes genótipos pode ser levada em consideração nos programas de melhoramento, sendo o primeiro passo para melhoria da eficiência nutricional das cultivares.

1.4 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo fornecem informações valiosas sobre a composição química dos frutos secos (café “em coco”) do cafeeiro arábica em relação aos

nutrientes em diferentes cultivares ao longo de várias safras. Abaixo, são apresentadas as conclusões principais em relação a cada nutriente:

Na média das cultivares e safras avaliadas, a exportação de nutrientes pelo cafeeiro arábica, da primeira à sétima safras, seguiu a ordem: $K > N > Ca > P > Mg > S > Fe > B > Cu > Mn = Zn$.

Houve variações no teor de N nos frutos, significativa entre as cultivares e ao longo das safras, apesar destas terem sido relativamente pequenas. As cultivares IAPAR 59, IPR 99, IPR 102, IPR 103, IPR 107, Catuaí AM IAC 62, Tupi IAC 4093, IAC Ouro Verde e IAC 125 RN apresentaram maiores teores médios de N (21,6-22,2 g kg⁻¹). A exportação de N nos frutos variou mais entre as safras (em média, 114%) do que entre as cultivares (em média, 32%). Na média das sete safras, as cultivares IPR 100, Tupi IAC 4093 e IAC 125 RN se destacaram com as maiores exportações de N (161, 158 e 156 kg ha⁻¹, respectivamente); contudo, em uma safra específica a cv. Tupi IAC 4093 chegou a exportar 314 kg ha⁻¹ de N.

O teor de P nos frutos variou entre as cultivares e safras (0,69-4,40 g kg⁻¹), porém, sem correlação com a produtividade de grãos. As cultivares Tupi IAC 4093, IPR 99, IPR 103, IPR 106, IPR 107 e Catuaí VE IAC 144 tiveram os maiores teores (1,97-2,07g kg⁻¹). A exportação média de P teve variação entre safras (909%) muito maior que a produtividade média de grãos (181%), bem como em comparação com a variação entre cultivares dentro de uma safra específica (388%). As maiores exportações médias foram verificadas nas cultivares Tupi IAC 4093 (15,7 kg ha⁻¹), IPR 100 (15,2 kg ha⁻¹), IAC 125 RN (15,0 kg ha⁻¹) e IPR107 (14,6 kg ha⁻¹), sendo a maior exportação de P em uma safra específica (47,2 kg ha⁻¹) registrada na cultivar IAC 125 RN.

O K foi o nutriente em maiores teores nos frutos de café arábica e, conseqüentemente, aquele exportado em maiores quantidades. As cultivares diferiram quando ao teor de K nos frutos e a Catuaí VE IAC 144, Catuaí AM IAC 62, IAC OV H5010-05, IAC Ouro Amarelo, IPR 99 e Obatã IAC 1669-20 apresentaram os maiores valores (30,0-31,2 g kg⁻¹). A exportação de K variou fortemente com a produtividade de grãos e em função da cultivar, sendo os maiores valores médios obtidos com as cultivares IAC 125 RN (237 kg ha⁻¹), IPR 100 (232 kg ha⁻¹) e Tupi IAC 4093 (230 kg ha⁻¹), mas com a maior exportação de K em uma safra específica (434 kg ha⁻¹) proporcionada pela cv. Tupi IAC 4093.

As exportações de Ca e Mg variaram principalmente em função do nível de produtividade de grãos, sendo a cv. IPR 100 se destacou na exportação de Ca (média de 43 kg ha⁻¹) e a Tupi IAC 4093, IPR 100 e IAC 125 RN na de Mg (10,3-11,0 kg ha⁻¹). Contudo, dependendo da safra, essas cultivares chegaram a exportar 121 kg ha⁻¹ de Ca e 22 kg ha⁻¹ de Mg. O teor de S nos frutos foi negativamente afetado pelo nível de produtividade da safra e, assim, a sua exportação foi a que variou menos entre as safras (161%). As maiores exportações médias de S foram registradas nas cultivares IPR 100, Obatã IAC 1669-20, IAC 125 RN e IAPAR 59 (7,4-8,3 kg ha⁻¹).

Os teores nos frutos colhidos e as exportações de B, Cu, Fe, Mn e Zn também variaram entre as cultivares em praticamente todas as safras analisadas. As quantidades médias exportadas, em g ha⁻¹, variaram de 148 (Catuaí AM IAC 62) a 272 (IPR 100) para o B, de 88 (IAC Ouro Amarelo) a 142 (IPR 100) para o Cu, de 788 (IPR 106) a 1136 (Tupi IAC 4093) para o Fe, de 54 (IPR 103) a 107 (IAC 125 RN) para o Mn e de 59 (IPR 106) a 113 (IPR 98) para o Zn.

As duas cultivares mais produtivas (IPR 100 e IAC 125 RN) também se destacaram com as maiores exportações da maioria dos nutrientes, juntamente com a cv. Tupi IAC 4093.

Também houve diferenças entre as cultivares quanto à partição da maioria dos nutrientes entre a casca e os grãos do fruto. Em média, entre 53% (Tupi IAC 4093) e 66% (Obatã IAC 1669-20) do N, 56% (IAC Ouro Amarelo, IAC OV H5010-05 e Tupi IAC 4093) e 66% (IPR 106) do P, 30% (Tupi IAC 4093) e 43% (IPR 106) do K, 24% (IPR 107) e 56 (IPR 99) do Ca, 55% (Topázio MG 1190) e 66% (Catuaí AM IAC 62, IPR 99, IPR 103, IPR 106, IPR 107 e IPR 100) do Mg, 52% do S, 29% (IPR 98) e 51% (Catuaí AM IAC 62) do B, 51% do Cu, 48% (IPR 102) e 65% (IPR 100) do Fe, 29% (IPR 99) e 56 (IPR 100) do Mn e 40% (IPR 98) e 64% (Obatã IAC 1669-20) do Zn contidos nos frutos colhidos são alocados para os grãos.

Da quantidade total de cada nutriente contida nos frutos, em média, a percentagem de alocação para os grãos seguiu a ordem: Mg > N = P > Fe > Zn > S > Cu > Mn > B > Ca > K. Assim, o K, além de ser o nutriente contido em maior teor nos frutos, também foi aquele com a maior proporção alocada na casca dos frutos.

REFERÊNCIAS

- ALBERTO, N.J.; RAMALHO, J.C.; RIBEIRO-BARROS, A.I.; VIANA, A.P.; KROHLING, C.A.; MOIANE, S.S.; ALBERTO, Z.; RODRIGUES, W.P.; PARTELLI, F.L. Diversity in *Coffea arabica* cultivars in the Mountains of Gorongosa National Park, Mozambique, regarding bean and leaf nutrient accumulation and physical fruit traits. **Agronomy**, v. 13, p.1162, 2023.
- AMARAL, J.F.T.; MARTINEZ, H.E.P.; LAVIOLA, B.G.; FERNANDES FILHO, E.I.; CRUZ, C.D. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, v. 41, p. 621-629, 2011.
- ARZOLLA, S.; GOMES, L.; SARRUGE, J.R.; ANDRADE, R.G.; GRANER, E.A.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro, X. Extração de macronutrientes na colheita pelas variedades Mundo Novo, Caturra e Bourbon Amarelo. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 20, p. 41-52, 1963.
- CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 27-34, 1998.
- CARVALHO, A. M., CARDOSO, D. D. A., CARVALHO, G. R., CARVALHO, V. L. D., PEREIRA, A. A., FERREIRA, A. D., CARNEIRO, L. F. Comportamento de cultivares de cafeeiro sob a incidência das doenças da ferrugem e cercosporiose em dois ambientes de cultivo. **Coffee Science**, v. 2, p. 100-107, 2017.
- CARVALHO, J.P.F.; CARVALHO, G.R.; FERREIRA, A.D.; REZENDE, J.C.; DIAS, R. E.B.A.; CARVALHO, A.M. Dinâmica de macronutrientes em genótipos de *Coffea canephora* com potencial para utilização como porta enxerto. **Coffee Science**, v. 10, p. 176-183, 2015.
- CATANI, R.A.; MORAES, F.R.P. A composição química do cafeeiro. **Revista de Agricultura**, v. 33, p. 45-52, 1958.
- CATANI, R.A.; PELEGRINO, D.; BERGAMIN FILHO, H.; GLORIA, N.A.; GRANER, C.A.F. A absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre pelo cafeeiro *Coffea arabica* variedade Mundo Novo [(B. Rodr.) Choussy] aos dez anos de idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 22, p. 81-89, 1965.
- CATANI, R.A.; PELLEGRINO, D.; ALCARDE, J.C.; GRANER, C.A.F. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 24, p. 249-263, 1967.

CHAVES, J.C.D.; SARRUGE, J.R. Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiro durante um ciclo produtivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, p. 427-432, 1984.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Boletim da Safra de Café**: Estimativas da Produção e Colheita – Dezembro de 2023. 2023. Available in: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>. Access in: 20 de Dezembro de 2023

COVRE, A.M.; RODRIGUES, W.P.; VIEIRA, H.D.; BRAUN, H.; RAMALHO, J.C.; PARTELLI, F.L. Nutrient accumulation in bean and fruit from irrigated and non-irrigated *Coffea canephora* cv. Conilon. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 28, p. 402-409, 2016.

DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, FLÓRIDA; DIAS, JRM; ESPINDOLA, MCC. Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 701-710, 2016.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 186p.

FAVARIN, J.L.; TEZOTTO, T.; NETO, A.P. Balanço Nutricional Em Café: Estudo de Caso. **Visão Agrícola**, v.12, p. 79-81, 2013.

FERNANDES, M.I.S.; ASSIS, G.A.; NASCIMENTO, L.G.; CUNHA, B.A.; AIRÃO, A.L.C.; GALLET, D.S. Parâmetros produtivos e de qualidade de cultivares de cafeeiros na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais. **Research, Society and Development**, v. 9, p. e147996681, 2020.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

GABELMAN, W.H.; GERLOFF, G.C. The search for and interpretation of genetic controls that enhance plant growth under deficiency levels of a macronutrient. **Plant and Soil**, v. 72, p. 335-350, 1983.

GARCIA, A.L.A., CARVALHO, C.H.S., GARCIA, A.W.R. Extração de nutrientes em cafeeiros da espécie *Coffea arabica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRAS, 34., 2008, Caxambú. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2009.

GOMES, W.R.; RODRIGUES, W.P.; VIEIRA, H.D.; OLIVEIRA, M.G.; DIAS, J.R.M.; PARTELLI, F.L. Genetic diversity of standard leaf nutrients in *Coffea canephora* genotypes during phenological phases. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, p. gmr.15048839, 2016.

GUERREIRO FILHO, O.; FAZUOLI, L. C.; GONÇALVES, W. Seleção aumenta resistência de cultivar a doenças, pragas e nematoides. **Visão Agrícola**, v. 12, p. 6-9, 2013.

GUIMARÃES, P.T.G.; NOGUEIRA, F.D.; DIAS, K.G.L.; REIS, T.H.P. Adubação do cafeeiro e a qualidade do produto colhido. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 261, p. 39-51, 2011.

GUIMARÃES, P.T.G.; REIS, T.H.P. Nutrição e adubação do cafeeiro. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café Arábica: do plantio à colheita**. Lavras: EPAMIG SM, 2010. p. 343-414.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - IEA. **Banco de dados**: Valor da produção. São Paulo: IEA, 2022. Available in: <<http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancodedados/valorproducao>>. Access in: December 12, 2023

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

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H. Dinâmica de N e K em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**, v. 22, p. 33-47, 2006.

LIMA, L. K. S.; SANTOS, C. C.; MOURA, M. C. F.; DUTRA, A. S.; OLIVEIRA FILHO, A. F. de. Utilização de resíduo oriundo da torrefação do café na agricultura em substituição a adubação convencional. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 10, p. 14-19, 2014.

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

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

MALAVOLTA, E.; GRANER, E.A.; SARRUGE, J.R.; GOMES, L. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XI. Extração de macro e micronutrientes na colheita pelas variedades "Bourbon Amarelo, Caturra Amarelo e "Mundo Novo". **Turrialba**, v. 13, p. 188-189. 1963.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. In: **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Pioneira, 1974. 727p.

MALAVOLTA, Eurípedes. **O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais**. SP: IPNI, 2008.

MANCUSO, M.A.C.; SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C.; CASTRO, G.S.A. Effect of potassium sources and rates on arabica coffee yield, nutrition, and macronutrient export. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1448-1456, 2014.

MARRACCINI, P.; VINECKY, F.; ALVES, G.S.C.; RAMOS, H.J.O.; ELBELT, S.; VIEIRA, N.G.; CARNEIRO, F.A.; SUJII, P.S.; ALEKCEVETCH, J.C.; SILVA, V.A.

Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, p. 4191-4212, 2012.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic Press, p. 887-889, 1995.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Second Edition. London, Academic Press, 1997. 889p.

MARTINEZ, H.E.P.; MENEZES, J.F.S.; SOUZA, R.B.; ALVAREZ V., V.H.; GUIMARÃES, P.T.G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 703-713, 2003.

MARTINS, A.N., TURCO, P.H.N., ARAÚJO, H.S., FIRETTI, R. Productivity and physical quality of grains from *Coffea arabica* L. in a tropical high-altitude climate in Brazil. **Coffee Science**, v. 18, p. e182167, 2023.

MARTINS, L.; RODRIGUES, W.; MACHADO, S.; BRINATE, S.; COLODETTI, T.; AMARAL, J.; TOMAZ, M. Evidence of genetic tolerance to low availability of phosphorus in the soil among genotypes of *Coffea canephora*. **Genetic and Molecular Research**, v.14, p. 10576-10587, 2015.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. **Cultura de Café no Brasil**: Manual de recomendações. São Paulo: Futurama/MAPA/PROCAFÉ, 2016. 585 p.

PREZOTTI, L.C.; FULLIN E. A. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas. In: PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. (ed.) **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**: Quinta aproximação, Vitória: SEEA; INCAPER; CEDAGRO, 2007. p. 11-46.

SANTOS, M.M.D.; SILVA, C.A.D.; OZA, E.F.; GONTIJO, I.; AMARAL, J.F.T.D.; PARTELLI, F.L. Concentration of nutrients in leaves, flowers, and fruits of genotypes of *Coffea canephora*. **Plants**, v. 10, p. 2661, 2021.

SCHMIDT, R.; SILVA, C.A.; DUBBERSTEIN, D.; DIAS, J.R.M.; VIEIRA, H.D.; PARTELLI, F.L. Genetic diversity based on nutrient concentrations in different organs of robusta coffee. **Agronomy**, v. 12, p. 640, 2022.

SENRA, J.F.B.; FERRÃO, M.A.G.; MENDONÇA, R.F.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G.; VOLPI, P.S.; VERDIN FILHO, A.C.; COMERIO, M.; SILVA, M.W. Genetic variability of the access germplasm bank of *Coffea canephora* of Incaper in southern Espírito Santo. **Journal of Genetic Resources**, v. 6, p. 172-184, 2020.

SILVA, D.O.; FERREIRA, F.M.; ROCHA, R.B.; ESPÍNDULA, M.C.; SPINEL, V.M. Progresso genético com seleção de clones de *Coffea canephora* com rendimento superior de café processado. **Ciência Rural**, v. 48, p. 1-7, 2018.

WOICIECHOWSKI, A. L.; SOCCOL, C. R.; CAMARGO, F.; PANDEY-CSIR, A.
Produção de goma xantana a partir de resíduos da agroindústria do café. In:
SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 1., 2000, Poços de Caldas.
Anais... Poços de Caldas, 2000. p. 677-680.

CAPÍTULO 2

TEORES FOLIARES E MARCHA DE ACÚMULO DE NUTRIENTES NOS FRUTOS DE CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA COM PERÍODOS DE MATURAÇÃO CONTRASTANTES

2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café, sendo essa atividade expressiva no cenário econômico (Amaral *et al.*, 2007; Damatta *et al.*, 2007). O café é uma das *commodities* agrícolas mais comercializadas do mundo. A cultura está presente em mais de 80 países e aproximadamente 25 milhões de pessoas dependem do café para sua subsistência na América Latina, África e Ásia (Ico, 2013). Em 2023, foram produzidos no Brasil 55,1 milhões de sacas de 60 kg beneficiadas de café, sendo desse total, 70% da produção (38,9 milhões de sacas) e 79% da área (1,49 milhões de ha) correspondem à espécie arábica (*Coffea arabica* L.) (Conab, 2023). Devido à importância econômica da atividade cafeeira e sua vulnerabilidade de preço no mercado brasileiro, torna-se fundamental a busca por formas de produção mais sustentáveis e rentáveis e, com isso, a procura por novas cultivares, mais produtivas e adaptadas, bem como a regionalização desses materiais, ou seja, saber qual tem o melhor desempenho em cada região, se tornou essencial para a consolidação da atividade cafeeira (Martins *et al.*, 2023).

Grande parte dos estudos na cafeicultura, visam avaliar características quanto a teores de cafeína (Silvarolla *et al.*, 2000), resistência a nematoides (Anzueto *et al.*, 2001; BOISSEAU *et al.*, 2009), qualidade da bebida (Bertrand *et al.*, 2006), diversidade molecular (SILVESTRINI *et al.*, 2007) e plasticidade fenotípica (MATOS *et al.*, 2009; Rodrigues *et al.*, 2011), mas são praticamente inexistentes trabalhos que avaliaram a exigência nutricional, bem como a marcha de acúmulo e a exportação de nutrientes pelos frutos em novos genótipos de café arábica, nas diversas regiões de cultivo (Santos *et al.*, 2015).

Na cafeicultura, o maior custo de produção, depois da mão de obra, se deve ao uso de fertilizantes (Marques *et al.*, 2023). Dessa forma, a avaliação e seleção de cultivares que demandem menos insumos é um passo relevante para a redução de custos na produção, como também para a sustentabilidade ambiental. O sucesso do

manejo nutricional das culturas depende de diversos fatores, como características químicas, biológicas e físicas do solo, além da influência do genótipo (Alberto *et al.*, 2023; Santos *et al.*, 2021).

De maneira geral, estudos de nutrição mineral em plantas focam-se apenas em um único ou poucos elementos químicos, ou na comparação de fases de desenvolvimento de um único genótipo (Catani *et al.*, 1965; 1967; Chaves; Sarruge, 1984; Laviola, 2007; Laviola *et al.*, 2006; 2007b; 2007c; 2007d; 2007e; 2008). São raros os estudos que avaliaram a exigência de vários nutrientes simultaneamente em vários genótipos (Buescher *et al.*, 2010).

É importante ressaltar também que a florada desses genótipos ocorre na mesma época, normalmente entre agosto e outubro, nas condições do estado de São Paulo, por ocasião das "chuvas de florada". Contudo, o período posterior, da abertura da flor à completa maturação (e colheita) dos frutos, é diferenciado para cada genótipo (Bragança *et al.*, 2001). Isso sugere que pode haver padrões diferenciados de crescimento e maturação de frutos entre os genótipos de café.

Sendo assim, pesquisas que analisam o padrão de crescimento dos frutos e o acúmulo de nutrientes são de grande importância tanto do ponto de vista científico quanto agrônomo. Isso se deve ao fato de que, ao examinar as curvas de crescimento dos frutos, é possível inferir sobre as fases em que a demanda por nutrientes, tanto do fruto quanto da planta, é mais ou menos pronunciada. Essa compreensão possibilita otimizar o manejo de água e fertilizantes, resultando na redução de custos e no aumento da produtividade da lavoura, bem como na melhoria da qualidade dos frutos (Partelli *et al.*, 2010).

Um estudo conduzido na Costa Rica por Ramirez *et al.* (2002) revelou que mais da metade do acúmulo de macronutrientes nos frutos de café ocorreu nos primeiros 90 dias após a floração, durante a fase de expansão rápida, em um ciclo reprodutivo de 240 dias que abrange os meses de março a outubro. No Brasil, o período de frutificação do cafeeiro geralmente ocorre entre setembro e junho, conforme indicado por Camargo e Camargo (2001), embora a formação dos frutos possa variar devido às condições climáticas e à região, como mencionado por Camargo e Cortez (1998). Assim, é de extrema importância conduzir pesquisas sobre a acumulação de nutrientes nos frutos do cafeeiro durante a fase reprodutiva, levando em consideração as condições climáticas do Brasil e a cultivar utilizada (Laviola *et al.*, 2007; Partelli *et*

al., 2010). Isso possibilita determinar o período de maior demanda nutricional da cultura e aprimorar a eficiência das práticas de adubação (Laviola *et al.*, 2007).

De acordo com Kozlowski e Pallardy (1996), a partição desses nutrientes dentro de uma árvore, como o cafeeiro, depende da distribuição de matéria seca (MS) e dos teores de nutrientes nos diferentes órgãos e tecidos.

Visando ampliar a base de conhecimento relativo ao comportamento e exigência nutricional de novas cultivares de café arábica foi conduzido o presente trabalho, objetivando-se avaliar o crescimento sazonal (acúmulo de MS), os teores e acúmulos de nutrientes no fruto, bem como os teores de nutrientes em folhas dos ramos produtivos (folha diagnóstica), ao longo do período de desenvolvimento (frutificação) de cultivares café arábica com períodos de maturação dos frutos contrastantes.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido em condições de campo, em um experimento de cultivares de café arábica instalado em abril de 2014. As avaliações de teor de nutrientes nas folhas e marcha de acúmulo de nutrientes nos frutos foram realizadas entre outubro e julho dos anos agrícolas 2020/21 e 2021/2022.

2.2.1 Localização e caracterização climática da área experimental

O experimento onde o estudo foi conduzido, estava instalado na Fazenda Recreio, no município de Vera Cruz-SP, apresentando como coordenadas geográficas 49°29'10" de longitude Oeste de Greenwich e 22°07'11" de latitude Sul, com altitude de 645 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, ou seja, com verão quente e chuvoso e inverno seco. A temperatura média do mês mais quente é próxima a 26 °C e a do mês mais frio à 18 °C e regime pluviométrico anual em torno de 1.290 mm (Cepagri, 2020). Os dados mensais de temperaturas médias e precipitação pluvial durante a realização do estudo, ou seja, de 2020 a 2022, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de temperatura média e precipitação pluvial mensais e irrigação anual, de janeiro de 2020 a dezembro de 2022. Vera Cruz-SP

Mês	Ano		
	2020	2021	2022
Temperatura média (°C)			
Janeiro	25,7	26,7	25,5
Fevereiro	26,0	25,8	26,2
Março	25,2	25,7	26,1
Abril	24,8	25,6	24,0
Maio	23,0	25,0	20,5
Junho	20,7	22,3	20,2
Julho	22,8	20,7	22,5
Agosto	21,1	19,3	20,1
Setembro	21,1	20,9	20,3
Outubro	25,4	25,6	23,2
Novembro	27,4	25,4	22,5
Dezembro	24,9	25,4	24,3
Precipitação mensal e irrigação anual (mm)			
Janeiro	175,0	327,0	290,5
Fevereiro	287,0	128,0	75,0
Março	74,0	137,0	183,0
Abril	27,0	5,0	35,5
Maio	45,0	15,0	57,0
Junho	94,0	55,5	50,0
Julho	10,0	0,0	0,0
Agosto	75,0	9,5	50,0
Setembro	8,0	23,0	107,0
Outubro	88,0	115,0	97,0
Novembro	52,0	109,0	28,0
Dezembro	222,0	136,5	271,0
Irrigação	50,1	57,3	30,0

2.2.2 Caracterização do solo, histórico da área experimental e manejo da lavoura

O solo da área experimental é classificado como Latossolo eutrófico típico (Le) textura média, com média de argila entre 16 e 25%. Anteriormente a área havia sido cultivada com uma antiga lavoura de café arábica (Catuaí Vermelho). Os resultados de análises químicas da camada de 0–20 cm de profundidade do solo, antes da implantação do experimento (início de 2014), foram: 5,0 para pH (CaCl₂); 86 mg dm⁻³ de P(resina); 1,7 g dm⁻³ de M.O.; 1,6 mmol_c dm⁻³ de K⁺; 23 mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺; 9 mmol_c dm⁻³ de Mg²⁺; 0 mmol_c dm⁻³ de Al³⁺; 21 mmol_c dm⁻³ de H+Al; 62% de saturação por bases; 9,7 mg dm⁻³ de S-SO₄²⁻.

Antes do plantio, a área foi preparada com uma gradagem pesada e duas passadas de grade leve (niveladora) em área total. Também foi realizada subsolagem nas linhas de plantio, com posterior abertura dos sulcos, os quais receberam 1300 kg

ha⁻¹ de calcário. Após isso, foram realizadas a adubação no sulco de plantio, que constou de 1300 kg ha⁻¹ de superfosfato simples, 9300 kg ha⁻¹ de cama de frango e 4700 kg ha⁻¹ torta de mamona. Após a aplicação dos fertilizantes e preparo dos sulcos, em abril de 2014, foi realizado o plantio das mudas com cinco a seis pares de folhas, no espaçamento 3,30 × 0,65 m, perfazendo um total de 4.662 plantas ha⁻¹.

Calagens, gessagens, adubações, tratamentos fitossanitários e práticas culturais ao longo dos anos foram realizados de maneira homogênea em todo o experimento e de acordo com os critérios do produtor. As doses de fertilizantes foram variáveis, dependendo da carga e de análises químicas de solo e folhas realizadas pelo produtor no talhão onde o experimento estava alocado. Adubações com os fertilizantes formulados N-P₂O₅-K₂O sólidos 23-00-18 e 13-00-08 foram realizadas de forma parcelada, entre os meses de outubro e fevereiro de cada ano agrícola. As aplicações foram feitas de forma mecanizada, distribuindo-se uniformemente os fertilizantes sob a projeção da copa das plantas de café. Também foram realizadas aplicações de esterco e palha de café (casca dos frutos), fertirrigações e adubações foliares. As adubações realizadas durante os anos agrícolas 2020/21 e 2021/22 estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 2 - Calagens, adubações, épocas e modo de aplicação

Produto	Modo de aplicação	Dose por ano agrícola	Meses											
			A	S	O	N	D	J	F	M	A	M		
2020/21														
Calcário	Solo	0,2 t ha ⁻¹				x								
13-00-08	Solo	822 kg ha ⁻¹					x					x		
23-00-18	Solo	308 kg ha ⁻¹				x								
Nitrato de Ca*	Fertirrigação	1000 kg ha ⁻¹				x	x	x	x	x	x	x	x	
Ácido bórico*	Fertirrigação	12,5 kg ha ⁻¹				x	x	x	x	x	x	x	x	
Cobre	Foliar	2 L ha ⁻¹										x		x
DaCafé*	Foliar	3 L ha ⁻¹					x		x			x		
2021/22														
13-00-08	Solo	1550 kg ha ⁻¹				x		x	x					
23-00-18	Solo	383 kg ha ⁻¹			x									
33-00-00	Solo	143 kg ha ⁻¹										x		
Nitrato de Ca*	Fertirrigação	468 kg ha ⁻¹			x	x		x	x					
Ácido bórico*	Fertirrigação	6,2 kg ha ⁻¹			x			x	x					
Cobre	Foliar	2 L ha ⁻¹						x			x	x		
DaCafé*	foliar	3 L ha ⁻¹					x					x		

*Nitrato de cálcio (15,5% N; 19% Ca), ácido bórico (17% B) e DaCafé (10% N; 2,4% S; 1% B; 0,05% Mo; 5% Zn).

O manejo fitossanitário foi realizado de acordo com os critérios do produtor. Em todos os anos agrícolas, foram utilizados de forma alternada e em toda a área experimental os seguintes produtos: Piori Xtra[®] (fungicida azoxistrobina+ciproconazol), Vertimec[®] 18 EC (acaricida/inseticida/nematicida abamectina), Batent[®] (inseticida/acaricida abamectina), Verdadero[®] 600 WG (inseticida/fungicida tiametoxam+ciproconazol), Alto[®] 100 (fungicida ciproconazol), Amistar Top[®] (fungicida azoxistrobina+difenoconazol), Supera[®] (fungicida hidróxido de cobre), Actara[®] 250 WG (inseticida tiametoxam), Voliam Targo[®] (inseticida/acaricida clorantraniliprole+abamectina) e Durivo[®] (inseticida tiametoxam+clorantraniliprole), Ochima[®] (adjuvante penetrante do grupo químico ésteres alquílicos do ácido fosfórico), Nimbus[®] (adjuvante penetrante do grupo químico dos hidrocarbonetos alifáticos). O manejo de plantas daninhas foi realizado com Zapp[®] QI 620 (herbicida seletivo sistêmico glifosato potássico, para aplicação em pós-emergência de plantas infestantes), mediante o uso de pulverizador de barras protegida, para evitar problemas com deriva no cafeeiro.

Todas as plantas foram irrigadas por gotejamento, sendo o monitoramento do sistema de irrigação feito baseado em tensiômetros instalados e análise dos dados climáticos coletados no local, quando os tensiômetros chegaram a 10 Kpa, foi realizada a irrigação. A lâmina de água depende da situação e do regime pluviométrico (Tabela 1).

Nos meses de março ou abril de cada ano foi realizado o preparo para colheita, através da arruação, visando manter a projeção da copa das plantas na terra limpa, puxando todas as folhas e galhos do cafeeiro e plantas daninhas para a entrelinha.

2.2.3 Delineamento experimental e tratamentos

No experimento foi adotado o delineamento em blocos casualizados, com sete tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram sete cultivares de café arábica: IAC 125 RN e IAPAR 59 (precoces); Topázio MG 1190 e Catuaí Vermelho IAC 144 (intermediários); Obatã IAC 1669-20, IPR 99 e IPR 100 (tardios). Todos os materiais foram enxertados em porta enxerto de *Coffea canephora* (Pierre) cultivar Apoatã (IAC 2258), que possui resistência ao *Meloidogyne exigua* e *M. incognita*. Cada parcela consistiu de 60 plantas, formadas por duas fileiras de 20 m de comprimento cada uma.

2.2.4 Variáveis analisadas

2.2.4.1 Marcha de acúmulo de biomassa no fruto

Nos anos agrícolas de 2020/21 e 2021/2022, foram realizadas coletas de frutos para determinação da marcha de acúmulo de biomassa. As coletas iniciaram aproximadamente três ou quatro semanas após antese floral (florada principal) e foram, posteriormente, realizadas a cada quatro semanas até a maturação, ou seja, foram realizadas pelo menos seis coletas em cada parcela. Na safra 2020/21, ocorreram pelo menos três floradas, sendo que a mais significativa ocorreu na terceira semana de outubro de 2020. Já para a safra 2021/2022 foram diversas floradas (4 a 5), sendo que a maior foi na última semana de setembro de 2021.

Foram marcadas 10 plantas dentro de cada parcela, sendo coletados 200 frutos de cada parcela até a 2ª coleta, 100 frutos por parcela da 3ª à 5ª coletas e 50 frutos por parcela a partir da 6ª coleta. Os frutos foram colhidos aleatoriamente de

ramos pertencentes ao terço médio das plantas definida inicialmente na área de cada parcela. As coletas foram realizadas em ambos os lados da fileira de plantas. A última coleta foi realizada quando os frutos atingiram o ponto de maturação, ou seja, o estágio “cereja”. Os frutos coletados foram pesados, submetidos à secagem, em estufa a 65 °C, por 96 h, e posteriormente pesados para determinação do acúmulo de MS, em g fruto⁻¹.

2.2.4.2 Teor e acúmulo de nutrientes no fruto

Os frutos coletados para a determinação do acúmulo de biomassa, após secos, foram moídos em moinho tipo Wiley, com peneiras de 1 mm de malha. Posteriormente as amostras foram submetidas à análise para determinação dos teores dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), segundo os métodos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). As quantidades de cada nutriente acumuladas, em mg fruto⁻¹, foram obtidas mediante multiplicação da quantidade de biomassa acumulada e o teor de cada nutriente.

2.2.4.3 Teor de nutrientes nas folhas

No intuito de verificar a relação dos teores de nutrientes nas folhas com o acúmulo de nutrientes nos frutos (remobilização), em cada época de coleta de frutos, também foram coletadas folhas. As coletas foram realizadas nas mesmas 10 plantas marcadas dentro da parcela, coletando-se três pares de folhas em cada lado da planta em cada época de coleta, totalizando assim, 30 folhas por parcela. Foram coletadas folhas do 3º ou 4º par de folhas dos mesmos ramos plagiotrópicos onde foram coletados os frutos. As folhas coletadas foram submetidas à secagem, em estufa a 65 °C, por 72 horas, sendo em seguida moídas (frutos inteiros, ou seja, grãos + casca) em moinho tipo Wiley, com peneiras de 1 mm de malha. Os teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) foram determinados segundo metodologias descritas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

2.2.4.4 Produtividade de grãos, rendimento de benefício e teor e exportação de nutrientes nos frutos colhidos

Para determinação da produtividade de grãos, um total de 10 plantas foram colhidas por parcela, sendo cinco plantas de cada fileira da parcela, daquelas que não havia sido amostrados frutos e folhas. Os frutos colhidos em cada parcela foram secos em terreiro suspenso até 11% de umidade (café “em coco”) e posteriormente pesados. O rendimento de café beneficiado foi determinado a partir do processamento de subamostras de 300 g de cada parcela, sendo os grãos pesados em balança de precisão, para o cálculo do rendimento, em %. Posteriormente, foi calculada a produtividade de café beneficiado, em kg ha^{-1} , considerando o número total de plantas por hectare e o rendimento de cada amostra.

Os frutos colhidos na colheita final também foram submetidos à determinação dos teores de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn). Para tanto, uma amostra de aproximadamente 2,0 kg de café “em coco” de cada parcela foi seca em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Wiley, com peneiras de 1 mm de malha. Os teores de nutrientes foram determinados segundo metodologias descritas por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Para se obter as quantidades de nutrientes exportados, multiplicou-se a produtividade de café “em coco” (base seca) de cada parcela, que por sua vez foi calculada a partir dos valores de produtividade de café beneficiado e rendimento de benefício (Martins *et al.*, 2023), pelos respectivos teores dos nutrientes e os valores foram convertidos para kg ha^{-1} (N, P, K, Ca, Mg e S) ou g ha^{-1} (B, Cu, Fe, Mn e Zn).

2.2.5 Análise estatística

Foram observadas a sazonalidade de acúmulo de biomassa e os teores e acúmulos de nutrientes em folhas e frutos durante o ciclo de produção, desde a fase de “chumbinho” (alguns dias após a floração) até a maturação. Os resultados de acúmulo de biomassa e teores de nutrientes nas folhas e frutos e acúmulos de nutrientes nos frutos durante o período de frutificação foram comparados pelo erro padrão da média. Os dados de produtividade de grãos beneficiados e rendimento de benefício foram submetidos às análises de variância e as médias das cultivares separadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, com auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2011).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Marcha de acúmulo de biomassa no fruto e produtividade de grãos

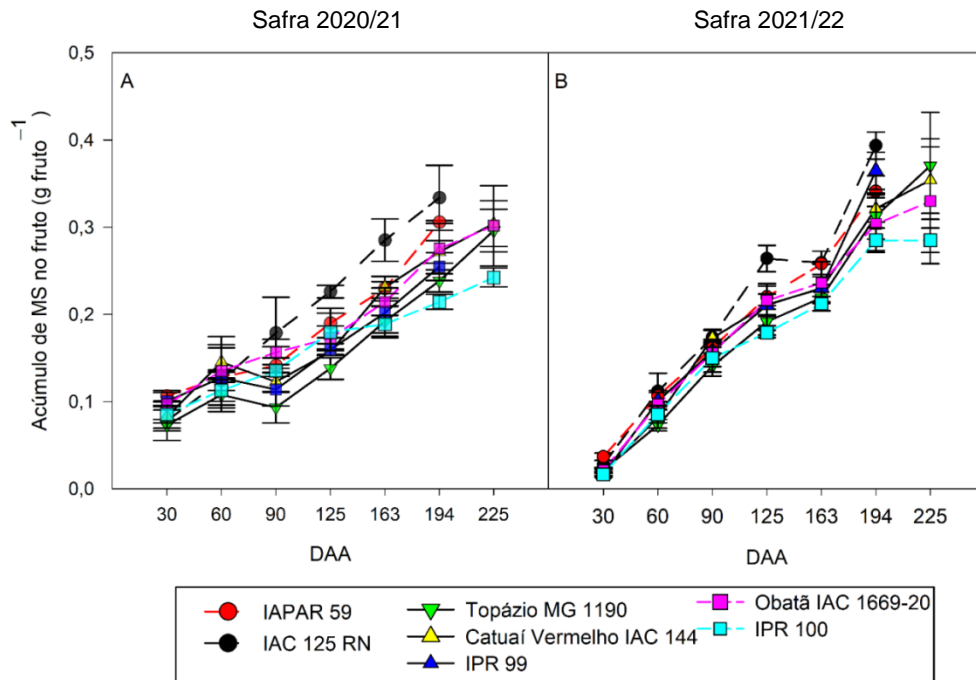
Os ciclos reprodutivos do cafeeiro em ambas as safras tiveram uma duração média de 194 a 225 dias, com a floração iniciando por volta de setembro/outubro e a maturação dos frutos ocorrendo em maio/junho, dependendo do cultivar. Contudo, é relevante notar que, durante esse período, o acúmulo de MS não se estabilizou, apesar de os frutos terem atingido a coloração característica dos frutos maduros (Figura 1), resultados semelhantes aos observados por Laviola (2007), para as cultivares Catuaí Vermelho IAC 99, Rubi MG-1192 e Acaiá IAC 474-10.

Embora as cultivares tenham apresentado comportamentos relativamente semelhantes para taxas de acúmulo de MS, as durações de cada estágio diferiram e isso resultou em um ciclo de 194 dias para as precoces (IAPAR 59 e IAC 125 RN) e um ciclo de 225 dias para as intermediárias (Topázio MG 1190 e Catuaí Vermelho IAC 114) e tardias (Obatã IAC 1669-20, IPR 99 e IPR 100). Vale ressaltar que, embora as cultivares intermediárias apresentaram duração do ciclo semelhante às tardias, essas últimas foram colhidas depois, porque sua floração primária ocorreu 15 dias depois. Ou seja, o atraso na floração principal das cultivares intermediárias explica os ciclos de maturação semelhantes destas com as de maturação tardia. De maneira geral, o ciclo reprodutivo foi considerado semelhante ao ciclo de 224 dias relatado por Laviola (2007), para as cultivares de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 99, Rubi MG-1192 e acaiá IAC 474-10, em Viçosa-MG. Porém, foi considerada curta, comparada ao período de 252 dias reportado por Chave (1982), para a cv. Catuaí H 2077-2-5-39, em Londrina-PR. É provável que as condições edafoclimáticas na área experimental, especialmente a altitude (645 m) e a temperatura, tenham desempenhado um papel na redução do período de formação dos frutos. Laviola *et al.* (2007a), estudando a cv. Catuaí IAC 44, em Martins Soares-MG, verificaram que na altitude de 720 m, os frutos necessitaram de 211 dias para atingir a maturação, enquanto a 950 m, a formação dos frutos levou até 262 DAA. Ocorrência de menores temperaturas normalmente retarda as reações enzimáticas e o transporte de fotoassimilados (Larcher, 2000), ampliando o tempo de formação do fruto do cafeeiro (Laviola *et al.*, 2007a).

Durante o processo de desenvolvimento, os frutos passaram por quatro estágios distintos: “chumbinho”, expansão rápida, crescimento suspenso e

granulação-maturação, de acordo com a descrição de Rena *et al.* (2001). De maneira geral, pode-se observar que o acúmulo de MS no fruto foi relativamente semelhante entre as cultivares com diferentes ciclos de maturação, especialmente nas primeiras três coletas de cada safra (Figura 1). Contudo, a partir da quarta coleta (125 DAA), especialmente a cv. IAC 125 RN, mas, de certa forma, também a IAPAR 59, ambas precoces, começaram a se destacar, com maior MS acumulada no fruto que as demais cultivares, nas duas safras avaliadas. Esses resultados confirmam que cultivares precoces acumulam MS no fruto de forma mais rápida que as tardias, especialmente entre ~60 e ~125 DAA, possivelmente a fase de expansão rápida dos frutos (Rena *et al.*, 2001). O estágio de "chumbinho" tem início após a floração e perdura até cerca de 60 DAA. O baixo acúmulo de MS nos frutos nessa fase está relacionado ao fato de que o crescimento dos frutos está ocorrendo principalmente por meio da multiplicação celular, com menos ênfase na expansão, como observado por Rena *et al.* (2001) e Leon e Fournier (1962). Na fase de "chumbinho," os frutos apresentam altas taxas respiratórias (Cannel, 1971b), e a maior parte dos fotoassimilados que chega é direcionada para a produção de energia destinada à formação de novas células, o que impede o acúmulo de reservas. A partir dos 60 DAA, inicia-se a fase de "expansão rápida", no qual ocorreu um aumento significativo da MS no fruto, culminando aos 125 DAA (Figura 1).

Figura 1 - Acúmulo de matéria seca (MS) nos frutos de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese



Na safra 2020/21, o fruto havia acumulado em média cerca de 7% da sua MS total já na primeira coleta (30 DAA), enquanto esse acúmulo foi em média 3% da MS total, na safra 2021/22 (Figura 1). Este crescimento inicial mais rápido na primeira safra avaliada pode ter sido devido ao fato da florada principal ter ocorrido mais tardiamente (3ª semana de outubro de 2020), o fazendo com que o desenvolvimento dos frutos já se iniciasse com temperaturas maiores (Tabela 1). Por outro lado, a florada principal da segunda safra foi mais cedo (4ª semana de setembro de 2021), época de temperaturas médias mais baixas. Apesar disso, Laviola (2007) reportou efeito da temperatura (altitude) no acúmulo de MS dos frutos apenas a partir de 70-80 DAA. Já na segunda coleta (60 DAA), o acúmulo de MS no fruto de ambas as safras se aproximou, ficando em média 10% e 9% da MS final do fruto, respectivamente (Figura 1).

O acúmulo médio de MS nos frutos das cultivares estudadas, nas safras 2020/21 e 2021/22, foi em torno de 51% e 47% da MS total, respectivamente, entre 60 e 125 DAA (Figura 1). Esse aumento na MS nesse estágio está principalmente relacionado à expansão celular (Rena *et al.*, 2001), com a absorção de água

desempenhando um papel essencial nesse processo, como observado por Marenco e Lopes (2005). É provável que o aumento da MS nos frutos durante a fase de expansão celular esteja relacionado a uma maior síntese de polissacarídeos para a formação da parede celular em expansão. De acordo com Taiz e Zeiger (2004), durante o alongamento celular, os polímeros da parede celular são continuamente sintetizados, enquanto a parede celular preexistente se expande.

A fase de "crescimento suspenso" ocorreu entre os 125 e 163 DAA (Figura 1), durante o qual houve um acúmulo relativamente baixo de MS no fruto; contudo, isso foi mais evidente na safra 2021/22, do que na anterior. É provável que esse crescimento limitado nessa fase esteja relacionado à reciclagem e à síntese de enzimas e compostos intermediários (Taiz; Zeiger, 2010), que foram anteriormente utilizados na síntese de polissacarídeos da parede celular, e agora estão sendo direcionados como precursores na síntese de compostos de reserva na fase de "granação-maturação" (Asfolfi *et al.*, 1981; Rena *et al.*, 2001). Por fim, a partir dos 163 DAA, teve início a fase de "granação-maturação," que se estendeu até os 194 DAA, para as cultivares precoces, e 225 DAA, para as intermediárias e tardias (Figura 1). Nesse período, ocorre a deposição de matéria de reserva, principalmente nas sementes, como descrito por Rena *et al.* (2001) e Astolfi *et al.* (1981).

As produtividades das diferentes cultivares nas duas safras são apresentadas na Tabela 4. Estes dados foram obtidos do estudo de Martins *et al.* (2023), que investigaram a produtividade e qualidade física de grãos de cultivares de café arábica na região de Vera Cruz-SP. O estudo original forneceu uma análise abrangente das características de rendimento das cultivares nas sete primeiras safras (2015/16 a 2021/22). Vale destaca que na safra anterior ao presente estudo (2019/20), as cultivares avaliadas tiveram uma safra muito elevada, com produtividades variando de 74,3 (Catuaí VE IAC 144) a 98,2 (IAC 125 RN) sacas ha⁻¹. Assim, podemos considerar que a safra 2020/21 foi uma safra baixa e a 2021/22 uma safra alta. Em 2020/21, as cultivares IAPAR 59, Topázio MG 1190, Catuaí VE IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 se destacam com as maiores produtividades, enquanto a IPR 100 se destacou na safra seguinte (Tabela 3). Quanto ao rendimento de benefício, houve destaque positivo da cultivar IAPAR 59 em 2020/21, enquanto em 2021/22, esta, juntamente com a IAC 125 RN apresentaram os menores valores. Nota-se que, não houve uma relação entre a MS do fruto na maturação, com o rendimento de benefício, ou seja, as cultivares que apresentaram o maior rendimento de benefício não necessariamente foram

aquelas apresentaram os maiores acúmulos médio de MS no fruto (Tabela 3; Figura 1).

Tabela 3 - Produtividade de grãos e rendimento de grãos beneficiados de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, nas safras 2020/21 e 2021/22

Cultivares	2020/21	2021/22
Produtividade de grãos beneficiados (kg ha ⁻¹)		
IAC 125 RN	2294b	4182c
IAPAR 59	3280a	3404d
Topázio MG 1190	2986a	3456d
Catuaí VE IAC 144	3319a	3682d
Obatã IAC 1669-20	3487a	4567c
IPR 99	1657c	5210b
IPR 100	2621b	5953a
Teste F	<0,001	<0,001
CV (%)	10,8	6,7
Rendimento de benefício (%)		
IAC 125 RN	46,7d	41,3c
IAPAR 59	56,7a	45,7b
Topázio MG 1190	52,1c	48,8a
Catuaí VE IAC 144	54,6b	49,4a
Obatã IAC 1669-20	52,4c	50,2a
IPR 99	48,7d	48,8a
IPR 100	50,1c	49,9a
Teste F	<0,001	<0,001
CV (%)	3,3	3,6

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

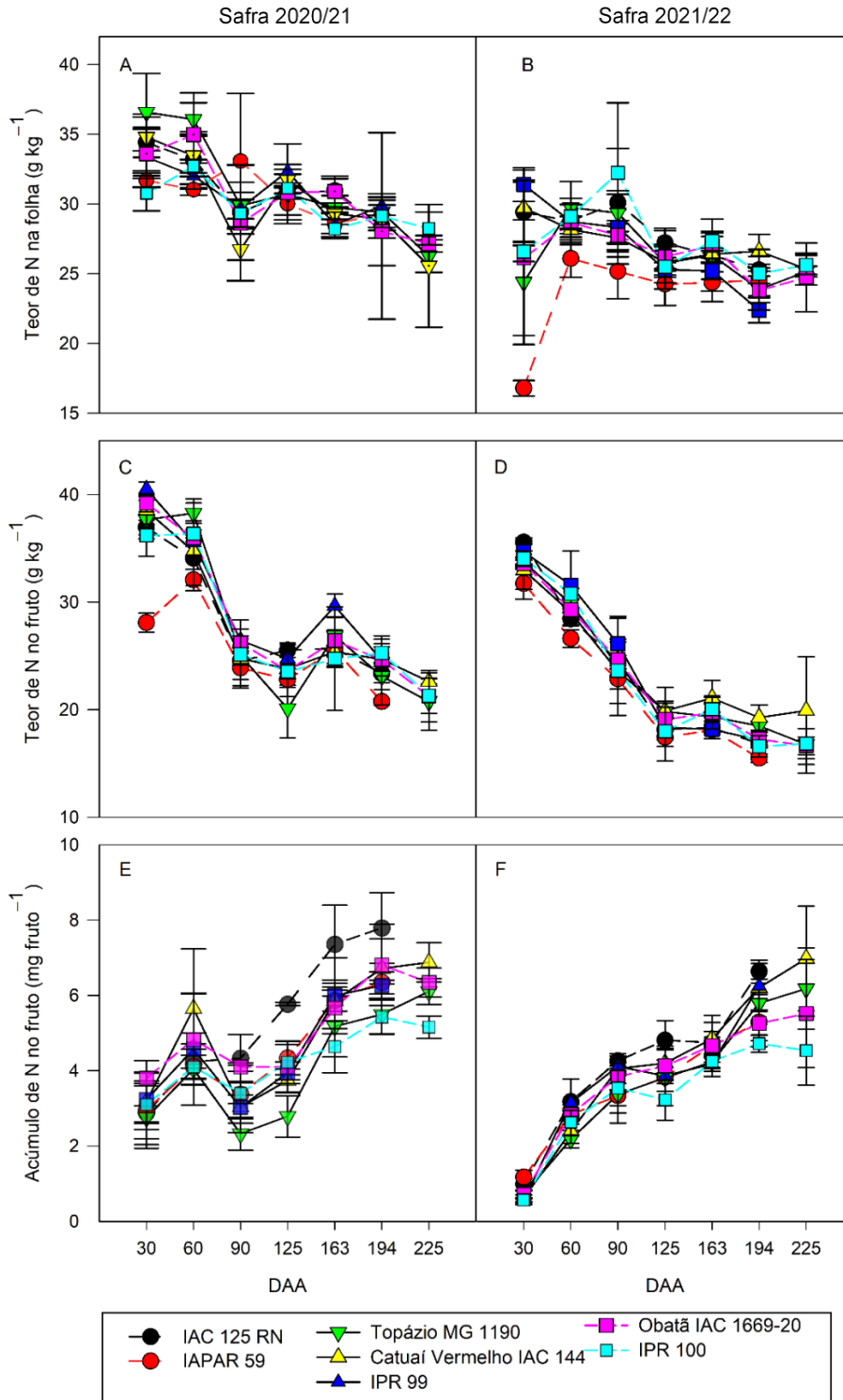
2.3.2 Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de nitrogênio no fruto

Os teores foliares de N tiveram variação relativamente grande entre as cultivares, especialmente nas coletas realizadas até 90 DAA, e diminuíram ao longo do período de frutificação em ambas as safras (Figura 2A e 2B). Na safra de 2021, os teores de N variaram entre 30,7 e 36,5 g kg⁻¹ aos 30 DAA, enquanto estavam entre 28,0 e 29,8 g kg⁻¹ aos 225 DAA (Figura 2A). Já na safra de 2022, a cultivar IAPAR 59, de ciclo precoce, apresentou teor de N na folha inferior às demais cultivares, aos 30 DAA, porém, aproximando-se das outras cultivares a partir dos 60 DAA (Figura 2B). Em ambas as safras observaram-se maiores teores de N nas folhas no estágio inicial de crescimento dos frutos e uma queda mais acentuada a partir de 163 DAA. Este fenômeno pode ser explicado pelo fato de uma maior redistribuição do nutriente nesse

período. Mesmo assim, as adubações e fertirrigações realizadas durante o período de frutificação foram responsáveis por manter relativamente constantes os teores foliares de N (Tabela 2; Figura 2A e 2B). Destaca-se que Chaves e Sarruge (1984) verificaram apenas uma ligeira redução nos teores foliares de N nos ramos com frutos ao longo do período de frutificação do cafeeiro arábica. Contudo, Laviola *et al.* (2006) e Laviola *et al.* (2008), reportaram inclusive aumento da concentração de N nas folhas do cafeeiro na mesma fase. Isso sugere que a variação no teor foliar de N durante a frutificação do cafeeiro pode ser influenciada por fatores com disponibilidade do nutriente no solo, carga de frutos na planta, entre outros.

Com relação aos teores de N nos frutos, verificou-se que, no início da frutificação, os teores de N foram mais elevados, havendo redução em função da época da amostragem mais intensa do que observado nas folhas, sendo mais acentuada até próximo aos 125 DAA, período esse que coincidiu com maior desenvolvimento do fruto (fase de expansão rápida) (Figura 2A-2D). Na safra de 2020, as concentrações de N nos frutos foram similares entre as cultivares na coleta de 30 DAA, exceto para a cultivar IAPAR 59, que registrou um teor de N no fruto (28,0 g kg⁻¹) bem inferior às demais cultivares (Figura 2C). Em 2021/22, todas as cultivares demonstraram um padrão semelhante, com os níveis mais altos de N ocorrendo na coleta de 30 DAA, seguido por uma redução constante nos teores de N, especialmente até a coleta de 125 DAA (Figura 2D). Catani *et al.* (1967), Chaves e Sarruge (1984) e Laviola *et al.* (2006) também detectaram redução nos teores de N nos frutos, especialmente nos primeiros 60-90 DAA, o que está de acordo com os resultados do presente estudo. Por outro lado, Laviola *et al.* (2008) não identificaram redução nítida nos teores de N nos frutos do café arábica durante o período de frutificação, em lavouras cultivadas em diversas altitudes. Destaca-se também que, houve redução mais intensa no teor de N nos frutos do que nas folhas dos ramos frutíferos, especialmente até 125 DAA (Figuras 2s-2D), o que pode ser explicado pelo rápido aumento no acúmulo de MS nos frutos (Figura 1).

Figura 2 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de nitrogênio nos frutos de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese



O acúmulo de N no fruto de café seguiu uma tendência semelhante ao acúmulo de MS (Figura 1, 2E e 2F). As cultivares de ciclo precoce (IAC 125 RN e IAPAR 59) demonstraram um acúmulo de N até os 194 DAA, devido à sua maturação precoce. Por outro lado, as cultivares de ciclo intermediário e tardio acumularam N no fruto até próximo aos 225 DAA, tanto na safra de 2020/21, quanto em 2022. Foi observado um aumento relativamente constante no acúmulo de N nas cultivares de ciclo intermediário e tardio, chegando até o estágio de granação-maturação. Destaca-se também que, a cultivar IAC 125 RN (precoce) tendeu a acumular N mais rapidamente no fruto que as demais cultivares a partir de 90 DAA, especialmente na primeira safra avaliada. Moraes e Catani (1964) identificaram que, cerca de 79% do conteúdo total de N do fruto se acumulou nos últimos 120 dias de sua formação, em um ciclo reprodutivo de 210 dias. Ramirez *et al.* (2002) observaram, em um ciclo reprodutivo de 240 dias, que 90% do N total foi acumulado nos últimos 180 dias, sendo que o período entre 60 e 90 dias foi responsável por cerca de 45% do acúmulo total de N. Chaves (1982) notou um aumento no acúmulo de N no fruto do cafeeiro da cv. Catuaí até 210 dias após o aparecimento dos primeiros frutos, em um ciclo reprodutivo de 252 dias.

O teor e a exportação de N nos frutos colhidos (café “em coco”), nas safras 2020/21 e 2021/22, demonstraram diferenças significativas entre as cultivares estudadas (Tabela 4). Na safra 2020/21, apenas a cultivar Topázio MG 1190 (13,6 g kg⁻¹) apresentou um teor de N nos frutos inferiores às demais cultivares, enquanto na safra 2021/22, as cultivares IAC 125 RN (19,8 g kg⁻¹), Obatã IAC 1669-20 (20,9 g kg⁻¹) e IPR 100 (21,4 g kg⁻¹) tiveram teores de N inferiores às demais. Em relação à exportação de N pela colheita, na safra 2020/21, as cultivares que mais exportaram N foram a Obatã IAC 1669-20 (145,2 kg ha⁻¹), Catuaí VE IAC 144 (130,7 kg ha⁻¹), IAPAR 59 (132,0 kg ha⁻¹) e IPR 100 (116,9 kg ha⁻¹). Já na safra 2021/22, as cultivares que mais exportaram N foram IPR 99 (245,2 kg ha⁻¹) e IPR 100 (255,7 kg ha⁻¹).

Tabela 4 - Teor e exportação de nitrogênio nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, nas safras 2020/21 e 2021/22

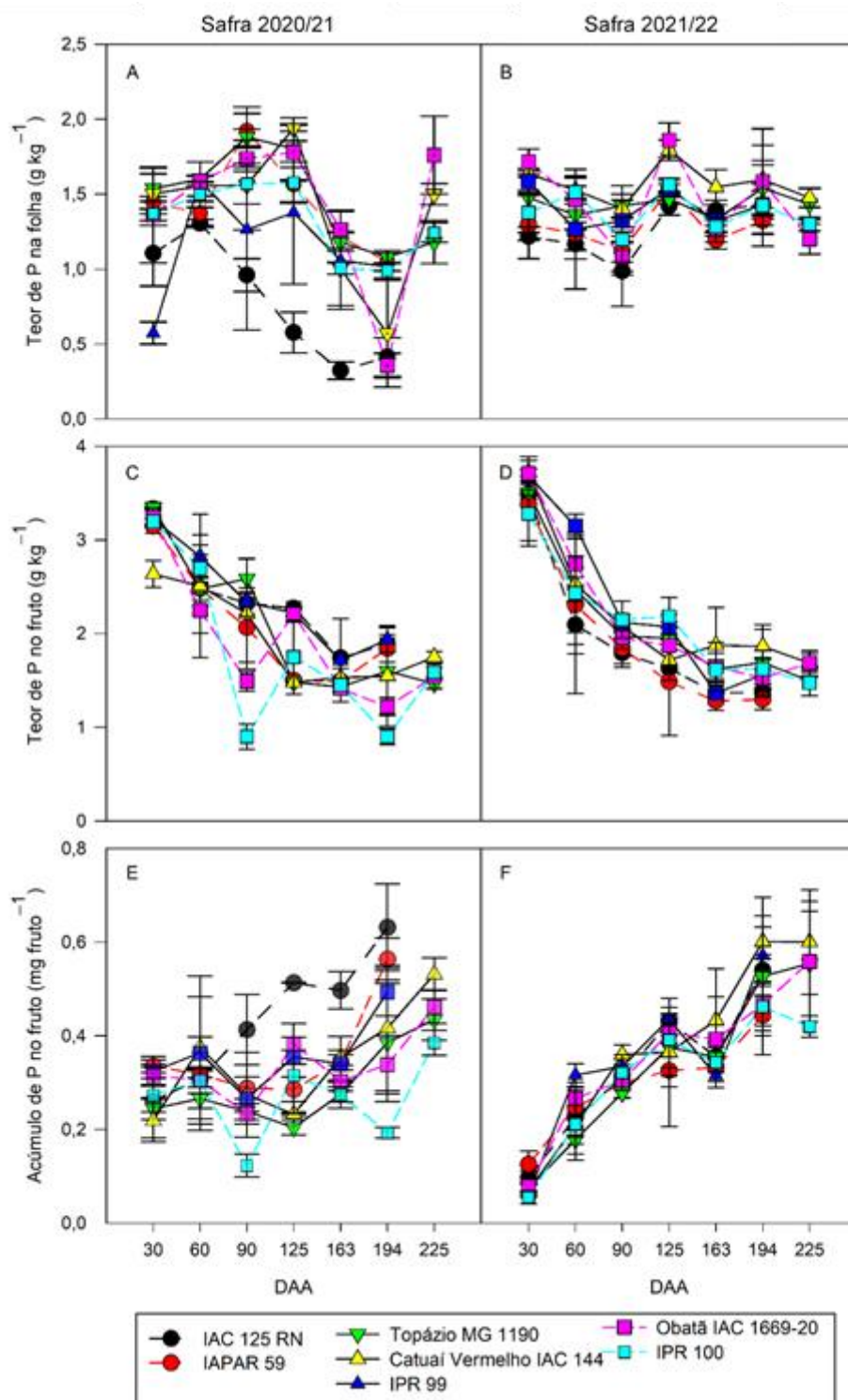
Cultivares	2020/21	2021/22
	Teor de N (g kg ⁻¹)	
IAC 125 RN	19,8a	19,8b
IAPAR 59	22,9a	22,4a
Topázio MG 1190	13,6b	24,6a
Catuaí VE IAC 144	21,5a	23,0a
Obatã IAC 1669-20	21,8a	20,9b
IPR 99	22,3a	22,8a
IPR 100	22,3a	21,4b
Teste F	0,096	0,009
CV (%)	17,6	5,49
	Exportação de N (kg ha ⁻¹)	
IAC 125 RN	97,9b	200,6b
IAPAR 59	132,0a	166,8b
Topázio MG 1190	76,3b	175,0b
Catuaí VE IAC 144	130,7a	171,7b
Obatã IAC 1669-20	145,2a	191,5b
IPR 99	76,1b	245,2a
IPR 100	116,9a	255,7a
Teste F	0,002	<0,001
CV (%)	16,5	10,1

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

2.3.3 Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de fósforo no fruto

Os teores de P nas folhas apresentaram variação entre as cultivares de café arábica, de forma mais expressiva na safra 2020/21, do que na safra 2021/22 (Figuras 3A-3B). Em 2020/21, a cv. IAC 125 RN teve menor teor de P nas folhas que as demais entre 90 DAA e 194 DAA, enquanto as cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 166 tiveram redução nos teores de P nas folhas coletadas aos 194 DAA, seguida por um aumento desses teores na coleta realizada aos 225 DAA (Figura 3A). Por outro lado, os teores foliares foram semelhantes para todas as cultivares, variando de 0,9 a 1,5 g kg⁻¹ ao longo do período de frutificação da safra de 2022 (Figura 3B). Provavelmente essa variação dos teores de P nas folhas ocorreu devido à disponibilidade desse nutriente no solo ao longo das safras. Chaves e Sarruge (1984) e Laviola *et al.* (2007d; 2008) também identificaram ligeira redução nos teores foliares de P dos ramos com frutos do cafeeiro arábica ao longo do período de frutificação.

Figura 3 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de fósforo nos frutos de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese



O P é reconhecido como um nutriente de alta mobilidade na planta (Marschner, 1995) e, dentre os principais fatores que podem influenciar a concentração de P nas folhas do cafeeiro, destaca-se a intensidade do dreno causado pelos frutos. Uma maior carga de frutos pode ocasionar uma mobilização mais significativa de P para esses órgãos, resultando em conseqüentemente em menores teores foliares desse elemento.

As cultivares de café apresentaram altos teores de P nos frutos da coleta realizada aos 30 DAA. No entanto, as cultivares Obatã IAC 1669-20 e IPR 100 reduziram seus teores de P nos frutos até a coleta de 194 DAA, porém, a partir daí até a última coleta (225 DAA), os níveis de P nos frutos aumentaram ligeiramente, tornando-se comparáveis aos das outras cultivares na safra 2021 (Figura 3C). De modo geral, todas as cultivares apresentaram redução nos teores de P nos frutos ao longo do período de frutificação, mas de forma mais expressiva até 163 DAA (Figura 3C-3D). Catani *et al.* (1967), Souza (1972), Chaves e Sarruge (1984) e Laviola *et al.* (2007d) também verificaram redução no teor de P na MS dos frutos ao longo do período de crescimento dos mesmos, especialmente até cerca de 180 DAA, o que está relacionado a um efeito diluição, já que nesse período ocorre intenso acúmulo de MS nos frutos, como também observado neste trabalho (Figura 1).

A curva de acúmulo P no fruto do cafeeiro arábica foi bastante variável de uma safra para a outra e, especialmente na safra 2020/21, também variou bastante entre as cultivares estudadas (Figura 3E e 3F). Na safra 2021/22, o acúmulo de P no fruto seguiu mais ou menos o padrão de acúmulo de MS, apesar de alguma redução nos teores (Figuras 1B, 3D e 3F). Por outro lado, em 2020/21, houve grande variação nas curvas de acúmulo de P no fruto, provável reflexo das variações no acúmulo de MS e nos teores de P (Figuras 1A, 3C e 3E). Da mesma forma que o N, o cv. IAC 125 RN tendeu em acumular P mais rapidamente no fruto que os demais cultivares. Laviola *et al.* (2008), estudando a cv. Catuaí IAC 44, verificaram acúmulo de P entre 0,6 e 0,8 mg fruto⁻¹, e de forma mais intensa entre 60 e 190 DAA. É provável que o acúmulo de nutrientes nos frutos na fase de expansão rápida ocorra por fluxo em massa, decorrente das altas taxas de translocação de água para os frutos nesta fase (RAMIREZ *et al.*, 2002), necessária para expansão celular (Coombe, 1976; Taiz; Zeiger, 2004).

Apenas na safra 2020/21, os teores de P nos frutos colhidos foram influenciados pelas cultivares, com a cv. IPR 100 apresentando um teor mais baixo

(0,92 g kg⁻¹) que as demais (Tabela 5). Em relação à exportação de P, foi observado um efeito significativo em ambas as safras analisadas. Na safra 2020/21, as maiores exportações foram associadas às cultivares Obatã IAC 1669-20, Catuaí VE IAC 144 IAPAR 59 e Topázio MG 1190, 10,1, 9,8 e 8,4 e 8,1 kg ha⁻¹, respectivamente. Já na safra 2021/22, as cultivares IPR 100, Obatã IAC 1669-20, IPR 99 e IAC 125 RN foram responsáveis pela maior parte da exportação de P, com valores de 18,8 16,6, 16,4 e 15,6 kg ha⁻¹, respectivamente.

Tabela 5 - Teor e exportação de fósforo nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, nas safras 2020/21 e 2021/22

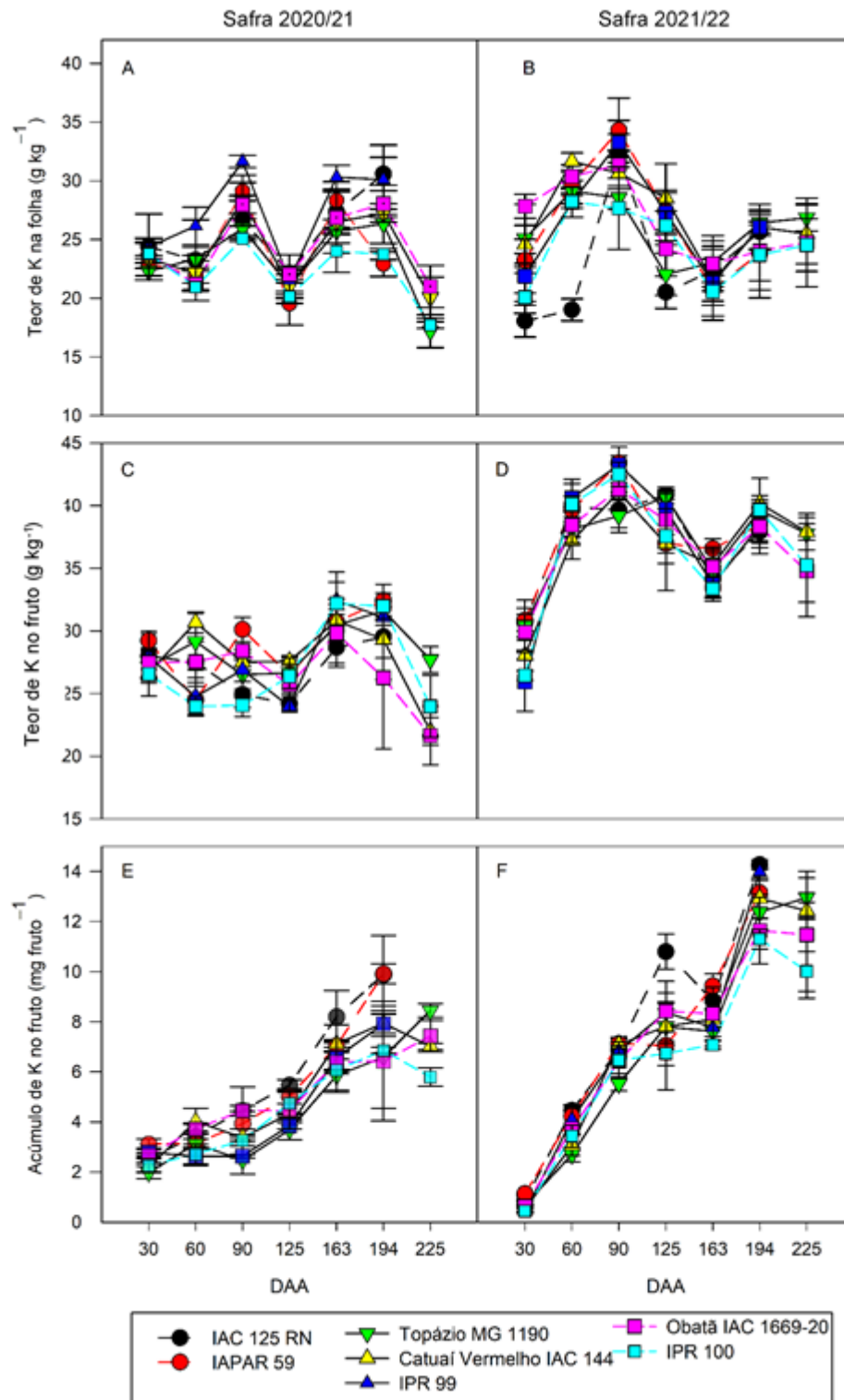
Cultivares	2020/21	2021/22
	Teor de P (g kg ⁻¹)	
IAC 125 RN	1,28 ^a	1,53a
IAPAR 59	1,46 ^a	1,39a
Topázio MG 1190	1,40 ^a	1,74a
Catuaí VE IAC 144	1,61 ^a	1,79a
Obatã IAC 1669-20	1,51 ^a	1,82a
IPR 99	1,64 ^a	1,53a
IPR 100	0,92 ^b	1,58a
Teste F	0,002	0,133
CV (%)	11,0	11,8
	Exportação de P (kg ha ⁻¹)	
IAC 125 RN	6,3 ^b	15,6a
IAPAR 59	8,4 ^a	10,3b
Topázio MG 1190	8,1 ^a	12,5b
Catuaí VE IAC 144	9,8 ^a	13,3b
Obatã IAC 1669-20	10,1 ^a	16,6a
IPR 99	5,6 ^b	16,4a
IPR 100	4,8 ^b	18,8a
Teste F	<0,001	<0,001
CV (%)	14,8	11,0

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

2.3.4 Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de potássio no fruto

Na safra de 2021, os teores de K nas folhas de café foram consistentes e similares entre todas as cultivares, variando de 17,8 a 31,6 g kg⁻¹ (Figura 4A).

Figura 4 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de potássio nos frutos de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese



Os menores valores foram observados aos 125 e 225 DAA. Por outro lado, na safra de 2021/22, os teores de K nas folhas mostraram variações entre as diferentes

cultivares, sendo que nas coletas de 30, 60 e 125 DAA, a cv. IAC 125 RN exibiu teores de K menores que os das demais cultivares (Figura B). Em ambas as safras, houve uma tendência clara de redução nos teores de K, independentemente da cultivar, apenas entre as coletas de 90 e 125 DAA (Figuras 4A e AB). Em 2021/222, também houve redução entre 194 e 225 DAA. As adubações realizadas podem ter influenciado as variações nos teores foliares de K observadas durante o período de frutificação. A diminuição no teor de K nas folhas, na época de maturação dos frutos, teve provavelmente como dreno principal os frutos em função da produtividade observada (Tabela 3).

O K é o nutriente acumulado em maiores quantidades nos frutos e em maior proporção da casca (Laviola *et al.*, 2006; 2008; Garcia; Carvalho; Garcia, 2009; Quaggio *et al.* 2022), cujo tecido tem uma grande expansão na fase de maturação (Rena *et al.*, 2001). Os comportamentos dos teores foliares de K nas folhas, observados no presente estudo, são condizentes com os relatados por Laviola *et al.* (2006; 2008), ou seja, ausência de redução clara ao longo do período de frutificação. Por outro lado, Chaves e Sarruge (1984) identificaram uma redução nos teores foliares de K da cv. Catuaí Amarelo (11 2077-2-5-39) em Londrina-PR, diminuindo de 33 g kg⁻¹ para um mínimo de 19,9 g kg⁻¹ entre os 21 e os 150 dias após o aparecimento do “chumbinho”, seguido por um aumento na concentração foliar de K até atingir os 252 dias.

Na safra 2020/21, os teores de K nos frutos variaram relativamente pouco entre as cultivares e épocas de coleta (Figura 4C). Apenas as cultivares intermediárias e tardias tiveram redução no teor de K nos frutos entre a penúltima e última coletas. Por outro lado, apesar de não diferir entre as cultivares, houve um claro aumento dos teores de K entre a primeira coleta e a de 90 DAA, com posterior tendência de ligeira redução, especialmente até 163 DAA (Figura 4D). Os resultados do presente trabalho são diferentes daqueles relatados por Catani *et al.* (1967), Chave e Sarruge (1984) e Laviola *et al.* (2006), que verificaram expressiva redução nos teores de K nos frutos de diferentes cultivares de café arábica, especialmente nos primeiros 80-90 DAA. As aplicações de K entre os meses de outubro e dezembro podem ter contribuído para a não redução dos teores de K nos frutos no presente estudo.

O acúmulo de K no fruto do cafeeiro arábica seguiu uma tendência semelhante ao acúmulo de MS, ou seja, foi intensa até a fase de maturação (Figuras 1, 4E e 4F). As cultivares de ciclo precoce (IAC 125 RN e IAPAR 59) tenderam a ter acúmulos

relativamente maiores que as demais cultivares, especialmente entre 124 e 194 DAA. Por outro lado, as cultivares de ciclo intermediário e tardio, de maneira geral, demonstraram uma relativa estabilização no acúmulo de K no fruto entre 194 e 225 DAA. Esses resultados são similares aos observados por Catani *et al.* (1967) e Laviola *et al.* (2008). Laviola *et al.* (2008) verificaram acúmulo de K entre 14 e 17 mg fruto⁻¹, valores superiores aos observados no presente estudo (5-14 mg fruto⁻¹) (Figuras 4E e 4F), o que pode estar relacionada a variações condições de cultivo, cultivares etc. Por outro lado, Catani *et al.* (1967) também reportaram acúmulo máximo de K na cv. Bourbon Vermelho, em Charqueada-SP, de aproximadamente 9 mg fruto⁻¹.

O K foi um nutriente bastante acumulado pelos frutos do café arábica, comparado com o acúmulo de N e P (Figuras 2, 3 e 4), confirmando sua função crucial na formação de amido, essencialmente através da ativação da sintase do amido, um processo fundamental na produção do café (Bragança *et al.*, 2008). Esse nutriente desempenha um papel crucial na ativação de enzimas essenciais envolvidas na síntese de açúcares solúveis (Marengo; Lopes, 2005). Observa-se uma similaridade no acúmulo de K nos ciclos de maturação precoce, intermediário e tardio, com uma diminuição gradual do acúmulo para cada um desses ciclos em momentos distintos (Figuras 4E e 4F), seguido por um aumento na taxa de acumulação durante o estágio de granação (Laviola *et al.*, 2008).

Os teores de K nos frutos colhidos das diferentes cultivares foram semelhantes na safra de 2020/21 (Tabela 6). Entretanto, nas cultivares IAC 125 RN (33,8 g kg⁻¹) e IPR 100 (32,1 g kg⁻¹), os teores de K nos frutos foram inferiores em comparação com as demais cultivares, na safra 2021/22. Em relação à exportação de K, em 2020/21, as cultivares que mais exportaram K foram Obatã IAC 1669-20 (156,2 kg ha⁻¹), Catuaí VE IAC 144 (142,8 kg ha⁻¹), Topázio MG 1190 (138,3 kg ha⁻¹), IPR 100 (132,5 kg ha⁻¹) e IAPAR 59 (126,0 kg ha⁻¹), enquanto na safra 2021/22, as cultivares IPR 99 (402,9 kg ha⁻¹) e IPR 100 (384,0 kg ha⁻¹) se destacaram. Nota-se que a exportação de K guardou uma relação positiva com a produtividade de grãos (Tabelas 3 e 6).

Tabela 6 - Teor e exportação de potássio nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, nas safras 2020/21 e 2021/22

Cultivares	2020/21	2021/22
	Teor de K (g kg ⁻¹)	
IAC 125 RN	21,0a	33,8b
IAPAR 59	21,9a	36,2a
Topázio MG 1190	24,1a	36,7a
Catuai VE IAC 144	23,4a	38,8a
Obatã IAC 1669-20	23,4a	35,8a
IPR 99	22,0a	37,7a
IPR 100	25,3a	32,1b
Teste F	0,057	0,010
CV (%)	6,5	5,0
	Exportação de K (kg ha ⁻¹)	
IAC 125 RN	103,8b	342,8b
IAPAR 59	126,0a	269,6c
Topázio MG 1190	138,3a	260,9c
Catuai VE IAC 144	142,8a	289,0c
Obatã IAC 1669-20	156,2a	325,7b
IPR 99	75,1c	402,9a
IPR 100	132,5a	384,0a
Teste F	<0,001	<0,001
CV (%)	10,7	9,2

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

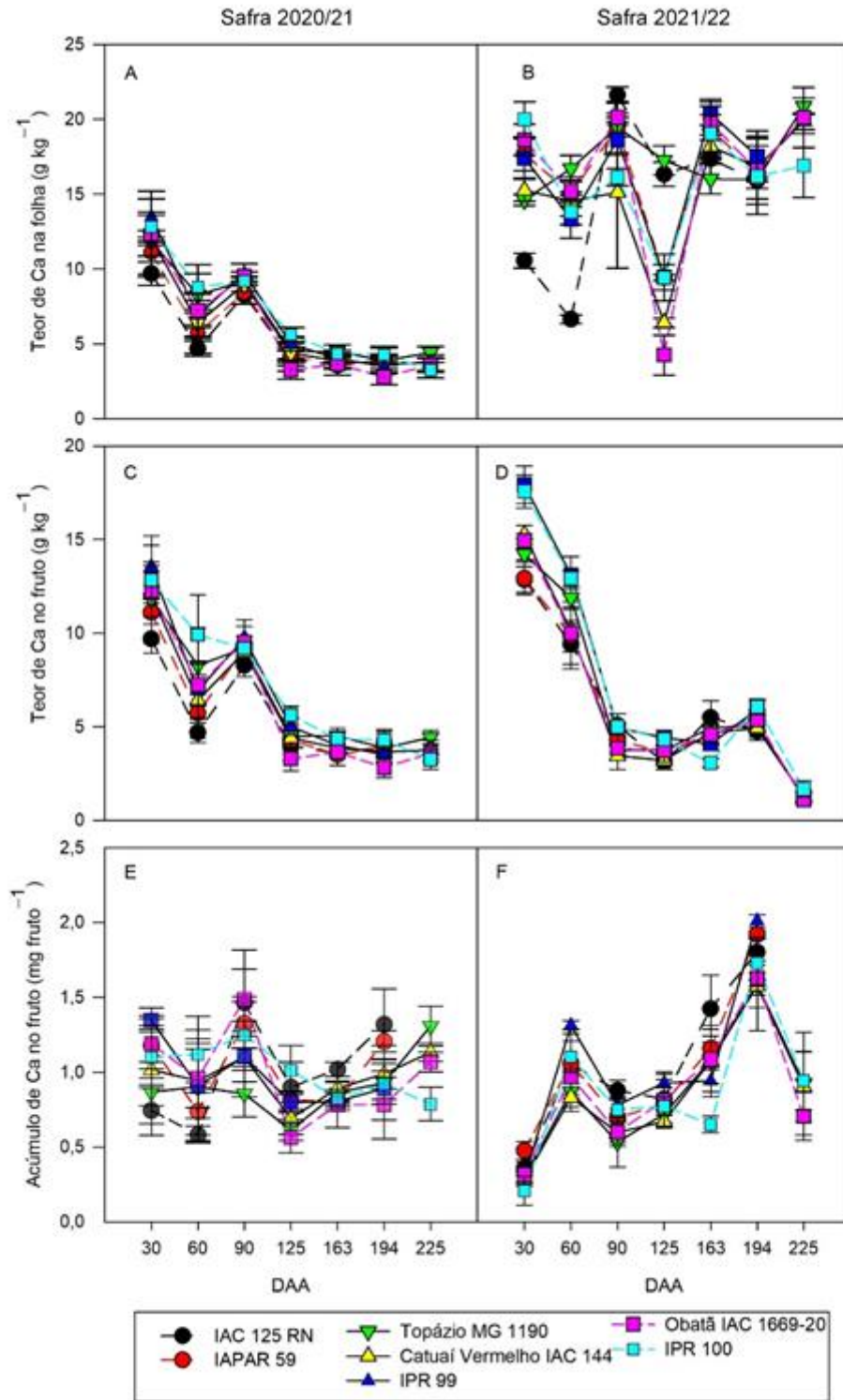
2.3.5 Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de cálcio no fruto

Os teores foliares de Ca variaram muito entre as safras e entre as cultivares na safra 2021/22 (Figuras 5A e 5B). Na safra de 2020/21, os teores de Ca nas folhas de café variaram entre 9,6 e 13,5 g kg⁻¹ na primeira coleta (Figura 5A). Aos 60 DAA, houve uma diminuição nos teores, variando entre 4,6 e 9,9 g kg⁻¹. Aos 90 DAA, ocorreu um acentuado aumento dos teores de Ca nas folhas (8,2 e 9,7 g kg⁻¹), seguido por uma redução a partir dos 125 DAA, persistindo até os 225 DAA, independentemente do ciclo de desenvolvimento da cultivar. Em 2021/22, desde a primeira coleta, os teores de Ca nas folhas de café variaram entre as cultivares de ciclos precoce, intermediário e tardio (Figura 5B). A cultivar IAC 125 RN (precoce) apresentou 9,4 g kg⁻¹ de Ca aos 30 DAA, mais baixo que as demais cultivares, seguido por uma redução para 6,6 g kg⁻¹ aos 60 DAA. A partir de 90 DAA, os teores de Ca na folha aumentaram e mantiveram-se constantes até o amadurecimento do fruto, em torno dos 194 DAA. Além disso, aos 125 DAA, houve uma redução dos teores de Ca nas folhas para algumas cultivares e um aumento desses teores aos 163 DAA. Provavelmente essas

variações dos teores de Ca estejam relacionadas com o fornecimento do calcário e nitrato de cálcio durante o manejo da lavoura (Tabela 2).

Com relação aos teores de Ca nos frutos na safra 2020/21, observa-se que, inicialmente os teores estavam entre 9,6 e 13,5 g kg⁻¹, com valores relativamente mais baixos nas cultivares precoces (IAPAR 59 e IAC125 RN) (Figura 5C). Houve uma pequena redução até 60 DAA, seguida por um aumento aos 90 DAA, com nova redução a partir dos 125 DAA, mantendo-se os teores de Ca constante nos frutos até o final do período de maturação. Em 2021/22, inicialmente, aos 30 DAA, os teores de Ca nos frutos foram próximos a 12,8 a 17,9 g kg⁻¹ aos 30 DAA, com maior variação entre os cultivares, sendo maiores no Obatã IAC 1669-20 e IPR 100 (tardios) e menores nos demais (Figura 5D). Houve redução importante dos teores de Ca dos 30 até os 90 DAA, seguida por um aumento dos 125 aos 194 DAA e uma nova redução aos 225 DAA, aí apenas nos cultivares intermediários e tardios.

Figura 5 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de cálcio nos frutos de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese



As maiores concentrações de Ca nos frutos foram identificadas no estágio de "chumbinho". O pequeno acúmulo de MS nos frutos nessa fase contribuiu para a maior concentração desse elemento nos frutos. Nota-se que no estágio de expansão rápida

houve forte diluição do conteúdo do nutriente nos frutos e, conseqüentemente, redução na concentração de Ca nesses órgãos. Durante as fases de crescimento suspenso e granação-maturação, que abrangem o período dos 125 aos 225 DAA, observou-se uma estabilidade significativa ou até aumento nas concentrações de Ca nos frutos. É possível que a maior concentração de Ca no fruto na fase de "chumbinho" esteja associada ao papel desse nutriente nos processos de divisão celular e na estabilização de membranas e paredes celulares das novas células formadas (Marschner, 1995; Marengo; Lopes, 2005). No estágio de expansão rápida houve forte diluição do conteúdo do nutriente nos frutos, e redução na concentração de Ca nesses órgãos. Provavelmente, nessa fase, a translocação de Ca para os frutos ocorra por fluxo de massa, em razão das elevadas taxas de translocação de água para os frutos (Ramirez *et al.*, 2002). Esse movimento de água é fundamental para a expansão celular (Taiz; Zeiger, 2004; Marengo; Lopes, 2005), o que pode contribuir para o transporte desses nutrientes de maneira significativa para os frutos nesse estágio de desenvolvimento. Laviola *et al.* (2007c) observaram maior redução dos teores foliares de Ca nos primeiros 60-90 DAA, período coincidente com a maior taxa de acúmulo do nutriente nos frutos.

Apesar de o fruto estar acumulando MS (Figura 1), as reduções no teor de Ca no fruto fizeram com que o acúmulo de Ca no fruto não acompanhasse proporcionalmente o acúmulo de MS, resultando em variações mínimas na quantidade de Ca acumulado no fruto entre as fases de "chumbinho" e maturação e isso foi mais claro na primeira safra estudada (Figura 5E e F).

Não houve diferença entre as cultivares quanto ao teor e exportação de Ca nos frutos colhidos na safra de 2020/21 (Tabela 7). Na safra de 2021/22, a cv. que apresentou o teor de Ca nos frutos mais elevado foi a cultivar IPR 100, registrando 10,08 g kg⁻¹, enquanto os menores teores foram observados nas cultivares Obatã IAC 1669-20 e Catuaí VE IAC 144, com 2,78 e 2,70 g kg⁻¹, respectivamente. Esse mesmo padrão foi notado para a exportação de Ca pelas cultivares.

Tabela 7 - Teor e exportação de cálcio nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, nas safras 2020/21 e 2021/22

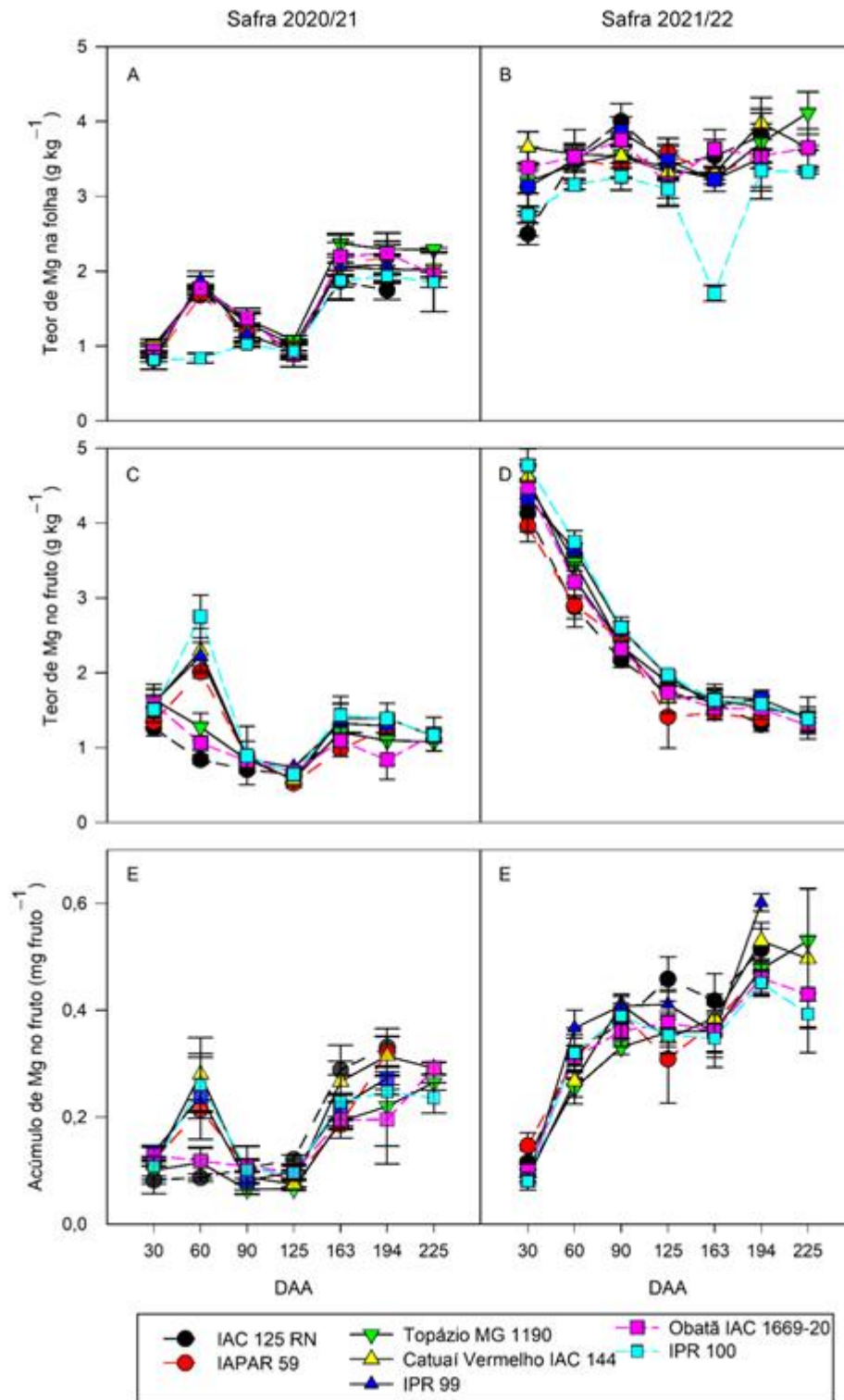
Cultivares	2020/21	2021/22
	Teor de Ca (g kg ⁻¹)	
IAC 125 RN	2,64a	5,13d
IAPAR 59	3,88a	6,34c
Topázio MG 1190	2,80a	7,26b
Catuai VE IAC 144	2,83a	2,70e
Obatã IAC 1669-20	2,87a	2,78e
IPR 99	2,99a	7,69b
IPR 100	3,00a	10,08a
Teste F	0,110	<0,001
CV (%)	15,6	7,2
	Exportação de Ca (kg ha ⁻¹)	
IAC 125 RN	12,9a	51,7c
IAPAR 59	22,6a	47,1c
Topázio MG 1190	16,1a	51,3c
Catuai VE IAC 144	17,3a	20,1d
Obatã IAC 1669-20	19,2a	25,1d
IPR 99	10,1a	82,2b
IPR 100	15,6a	120,4a
Teste F	0,020	<0,001
CV (%)	21,7	7,8

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

2.3.6 Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de magnésio no fruto

Na safra de 2020/21, os teores de Mg nas folhas mostraram-se consistentes e similares entre todas as cultivares, variando de 0,8 a 1,0 g kg⁻¹ aos 30 DAA (Figura 6A). Aos 60 DAA, a cultivar IPR 100 apresentou menor teor de Mg nas folhas. Dos 125 aos 163 DAA, todas as cultivares apresentaram aumento semelhante nos teores de Mg nas folhas, com posterior constância até a maturação.

Figura 6 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de magnésio nos frutos de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese



Na safra de 2022, os teores de Mg nas folhas não apresentaram variações entre as diferentes cultivares, exceto para a cultivar IPR 100, que teve teor de Mg inferior em comparação com as outras cultivares aos 194 DAA (Figura 6B). Isso pode

estar associado a uma floração mais intensa, resultando em uma diluição do nutriente. Laviola *et al.* (2007c) também observaram teores relativamente constantes nas folhas de cultivares de cafeeiro arábica durante o período de frutificação.

Com relação aos teores de Mg nos frutos, podemos observar variação entre cultivares apenas na coleta de 60 DAA das primeiras safras (Figuras 6C e 6D). Nessa ocasião, as IAC 125 RN, Topázio MG 1190 e Obatã IAC 1669-20 apresentaram menores teores de Mg que as demais. Em 2021/22, houve constatare redução dos teores de Mg nos frutos a partir da fase “chumbinho” (30 DAA) até a fase de granação-maturação total dos grãos, mas de forma mais expressiva até 125 DAA (Figura 6D). Com esses resultados, nota-se que na fase de “chumbinho” dos frutos ocorreram os maiores teores de Mg, sendo que neste período o fruto passa por um período de intensa divisão celular (Rena *et al.*, 2001), mas com um crescimento limitado. Essa condição pode explicar a maior concentração de Mg nesta fase, devido ao efeito de concentração do elemento.

Aos 30 DAA, o acúmulo de Mg no fruto de café foi semelhante entre as cultivares, em ambas as safras (Figuras 6E e 6F). Em 2020/21, as cultivares de ciclo precoce (IAC 125 RN) e tardio (Obatã IAC 1669-20) mostraram uma menores quantidades de Mg acumuladas, em comparação com as demais cultivares, na coleta de 60 DAA (Figura 6E). Entre os 90 e 125 DAA, todas as cultivares apresentaram baixos acúmulos de Mg no fruto, porém, partir dos 163 DAA, houve um aumento significativo no acúmulo de Mg para todas as cultivares, persistindo até 194-225 DAA. Na safra de 2022, a partir dos 30 DAA, todas as cultivares tiveram aumentos relativamente constantes no acúmulo de Mg no fruto até os 255 DAA (Figura 6F).

Malavolta *et al.* (2002) observaram que as flores exercem um forte e temporário processo de extração de nutrientes. Segundo o estudo, elas absorvem 50,5% de Mg na cv. Catuaí, e 54,1% de Mg na cv. Mundo Novo, em relação aos totais de Mg alocados na parte aérea da planta. Esses valores indicam a significativa extração de Mg pelas flores durante um período específico do desenvolvimento das plantas. No estágio de expansão rápida, é possível que a translocação de Mg para os frutos ocorra por meio de um fluxo em massa, decorrente das altas taxas de transporte de água para os frutos (Ramirez *et al.*, 2002). Esse processo é essencial para a expansão celular, conforme descrito por Taiz, Zeiger (2004) e Marengo, Lopes (2005). A pequena variação nessas fases pode estar relacionada ao aumento da absorção de Mg (Souza, 1972). O Mg pode ter sido demandado em quantidades maiores para

acelerar a atividade das ATPases (Marschner, 1995), justificando o alto índice de acúmulo no meio do ciclo, uma vez que o fruto na fase de "chumbinho" apresenta uma alta taxa respiratória e reduzido acúmulo de MS (Cannel, 1971a; Rena *et al.*, 2001).

Os teores e exportação de Mg nos frutos colhidos diferiram entre as cultivares, nas safras de 2020/21 e 2021/22 (Tabela 8). Em 2020/21, os maiores teores de Mg foram registrados nas cultivares Topázio MG 1190, Catuaí VE IAC 144, IAPAR 59 e IPR 100. Já na safra de 2021/22, as cultivares Obatã IAC 1669-20, Catuaí VE IAC 144, IPR 99 e 100 apresentaram os maiores teores de Mg nos frutos.

Tabela 8 - Teor e exportação de magnésio nos frutos (café "em coco") de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, nas safras 2020/21 e 2021/22

Cultivares	2020/21	2021/22
	Teor de Mg (g kg ⁻¹)	
IAC 125 RN	0,90b	1,36b
IAPAR 59	1,00a	1,38b
Topázio MG 1190	0,99a	1,46b
Catuaí VE IAC 144	1,00a	1,77a
Obatã IAC 1669-20	0,92b	1,78a
IPR 99	0,97a	1,66a
IPR 100	0,94b	1,83a
Teste F	0,045	<0,001
CV (%)	4,0	6,0
	Exportação de Mg (kg ha ⁻¹)	
IAC 125 RN	4,5b	13,8c
IAPAR 59	5,8a	10,2d
Topázio MG 1190	5,7a	10,4d
Catuaí VE IAC 144	6,1a	13,1c
Obatã IAC 1669-20	6,2a	16,2b
IPR 99	3,3c	17,8b
IPR 100	4,9b	21,8a
Teste F	<0,001	<0,001
CV (%)	10,2	8,2

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

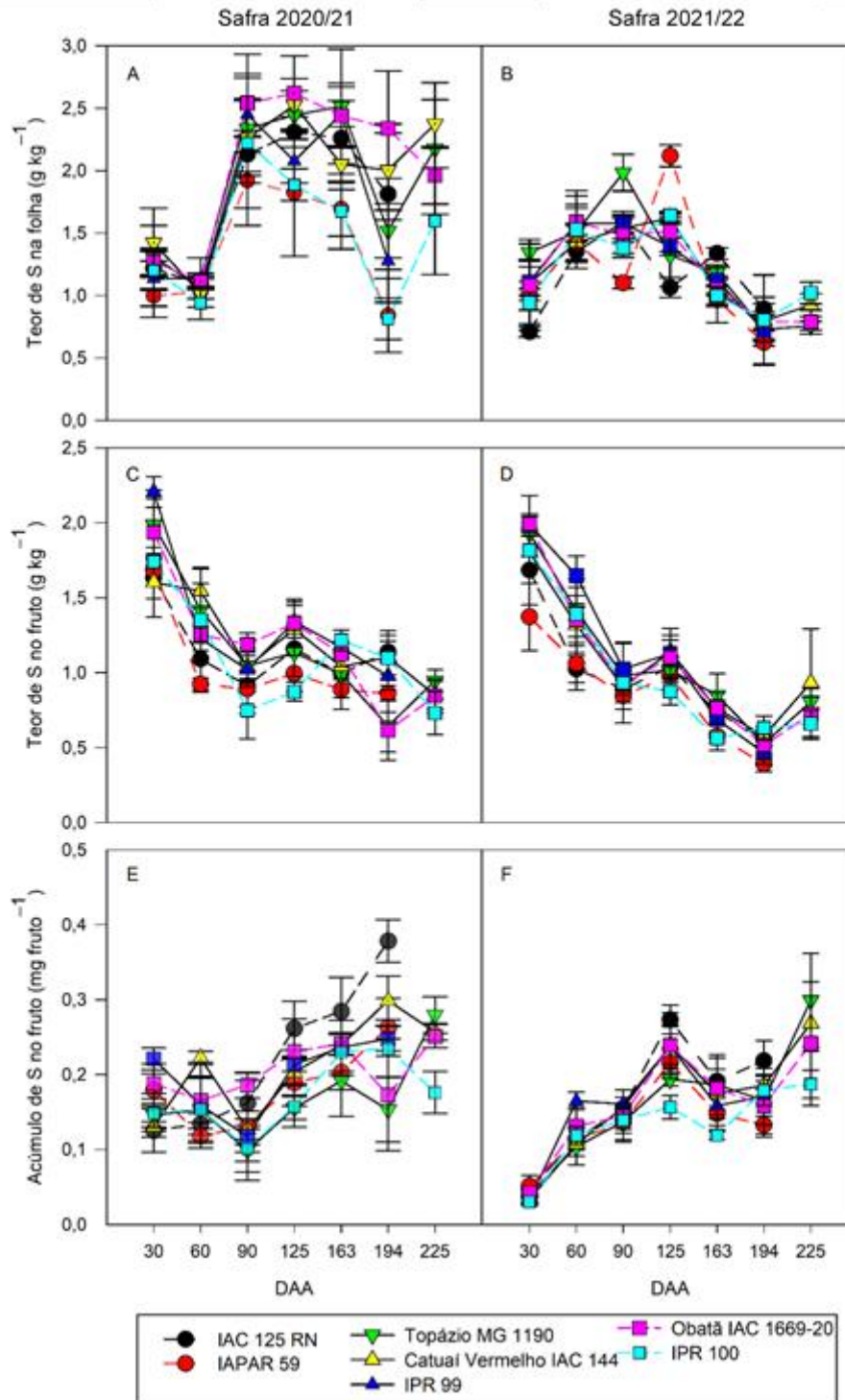
No que se refere à exportação de Mg, as cultivares Topázio MG 1190, Obatã IAC 1669-20, Catuaí VE IAC 144 e IAPAR 59 foram as que mais exportaram, na safra 2020/21 (Tabela 8). Porém, na safra de 2021/22, apenas a cultivar IPR 100 se destacou ao exportar a maior quantidade de Mg pelos frutos. As cultivares Topázio MG 1190 e IAPAR 59, por outro lado, exportaram menos Mg pelos frutos durante essa safra.

2.3.7 Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de enxofre no fruto

De modo geral, os teores foliares de S aumentaram do início a meados do período de frutificação (Figuras 7A e 7B), o que também foi reportado por Laviola *et al.* (2007d). Na safra de 2021, os teores S nas folhas permaneceram consistentes e similares entre todas as cultivares aos 30 e 60 DAA, variando de 0,9 a 1,4 g kg⁻¹ (Figura 7A). De 90 a 225 DAA, todas as cultivares aumentaram seus teores de S nas folhas, porém, as cultivares IAPAR 59 e IPR 100 apresentaram menores teores que as demais, especialmente entre 125 e 194 DAA. Na safra de 2021/22, houve menores variações nos teores foliares de S entre as cultivares e ao longo do período de avaliação (Figura 7B).

Os teores de S nos frutos foram maiores na primeira coleta, 1,6 e 2,2 g kg⁻¹, com posterior redução, especialmente até 90 DAE (Figuras 7C e 7D). Entre 90 e 125 DAA, houve uma relativa estabilidade (ou até aumento) nos teores de S nos frutos, com posterior nova tendência de redução até a maturação, período em que os teores eram por volta de 0,9 g kg⁻¹. Houve relativamente pequena variação entre as cultivares quanto ao teor de S nos frutos. Neste estudo, as cultivares apresentaram as maiores concentrações de S nos frutos durante o estágio de "chumbinho" (Figuras 7E e 7F). Nesse estágio, de acordo com Rena *et al.* (2001), o fruto passa por intensa divisão celular, aumentando em número de células, mas não em tamanho. Isso implica numa concentração do nutriente acumulado em relação ao baixo acúmulo de MS nesse período específico. Catani *et al.* (1967) e Laviola *et al.* (2007d) também observaram maiores teores de S nos frutos na fase de "chumbinho", com decréscimo rápido até por volta de 80 DAA.

Figura 7 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de enxofre nos frutos de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese



O acúmulo de S no fruto não seguiu o mesmo comportamento da curva de acúmulo de MS, isso devido a intenso efeito diluição com o ganho de MS (Figuras 1 e 7), o que também foi repostado por Catani *et al.* (1967). A cv. IAC 125 RN tendo a

apresentar um maior acúmulo de S no fruto que as demais, especialmente entre 125 e 194 DAA, de ambas as safras. No estágio de rápida expansão, as cultivares demonstraram um notável acúmulo de MS e uma alta taxa de crescimento absoluto dos frutos (Tabela 3). Esse cenário explicaria a rápida redução na concentração de S nos frutos das cultivares, resultado do efeito de diluição do conteúdo do elemento nos frutos. No entanto, é importante destacar que, a diminuição na concentração de S nos frutos foi interrompida durante a fase de rápida expansão, mesmo com o contínuo acúmulo de MS. Esse evento provavelmente aconteceu devido a um aumento na taxa de translocação de S para os frutos. Ramirez *et al.* (2002) constataram que 70% do S total acumulado pelos frutos da cv. Caturra do cafeeiro ocorreram entre 60 e 120 dias após o estágio de floração. Destes, 43% do acúmulo total de S ocorreu aproximadamente até os 90 DAA, momento em que o fruto atingiu cerca de 80% do tamanho máximo. Este período específico de desenvolvimento dos frutos foi destacado como crucial para a acumulação significativa de S nessa cultivar de café.

Na safra de 2020/21, as cultivares que apresentaram teor de S nos frutos um mais elevado foram Topázio MG 1190, Catuaí VE IAC 144, IAPAR 59 e IPR 100, registrando 1,0, 1,07, 0,98 e 0,98 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 9). Na safra de 2021/22, as cultivares apresentaram teores de S nos frutos de café semelhantes. Na safra de 2020/21, as cultivares Topázio MG 1190, Obatã IAC 1669-20, Catuaí VE IAC 144 e IAPAR 59 foram as que mais exportaram S pelos frutos. Porém, na safra de 2021/22, as cultivares Obatã IAC 1669-20, IPR 99 e IPR 100 se destacaram positivamente perante as demais.

Tabela 9 - Teor e exportação de enxofre nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, nas safras 2020/21 e 2021/22

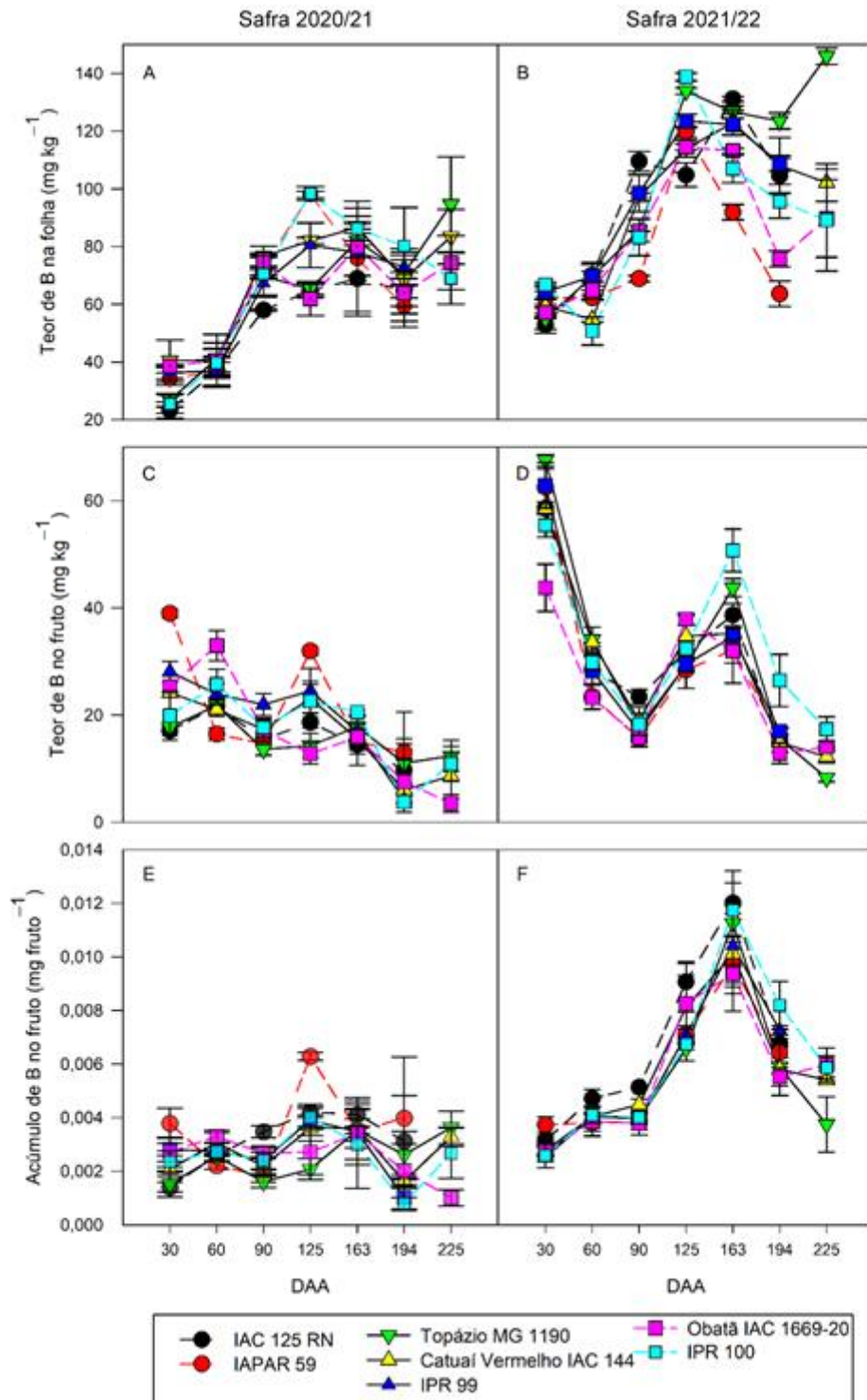
Cultivares	2020/21	2021/22
Teor de S (g kg ⁻¹)		
IAC 125 RN	0,86b	0,73a
IAPAR 59	0,98a	0,68a
Topázio MG 1190	1,00a	0,96a
Catuaí VE IAC 144	1,07a	0,96a
Obatã IAC 1669-20	0,92b	1,40a
IPR 99	0,98a	0,91a
IPR 100	0,81b	0,95a
Teste F	0,004	0,101
CV (%)	6,7	27,8
Exportação de S (kg ha ⁻¹)		
IAC 125 RN	4,2b	7,5b
IAPAR 59	5,7a	5,1b
Topázio MG 1190	5,8a	6,9b
Catuaí VE IAC 144	6,6a	7,1b
Obatã IAC 1669-20	6,1a	12,6a
IPR 99	3,3b	9,7a
IPR 100	4,3b	11,3a
Teste F	<0,001	0,020
CV (%)	12,7	27,2

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

2.3.8 Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de boro no fruto

Os teores de B nas folhas apresentaram variação entre as cultivares de café arábica, de forma mais expressiva na safra 2021/22, do que na safra 2020/21 (Figuras 8A-8B). Na safra de 2020/21, os teores B nas folhas permaneceram consistentes e similares entre todas as cultivares aos 30 e 60 DAA, variando de 23,32 a 41 mg kg⁻¹ (Figura 8A). De 90 a 163 DAA, todas as cultivares aumentaram seus teores de B nas folhas, porém, aos 194 DAA observou-se uma acentuada redução nos teores de B, seguida por um aumento aos 225 DAA.

Figura 8 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de boro nos frutos de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese



Em 2021/22, as cv. IAPAR 59, Obatã IAC 1669-20 e IPR 100 tiveram menores teores de B nas folhas que as demais entre 163 DAA e 225 DAA, enquanto a cv. Topázio MG 1190 teve aumento no teor de B nas folhas coletadas aos 225 DAA (Figura 8B). Verifica-se que todas as cultivares apresentaram teores foliares dentro dos níveis adequados para a cultura (Matiello *et al.*, 2016) que é de 40 a 80 mg kg⁻¹. Nagai *et al.* (1974), observaram que as maiores concentrações foliares de B em folhas de café ocorreram durante o enchimento de grãos. Cietto e Haag (1989) avaliando cafeeiros entre 4 e 5 anos concluíram que na fase de granação-maturação ocorre uma menor proporção de B nas folhas. Diferente deste autor, nota-se que os menores teores ocorrem no início do florescimento. Santinato *et al.*, 2016 também observou em seu estudo que a elevação do conteúdo foliar de boro ocorre em setembro, durante o período que antecede o florescimento do cafeeiro, correspondendo ao período em que a planta demanda grandes quantidades desse elemento para a expansão das células do fruto, conforme explicado pela função fisiológica do B (Prado, 2008; Tomaz *et al.*, 2011).

Na safra de 2020/21, os teores de B nos frutos variaram relativamente pouco entre as cultivares e as épocas de coletas (Figura 8C). Apenas a cultivar IAPAR 59 apresentou aumento do teor comparado com as demais cultivares aos 30 DAA e 125 DAA. Contudo, a partir dos 163 DAA, todas as cultivares demonstraram uma redução constante nos teores de B nos frutos durante a safra de 2021. Por outro lado, em 2021/22, as cultivares de café apresentaram altos teores de S nos frutos das coletas realizadas aos 30 DAA e 163 DAA, porém, a partir daí até a última coleta (225 DAA), os níveis de B nos frutos reduziram ligeiramente (Figura 8D). De modo geral, todas as cultivares apresentaram redução nos teores de B nos frutos ao longo do período de frutificação. Catani *et al.* (1967) verificaram teor de B de 12 mg kg⁻¹ em frutos secos de cafeeiro arábica adultos cv. Bourbon Vermelho, resultados próximos foram encontrados neste trabalho. Cietto e Haag (1989) concluíram que na fase de granação-maturação ocorre uma menor proporção de B contida nos frutos, tendo semelhança com estes resultados.

A curva de acúmulo B no fruto do cafeeiro arábica foi bastante variável de uma safra para a outra, no entanto, quase não se variou entre as cultivares estudadas (Figura 8E e 8F). Durante todas as coletas realizadas as cultivares expressaram baixas quantidades de B acumuladas, exceto a cultivar IAPAR 59 que elevou seu acúmulo aos 125 DAA seguida por uma redução (Figura 8E). Do estágio "chumbinho" (30 DAA)

até o início da fase final de crescimento suspenso (163 DAA), notou-se um aumento constante no acúmulo de B nos frutos. Entretanto, a partir dos 163 DAA houve uma redução progressiva no acúmulo de B nos frutos, na safra de 2022 (Figura 8F). Laviola *et al.*, (2007b) obtiveram maior acúmulo de B na fase de granação, resultado semelhante ao deste estudo.

Não houve diferença entre as cultivares quanto ao teor de B nos frutos colhidos na safra de 2020/21 (Tabela 10). Na safra de 2021/22, as cultivares que apresentaram os teores de B nos frutos mais elevado foram as cultivares Topázio MG 1190 e IPR 100, registrando 59,1 e 59,9 mg kg⁻¹, respectivamente. Em relação à exportação de B, em 2020/21, as cultivares que mais exportaram B foram IAPAR 59, Catuaí VE IAC 144 e Obatã IAC 1669-20, exportando cerca de 104,2, 95,8 e 110,2 g ha⁻¹, respectivamente. Enquanto na safra 2021/22, somente a cultivar IPR 100 foi responsável pela maior parte da exportação de B pelos frutos, registrando 718,1 g ha⁻¹.

Tabela 10 - Teor e exportação de boro nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, nas safras 2020/21 e 2021/22

Cultivares	2020/21	2021/22
	Teor de B (mg kg ⁻¹)	
IAC 125 RN	13,4a	37,3c
IAPAR 59	18,2a	34,3c
Topázio MG 1190	12,4a	59,1a
Catuaí VE IAC 144	15,6a	33,4c
Obatã IAC 1669-20	16,5a	45,0b
IPR 99	10,8a	30,5c
IPR 100	14,1a	59,9a
Teste F	0,051	<0,001
CV (%)	17,5	10,6
	Exportação de B (g ha ⁻¹)	
IAC 125 RN	66,1b	377,6b
IAPAR 59	104,2a	256,0c
Topázio MG 1190	71,3b	418,4b
Catuaí VE IAC 144	95,8a	249,4c
Obatã IAC 1669-20	110,2a	414,3b
IPR 99	35,5c	326,3c
IPR 100	73,7b	718,1a
Teste F	<0,001	<0,001
CV (%)	17,1	14,9

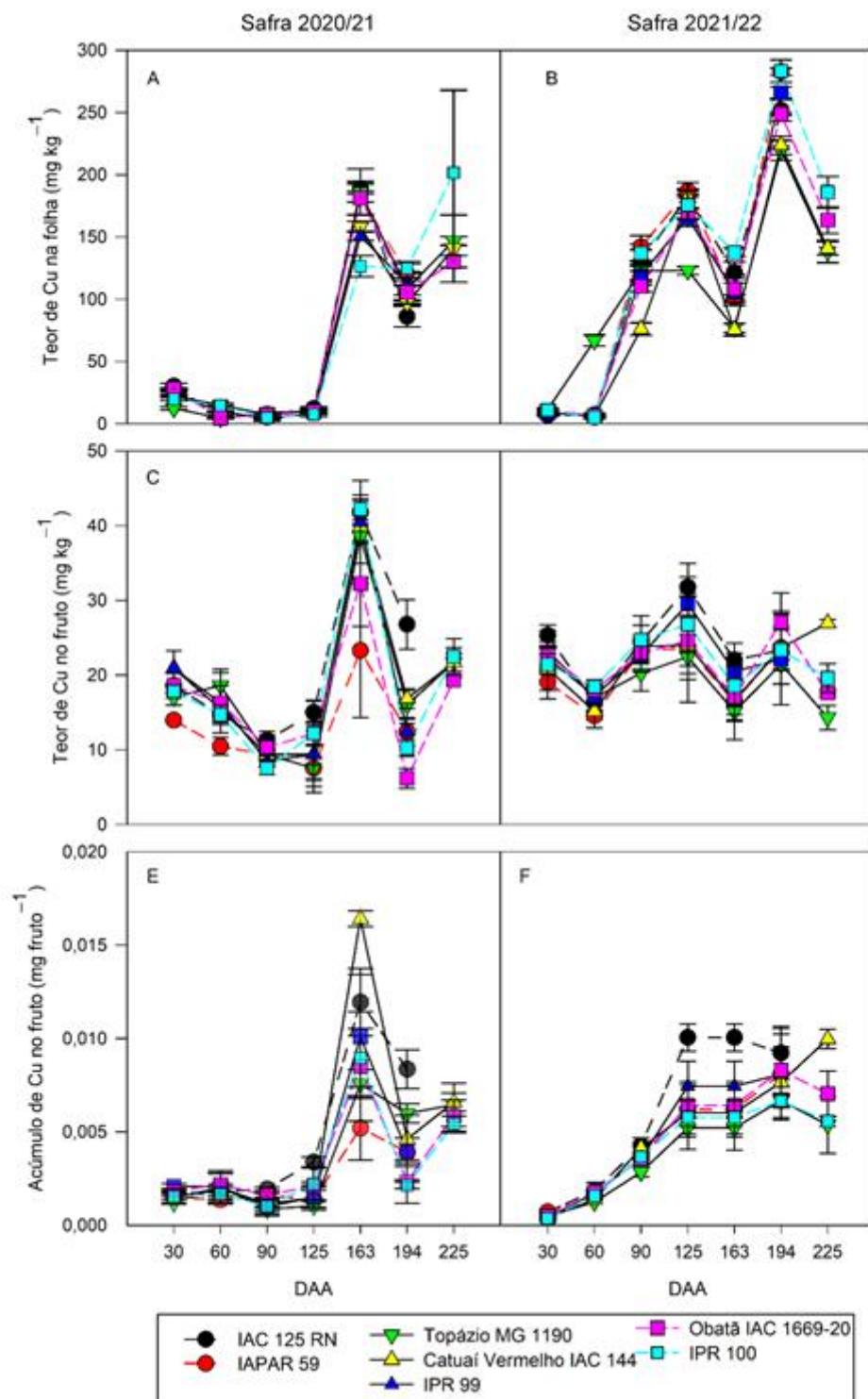
Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

2.3.9 Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de cobre no fruto

Na safra de 2020/21, os teores de Cu nas folhas mostraram-se consistentes e similares entre todas as cultivares, durante todas as coletas (Figura 9A). Até os 125 DAA, todas as cultivares apresentaram um baixo teor de Cu nas folhas. Aos 163 DAA, houve um aumento dos teores de Cu nas folhas (~ 140 e ~ 190 mg kg⁻¹), seguido por uma redução aos 194 DAA e um acentuado aumento dos teores de Cu nas folhas aos 225 DAA (Figura 9A). Por outro lado, na safra 2021/22, os teores foliares de Cu aumentaram até os 125 DAA, exceto a cv. Topázio MG 1190 que manteve o teor em aproximadamente (~ 123 mg kg⁻¹). Aos 163 DAA, houve uma redução dos teores, seguida por um acentuado aumento, e uma redução na última coleta aos 225 DAA (Figura 9B).

Com relação aos teores de Cu nos frutos na safra 2020/21, houve uma pequena redução até 125 DAA, seguida por um aumento acentuado aos 163 DAA, sendo o maior para a IPR 100 e menor para IAPAR 59 ($42,32$ e $23,29$ mg kg⁻¹), com nova redução aos 194 DAA e, por fim, um leve aumento aos 225 DAA (Figura 9C). Em 2022, os teores de Cu nos frutos oscilaram durante todas as coletas, com aumento dos teores aos 125 DAA, média de 25 mg kg⁻¹ e redução dos teores aos 225 DAA, média de $21,5$ mg kg⁻¹ (Figura 9D). Catani *et al.* (1967) verificaram teor de Cu de 15 mg kg⁻¹ em frutos secos de cafeeiro arábica adultos cv. Bourbon Vermelho, resultados acima deste foram encontrados neste trabalho. De acordo com Laviola *et al.*, (2007b) plantas de café arábica apresentaram dois picos de absorção de Cu, o primeiro na fase de expansão rápida e o segundo na fase de enchimento de grãos (granação).

Figura 9 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de cobre nos frutos de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese



Não houve diferença entre as cultivares quanto ao teor e exportação de Cu nos frutos colhidos na safra de 2020/21 (Tabela 11). Entretanto, na safra 2021/22, as cultivares IAPAR 59 (12,1 mg kg⁻¹) e IPR 99 (13,1 mg kg⁻¹), os teores de Cu nos frutos foram inferiores em comparação com as demais cultivares. Nesta mesma safra, as cultivares que se destacaram pela maior parte do Cu exportado, foram IAC 125 RN, Obatã IAC 1669-20 e IPR 100.

Tabela 11 - Teor e exportação de cobre nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, nas safras 2020/21 e 2021/22

Cultivares	2020/21	2021/22
Teor de Cu (mg kg ⁻¹)		
IAC 125 RN	13,0a	20,7a
IAPAR 59	12,7a	12,1b
Topázio MG 1190	44,3a	17,9a
Catuaí VE IAC 144	13,5a	19,3a
Obatã IAC 1669-20	15,2a	20,7a
IPR 99	15,8a	13,1b
IPR 100	10,1a	19,7a
Teste F	0,378	0,004
CV (%)	105,5	14,3
Exportação de Cu (g ha ⁻¹)		
IAC 125 RN	64,3a	208,8a
IAPAR 59	72,9a	90,0b
Topázio MG 1190	268,9a	128,8b
Catuaí VE IAC 144	82,5a	143,9b
Obatã IAC 1669-20	101,4a	189,3a
IPR 99	54,6a	142,0b
IPR 100	53,2a	236,0a
Teste F	0,376	<0,001
CV (%)	122,0	16,9

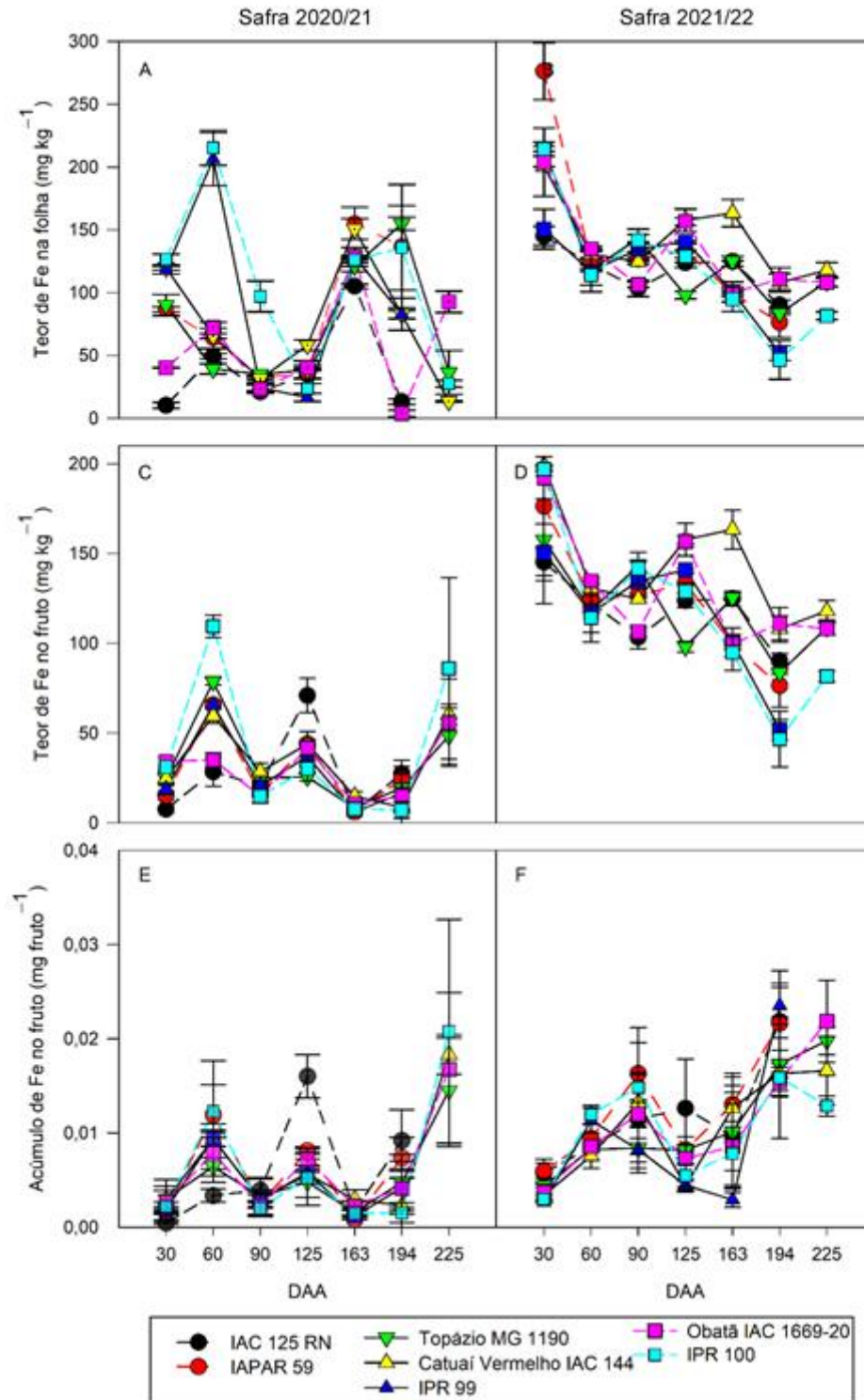
Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

2.3.10 Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de ferro no fruto

Os teores de Fe nas folhas de café variaram entre todas as cultivares, independentemente do período avaliado e das safras (Figura 10A-10B). Todas as cultivares apresentaram teor de Fe nas folhas acima (80 mg kg⁻¹) aos 30 DAA em ambas as safras, exceto para as cultivares IAPAR 59 e Obatã IAC 1669-20 na safra 2020/21 (Figura 10A). Laviola (2007a) relata que em suas análises o Fe exibiu concentrações mínimas desde a formação dos grãos até a fase de maturação, no

entanto, os mesmos autores relataram também concentrações de Fe nitidamente mais baixas durante a fase de expansão dos frutos.

Figura 10 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de ferro nos frutos de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contratantes, sob irrigação, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese



Com relação aos teores de Fe nos frutos na safra 2020/21, observa-se que, inicialmente os teores estavam relativamente baixos para todas as cultivares (Figura 10C). Aos 60 DAA, todas as cultivares tiveram seus teores aumentados, principalmente a cv. IPR 100 (109 mg kg⁻¹). Aos 90 DAA, houve redução dos teores para todas as cultivares, seguida por um aumento. A partir dos 163 DAA, as cultivares apresentaram aumento nos seus teores até a última coleta, destacando-se a cv. IPR 100 (85,9 mg kg⁻¹). Diferente na safra de 2021/22, os teores de Fe estavam mais altos na primeira coleta (Figura 10D). A partir dos 90 DAA, os teores variaram entre as cultivares, destacando-se as cultivares Catuaí Vermelho IAC 144 e Obatã IAC 1669-20 pelo aumento dos teores de Fe aos 225 DAA (157,7 e 156,7 mg kg⁻¹), respectivamente. Catani *et al.* (1967) verificaram teor de Fe de 42 mg kg⁻¹ em frutos secos de cafeeiro arábica adultos cv. Bourbon Vermelho, resultados acima deste foram encontrados neste trabalho.

Até os 60 DAA, na safra 2020/21, todas as cultivares apresentaram semelhança quanto ao acúmulo de Fe no fruto (Figura 10E). Aos 90 DAA, houve uma redução no acúmulo, seguida por um aumento, destacando-se a cultivar IAC 125 RN. A partir dos 163 DAA, todas as cultivares acumularam mais Fe nos frutos até a última coleta. Na safra 2021/22, da primeira coleta até a terceira, houve aumento no acúmulo de Fe para todas as cultivares, com exceção da cultivar IPR 99, que reduziu seu acúmulo até os 163 DAA (Figura 10F). Enquanto isso, as demais cultivares aumentaram o acúmulo de Fe até aos 225 DAA. Segundo Laviola *et al.* (2007a), nos grãos de café arábica, a ordem de acumulação de micronutrientes é a seguinte: Fe>Mn>B>Cu>Zn.

Não houve diferença entre as cultivares quanto ao teor e exportação de Fe nos frutos colhidos na safra de 2020/21 (Tabela 12). Entretanto, na cv. IPR 100 (55,9 mg kg⁻¹), os teores de Fe nos frutos foram inferiores em comparação com as demais cultivares, na safra 2021/22. Nesta mesma safra, não houve diferença entre as cultivares quanto a exportação de Fe nos frutos colhidos.

Tabela 12 - Teor e exportação de ferro nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, nas safras 2020/21 e 2021/22

Cultivares	2020/21	2021/22
Teor de Fe (mg kg ⁻¹)		
IAC 125 RN	63,0a	109,7a
IAPAR 59	100,9a	118,4a
Topázio MG 1190	60,9a	118,4a
Catuai VE IAC 144	56,1a	125,7a
Obatã IAC 1669-20	45,1a	110,4a
IPR 99	83,9a	79,9b
IPR 100	17,1a	55,9c
Teste F	0,239	<0,001
CV (%)	60,8	10,2
Exportação de Fe (g ha ⁻¹)		
IAC 125 RN	308,0a	1102,5a
IAPAR 59	601,2a	885,8a
Topázio MG 1190	359,0a	838,0a
Catuai VE IAC 144	345,4a	937,1a
Obatã IAC 1669-20	300,2a	1008,9a
IPR 99	303,5a	850,5a
IPR 100	90,2a	668,8a
Teste F	0,231	0,016
CV (%)	62,2	12,8

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O Fe é o micronutriente mais acumulado pela planta de café arábica (Catani *et al.*, 1967; Corrêa *et al.*, 1985; Cietto; Haag, 1989). Nos tecidos vegetais, cerca de 80% do Fe está presente nos cloroplastos, desempenhando um papel essencial na fotossíntese, na biossíntese de proteínas e clorofila. O Fe é um componente crítico dos sistemas redox e atua como constituinte enzimático em hemeoproteínas, como citocromos, catalases, peroxidases e legemoglobina, assim como em ferrosulfoproteínas, incluindo ferredoxina, isoformas de superóxido dismutase e aconitase. Além disso, participa de outras enzimas menos conhecidas, como lipoxigenases e coproporfirinogênio oxidase (Marschner, 1995; Buchanan, 2000; Taiz; Zeiger, 2002).

As elevadas taxas de acumulação de Fe, Cu e Mn na fase intermediária, a partir do 90 DAA (Figuras 9, 10 e 11), assemelham-se aos resultados observados na cv. Caturra, na qual foram registrados os maiores índices de acúmulo desses nutrientes entre 90 e 120 dias após a antese (Ramírez *et al.*, 2002). Este período coincide com a fase de rápida expansão dos frutos (Laviola *et al.*, 2008), momento que requer um maior suprimento de água para os frutos. Como resultado, os frutos recebem

quantidades mais significativas de Fe, Cu e Mn, os quais atuam como ativadores enzimáticos em vários processos metabólicos.

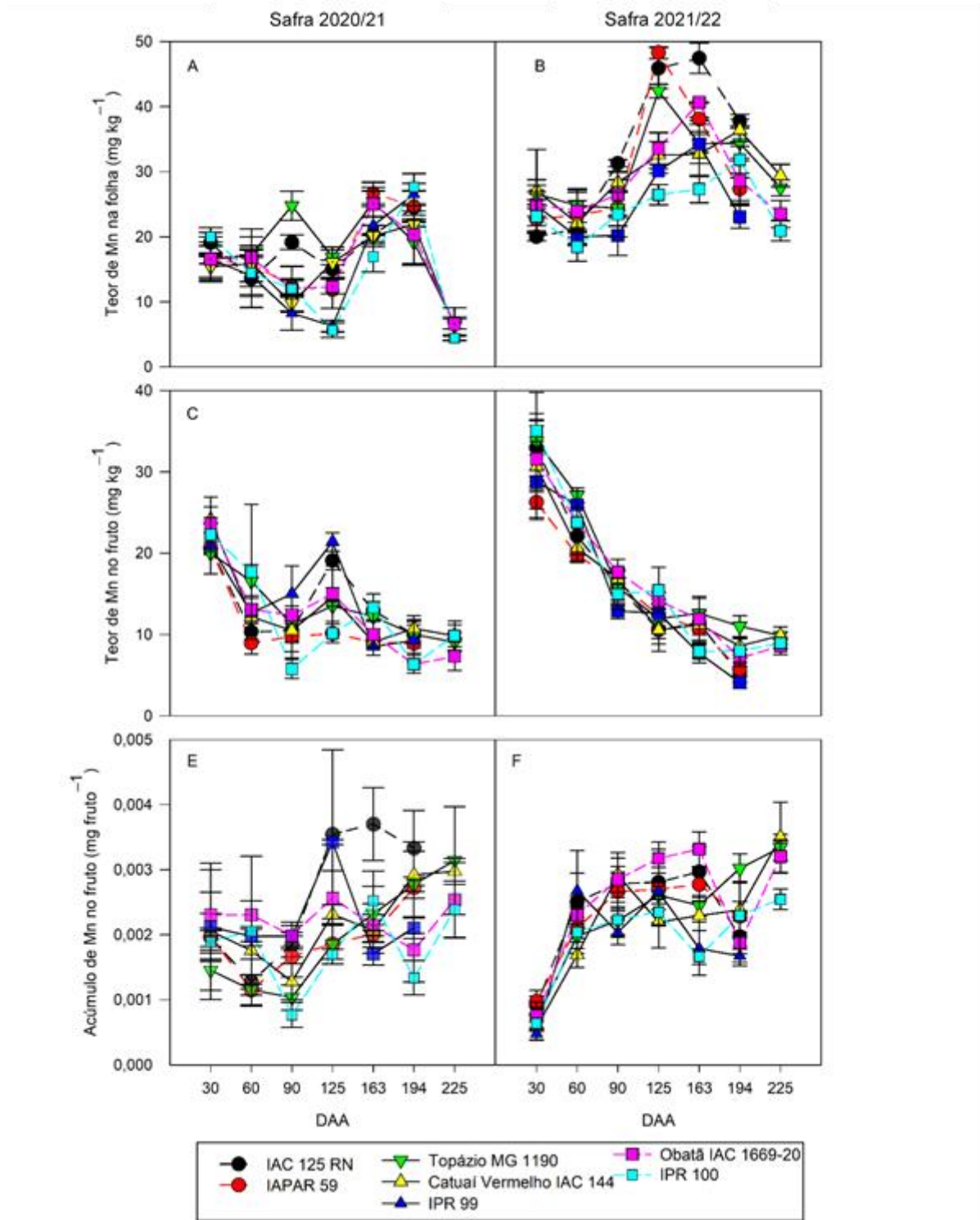
2.3.11 Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de manganês no fruto

Na safra de 2020/21, os teores de Mn nas folhas foram semelhantes entre todas as cultivares até os 60 DAA (Figura 11A). Aos 90 DAA, houve uma redução dos teores, exceto para as cultivares IAC 125 RN e Topázio MG 1190, que registraram um aumento nos teores (19,1 e 24,7 mg kg⁻¹), seguida por uma redução aos 125 DAA. Nas duas coletas seguintes, os teores sofreram aumento e permaneceram semelhantes entre as cultivares, contudo, houve redução dos teores na última coleta de folha (225 DAA). Até 60 DAA, na safra 2021/22, os teores de Mn estavam mais baixos para todas as cultivares (Figura 11B). Entre 90 e 163 DAA, notou-se um aumento constante nos teores de Mn, principalmente nas cultivares IAC 125 RN, IAPAR 59 e Topázio MG 1190. Entretanto, a partir dos 194 até os 225 DAA, foi observada uma redução contínua desses teores.

Na safra 2020/21, aos 30 DAA, os teores de Mn nos frutos estavam relativamente mais altos do que as demais coletas (Figura 11C). A partir daí, houve uma redução, seguida por um aumento aos 125 DAA, e, novamente uma redução constante até a última coleta. Inicialmente, todas as cultivares apresentaram altos teores de Mn nos frutos na safra 2021/22 (Figura 11D). Entre 60 e 225 DAA, observou-se uma redução constante dos teores de Mn nos frutos. Catani *et al.* (1967) verificaram teor de Mn de 35 mg kg⁻¹ em frutos secos de cafeeiro arábica adultos cv. Bourbon Vermelho, resultados abaixo deste foram encontrados neste trabalho.

Em ambas as safras, nota-se uma variação no acúmulo de Mn entre as cultivares de café (Figura 11E e 11F). Aos 125 DAA, safra 2020/21, os maiores acúmulos ocorreram nas cultivares IAC 125 RN e IPR 99 (Figura 11E). Entre 163 e 194 DAA, a cv. IAC 125 RN apresentou maior acúmulo de Mn, comparado com as demais cultivares. As cultivares IPR 100, Obatã IAC 1669-20 e Catuaí Vermelho IAC 125 RN acumularam mais Mn aos 225 DAA. Inicialmente, na safra 2021/22, as cultivares acumularam pouco Mn no fruto (Figura 11F). Em seguida, houve aumento no acúmulo até por volta dos 163 DAA, seguida por uma redução, exceto para a cv. Topázio MG 1190. E aos 225 DAA, as cultivares que mais acumularam Mn nos frutos foram Topázio MG 1190, Catuaí Vermelho IAC 144, Obatã IAC 1669-20 e IPR 100.

Figura 11 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de manganês nos frutos de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese



Covre *et al* (2018) observou que as taxas acumulação de Mn foram maiores no estágio intermediário, a partir de 75 DAA. Marré e *et al.* (2015) observaram resultados

semelhantes em genótipos de café Robusta com diferentes ciclos de maturação. No entanto, Ramirez, Bertsch e Mora (2002) relataram maior porcentagens de acúmulo de Mn em *C. arabica* var. Caturra entre 90 e 120 dias após antese.

Na safra de 2020/21, as cultivares IAC 125 RN, Topázio MG 1190, Catuaí Vermelho IAC 144 e IAPAR 59 apresentaram os maiores teores de Mn (Tabela 13). Em 2021/22, as cultivares que se destacaram pelos maiores teores foram Obatã IAC 1669-20 e Catuaí Vermelho IAC 144. Em 2020/21, as cultivares IPR 99 e IPR 100 exportaram menos Mn. Na safra seguinte, não houve diferença significativa entre as cultivares em relação à exportação de Mn pelos frutos.

Tabela 13 - Teor e exportação de manganês nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, nas safras 2020/21 e 2021/22

Cultivares	2020/21	2021/22
	Teor de Mn (mg kg ⁻¹)	
IAC 125 RN	11,5a	10,2b
IAPAR 59	13,2a	10,0b
Topázio MG 1190	14,0a	10,7b
Catuaí VE IAC 144	12,5a	13,5a
Obatã IAC 1669-20	9,6b	14,0a
IPR 99	9,2b	8,1b
IPR 100	6,9b	8,1b
Teste F	0,008	0,014
CV (%)	17,3	18,3
	Exportação de Mn (g ha ⁻¹)	
IAC 125 RN	56,8a	103,2a
IAPAR 59	76,2a	73,8a
Topázio MG 1190	80,8a	76,0a
Catuaí VE IAC 144	76,9a	101,0a
Obatã IAC 1669-20	64,2a	127,2a
IPR 99	31,6b	86,0a
IPR 100	36,6b	97,6a
Teste F	0,005	0,020
CV (%)	23,9	16,9

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

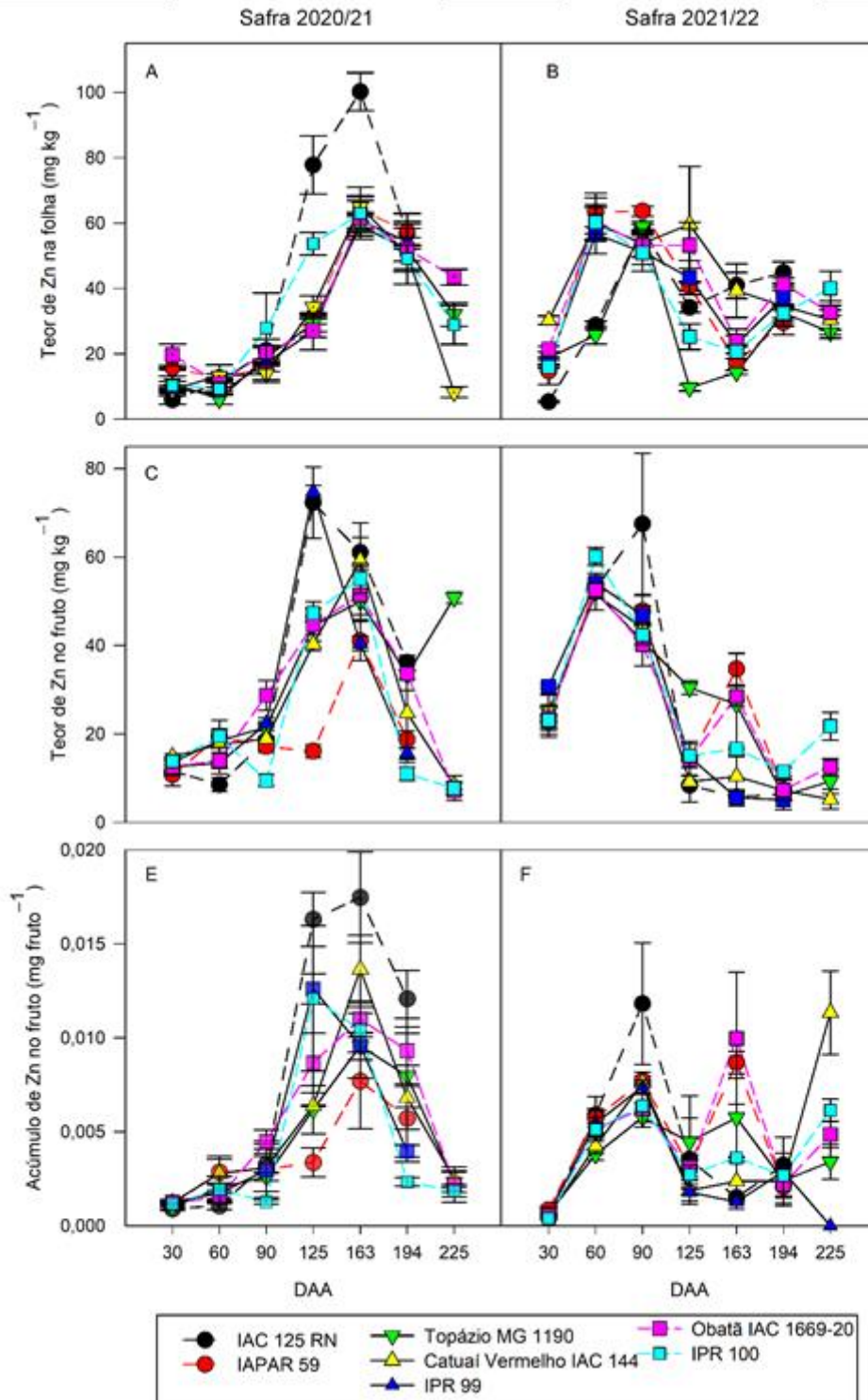
2.3.12 Variação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo de zinco no fruto

Os teores de Zn nas folhas apresentaram variações significativas ao longo do desenvolvimento dos frutos (Figura 12 A), na safra 2020/21. Inicialmente, aos 30 DAA, os teores foram registrados em ~10 mg kg⁻¹, alcançando um pico de 100 mg kg⁻¹ aos 163 DAA na cultivar IAC 125 RN (Figura 12 A). Em geral, ao longo do período

analisado, todas as cultivares, independentemente do ciclo de maturação, tiveram um aumento nos teores de Zn nas folhas até aproximadamente os 163 DAA. Após essa fase, houve uma tendência de declínio nos teores de Zn nas folhas. Na safra 2021/22, um aumento dos teores de Zn foi registrado entre os 30 e 90 DAA, seguido por uma redução expressiva, especialmente nas cultivares IAC 125 RN, Topázio MG 1190 e IPR 100, até atingir os 225 DAA (Figura 12 B).

No estágio inicial, na safra 2020/21, aos 30 DAA, os teores de Zn nos frutos apresentaram-se baixos, seguidos por um crescimento constante até aproximadamente os 163 DAA, seguido por uma queda consistente até o final do período de desenvolvimento dos frutos. No entanto, nota-se, que a cultivar Topázio MG 1190 apresentou um aumento nos teores de Zn aos 225 DAA, em 2020/21 (Figura 11C). Durante a safra de 2021/22, observou-se um aumento nos teores de Zn até os 60 DAA (Figura 11 D). Posteriormente, aos 90 DAA, ocorreu uma redução nos teores, com exceção da cv. IAC 125 RN, que se manteve crescente. Aos 125 DAA, houve uma diminuição dos teores para todas as cultivares, até os 194 DAA, com exceção das cultivares IAPAR 59 e Obatã IAC 1669-20. Contudo, estas cultivares reduziram seus teores aos 194 DAA, seguido por estabilidade em todas as cultivares aos 225 DAA, exceto para IPR 100.

Figura 12 - Variação dos teores nas folhas e frutos e acúmulo de zinco nos frutos de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, em função do tempo decorrido após a antese. Barras verticais indicam erro padrão da média. DAA: dias após a antese



Quanto ao acúmulo de Zn nos frutos durante a safra de 2020/21, foi observado um aumento constante até os 163 DAA, seguido por uma redução até os 225 DAA (Figura 11 E). Durante a safra de 2021/22, houve um aumento constante no acúmulo de Zn até os 90 DAA, seguido por uma redução aos 125 DAA em todas as cultivares. A partir dos 163 DAA, as cultivares IAPAR 59, Topázio MG 1190 e Obatã IAC 1669-20 aumentaram seu acúmulo, mas aos 194 DAA todas as cultivares reduziram seu acúmulo, voltando a aumentar aos 225 DAA (Figura 11 F). Catani *et al.* (1967) verificaram teor máximo de Zn de 0,0012 mg fruto⁻¹ de cafeeiro arábica adultos cv. Bourbon Vermelho, resultados acima deste foram encontrados neste trabalho, corroborando com os resultados encontrados por Khalajabadi *et al.* (2015), que estudando acúmulo de micronutrientes nos frutos de café arábica na Colômbia observou máximo de 0,003025 mg fruto⁻¹. Segundo Laviola *et al.* (2007), dentre todos os micronutrientes, o Zn foi o elemento que apresentou maior acúmulo relativo (%) no estágio de expansão rápida, denotando a importância deste na síntese de triptofano, aminoácido precursor da biossíntese da auxina, ácido indol acético (AIA), essencial para o processo de alongamento celular (Marschner, 1995).

Houve um efeito significativo nos teores e na exportação de Zn nos frutos maduros de café em todas as cultivares durante as safras de 2020/21 e 2021/22 (Tabela 14). Na safra de 2020/21, a cv. IAPAR 59 se destacou com os maiores teores de Zn no fruto, exportando a maior quantidade deste mineral. Já na safra de 2021/22, as cultivares Catuaí VE IAC 144 e IPR 100 registraram os maiores teores de Zn nos frutos, porém apenas a cultivar IPR 100 teve uma exportação maior desse mineral pelos frutos.

Tabela 14 - Teor e exportação de zinco nos frutos (café “em coco”) de sete cultivares de café arábica com períodos de maturação contrastantes, sob irrigação, nas safras 2020/21 e 2021/22

Cultivares	2020/21	2021/22
Teor de Mn (mg kg ⁻¹)		
IAC 125 RN	9,9b	4,1c
IAPAR 59	22,4a	8,0b
Topázio MG 1190	7,9b	6,8b
Catuaí VE IAC 144	10,5b	12,5a
Obatã IAC 1669-20	10,5b	8,5b
IPR 99	6,9b	3,7c
IPR 100	7,7b	14,6a
Teste F	<0,001	<0,001
CV (%)	21,0	17,9
Exportação de Mn (g ha ⁻¹)		
IAC 125 RN	48,9b	42,2c
IAPAR 59	129,5a	59,8c
Topázio MG 1190	45,9b	49,5c
Catuaí VE IAC 144	63,9b	94,1b
Obatã IAC 1669-20	70,5b	78,9b
IPR 99	23,9b	40,2c
IPR 100	40,4b	175,2a
Teste F	<0,001	<0,001
CV (%)	23,2	21,3

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

2.3.13 Implicações e perspectivas da determinação dos teores nas folhas e nos frutos e acúmulo no fruto ao longo do período de frutificação de cultivares de café arábica com ciclos de maturação contrastantes

A determinação dos teores nas folhas e nos frutos, assim como o acúmulo no fruto ao longo do período de frutificação, desempenha um papel crucial na compreensão e no aprimoramento do cultivo de cultivares de café arábica com ciclos de maturação contrastantes. Essa abordagem analítica oferece implicações significativas para a otimização da produção, a qualidade dos grãos e a gestão sustentável das plantações. Compreender os estádios fenológicos de desenvolvimento dos frutos do cafeeiro auxilia no planejamento agrícola, mais especificamente na definição de tratamentos culturais como o fornecimento de adubos (Bardin-Camparotto *et al.*, 2012). Contudo, é importante observar que a maturação dos frutos não é igual entre as cultivares, pois existem diferenças genéticas, como também, pode ocorrer alterações no ciclo de maturação dos frutos decorrente de condições climáticas (Petek *et al.*, 2009).

A variação nos teores de nutrientes nas folhas e nos frutos ao longo do ciclo de frutificação reflete as demandas metabólicas da planta em diferentes estágios de desenvolvimento. Compreender essas mudanças permite aos agricultores ajustarem suas práticas de manejo, como adubação e irrigação, para atender às necessidades específicas das plantas em cada fase (Partelli *et al.*, 2010). Isso pode resultar em melhorias na eficiência nutricional, promovendo um crescimento saudável e a produção de frutos de alta qualidade. As perspectivas dessa abordagem também se estendem ao manejo diferenciado de cultivares com ciclos de maturação contrastantes. Ao entender as características específicas de cada cultivar em termos de demandas nutricionais e padrões de acúmulo de nutrientes, os agricultores podem personalizar suas práticas agrícolas para otimizar o desempenho de cada cultivar. Isso não apenas melhora a eficiência produtiva, mas também contribui para a diversificação genética e a resiliência das plantações de café frente a condições climáticas variáveis e desafios ambientais.

2.4 CONCLUSÕES

Em suma, a análise das curvas de acumulação de nutrientes nos frutos do cafeeiro durante o período reprodutivo emerge como uma ferramenta crucial para avaliar as demandas nutricionais da cultura. Com base em resultados de duas safras, foi possível concluir que:

As durações médias dos períodos de frutificação em Vera Cruz-SP foram de 194 dias para as cultivares precoces (IAC 125 RN e IAPAR 59) e de 225 para as cultivares intermediárias (Topázio MG 1190 e Catuaí VE IAC 144) e tardias (Obatã IAC 1669-20, IPR 99 e IPR 100) de café arábica, havendo acumulação de MS nos frutos de forma praticamente constante durante todo o período.

Independentemente da cultivar, os acúmulos de N e K nos frutos foram relativamente constantes ao longo de todo o ciclo, em ambas as safras, e também os de P, K, Mg, S e Cu na segunda safra. Já as quantidades de Ca, B, Fe, Mn e Zn acumuladas no fruto variaram ao longo do período de frutificação. Para o B, o período de maior acumulação nos frutos se deu entre 90 e 163 dias após a antese.

As acumulações de MS e de alguns nutrientes (notadamente, N, P, K, S, Cu, Mn e Zn) nos frutos tenderam a ser mais rápidas nos cultivares precoces,

especialmente o IAC 125 RN, em comparação com as cultivares com ciclos de maturação intermediários ou tardios.

Houve um claro efeito diluição de alguns nutrientes no fruto ao longo do período de frutificação, ou seja, com o aumento da MS acumulada no fruto, houve redução dos teores de N, P, Ca, Mg, S, B e Mn na biomassa do fruto. Já os teores de K, Cu, Fe e Zn nos frutos tiveram variação mais incerta ao longo do período de frutificação e entre as safras avaliadas.

Apenas os teores foliares de N, em ambas as safras, e de Ca na safra 2020/21 e de Fe na safra 2021/22, diminuíram ao longo do período de frutificação. Os teores de Mg, B e Cu nas folhas do ramo produtivo até de aumentaram durante o período de crescimento dos frutos.

O acúmulo médio final dos nutrientes no fruto não teve relação clara com a produtividade de grãos ou com a exportação dos mesmos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S.R.; ARAÚJO NETTO, K.; CARVALHO, A. Produtividade de linhagens de Mundo Novo, Catuaí, Bourbon Amarelo, Catimor e Catindú no Sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11o., **Anais...** 1984, Londrina. p.177-178.

AMARAL, J.A.T.; LOPES, J.C.; AMARAL, J.F.T.; SARAIVA, S.H.; JESUS JR, W.C. Crescimento vegetativo e produtividade de cafeeiros Conilon propagados por estacas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1624-1629, 2007.

ANZUETO, F.; BERTRAND, B.; SARAH, J.-L.; ESKES, A.; DECAZY, B. Resistance to *Meloidogyne incognita* in Ethiopian *Coffea arabica* accessions. **Euphytica**, v. 118, p. 1-8, 2001.

ARZOLLA, S.; GOMES, L.; SARRUGE, J. R.; ANDRADE, R.G.; GRANER, E.A.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro, X. Extração de macronutrientes na colheita pelas variedades Mundo Novo, Caturra e Bourbon Amarelo. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.20, p.41-52, 1963.

BATAGLIA, O.C. Transporte e redistribuição de nutrientes via xilema e floema e sua regulação. In: FURLANI, A. M. C.; MEDINA, C. L.; FURLANI, P. R. **Curso de atualização em nutrição mineral de plantas perenes**. Resumos. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p.14-18.

BERTRAND, B.; VAAST, P.; ALPIZAR, E.; ETIENNE, H.; DAVRIEUX, F.; CHARMETANT, P. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. **Tree Physiology**, v. 26, p. 1239-1248, 2006.

BOISSEAU, M.; ARIBI, J.; SOUSA, F.R.; CARNEIRO, R.M.D.G.; ANTHONY, F. Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in wild *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, p. 38-41, 2009.

BRAGANÇA, S.M.; CARVALHO, C.H.S.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G. Variedades clonais de café Conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 36, p. 765-770, 2001.

BUESCHER, E.; ACHBERGER, T.; AMUSAN, I.; GIANNINI, A.; OCHSENFELD, C.; RUS, A.; GUERINOT, M. L. Natural genetic variation in selected populations of *Arabidopsis thaliana* is associated with ionic differences. **Plos One**, v. 5, p. 1-10, 2010.

CAMARGO, A. P; CORTEZ, J. G. Efeito do clima na qualidade de bebida do café nas condições de São Paulo e áreas próximas de outros estados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24o., **Anais...** Poços de Caldas, 1998. p. 42-44.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, p. 65-68, 2001.

CANNEL, M.G.R. Changes in the respiration and growth rates of developing fruits of *Coffea arabica* L. **Journal of Horticultural Science**, v. 46, p. 263-272, 1971b.

CANNEL, M.G.R. Seasonal patterns of growth and development of arabica coffee in Kenya. Part IV. Effects of seasonal differences in rainfall on bean size. **Kenya Coffee**, v. 36, p. 175-180, 1971a.

CATANI, R.A.; PELEGRINO, D.; BERGAMIN FILHO, H.; GLORIA, N.A. da; GRANER, C. A.F. A absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre pelo cafeeiro *Coffea arabica* variedade Mundo Novo [(B. Rodr.) Choussy] aos dez anos de idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v.22, p. 81-89, 1965.

CATANI, R.A.; PELLEGRINO, D.; ALCARDE, J.C.; GRANER, C.A.F. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro, durante o seu desenvolvimento. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**. v.24, p. 249-263, 1967.

CHAVES, J.C.D. **Concentração de nutrientes em frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí)**. 1982, 131 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, 1982.

CHAVES, J.C.D.; SARRUGE, J.R. Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiro durante um ciclo produtivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, 427-432, 1984.

CIETTO, S.; HAAG, H.P. Nutrição mineral do cafeeiro III. Recrutamento de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí) com dois, três, quatro e cinco anos de idade; nas fases fenológicas de repouso, granação e maturação vegetando em um latossolo vermelho amarelo, fase cerrado. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**. v.46, p.403-31, 1989.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da Safra de Café: Estimativas da Produção e Colheita – Dezembro de 2023**. 2023. Available in: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>. Access in: 20 de Dezembro de 2023

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, 13º. **Anais...** São Lourenço, 1986. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café. p. 35-41.

COSTA, R.A. **Fertilizantes minerais e aminoácidos aplicados via foliar na produtividade, desenvolvimento vegetativo e nutrição do cafeeiro**. 2009. 41f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil.

COVRE, A.M.; PARTELLI, F.L.; BONOMO, R.; GONTIJO, I. Micronutrients in the fruits and leaves of irrigated and non-irrigated coffee plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, p. 1119-1129, 2018.

DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 19, p. 485-510, 2007.

DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.D.C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, p.55- 81, 2006.

FAZUOLI, L.C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M. (Eds.) **Cultura do cafeeiro: Fatores que afetam a produtividade do cafeeiro**. Piracicaba, 1986. POTAFÓS. p. 87-113.

FAZUOLI, L.C.; MEDINA FILHO, H.P.; GONÇALVES, W.; GUERREIRO FILHO, O.; SILVAROLLA, M.B. Melhoramento do cafeeiro: variedades tipo arabica obtidas no Instituto Agrônomo de Campinas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.) **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2002. p.163-215.

GABELMAN, W.H.; GERLOFF, G.C. The search for and interpretation of genetic controls that enhance plant growth under deficiency levels of a macronutrient. **Plant and Soil**, v.72, p.335-350, 1983.

GARCIA, A. L. A., DE CARVALHO, C. H. S., GARCIA, A. W. R. (2009). Extração de nutrientes em cafeeiros da espécie *Coffea arabica*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRAS, 34., 2008, Caxambú. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2009.

GARCIA, A.W.R.; MATIELLO, J.B. **Novas variedades de café** – mais produtivas e resistentes. MAPA/PROCAFÉ – Boletim técnico. Varginha, 2002. p. 03-14.

ICO - INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. 2013. **Statistics**. Disponível em. Acesso em: 09 de abril de 2013.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of wood plants**. 2nd ed. San Diego: Academic, 1996. 411p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531p.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S.M.; NETO, A.P. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.1521-1530, 2007a.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S.M.; ROSADO, L.D.S. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em duas altitudes de cultivo: Micronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p.1439-1449, 2007b.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S. M. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: Cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p.1451-1463, 2007c.

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

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H. Dinâmica de P e S em folhas, flores e frutos de cafeeiro. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 29-40, 2007d.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V., V. H. Dinâmica de N e K em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**, v. 22, p. 33-47, 2006.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. G.; ALVAREZ V., V. H. Dinâmica de cálcio em folhas e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 319-329, 2007e.

LAVIOLA, B.G. **Alocação de fotoassimilados e nutrientes em folhas e frutos de cafeeiro em diferentes altitudes de cultivo**. 2007. 136p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LEON, J.; FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica*. **Turrialba**, v. 12, p. 65-74, 1962.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro – colheitas econômicas máximas** – Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo, 1993. p. 05–45.

MALAVOLTA, E.; GRANER, E.A.; SARRUGE, J.R.; GOMES, L. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XI. Extração de macro e micronutrientes na colheita pelas variedades “Bourbon Amarelo, Caturra Amarelo e “Mundo Novo”. **Turrialba**, v.13, p. 188-189, 1963.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. In: **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. Piracicaba: ESALQ. 1974. p. 203-255.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal**: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 451p.

MARTINS, A.N.; TURCO, P.H.N.; ARAÚJO, H.S.; FIRETTI, R. Productivity and physical quality of grains from *Coffea arabica* L. in a tropical high-altitude climate in Brazil. **Coffee Science**, v. 18, p. e182167, 2023.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. **Cultura de Café no Brasil**: Manual de recomendações. São Paulo: Futurama/MAPA/PROCAFÉ, 2016. 585 p.

MATOS, F.S.; WOLFGRAMM, R.; GONÇALVES, F.V.; CAVATTE, P.C.; VENTRELLA, M.C.; DAMATTA, F.M. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, p. 421-427, 2009.

MORAES, F.R.P.; CATANI, R.A. A absorção de elementos minerais pelo fruto do cafeeiro durante sua formação. **Bragantia**, v. 23, p. 331-336, 1964.

PARTELLI, F.L.; VIEIRA, H.D.; SILVA, M.G.; RAMALHO, J.C. Seasonal vegetative growth of different age branches of conilon coffee tree. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, p. 619-626, 2010.

PEREIRA, J.B.D. **Eficiência nutricional de nitrogênio e de potássio em plantas de café (*Coffea arabica* L.)**. 1999. 99f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, MG.

PRADO, R.M. **Nutrição de Plantas**. Editora UNESP, São Paulo. 2008. 407p.

QUAGGIO, J.A.; THOMAZIELLO, T.A.; RAIJ, B.V.; CANTARELA, H. Café. In: CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS JR, D.; BOARETTO, R.M.; RAIJ, B.V. **BOLETIM 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 165-176, 2022.

RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F.; MORA, L. Consumo de nutrientes por los frutos y bandolas de café Caturra durante um ciclo de desarrollo y maduración en Aquirres, Turrialba, Costa Rica. **Agronomia Costarricense**, v. 2, p. 33-42, 2002.

RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p.101-128.

RODRIGUES, G.C.; ROJAS, J.S.; ROUPSARD, O.; LEROY, T.; POT, D.; MOREIRA, M.Z.; VERDEIL, J.-L.; DAUZAT, J.; JOURDAN, C.; ANDRADE, A.C.; MARRACCINI, P. Resultados preliminares da plasticidade fenotípica em plantas de café (*Coffea arabica* cv. Rubi e IAPAR59) submetidas ao déficit hídrico em condições de campo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2011, Araxá, MG. **Resumos...** Araxá, MG: Embrapa Café, 2011. 5p.

SANTINATO, F.; TAVARES, T.O., PRADO, R.M.; CAIONE, G., SILVA, V.A.; SANTINATO, R. Boron doses applied to soil during coffee development. **Comunicata Scientiae**, v. 7, p. 49-55, 2016.

SANTOS, T.B.; MEDA, A.R.; SITTA, R.B.; VESPERO, E.B.; PAVAN, M.A.; CHARMETANT, P.; PÍPOLO, V.C.; PEREIRA, L.F.P.; VIEIRA, L.G.E.; DOMINGUES, D.S. Caracterização nutricional de acessos provenientes da Etiópia de café arábica. **Coffee Science**, v. 10, p. 10-19, 2015.

SILVAROLLA, M. B.; MAZZAFERA, P.; LIMA, M. M. A. D. Caffeine content of Ethiopian *Coffea arabica* beans. **Genetics and Molecular Biology**, v. 23, p. 213-215, 2000.

SILVESTRINI, M.; JUNQUEIRA, M. G.; FAVARIN, A. C.; GUERREIRO-FILHO, O.; MALUF, M. P.; SILVAROLLA, M. B.; COLOMBO, C. A. Genetic diversity and structure of Ethiopian, Yemen and Brazilian *Coffea arabica* L. accessions using microsatellites markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 54, p. 1367-1379, 2007.

SOUZA, R.B. **Níveis críticos de enxofre em solos e folhas de cultivares de café**. 1999. 88f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, MG.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre, Artmed, 2004.719p.

TOMAZ, M.A., MARTINEZ, H.E.P., RODRIGUES, W.N., FERRARI, R.B., PEREIRA, A.A., SAKIYMA, N.S. Eficiência de absorção e utilização de boro, zinco, cobre, manganês em mudas enxertadas de cafeeiro. **Revista Ceres**, v. 58, p. 108-114, 2011.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O. C.; FAZUOLI, L. C.. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, v. 64, p. 661-672, 2005.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em resumo, os resultados deste estudo oferecem uma visão abrangente da composição química dos frutos de café, destacando variações nos teores e quantidades acumuladas de nutrientes nos frutos colhidos e suas partes (casca e grãos) entre diversas cultivares e ao longo de várias safras. Também proporcionam o entendimento das curvas de acúmulo de MS e nutrientes no fruto, bem como as variações nos teores dos nutrientes nos frutos e nas folhas dos ramos plagiotrópicos ao longo do período de frutificação de cultivares com ciclos de maturação contrastantes.

As principais conclusões revelam padrões distintos para os teores e exportações dos macronutrientes e micronutrientes nos frutos colhidos, com notável variação entre cultivares e safras, especialmente quanto a exportação de nutrientes. A alocação diferenciada de nutrientes, como K, Ca, Mg, B, Fe e Zn, entre grãos e cascas, evidencia influências genéticas e sazonais. A utilização da casca de café como fonte de nutrientes emerge como uma promissora prática sustentável para reintroduzir elementos essenciais no solo.

A capacidade única das cultivares no acúmulo de nutrientes nos frutos destaca a importância de estratégias de manejo adaptativas. A análise temporal das curvas de acumulação de nutrientes durante o ciclo reprodutivo revela-se fundamental para entender as demandas nutricionais da cultura, contribuindo para otimizar a produtividade e qualidade dos grãos.

Em síntese, o estudo enfatiza a interação complexa entre fatores genéticos e ambientais na composição dos frutos de café. As variações sazonais na resposta das cultivares, a necessidade de estratégias de manejo adaptativas e a consideração da nutrição nas estratégias de melhoramento genético são aspectos-chave. Esses achados fornecem uma base sólida para aprimorar práticas agrícolas, maximizar a eficiência do manejo nutricional e otimizar a produção e qualidade dos grãos em diversas cultivares de café.

REFERÊNCIAS

- ALBERTO, N.J.; RAMALHO, J.C.; RIBEIRO-BARROS, A.I.; VIANA, A.P.; KROHLING, C.A.; MOIANE, S.S.; ALBERTO, Z.; RODRIGUES, W.P.; PARTELLI, F.L. Diversity in *Coffea arabica* cultivars in the Mountains of Gorongosa National Park, Mozambique, regarding bean and leaf nutrient accumulation and physical fruit traits. **Agronomy**, v. 13, p. 1162, 2023.
- ALMEIDA, S.R.; ARAÚJO NETTO, K.; CARVALHO, A. Produtividade de linhagens de Mundo Novo, Catuaí, Bourbon Amarelo, Catimor e Catindú no Sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., **Anais...** 1984, Londrina. p.177-178.
- BATAGLIA, O.C. Transporte e redistribuição de nutrientes via xilema e floema e sua regulação. In: FURLANI, A. M. C.; MEDINA, C. L.; FURLANI, P. R. **Curso de atualização em nutrição mineral de plantas perenes**. Resumos. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p.14–18.
- CARVALHO, A. M. D., CARDOSO, D. D. A., CARVALHO, G. R., CARVALHO, V. L. D., PEREIRA, A. A., FERREIRA, A. D., CARNEIRO, L. F. Comportamento de cultivares de cafeeiro sob a incidência das doenças da ferrugem e cercosporiose em dois ambientes de cultivo. **Coffee Science**, v. 2, p. 100-107, 2017.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da Safra de Café**: Estimativas da Produção e Colheita – Dezembro de 2023. 2023. Available in: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafes>>. Access in: 20 de Dezembro de 2023
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Séries históricas das safras – Café arábica. Brasília: **CONAB**. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/894-caffe-arabica>. Acesso em: 16 de janeiro de 2024.
- 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., **Anais...** São Lourenço, 1986. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café. p. 35-41.
- COSTA, R.A. **Fertilizantes minerais e aminoácidos aplicados via foliar na produtividade, desenvolvimento vegetativo e nutrição do cafeeiro**. 2009. 41f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil.
- COVRE, A.M.; RODRIGUES, W.P.; VIEIRA, H.D.; BRAUN, H.; RAMALHO, J.C.; PARTELLI, F.L. Nutrient accumulation in bean and fruit from irrigated and non-irrigated *Coffea canephora* cv. Conilon. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 28, p. 40-409, 2016.

DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.D.C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, p.55- 81, 2006.

DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F.L.; DIAS, J.R.M.; ESPINDOLA, M.C. Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 701-710, 2016.

FAZUOLI, L.C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M. (Eds.) **Cultura do cafeeiro: Fatores que afetam a produtividade do cafeeiro**. Piracicaba, 1986. POTAFÓS. p. 87-113.

FAZUOLI, L.C.; MEDINA FILHO, H.P.; GONÇALVES, W.; GUERREIRO FILHO, O.; SILVAROLLA, M.B. Melhoramento do cafeeiro: variedades tipo arabica obtidas no Instituto Agrônomo de Campinas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.) **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2002. p.163-215.

GABELMAN, W.H.; GERLOFF, G.C. The search for and interpretation of genetic controls that enhance plant growth under deficiency levels of a macronutrient. **Plant and Soil**, v. 72, p. 335-350, 1983.

GARCIA, A.W.R.; MATIELLO, J.B. **Novas variedades de café** – mais produtivas e resistentes. MAPA/PROCAFÉ – Boletim técnico. Varginha, 2002. p. 03-14.

GOMES, W.R.; RODRIGUES, W.P.; VIEIRA, H.D.; OLIVEIRA, M.G.; DIAS, J.R.M.; PARTELLI, F.L. Genetic diversity of standard leaf nutrients in Coffea canephora genotypes during phenological phases. **Genetic and Molecular Research**, v. 15, p. 1-13, 2016.

IEA - INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Banco de dados**: Valor da produção. São Paulo: IEA, 2022. Available in: <<http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancodedados/valorproducao>>. Access in: December 12, 2023.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B.; ALVAREZ V., V.H. Dinâmica de N e K em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**, v. 22, p. 33-47, 2006.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro** – colheitas econômicas máximas – Editora Agrônômica Ceres Ltda. São Paulo, 1993. p. 05–45.

MALAVOLTA, E.; FAVARIN, JL; MALAVOLTA, M.; CABRAL, CP; HEINRICH, R.; SILVEIRA, JSM. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1017-1022, 2002.

MALAVOLTA, E.; GRANER, E.A.; SARRUGE, J.R.; GOMES, L. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XI. Extração de macro e micronutrientes na colheita pelas variedades “Bourbon Amarelo, Caturra Amarelo e “Mundo Novo”. **Turrialba**, v. 13, p. 188-189, 1963.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. In: **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. Piracicab: ESALQ. 1974. p. 203-255.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.

MARTINS, A.N.; TURCO, P.H.N.; ARAÚJO, H.S.; FIRETTI, R. Productivity and physical quality of grains from *Coffea arabica* L. in a tropical high-altitude climate in Brazil. **Coffee Science**, v. 18, p. e182167, 2023.

MORAES, F.R.P.; CATANI, R.A. A absorção de elementos minerais pelo fruto do cafeeiro durante sua formação. **Bragantia**, v. 23, p. 331-336, 1964.

PEREIRA, J.B.D. **Eficiência nutricional de nitrogênio e de potássio em plantas de café (*Coffea arabica* L.)**. 1999. 99f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, MG.

SANTOS, M.M.D.; SILVA, C.A.D.; OZA, E.F.; GONTIJO, I.; AMARAL, J.F.T.D.; PARTELLI, F.L. Concentration of nutrients in leaves, flowers, and fruits of genotypes of *Coffea canephora*. **Plants**, p. 10, v. 2661, 2021.

SCHMIDT, R.; SILVA, C.A.; DUBBERSTEIN, D.; DIAS, J.R.M.; VIEIRA, H.D.; PARTELLI, F.L. Genetic diversity based on nutrient concentrations in different organs of robusta coffee. **Agronomy**, v. 12, p. 640, 2022.

SENRA, J.F.B.; FERRÃO, M.A.G.; MENDONÇA, R.F.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G.; VOLPI, P.S.; VERDIN FILHO, A.C.; COMERIO, M.; SILVA, M.W. Genetic variability of the access germplasm bank of *Coffea canephora* of Incaper in southern Espírito Santo. **Journal of Genetic Resources**, v. 6, p. 172-184, 2020.

SILVA, D.O.; FERREIRA, F.M.; ROCHA, R.B.; ESPÍNDULA, M.C.; SPINEL, V.M. Progresso genético com seleção de clones de *Coffea canephora* com rendimento superior de café processado. **Ciência Rural**, v. 48, p. 1-7, 2018.

SIMON-GRUITA, A.; POJOGA, M.D.; CONSTANTIN, N., DUTA-CORNESCU, G. 14 - Genetic engineering in coffee. In: GRUMEZESCU, A.M.; HOLBAN, A.M. (Ed.). **Caffeinated and cocoa based beverages**. Sawston, United Kingdom: Woodhead Publishing, 2019. p. 447-488.

SOUZA, R.B. **Níveis críticos de enxofre em solos e folhas de cultivares de café**. 1999. 88f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, MG.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O.C.; FAZUOLI, L.C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, v. 64, p. 661-672, 2005.

VEIGA, A.D.; ROCHA, O.C.; GUERRA, A.F.; BARTHOLO, G.F.; RODRIGUES, G.C.; PEREIRA, W.; SILVA, T.P.; SILVA, E.R.D. Agronomic performance and adaptability of arabic coffee resistant to leaf rust in the central Brazilian savanna. **Coffee Science**, v. 13, p. 41-52, 2018.