

UNIVERSIDADE VILA VELHA - ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE ECOSSISTEMAS

**TEORES FOLIARES DE MACRO E MICRONUTRIENTES,
ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM
MANEJOS ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE *Coffea arabica* L.**

ROMILDO ROCHA AZEVEDO JUNIOR

**VILA VELHA
JULHO / 2015**

UNIVERSIDADE VILA VELHA - ES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE ECOSISTEMAS

**TEORES FOLIARES DE MACRO E MICRONUTRIENTES,
ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM
MANEJOS ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE *Coffea arabica* L.**

Tese apresentada à Universidade Vila Velha, como pré-requisito do Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ecossistemas, para a obtenção do título de Doutor em Ecologia.

ROMILDO ROCHA AZEVEDO JUNIOR

VILA VELHA
JULHO / 2015

Catálogo na publicação elaborada pela Biblioteca Central / UVV-ES

A994t Azevedo Junior, Romildo Rocha.

Teores foliares de macro e micronutrientes, atributos químicos e microbiológicos do solo em manejos orgânico e convencional de *Coffea arabica* L. / Romildo Rocha Azevedo Junior. – 2015.
77 f.: il.

Orientador: Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso.

Tese (Doutorado) – Área de concentração: Ecologia de Ecossistemas, Universidade Vila Velha, 2015.
Inclui bibliografias.

1. Química do solo. 2. Biologia do solo. 3. Indicadores (Biologia). 4. Nutrição mineral I. Cardoso, Elke Jurandy Bran Nogueira. II. Universidade Vila Velha. III. Título.

CDD 631.46

ROMILDO ROCHA AZEVEDO JUNIOR

TEORES FOLIARES DE MACRO E MICRONUTRIENTES,
ATRIBUTOS QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM
MANEJOS ORGÂNICO E CONVENCIONAL DE *Coffea arabica* L.

Tese apresentada à Universidade Vila
Velha, como pré-requisito do Programa de
Pós-graduação em Ecologia de
Ecossistemas, para a obtenção do título
de Doutor em Ecologia.

Aprovada em 23 de julho de 2015,

Banca Examinadora:



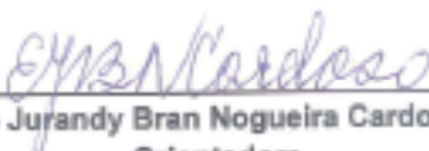
Dra. Josimara Barcelos Venancio – SEDU



Dra. Inga Gonçalves de Azevedo – UENF



Dr. Dilmar Baretta – UDESC



Dra. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso – UVV
Orientadora

Dedico este trabalho à minha mãe, Ottilia Rosa Trevas, e às minhas queridas irmãs Suely, Rita, Fátima e Rosa.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por me guiar no ímpeto de buscar o aprimoramento.

À Universidade Vila Velha – UVV, pela possibilidade de realização do doutorado.

Aos meus familiares, pelo apoio e incentivo, em especial à minha mãe e queridas irmãs, mas não me esquecendo dos sobrinhos e cunhados.

Aos meus orientadores Prof^a. Dra. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso e Dr. Alessandro Coutinho Ramos, pela orientação, amizade, incentivo, dedicação e compreensão. E também, em especial, ao Dr. Dilmar Baretta pelo incentivo e pela colaboração com as análises de solo e estatísticas.

Aos professores do Doutorado em Ecologia de Ecossistemas, pelo aprendizado e dedicação, em especial ao prof. Leonardo de Barros Dobbs, pela ajuda com as análises de solos.

Ao Laboratório de Microbiologia do Solo da ESALQ/USP, em especial aos técnicos Luís Fernando Baldesin e Denise de Lourdes C. Mescolotti, pela ajuda e disponibilidade com os parâmetros microbiológicos.

Aos amigos João Elvídio Galimberti, Docarmo e Jamil Pereira, pela preciosa colaboração e pelo incansável apoio para a concepção e concretização da pesquisa.

Aos colegas do Doutorado, Frederico, César, Juliana, Maysa, Gabriela e Wallace, pela amizade e apoio, e à pós-doc, Muriel, pela amizade e colaboração nas análises.

Aos colegas do Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia (LMAB), em especial à Janaína, Juliana, Vivian, Isadora, Andreza, Sávio e ao Frederico, pela preciosa colaboração nas análises. Horas e mais horas de bancada!!

À Zenóbia e Mayara, pela cumplicidade, pelo incondicional apoio e pela compreensão.

Aos proprietários rurais Sr. Admir Rossmann, Sr. Braulino Kurt, Sr. Gerson Berger, Sr. Izidoro Zumach, Sr. Henrique Slopper e César Krohling, por cederem as áreas de café para o estudo. Não podendo deixar de agradecer aos funcionários dessas propriedades que colaboraram conosco e aos parceiros de coleta, Janaína, Walber, Thécio, Sávio, Isadora e Sidnei. Quantos morros para subir e descer com ferramentas e sacos de terra nas costas. Quantos tombos!! Tudo isso sem esmorecer e confiantes no sucesso do trabalho!

Nem tudo deu certo, mas o aprendizado acadêmico e o aprimoramento das relações pessoais, com certeza, valeram a pena!

“Ser feliz é encontrar força no perdão,
esperanças nas batalhas, segurança no palco do medo, amor nos desencontros. É
agradecer a Deus a cada minuto pelo milagre da vida.
Ser feliz é deixar de ser vítima dos problemas e
se tornar um autor da própria história. É saber falar de si mesmo. É não ter medo
dos próprios sentimentos.”

Fernando Pessoa

SUMÁRIO

RESUMO	09
ABSTRACT	11
1.INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1.1 REFERÊNCIAS.....	20
CAPÍTULO I. Teores foliares de macro e micronutrientes em <i>Coffea</i>	
<i>arabica</i> L. em sistemas de manejo orgânico e convencional	24
1. INTRODUÇÃO.....	26
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.CONCLUSÃO.....	49
5. REFERÊNCIAS.....	50
CAPÍTULO II: Atributos químicos e microbiológicos do solo em manejos	
orgânico e convencional de <i>Coffea arabica</i> L.....	55
1. INTRODUÇÃO.....	56
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	58
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
4. CONCLUSÃO.....	79
5. REFERÊNCIAS.....	80
CONSIDERAÇÕES FINAIS	84

RESUMO

AZEVEDO JR, Romildo Rocha. Universidade Vila Velha - ES, 23 de Julho de 2015. **Teores foliares de macro e micronutrientes, atributos químicos e microbiológicos do solo em manejos orgânico e convencional de *Coffea arabica* L.** Orientadora: Dr^a. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso. Coorientador: Dr Alessandro Coutinho Ramos.

A crescente demanda por nutrientes, requeridos por cultivares cada vez mais produtivas, e a expansão da cultura do café para solos de baixa fertilidade requerem uma melhor compreensão da dinâmica dos nutrientes nessa cultura, bem como das interações entre teores de nutrientes e outros componentes do solo. O sistema de manejo adotado para a cultura do café pode provocar mudanças nas propriedades químicas e microbiológicas do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos sistemas de manejos orgânico (SMO) e convencional (SMC) de café sobre os teores foliares de macro e micronutrientes, atributos químicos e microbiológicos do solo, bem como identificar quais desses fatores contribuem para discriminar esses sistemas de manejo e quais atributos edáficos se relacionam entre si, em duas épocas contrastantes. Para tanto, foram selecionadas áreas de plantio de *Coffea arabica* com SMO e SMC, localizadas em municípios distintos, no estado do Espírito Santo. Em cada sistema de manejo, realizaram-se três réplicas, e nove pontos de amostragem foram distribuídos em um *grid* de amostragem. Em cada planta de café, foram retiradas amostras de solo e de folhas para análises microbiológicas e de macro e micronutrientes. Os dados foram submetidos à análise multivariada (Análise Canônica Discriminante - ACD e Análise de Redundância - RDA), bem como a análises univariadas. Os teores foliares de macro e micronutrientes foram diferenciados entre o SMO e SMC, em ambas estações do ano, evidenciando valores mais elevados ($p < 0,05$) de cobre e boro no SMC em comparação ao SMO e menores valores ($p < 0,05$) de cálcio, enxofre e ferro no mesmo comparativo. Os teores foliares de macro e micronutrientes foram eficientes em discriminar SMO e SMC. Os macro e micronutrientes foliares considerados bons indicadores para discriminar os dois sistemas de manejo foram cobre, magnésio, boro e enxofre. Os atributos químicos do solo mais importantes para discriminar foram cálcio (Ca) e boro (B), enquanto os microbiológicos foram carbono da biomassa microbiana (CBM), fosfatase ácida (Fac), fosfatase alcalina (Falc) e quociente metabólico

($q\text{CO}_2$). A RDA mostrou que, independentemente da época, CBM e Fac se correlacionaram com nitrogênio (N), enxofre (S) e matéria orgânica (MO), enquanto respiração basal (C- CO_2) e Falc com magnésio (Mg) e o $q\text{CO}_2$ se correlacionou aos teores de Mg, Ca, fósforo (P), potássio (K) e pH do solo.

Palavras-chave: atributos microbiológicos, análise multivariada, café arábica, diagnose foliar, nutrição mineral, qualidade do solo.

ABSTRACT

AZEVEDO JR, Romildo Rocha. Universidade Vila Velha - ES, July 23, 2014. **Foliar levels of macro and micronutrients, chemical and microbiological soil properties in organic and conventional managements of *Coffea arabica* L.** Advisor: Dr^a. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso. Coorientador: Dr Alessandro Coutinho Ramos.

The growing demand for nutrients required for increasingly productive cultivars and the expansion of the coffee culture to low fertility soils require a better understanding of the dynamics of nutrients to this crop as well as the interactions between nutrient content and other soil components. The management system adopted for the coffee culture can cause changes in the chemical and microbiological properties of the soil. The objective of this study was to evaluate the effect of organic (SMO) and conventional (SMC) management systems of coffee plantations on the leaf contents of macro and micronutrients. Additionally, chemical and microbiological soil properties were identified to learn which of these factors contribute to discriminate these management systems and what chemical and microbiological soil properties relate to each other in two contrasting periods. Therefore, we selected *Coffea arabica* plantations under organic and conventional management located in different municipalities in the state of Espírito Santo. For each management system, there were three replicates and nine sampling points that were distributed on a sampling grid. Soil and leaf samples were taken for analysis the macro and micronutrients. Data were submitted to multivariate analysis (Canonical Discriminant Analysis - CDA and Redundancy Analysis - RDA) besides univariate analyses. Leaf contents of macro and micronutrients were differentiated between the SMO and SMC in both seasons, showing higher values ($p < 0.05$) of copper and boron in SMO when compared to SMC, and lower values ($p < 0, 05$) of calcium, sulfur and iron in the same comparison. Leaf contents of macro and micronutrients were efficient in discriminating SMO and SMC. The macro and micronutrients considered good indicators for discriminating the two management systems, in the leaf, were copper, magnesium, boron and sulfur. Chemical and microbiological attributes discriminate the two management systems. The most important chemical attributes to discriminate the two management systems were calcium (Ca) and boron (B), while the best microbiological indicators were microbial biomass carbon (CBM), acid phosphatase

(Fac), alkaline phosphatase (Falc) and metabolic quotient ($q\text{CO}_2$). The RDA has shown that, irrespective of season, CBM and Fac are correlated with nitrogen (N), sulfur (S) and organic matter (MO), while basal respiration (C-CO₂) and Falc correlated with magnesium (Mg), and the $q\text{CO}_2$ correlated with Mg, Ca, phosphorus (P), potassium (K) and soil pH.

Keywords: microbiological attributes, multivariate analyses, arabica coffee, leaf analyses, plant nutrition.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O gênero *Coffea* pertence à família Rubiaceae, que inclui cerca de 100 espécies, todas nativas da África, Madagascar e Mascarenhas. No entanto, apenas duas espécies são cultivadas comercialmente, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre. Em alguns países africanos, as espécies selvagens *Coffea racemosa* Lour e *Coffea liberica* Hiern são cultivadas em pequena escala para o consumo local (Andrade et al., 2009). A Etiópia é a origem do café das montanhas (*Coffea arabica* Linnaeus), planta anteriormente conhecida como *Jasminum arabica laurifolia* Jussieu (Beyene et al., 2012).

O café é a *commodity* mais importante no comércio agrícola internacional, representando uma importante fonte de renda para vários países latino-americanos, africanos e asiáticos (Da Matta, 2004). Na safra 2012/2013, cinquenta e seis países produtores alcançaram a marca de 144.611 milhões de sacas produzidas, dessas, 103.421 sacas, ou seja, 71,5% foram exportadas (ICO, 2014). A maioria dos produtores de café são pequenos agricultores de países em desenvolvimento, embora os maiores mercados consumidores de café sejam os Estados Unidos e países da Europa (Petit, 2007).

O Brasil se destaca como maior exportador mundial de café (ICO, 2014). Dados do Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (CECAFÉ, 2015) registram recorde histórico em termos de volume de café exportado na safra 2014/15, informando que o Brasil chegou a 36.492.298 sacas exportadas e confirmando a continuidade dessa supremacia até o presente momento. A safra brasileira para 2015/2016 está estimada entre 44,11 a 46,61 milhões de sacas (60 kg) de café beneficiado, segundo a primeira estimativa da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Minas Gerais concentra a maior área plantada (973,58 mil de hectares), o que representa 49,63% da área cultivada no país. A segunda colocação é do Espírito Santo, com 435,27 mil hectares (CONAB, 2015).

Apesar de todo o café bebido no mundo ser originado de variedades de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, essas são espécies bem diferentes quanto ao sistema de reprodução; número de cromossomos; à base genética; às origens; ao ciclo; porte, aos tipos de grãos; às exigências nutricionais; à tolerância à seca; a pragas; doenças e nematoides; ao tipo e tamanho das cerejas e à constituição bioquímica dos grãos, dentre outras características (Ferrão, 2004). Porém, a

qualidade da bebida é sem dúvida a principal característica que distingue essas duas espécies, enquanto no arábica a bebida é classificada como superior, a do robusta é tida como neutra ou inferior, motivo pelo qual o seu preço de comercialização é menor (Ferrão et al., 2007).

A agricultura convencional usa uma ampla gama de práticas e ferramentas culturais, biológicas e químicas, incluindo o uso de pesticidas, que resulta em perda de biodiversidade em todo o mundo (Letourneau & Bothwell, 2008). Somando-se a esse panorama de perda de biodiversidade e agravando-o, tem-se a redução da qualidade de vida dos produtores e consumidores de produtos convencionais, consequência dos efeitos nocivos dos agrotóxicos utilizados no manejo das culturas, o que também pode comprometer o uso do solo pelas futuras gerações, pois há uma inerente redução da fertilidade natural dos solos cultivados sob o sistema convencional (Alencar et al., 2013).

A agricultura orgânica está sujeita a normas nacionais e internacionais. As normas de certificação são diferentes nas diferentes partes do mundo, mas todas promovem a gestão agrícola a partir de métodos agronômicos, biológicos e mecânicos, que restrinjam o uso de pesticidas sintéticos, herbicidas e fertilizantes, bem como certas formas de modificação genética (Letourneau & Bothwell, 2008).

Os pequenos agricultores dominam a produção de cafés orgânicos e “Fairtrade”, e os países latino-americanos produzem a maior parte dessas categorias de café, em especial, a orgânica certificada (Robert, 2001).

Para os produtores de pequeno e médio porte, que são dependentes do uso de insumos e que contam com uma única fonte de renda da monocultura do café, os riscos econômicos são graves devido aos custos altos e variáveis e aos preços baixos e instáveis do mercado mundial de café. Em contrapartida, a produção de café orgânico, baseada na diversidade, na reciclagem, em processos biológicos e no mimetismo dos habitats naturais pode gerar múltiplos produtos, uma vez que está menos sujeita a impactos externos do que os sistemas convencionais (Lyngbæk et al. 2001).

Os críticos à produção orgânica geralmente citam rendimentos mais baixos como um impedimento para a disposição dos produtores a se envolverem com café orgânico. É um argumento válido, pois, muitas vezes, os rendimentos caem drasticamente após a transição ser feita, além de que alguns modelos mostram que os rendimentos orgânicos não conseguem competir com produções convencionais. No entanto, dados mostram que, em quatro anos de produção em quatro

cooperativas que mantêm ambas práticas, orgânica e convencional, em El Salvador, embora os rendimentos das propriedades orgânicas nunca tenham excedido, em média, os rendimentos de qualquer uma das convencionais, eles são muito próximos, informação que contradiz a percepção de que produção orgânica é sinônimo de baixo rendimento (Robert, 2001).

Lyngbæk et al. (2001) compararam dez pares de fazendas de café orgânico e convencional na Costa Rica. Embora cinco das fazendas orgânicas estivessem bem próximas ou ultrapassassem a produção de suas contrapartes convencionais, o rendimento, por três anos, das fazendas orgânicas, como um todo, foi 22% menor do que o das fazendas convencionais.

Assim sendo, os sistemas de produção orgânica constituem-se em boa oportunidade, principalmente aos pequenos agricultores, pois embora utilizem mais mão-de-obra e apresentem uma menor produtividade que os sistemas convencionais, podem mostrar um desempenho econômico melhor, traduzido por menores custos efetivos, maiores relações benefício/custo e maiores rendas efetivas (Carmo & Magalhães, 1999; Ricci, 2006; Silva et al. 2013).

Siqueira et al. (2011) observam que, uma vez assegurada a eficiência econômica e ecológica do sistema orgânico, o desafio é aperfeiçoar a sua eficiência técnica, para que possa contribuir com a sustentabilidade socioeconômica dos cafeicultores familiares. Um dos fatores preponderantes a serem analisados para uma melhor eficiência técnica é a disponibilidade de nutrientes em ambos sistemas agrícolas, orgânico e convencional (Ponti et al., 2012).

A dinâmica dos nutrientes no solo é mediada por diversos fatores como práticas culturais, fatores climáticos, físicos e químicos do solo e pragas e/ou doenças do sistema radicular (Malavolta, 1980; Rosolem, 1992).

Considerando o pH, Malavolta (1976) relata que a disponibilidade dos nutrientes varia com o pH e, de um modo geral, o pH baixo disponibiliza mais os micronutrientes, enquanto o pH elevado disponibiliza mais os macronutrientes.

Especificamente para o cafeeiro, valores de pH na faixa de 5,7 a 6,4 são os que proporcionam melhor resposta. Theodoro et al. (2003) constataram elevação do pH no manejo “café orgânico”, com acidez fraca (6,78) e “café em conversão” (do sistema convencional para o orgânico), com acidez média (6,08) quando comparados ao manejo de “café convencional”, com acidez média (5,4). Os autores afirmam que o aumento do pH, no manejo orgânico, pode estar diretamente

relacionado com algumas práticas, a saber: calagem realizada de acordo com análise de solo, adubação orgânica e cobertura vegetal permanente do solo.

Quanto à relação entre matéria orgânica e características químicas do solo, destacam-se as seguintes melhorias nas características químicas em solos mais ricos em matéria orgânica: maior sorção de hidrogênio (H) e alumínio (Al) na superfície do material vegetal, complexação do Al por compostos orgânicos, a troca de ligantes entre os grupos funcionais OH⁻ dos oxihidróxidos de ferro (Fe) e Al e os ânions orgânicos, além do aumento do potencial de oxidação biológica de ânions orgânicos (Franchini et al., 1999).

Quanto à influência da calagem sobre a disponibilidade de macronutrientes, Paulo & Furlani (2005), estudando a produção trienal de *C. arabica* e os teores foliares de macronutrientes de cultivares de cafeeiro em função das densidades de plantio, concluíram que, quando as plantas foram adubadas de modo homogêneo, porém, sem calagem, as cultivares utilizadas diferiram significativamente para teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), magnésio (Mg) e enxofre (S), mas não diferiram para o teor foliar de Ca. Esses autores também apontaram que o teor de cálcio (Ca) no solo pode estar relacionado à prática de calagem e/ou ao uso de fosfato natural, que também pode disponibilizar Ca no solo.

Quanto à relação entre os principais macronutrientes para a cultura do café e o sistema de manejo adotado, Ricci et al. (2005) afirmam que o N tem baixa concentração nos fertilizantes orgânicos e, por essa razão, o N é o nutriente mais limitante na cafeicultura orgânica. Na experimentação que realizaram, aconselham o uso de leguminosa associada à cafeicultura como alternativa para o produtor fertilizar os sistemas orgânicos com N.

O fósforo apresenta-se como o segundo mais deficiente e sabe-se que isso é devido ao fato de, embora alguns solos normalmente contenham grande quantidade de fósforo total, a maior parte do fósforo está na forma insolúvel. Setenta e cinco por cento dos fertilizantes fosfatados solúveis adicionados às culturas podem se converter em formato pouco solúvel, por reação com os íons Ca²⁺ livre, em solos de pH elevado, ou com Fe³⁺ ou Al³⁺, em solos de pH baixo (Hariprasad & Niranjana; 2009).

E quanto aos micronutrientes e o sistema de manejo adotado para a cultura do café, Leite (2003) indica que a ordem decrescente de absorção de micronutrientes para o café é: ferro (Fe) > manganês (Mn) > boro (B) > zinco (Zn) > cobre (Cu) > molibdênio (Mo). Como o Fe e o Mn são mais abundantes nos solos do

Brasil, há maiores possibilidades de deficiência de B e Zn (Catani et al, 1967), o que faz com que os agricultores, no manejo convencional, geralmente façam reposição de todos ou somente desses dois micronutrientes.

Processos biológicos ou bioquímicos são indicadores da qualidade do solo e respondem mais rapidamente às mudanças do que os atributos químicos e físicos. Geralmente, propriedades bioquímicas relacionadas com os biociclos dos elementos (C, N, P e S) são usados para diagnosticar a qualidade do solo (Baretta et al., 2011). Essas propriedades incluem tanto os parâmetros bioquímicos gerais (carbono da biomassa microbiana, atividade da desidrogenase e potencial mineralização do N), utilizadas tanto individualmente como em formato de índices simples, como parâmetros bioquímicos específicos (atividade de enzimas hidrolíticas, tais como fosfatase, urease e β -glucosidase) (Gil-Sotres et al., 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos manejos orgânico e convencional de café arábica, em duas épocas contrastantes, sobre os teores de macro e micronutrientes foliares e dos atributos químicos e microbiológicos do solo e identificar quais desses contribuem para discriminar esses dois sistemas de manejo, bem como verificar a correlação existente entre os atributos químicos e microbiológicos do solo nesses manejos. Com isso, espera-se melhor avaliar a dinâmica da interação entre o sistema de manejo adotado para *C. arabica* e os teores de macro e micro nutrientes foliares, bem como aspectos químicos e microbiológicos do solo, obtendo-se, assim, resultados que considerem a atuação dos dois sistemas de manejo sobre a atividade simultânea desses diversos atributos analisados.

1.1 REFERÊNCIAS

- AHMAD, F.; AHMAD, I.; KHAN, MS. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiology Research*, v. 163: p. 173-181, 2008.
- ALENCAR, G.V. de; MENDONÇA, E. de; OLIVEIRA, T.S. de; JUCKSCH, I.; CECON, P.R. Percepção ambiental e uso do solo por agricultores de sistemas orgânicos e convencionais na Chapada da Ibiapaba, Ceará. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 51: p. 217-236, 2013.
- ANDRADE, S.A.L.; MAZZAFERA, P.; SCHIAVINATO, M.A.; SILVEIRA, A.P.D. Arbuscular mycorrhizal association in coffee. *Journal of Agricultural Science*, v. 147: p. 105-115, 2009.
- BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; SEGAT, J.C.; GEREMIA, E.V.; OLIVEIRA FILHO, L.C.I.; ALVES, M.V. Fauna edáfica e qualidade do solo. In: KLAUBERG-FILHO, O.; MAFRA, A.L.. (Org.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 119-170, 2011.
- BEYENE, A.; KASSAHUN, Y.; ADDIS, T.; ASSEFA, F.; AMSALU, A.; LEGESSE, W.; KLOOS, H.; TRIEST, L. The impact of traditional coffee processing on river water quality in Ethiopia and the urgency of adopting sound environmental practices. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 184: p. 7053–7063, 2012.
- CARMO, M.S.; MAGALHÃES, M.M. Agricultura sustentável: avaliação da eficiência técnica e econômica de atividades agropecuárias selecionadas no sistema não convencional de produção. *Informações Econômicas*, v. 29, p. 7:98.
- CATANI, R.A.; PELLEGRINO, D.; BITTENCOURT, V.C.; JACINTHO, A.O.; GRANER, C.A.F. A concentração e a quantidade de micronutrientes e de alumínio no cafeeiro (*Coffea arabica*, L. var. Mundo Novo (B. Rodr.) Choussy), aos dez anos de idade. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*. Piracicaba, 24:97-106, 1967.
- CECAFE - Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (2015). Disponível em (<http://www.cecafe.com.br>). Data de acesso: 13 de julho de 2015.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2015). Acompanhamento da safra brasileira de café. Disponível em <<http://www.conab.gov.br>>. Data de acesso: 23 jan. 2015.

- DaMATTA, F.M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, v. 86: p. 99–114, 2004.
- FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; VERDIM FILHO, A.C.; VOLPI, O.S. Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética em *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; MUER, L.H. eds. Café Conilon. Espírito Santo: Incaper, p. 65:91, 2007.
- FERRÃO, R.G. Biometria aplicada ao melhoramento genético do café conilon. Viçosa/MG, Universidade Federal de Viçosa. 271 p. 2004 (tese de doutoramento).
- FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23: p. 533-542, 1999.
- HARIPRASAD, P.; NIRANJANA; S.R. Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. *Plant Soil*, v. 316: p. 13–24, 2009.
- GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M.C. & SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biol. Biochem.*, 37:877-887, 2005.
- ICO - International Coffee Organization 92014). Trade statistics. Disponível em (http://www.ico.org/trade_statistics.asp). Data de acesso: 21 de dezembro 2014.
- LEITE, V.M. Absorção e translocação de boro em cafeeiro – uma revisão. *Revista Científica Eletrônica Agronomia*, p. 1:8, 2003.
- LETOURNEAU, D.K.; BOTHWELL, S.G. Comparison of organic and conventional farms: challenging ecologists to make biodiversity functional. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 6: p. 430–438, 2008.
- LYNGBÆK, A.E.; MUSCHLER, R.G.; SINCLAIR, F.L. Productivity and profitability of multistrata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, v. 53: p. 205–213, 2001.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. Agronômica Ceres, 528p. São Paulo. 1976.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. Piracicaba, Agronômica Ceres. 251p. 1980.

- PAULO, E.M.; FURLANI JR., E. Yield performance and leaf nutrient levels of coffee cultivars under different plant densities. *Scientia Agrícola*, v. 67: p. 720-726, 2010.
- PETIT, N. Ethiopia's coffee sector: a bitter or better future? *Journal of Agrarian Change*, v.7: p. 225–263, 2007.
- RICCI, M.S.F.; ALVES, B.J.R.; MIRANDA, S.C. de; OLIVEIRA, F.F. de. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. *Scientia Agrícola*, v. 62: p. 138-144, 2005.
- RICCI, M.S.F.; COSTA, JR.; PINTO, A.N.; SANTOS, V.L.S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41: p. 569-575, 2006.
- ROBERT, A.R. Noble goals and challenging terrain: organic and fair trade coffee movements in the global marketplace. *Journal of Agricultural and Environmental*, v. 14: p. 39–66, 2001.
- ROSOLEM, C.A. Eficiência da adubação foliar. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 20, Piracicaba. p.315-351, 1992.
- SIQUEIRA, H M DE; SOUZA, P M DE; PONCIANO, N J. Café convencional versus café orgânico: perspectivas de sustentabilidade socioeconômica dos agricultores familiares do Espírito Santo. *Revista Ceres*, v. 58: p. 155-160, 2011.
- SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S.; BOTTEGA, E.L. Yield mapping of arabic coffee and their relationship with plant nutritional status. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 13: p. 556-564, 2013.
- THEODORO, V.C.A.; ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J. & SOUZA, C.A.S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27: p. 1039-1047, 2003.

CAPÍTULO I

Teores foliares de macro e micronutrientes em *Coffea arabica* L. em sistemas de manejo orgânico e convencional

Azevedo Junior, Romildo. Universidade Vila Velha - ES, 23 de JULHO de 2015. **Teores foliares de macro e micronutrientes em *Coffea arabica* L. em sistemas de manejo orgânico e convencional.** Orientadora: Dr^a. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso. Co-orientador: Dr. Alessandro Coutinho Ramos.

RESUMO

A crescente demanda por nutrientes, requeridos por cultivares cada vez mais produtivas, e a expansão da cultura do café para solos de baixa fertilidade requerem uma melhor compreensão da dinâmica dos teores foliares de macro e micronutrientes nessa cultura. O sistema de manejo adotado para a cultura do café pode provocar mudanças nas propriedades químicas e nos teores foliares de macro e micronutrientes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos sistemas de manejos orgânico (SMO) e convencional (SMC) de café sobre os teores foliares de macro e micronutrientes, bem como identificar quais desses nutrientes contribuem para discriminar esses sistemas de manejo, em duas épocas contrastantes. Para tanto, foram selecionadas áreas de plantio de *Coffea arabica* com SMO e SMC, localizadas em municípios distintos, no estado do Espírito Santo. Em cada sistema de manejo, realizaram-se três réplicas, e nove pontos de amostragem foram distribuídos em um *grid* de amostragem. Em cada planta de café, foram retiradas amostras de solo e de folhas para análises de macro e micronutrientes. Os dados foram submetidos à análise multivariada (Análise Canônica Discriminante – ACD), bem como a análises univariadas. Os teores foliares de macro e micronutrientes foram diferenciados entre o SMO e SMC. Em ambas estações do ano, evidenciaram valores mais elevados ($p < 0,05$) de boro no SMC em comparação ao SMO ($p < 0,05$); de cálcio e enxofre, no inverno somente e de ferro, no verão somente, enquanto cobre mostrou-se mais elevado no SMO, somente no inverno. Os teores foliares de macro e micronutrientes foram eficientes em discriminar SMO e SMC. Os

macro e micronutrientes considerados bons indicadores para discriminar os dois sistemas de manejo foram cobre, magnésio, boro e enxofre.

Termos de indexação: análise multivariada, café arábica, diagnose foliar, nutrição mineral.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Coffea* pertence à família Rubiaceae, que inclui cerca de 100 espécies, todas nativas da África, Madagascar e Mascarenhas. No entanto, apenas duas espécies são cultivadas comercialmente, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre (Andrade et al., 2009). Essas duas espécies são bem diferenciadas quanto a características genéticas, vegetativas e agronômicas, porém a qualidade da bebida é, sem dúvida, a principal característica que as distingue, pois enquanto no arábica a bebida é classificada como superior, a do robusta (*C. canephora*) é tida como neutra ou inferior, motivo pelo qual o seu preço de comercialização é menor (Ferrão et al., 2007) até a atualidade (CONAB, 2014).

Dados do Instituto Internacional do Café (ICO) relatam que, em 2010, o emprego total gerado pelo setor cafeeiro foi estimado em cerca de 26 milhões de pessoas, em 52 países produtores. O Brasil ainda é o maior exportador mundial de café (45.141.000 sacas), seguido pela Colômbia, com 4.200.000 sacas (ICO, 2014). O Espírito Santo possui a segunda maior área plantada com café do Brasil, totalizando 447.355 hectares. Segundo a estimativa de safra cafeeira de 2014, a produção no Espírito Santo será de 12.208 mil sacas (CONAB, 2014).

Particularmente para os produtores de pequeno e médio porte, que são dependentes do uso de insumos e que contam como uma única fonte de renda a monocultura do café, os riscos econômicos são graves, devido aos custos altos e variáveis e aos preços baixos e instáveis do mercado mundial de café. Em contrapartida, a produção de café orgânico, baseada na diversidade estrutural e funcional, na reciclagem, em processos biológicos e no mimetismo dos habitats naturais, pode gerar múltiplos produtos, uma vez que está menos sujeita a impactos externos do que os sistemas convencionais (Lyngbæk et al., 2001). Além disso, vários países do primeiro mundo priorizam a importação de produtos produzidos de maneira sustentável, ecologicamente correta e socialmente justa.

Segundo Souza et al. (2014), o sistema de manejo adotado ocasiona mudanças nas propriedades químicas e físicas do solo, especialmente na disponibilidade de nutrientes e no condicionamento físico do solo. Além disso, a crescente demanda por nutrientes, requeridos por cultivares cada vez mais produtivas, e a expansão da cultura para solos de baixa fertilidade requerem uma melhor compreensão da dinâmica dos nutrientes na cultura do café (Reis Jr. et al., 2002). A alta exigência de

nutrientes pelo café e o alto custo dos fertilizantes fez do monitoramento do estado nutricional, por meio de análise foliar, um método essencial para fornecer recomendações de adubação mais equilibrada e de baixo custo (Valarini et al., 2003). Sendo o café uma cultura exigente em nutrientes e os solos em que o café é plantado no Espírito Santo serem naturalmente de baixa fertilidade (Pires et al., 2003), e sendo essa a realidade não só do Espírito Santo, torna-se relevante avaliar os aspectos da fertilidade do solo e da absorção dos nutrientes pelas plantas de café.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos sistemas de manejo orgânico (SMO) e convencional (SMC), sobre os teores foliares de macro e micronutrientes em *C. arabica*, em duas épocas contrastantes, bem como identificar as interações entre os nutrientes e como esses nutrientes contribuem para discriminar os sistemas de manejo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido sazonalmente, no verão (janeiro de 2013) e no inverno (julho de 2013), nos seguintes municípios da região serrana do estado do Espírito Santo: Marechal Floriano ($20^{\circ}26'1''S40^{\circ}45'780''W$), Pedra Azul ($20^{\circ}21'572''S41^{\circ}03'063''W$) e Santa Maria de Jetibá ($20^{\circ}0'267''S47^{\circ}010''W$), conforme apresentado na Figura 1. No período de inverno, as plantas encontravam-se em estágio produtivo, colheita/fim de colheita, enquanto, no verão, estavam em estágio vegetativo.

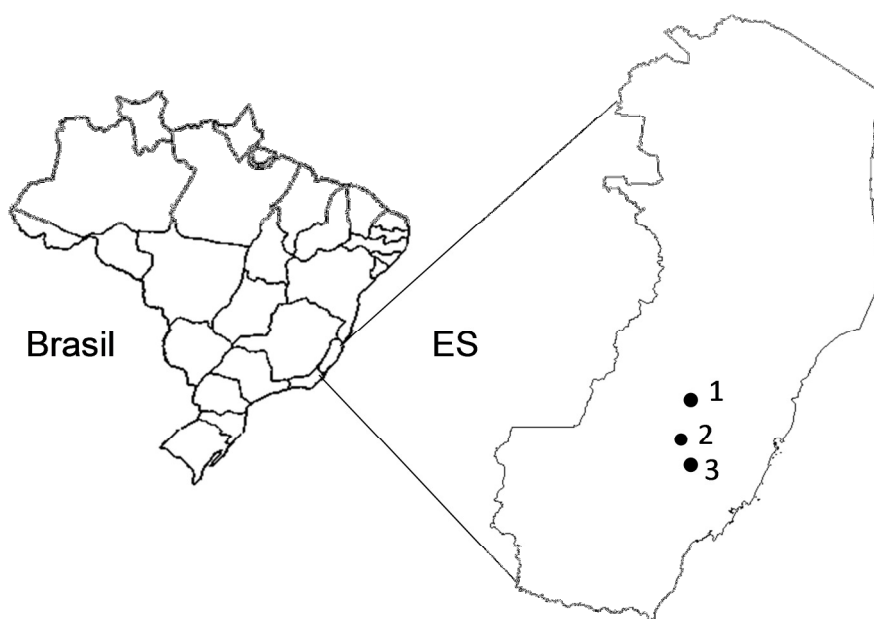


Figura 1. Localização dos municípios do estado do espírito Santo onde foram conduzidos os estudos. 1: Santa Maria de Jetibá, 2: Domingos Martins, 3: Marechal Floriano.

A proximidade entre as propriedades agrícolas que apresentassem sistemas distintos de produção (convencional e orgânico) foi prioridade para definição das áreas que seriam amostradas. Cada propriedade foi considerada uma réplica verdadeira dos sistemas de produção avaliados. Todas as seis propriedades situaram-se na faixa de 700 a 1.000m de altitude e, em todas essas propriedades, os manejos estavam voltados para a encosta leste. O solo de todas as propriedades foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, segundo critérios da Embrapa (Embrapa, 2013) e de textura argilosa em todos os manejos, de acordo com análises realizadas, pois o teor de argila situou-se na faixa de 35 a 60% (Ribeiro et al., 1999).

A exigência nutricional da planta de *C. arabica* aumenta em função da idade, sendo menor no princípio do desenvolvimento da cultura e aumentando

significativamente depois da primeira colheita. Por essa razão, foram selecionados manejos consolidados (mínimo 4 anos de idade), ou seja, já em fase de produção, com idade média de 14 anos.

A cultivar plantada, na maioria das propriedades, é a Catuaí Vermelho (IAC 44), com exceção de uma propriedade que planta IAPAR 59 e Bourbon Amarelo (IAC J2). Essa propriedade, além de plantar cultivar diferenciada, tem algumas particularidades de cultivo, como, por exemplo, não exterminar as leguminosas nativas que nascem no meio do cultivo, como o feijão-de-porco (*Amaranthus hybridus*), bem como manter sombreamento da lavoura. Entretanto, essas particularidades relatadas são importantes e representativas da cultura de café no Espírito Santo.

As propriedades com SMC realizam em torno de três aplicações por ano de fertilizantes, contendo macronutrientes (NPK), na dose recomendada, em função de análises de solo, e duas aplicações de micronutrientes via foliar (B = 4%; Cu = 12%; Mn = 5%; Zn = 5%; K = 1% e S = 11%), seguindo a dose de 4,0 Kg/ha/aplicação. Em relação ao controle químico, realiza-se o controle da ferrugem do café (*Hemileia vastatrix*) e do bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*), no solo, através de aplicações dos princípios ativos Cyproconazole (fungicida) + Thiamethoxan (inseticida), que tem como produto comercial o nome Verdadero WG, em uma aplicação anual. É comum também a prática de capina química com o herbicida glifosato (Roundup®), duas vezes ao ano.

Nas propriedades com SMO, são feitas capinas manuais (1 vez ao ano, quando se faz) e de 2 a 4 roçadas por ano. Para adubação, todos os produtores utilizam composto orgânico, produzido na própria propriedade, sendo a aplicação realizada 1 vez ao ano em período de, no mínimo, 105 dias antes da colheita. Quando necessário, complementam com outro tipo de adubo orgânico não produzido na propriedade, como torta de mamona. Para controle de pragas, utilizam a aplicação de urina de vaca, no inverno.

Nas duas estações do ano e nos diferentes municípios em que as coletas foram realizadas, a temperatura e precipitação médias observadas em Marechal Floriano e Domingos Martins, foram de 23°C e 257 mm, no verão (janeiro de 2013), enquanto, no inverno (julho de 2013), foram de 18,5°C e de 60 mm, respectivamente. Na região de Santa Maria de Jetibá, a temperatura e precipitação médias, no verão, foram de 21,2°C e de 269,6 mm e, no inverno, de 16,7°C e 80,8 mm, respectivamente.

Em cada propriedade, foi estabelecido um *grid* de amostragem, com nove pontos, sendo mantida uma bordadura de 20m, e os pontos de amostragem tiveram espaçamento de 30m, garantindo a independência entre as amostras, conforme sugerido por Pereira et al. (2013) e Bartz et al. (2014). Assim, em cada propriedade, a área de coleta das amostras totalizou 1 ha.

Coleta das amostras, análise química foliar e de solo

Para a análise foliar, em cada ponto de amostragem, foi retirado o 3º ou 4º par de folhas a partir das pontas dos ramos laterais, na altura média dos cafeeiros, amostrando-se os quatro lados da planta, conforme recomendado por Ribeiro et al. (1999). Todas as amostras foram identificadas, acondicionadas em sacos de papel *craft* e enviadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), para análise. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 60-70°C, por um período de 24 horas. Após secagem, as amostras foram moídas e acondicionadas em recipientes de plástico hermético para posteriores análises químicas. Nas amostras foram determinados os teores foliares dos macronutrientes Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S) e dos micronutrientes Ferro (Fe), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Boro (B) e Zinco (Zn). O N foi determinado após digestão sulfúrica, conforme Kjeldahl, utilizando-se um destilador e posterior titulação das amostras, seguindo a marcha analítica descrita por Martins & Reissmann (2007). Os outros nutrientes foram quantificados, simultaneamente, por espectrômetro de emissão ótica com plasma de argônio indutivamente acoplado (ICP-OES), após digestão com HNO₃ concentrado (Merck) e H₂O₂ (Merck), em sistema de digestão aberta (Peters, 2005). Condições do ICP: fluxo do plasma: 8,0 L min⁻¹, gás auxiliar 0,70 L min⁻¹ e gás carreador 0,55 L min⁻¹.

Em cada ponto de amostragem, em torno de cada planta de café, foram retiradas oito amostras de solo, na projeção da copa, as quais, posteriormente, foram misturadas para formar uma amostra composta, das quais se processaram as análises químicas do solo, seguindo metodologias propostas em Tomé Jr. (1997) e Embrapa (2009).

Para verificar se os teores foliares de nutrientes estavam dentro ou fora da faixa de suficiência para o café, foram utilizados os valores de referência, descritos em Ribeiro et al. (1999). Utilizou-se o método da faixa de suficiência, que é o mais utilizado, quando a concentração observada na amostra em teste é comparada com

faixas de concentrações consideradas insuficientes, adequadas ou tóxicas (Ribeiro et al., 1999).

Análise de dados

Os resultados das análises de solo e dos teores foliares de macro e micronutrientes foram submetidos a testes *t* a fim de se confrontar os dois sistemas de manejo, nos diferentes períodos avaliados, bem como o mesmo sistema, nos dois períodos avaliados, usando-se o programa SPSS 20.0 (IBM, 2011).

Com a finalidade de verificar se existe discriminação entre os teores foliares de macro e micronutrientes entre os dois sistemas de manejo, utilizou-se a Análise Canônica Discriminante (ACD), e o teste de *Wilks' Lambda* foi utilizado para avaliar a significância dos efeitos multivariados. Quando *Wilk's Lambda* acusou diferença significativa, as médias dos coeficientes canônicos padronizados (CCP) foram comparadas pelo teste LSD ($p < 0,05$), conforme determinado por Cruz-Castillo et al. (1994). A análise dos gráficos e dos coeficientes CCP e de correlação (*r*) e do resultado destes dois coeficientes referente à taxa de discriminação paralela (TDP= CCP x *r*) forneceram informações de quais teores de nutrientes foliares melhor discriminaram os dois sistemas de manejo (Baretta et al., 2005). O nível de significância adotado nas análises foi 5%, e os programas estatísticos utilizados foram SPSS 20.0 (IBM, 2011) e SAS versão 8.2 (SAS, 2002).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nutrientes do solo

Com base na análise química das amostras de solo, foi observado que, no SMO, os teores de fósforo, cálcio e magnésio foram significativamente maiores do que os das amostras de SMC ($p < 0,05$), tanto no inverno como no verão (Tabela 1). Similarmente, os teores de zinco e manganês, em ambas estações, foram significativamente maiores no SMO. Para o boro (ambas estações) e ferro (somente verão), as diferenças também foram significativas, porém mais elevados no SMC (Tabela 1).

No presente estudo, o elevado teor de fósforo, no SMO, deve estar associado principalmente ao uso de fosfato de rocha por produtores, o que, em um dos casos, elevou muito os teores desse nutriente.

Theodoro et al. (2008) relatam que essa diferença, na dinâmica dos nutrientes nos manejos convencional e orgânico, é altamente associada ao tipo de adubação orgânica realizada. Esses autores avaliaram a eficiência de diferentes técnicas de SMO e SMC na fertilidade do solo e produtividade de uma lavoura de *C. arabica*, com idade de 6 anos, variedade Catuaí Amarelo, após o primeiro ano de transição agroecológica, e concluíram que o benefício mais significativo da adubação orgânica na fertilidade do solo foi o aumento na disponibilidade de K, S e B.

Considerando o mesmo manejo, o cobre foi o único nutriente que apresentou valor significativamente superior no verão, somente no SMC (Tabela 1), o que deve estar associado às aplicações anuais de micronutrientes, feitas pelos produtores dessa categoria de manejo.

Tabela 1. Atributos químicos do solo em SMO e SMC (média $\pm$ erro padrão) nas duas épocas de coleta (n=27).

Atributos de Solo	SMO		SMC	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
pH	6,00 ^{Aa} $\pm$ 0,16	6,13 ^{Aa} $\pm$ 0,16	5,70 ^{Aa} $\pm$ 0,13	6,11 ^{Aa} $\pm$ 0,11
P-resina (mg dm ⁻³)	225,67 ^{Aa} $\pm$ 47,71	324,00 ^{Aa} $\pm$ 81,06	99,22 ^{Ba} $\pm$ 17,69	121,52 ^{Ba} $\pm$ 29,12
K (mmol _c dm ⁻³)	4,92 ^{Aa} $\pm$ 0,47	5,61 ^{Aa} $\pm$ 0,48	4,97 ^{Aa} $\pm$ 0,25	5,09 ^{Aa} $\pm$ 0,28
Ca (mmol _c dm ⁻³)	65,04 ^{Aa} $\pm$ 6,46	57,07 ^{Aa} $\pm$ 5,58	45,67 ^{Ba} $\pm$ 3,22	41,11 ^{Ba} $\pm$ 2,54
Mg (mmol _c dm ⁻³)	16,52 ^{Aa} $\pm$ 0,89	14,81 ^{Aa} $\pm$ 0,85	12,63 ^{Ba} $\pm$ 1,04	11,70 ^{Ba} $\pm$ 0,97
S (mg dm ⁻³)	33,63 ^{Aa} $\pm$ 2,71	33,40 ^{Aa} $\pm$ 3,00	33,77 ^{Aa} $\pm$ 2,22	39,23 ^{Aa} $\pm$ 3,69
Al (mmol _c dm ⁻³)	1,85 ^{Aa} $\pm$ 0,52	1,37 ^{Aa} $\pm$ 0,50	2,41 ^{Aa} $\pm$ 0,78	1,19 ^{Aa} $\pm$ 0,43
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	73,85 ^{Aa} $\pm$ 10,24	61,11 ^{Aa} $\pm$ 8,41	77,52 ^{Aa} $\pm$ 6,24	58,89 ^{Ab} $\pm$ 8,31
Na (mmol _c dm ⁻³)	0,92 ^{Aa} $\pm$ 0,12	1,16 ^{Aa} $\pm$ 0,16	0,50 ^{Ba} $\pm$ 0,06	0,37 ^{Ba} $\pm$ 0,05
C (%)	2,94 ^{Aa} $\pm$ 0,22	2,80 ^{Aa} $\pm$ 0,20	2,47 ^{Aa} $\pm$ 0,10	2,40 ^{Aa} $\pm$ 0,10
MO (g. dm ⁻³)	50,77 ^{Aa} $\pm$ 3,75	48,25 ^{Aa} $\pm$ 3,45	42,56 ^{Aa} $\pm$ 1,80	41,39 ^{Aa} $\pm$ 1,76
S.B. (mmol _c dm ⁻³)	87,39 ^{Aa} $\pm$ 7,37	78,65 ^{Aa} $\pm$ 6,67	63,79 ^{Ba} $\pm$ 4,26	58,27 ^{Ba} $\pm$ 3,44
T (mmol _c dm ⁻³)	161,24 ^{Aa} $\pm$ 7,32	139,67 ^{Ab} $\pm$ 6,16	141,30 ^{Ba} $\pm$ 4,52	117,15 ^{Bb} $\pm$ 3,47
t (mmol _c dm ⁻³)	89,24 ^{Aa} $\pm$ 7,07	80,02 ^{Ab} $\pm$ 6,42	66,19 ^{Ba} $\pm$ 3,38	59,45 ^{Ba} $\pm$ 3,14
m (%)	3,12 ^{Aa} $\pm$ 0,92	2,78 ^{Aa} $\pm$ 1,13	5,55 ^{Aa} $\pm$ 2,06	3,01 ^{Aa} $\pm$ 1,17
V (%)	56,52 ^{Aa} $\pm$ 4,62	57,92 ^{Aa} $\pm$ 4,57	46,56 ^{Aa} $\pm$ 3,25	51,33 ^{Aa} $\pm$ 3,36
Fe (mg dm ⁻³)	33,81 ^{Ba} $\pm$ 4,95	35,09 ^{Aa} $\pm$ 5,39	57,17 ^{Aa} $\pm$ 3,51	48,58 ^{Aa} $\pm$ 4,05
Cu (mg dm ⁻³)	2,86 ^{Aa} $\pm$ 0,47	1,79 ^{Aa} $\pm$ 0,39	3,03 ^{Aa} $\pm$ 0,58	2,19 ^{Ab} $\pm$ 0,38
Zn (mg dm ⁻³)	20,59 ^{Aa} $\pm$ 3,36	23,59 ^{Aa} $\pm$ 3,98	13,04 ^{Ba} $\pm$ 0,90	11,74 ^{Ba} $\pm$ 0,96
Mn (mg dm ⁻³)	27,24 ^{Aa} $\pm$ 2,98	26,94 ^{Aa} $\pm$ 2,45	10,47 ^{Ba} $\pm$ 0,88	8,77 ^{Ba} $\pm$ 0,79
B (mg dm ⁻³)	0,36 ^{Ba} $\pm$ 0,03	0,39 ^{Ba} $\pm$ 0,03	0,54 ^{Aa} $\pm$ 0,02	0,50 ^{Aa} $\pm$ 0,03

MO= Matéria Orgânica, SB= Soma de Bases, T= CTC a pH 7,0, t= CTC Efetiva, m= Saturação de Alumínio, V= Saturação de Base. Letras maiúsculas diferentes na mesma estação, para cada tipo de manejo, indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes no mesmo tipo de manejo, para cada estação, indicam diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Com relação à fertilidade dos solos, as áreas avaliadas em ambos sistemas de manejo de *C. arabica*, no presente estudo, possuem níveis de teores nutricionais, na maioria das vezes, satisfatórios, de acordo com o que preconiza Ribeiro et al. (1999): os macronutrientes P (alto em mais de 95% dos casos em ambos manejos), K (alto em 100% dos casos em ambos manejos), Ca (alto em mais de 70% dos casos em ambos manejos), Mg (alto em 46%, no SMC, e 89% dos casos, no SMO) e S (alto em mais de 90% dos casos em ambos manejos) e, para os micronutrientes, Zn (alto em mais de 80% dos casos em ambos manejos), B (baixo em 41%, no SMC, e 80% dos casos, no SMO), Cu (alto em mais de 50% dos casos em ambos manejos), Fe (alto em 83%, no SMC, e 43% dos casos, no SMO) e Mn (alto em 2%, no SMC, e 63% dos casos, no SMO).

Análise foliar de nutrientes

Comparando os teores foliares dos distintos sistemas de manejo, na mesma estação do ano, obtiveram-se teores mais elevados ($p < 0,05$), no inverno, para os macronutrientes cálcio e enxofre no SMC. Quanto aos micronutrientes, os teores de ferro (no verão) e boro, tanto no verão quanto no inverno, foram mais elevados no SMC, enquanto cobre foi mais elevado no SMC, no inverno (Tabela 2).

Considerando as estações do ano, para os teores foliares, em ambos manejos, os macronutrientes nitrogênio e potássio, no SMO, e nitrogênio, cálcio, potássio e enxofre, no SMC, foram significativamente mais elevados ($p < 0,05$) no inverno, exceção feita ao magnésio que foi significativamente mais elevado no verão, no SMC e enxofre que foi mais elevado no verão, em SMO (Tabela 2). Quanto aos micronutrientes, encontraram-se valores significativamente mais elevados para cobre e manganês, no inverno, em ambos manejos, e mais elevados para ferro, no verão, somente no SMC (Tabela 2).

Tabela 2. Média $\pm$ erro padrão dos teores de macro e de micronutrientes obtidos na análise foliar nos manejos convencionais e orgânicos, nas duas épocas de coleta (n=27).

Nutriente	SMO		SMC	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Nitrogênio (g.kg ⁻¹)	16,84 ^{Ab} $\pm$ 1,13	26,90 ^{Aa} $\pm$ 0,65	18,15 ^{Ab} $\pm$ 1,22	27,12 ^{Aa} $\pm$ 0,34
Fósforo (g.kg ⁻¹)	1,5 ^{Aa} $\pm$ 0,06	1,62 ^{Aa} $\pm$ 0,04	1,42 ^{Aa} $\pm$ 0,08	1,52 ^{Aa} $\pm$ 0,07
Potássio (g.kg ⁻¹)	18,45 ^{Aa} $\pm$ 1,91	24,31 ^{Ab} $\pm$ 1,55	17,86 ^{Ab} $\pm$ 2,10	24,94 ^{Aa} $\pm$ 0,78
Cálcio (g.kg ⁻¹)	10,75 ^{Aa} $\pm$ 0,54	11,67 ^{Aa} $\pm$ 0,41	10,47 ^{Ab} $\pm$ 0,62	12,81 ^{Ba} $\pm$ 0,39
Magnésio (g.kg ⁻¹)	8,58 ^{Aa} $\pm$ 1,37	3,62 ^{Aa} $\pm$ 0,25	6,46 ^{Ab} $\pm$ 0,98	3,03 ^{Aa} $\pm$ 0,19
Enxofre (g.kg ⁻¹)	33,63 ^{Aa} $\pm$ 2,71	33,41 ^{Ab} $\pm$ 3,00	33,77 ^{Ab} $\pm$ 2,22	39,23 ^{Ba} $\pm$ 3,69
Ferro (mg.kg ⁻¹)	121,78 ^{Ba} $\pm$ 11,79	100,89 ^{Aa} $\pm$ 10,05	173,63 ^{Aa} $\pm$ 21,23	94,67 ^{Ab} $\pm$ 8,50
Cobre (mg.kg ⁻¹)	13,89 ^{Ab} $\pm$ 1,63	20,15 ^{Aa} $\pm$ 1,84	10,67 ^{Ab} $\pm$ 1,21	13,33 ^{Ba} $\pm$ 1,24
Zinco (mg.kg ⁻¹)	20,70 ^{Aa} $\pm$ 3,08	18,96 ^{Aa} $\pm$ 1,51	21,15 ^{Aa} $\pm$ 2,83	15,93 ^{Aa} $\pm$ 0,95
Manganês (mg.kg ⁻¹)	28,48 ^{Ab} $\pm$ 3,94	59,26 ^{Aa} $\pm$ 7,78	28,44 ^{Ab} $\pm$ 3,26	56,07 ^{Aa} $\pm$ 8,13
Boro (mg.kg ⁻¹)	64,43 ^{Ba} $\pm$ 2,42	72,80 ^{Ba} $\pm$ 4,09	77,48 ^{Aa} $\pm$ 4,79	73,50 ^{Aa} $\pm$ 3,24

Letras maiúsculas diferentes na mesma estação, para cada tipo de manejo, indicam diferença significativa entre os sistemas de manejo, dentro da mesma estação, pelo teste *t* ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes no mesmo tipo de manejo, indicam diferença significativa entre as estações, dentro do mesmo manejo, pelo teste *t* ($p < 0,05$).

A dinâmica do cálcio foi antagônica nas análises foliares e do solo, pois, no solo, o SMO apresenta-se com teor mais elevado de Ca ($p < 0,05$), em ambas estações e, na folha, o teor de Ca se encontra mais elevado no SMC, no inverno. Paulo & Furlani (2005), em estudo com produção trienal de *C. arabica* e teor foliar de macronutrientes de cultivares de cafeeiro em função das densidades de plantio, concluíram que as plantas adubadas de modo homogêneo, sem calagem, diferiram significativamente nos teores foliares de N, P, Mg, S, embora o teor foliar de Ca não tenha apresentado diferença significativa. No presente estudo, acredita-se que o teor de Ca, no solo, pode estar relacionado à prática de calagem e/ou ao uso de fosfato natural, que também pode disponibilizar Ca.

Alguns trabalhos determinaram quais teores foliares seriam limitantes por estarem em valores baixos demais para cafeeiros orgânicos e convencionais e definiram o enxofre como limitante (Reis Jr. et al., 2002; Theodoro et. al., 2003). Entretanto, Silva et al. (2013) correlacionam positivamente o enxofre, assim como N,

P e Mg, com o acúmulo na casca do café, estando, então, associado a uma maior demanda por esse nutriente na época de produção de grãos, o que, no caso do presente estudo, seria o período de inverno, quando as médias do teor foliar desse nutriente foram significativamente mais elevados em ambos sistemas de manejo.

Quanto aos teores foliares dos micronutrientes, Reis Jr. et al. (2002) encontraram, para B e Fe, resultados conflitantes, pois mudam a resposta de acordo com a metodologia adotada, ora funcionando como elemento limitante, ora como não limitante. Silva et al. (2013) correlacionaram os locais com altos teores foliares de zinco e baixos teores foliares de boro com alta produtividade de grãos cereja e verdes do café, afirmando que o Zn é altamente demandado para a síntese de aminoácidos essenciais que são precursores do ácido indol-acético. Alegam ainda que a produtividade é alta quando os teores de B são baixos, mostrando uma interação entre Zn e B. entretanto, os resultados dos experimentos sobre esse tema da correlação com a produtividade são muitas vezes conflitantes. Marubayashi et al. (1994) não encontraram correlação entre teor foliar e produtividade de café, enquanto Lima Filho & Malavolta (1992) encontraram correlação significativa.

Segundo Leite (2003), a ordem decrescente de absorção de micronutrientes para o café é: Fe>Mn>B>Zn>Cu>Mo. Como o Fe e o Mn são mais abundantes nos solos do Brasil, há maiores possibilidades de deficiência de B e Zn (Catani et al, 1967a), o que faz com que os agricultores, no SMC, geralmente façam reposição de todos ou somente desses dois micronutrientes.

Theodoro et al. (2003) ressaltam que os altos teores de cobre encontrados em SMO podem estar relacionados à utilização de produtos à base de cobre (óxido cuproso, sulfato tribásico de cobre e hidróxido de cobre) para controle de doenças. Porém, para o presente estudo, nenhuma das propriedades com SMO utiliza essa forma de controle de doenças que, no entanto, foi utilizada no passado (há mais de 3 anos, em uma única propriedade).

O comportamento dos teores foliares está muito relacionado às distintas fases fenológicas em que se encontravam os manejos nas duas estações estudadas (verão: estágio produtivo/colheita/fim de colheita e inverno: estágio vegetativo). Diversos trabalhos, como os que virão a seguir, relatam essa dinâmica dos nutrientes, principalmente no que tange à drenagem de nutrientes para a produção dos frutos.

Valarini et al. (2005), ao avaliarem a mobilização de macronutrientes de folhas para frutos em diferentes cultivares de café arábica, concluíram que houve

decréscimo no teor dos macronutrientes nas folhas do cafeeiro, observando-se maior evidência para o potássio, durante a estação de crescimento do fruto, à exceção do cálcio, que apresentou aumento.

Catani & Moraes (1958) observaram, em manejos de 5 anos de idade da variedade Bourbon Vermelho (*C. arabica*), que, do montante total de cada nutriente extraído do solo pelas plantas, os frutos drenam 28% do N; 31% do P; 35% do K; 7% do Ca e 23% do Mg.

Cietto et al. (1991) confirmam, em estudo com plantas da variedade Catuaí (*C. arabica*), de 5 anos de idade, que 26 % do total de Ca, presente na planta, 32 % do Mg e 37 % do S são drenados para o fruto.

Sadeghian et al. (2012), em estudo de acumulação de nutrientes no fruto de *C. arabica*, na Colômbia, observaram conteúdo de P nos frutos inferior ao de N e K.

Catani et al. (1967b) mostram que há necessidade de suprimento contínuo de boro, cobre, ferro e molibdênio para os frutos de cafeeiro, sendo o B o elemento que sofre maior variação de conteúdo (aumento em 16 vezes) durante o crescimento do fruto.

A Tabela 3, baseando-se em critérios estabelecidos por Ribeiro et al. (1999), apresenta um panorama do estado nutricional dos cafeeiros, a partir da diagnose foliar, em ambos manejos, e pode-se observar que, dos macronutrientes, independentemente do manejo, o mais comumente deficiente é o nitrogênio. O fósforo e potássio são mais deficientes nos manejos convencionais, e o cálcio e enxofre são os que se apresentam com os menores percentuais de deficiência em ambos manejos. Percebe-se, para os micronutrientes, alta deficiência de manganês e nenhuma de zinco para ambos manejos e, para boro, cobre e ferro, um comportamento bem similar entre os dois manejos, quando estão dentro da faixa de referência. Mas, quando estão fora da faixa de referência, as proporções se invertem na comparação entre os dois tipos de manejo.

Tabela 3. Porcentagem de propriedades abaixo, dentro e acima da faixa de referência (FR) de teores foliares para o café em SMO e SMC, independentemente da época de manejo (n=54).

Nutriente	Escala Nutricional					
	Abaixo FR		Dentro FR*		Acima FR	
	SMC	SMO	SMC	SMO	SMC	SMO
Nitrogênio	70	70	30	28	0	2
Fósforo	67	43	20	48	13	9
Potássio	28	39	20	9	52	52
Cálcio	30	28	43	65	28	7
Magnésio	48	33	9	7	43	59
Enxofre	4	4	31	11	65	85
Boro	17	31	44	46	39	22
Cobre	30	15	48	43	22	43
Ferro	35	43	43	46	22	11
Manganês	96	96	4	4	0	0
Zinco	0	0	61	61	39	39

*FR de acordo com Ribeiro et al. (1999).

Os resultados da Tabela 3, associados aos das análises de solo, confirmam que a dinâmica dos nutrientes no solo é mediada por diversos fatores como práticas culturais, fatores climáticos, físicos e químicos do solo e pragas e/ou doenças do sistema radicular (Rosolem, 1992). Ao se considerar os teores dos nutrientes no solo, não era de se esperar deficiência de macro ou micronutrientes nos teores foliares, uma vez que a maioria deles se encontra em teores altos no solo em ambos sistemas de manejo. Porém, deve-se considerar a dificuldade em interpretações diretas entre teores disponíveis no solo e na planta.

Há primeiramente a questão dos extratores de nutrientes do solo que, apesar de esperado, nem sempre extraem quantidades biodisponíveis de nutrientes no solo. Também existem outros fatores como matéria orgânica no solo complexando micronutrientes metálicos (especialmente cobre) e diminuindo a absorção pelas plantas, assim como a questão do pH. À medida que o pH aumenta, há diminuição da disponibilidade de micronutrientes metálicos: cobre, ferro, manganês e zinco (Malavolta, 1976). Esta pode ser a explicação para os teores abaixo da faixa de suficiência para os elementos cobre, ferro e manganês nas áreas avaliadas.

Ricci et al. (2005) afirmam que o N tem baixa concentração nos fertilizantes orgânicos e, por essa razão, o N é o nutriente mais limitante na cafeicultura orgânica. Na experimentação que realizaram, aconselham o uso de leguminosa

associada à cafeicultura como alternativa para o produtor fertilizar os sistemas orgânicos com N. Já o fósforo apresenta-se como o segundo mais deficiente e sabe-se que isso é devido ao fato de, embora os solos normalmente contenham grande quantidade de fósforo total, a maior parte do fósforo está na forma insolúvel (Hariprasad & Niranjana; 2009). Ressalta-se que há maior desbalanço dos teores de P no SMC, no presente estudo.

Contrariamente ao nitrogênio e ao fósforo, potássio e magnésio encontram-se com seus teores acima das faixas de referência em altas proporções, em ambos manejos, além de estarem com baixas proporções dentro da faixa de referência (Tabela 3), o que pode ser devido aos altos teores desses nutrientes no solo, além das condições de matéria orgânica e pH que, muito provavelmente, no presente estudo, melhoraram a disponibilidade das bases trocáveis.

O cálcio encontra-se com proporções mais altas dentro da faixa de referência e com melhor balanço para o SMO, sendo ponto positivo para as plantações aqui estudadas, pois, conforme já discutido anteriormente, esse nutriente pode ser limitante ao desenvolvimento do café. Parece ser muito raro haver deficiência de S, porém deve-se alertar para a grande porcentagem de propriedades agrícolas com excesso desse nutriente no solo, com consequente altas proporções desse elemento acima da faixa de referência na folha. Esse excesso de enxofre deve estar relacionado aos fatores de restituição do S no solo como mineralização da matéria orgânica, chuvas e fertilizantes, bem como teor de argila, S remanescente e P remanescente, características essas que se mostram estreitamente relacionadas à capacidade tampão de sulfatos (Laviola et al., 2009).

Boro, cobre e ferro se apresentaram com maiores proporções dentro da faixa de referência em ambos manejos. Já o zinco nunca se apresentou deficiente, pelo contrário, em quase 40% das vezes, apresentou-se em excesso, enquanto o manganês, que é discutido como geralmente presente em altos teores em solos tropicais (o que não fugiu à regra no presente estudo), mostrou deficiência foliar na quase totalidade das plantações. Laviola et al. (2007), estudando a dinâmica do Mg e do Ca em folhas e frutos de *C. arabica*, concluíram que as concentrações de Ca e Mg em folhas e frutos não foram influenciadas somente pelos níveis de adubação empregados, mas também por outros fatores que determinam a taxa de distribuição dos elementos minerais nas plantas de cafeeiros, como a carga pendente de frutos.

É evidente que a diferenciação entre SMO e SMC, por meio da diagnose foliar, é uma ferramenta útil, porém a principal limitação refere-se à variação da fertilidade do

solo entre as áreas avaliadas, que sempre irá influenciar os teores foliares de nutrientes. Ou seja, haverá variação nos nutrientes limitantes em cada sistema de área para área, como demonstrado nos trabalhos citados anteriormente, dependendo, dentre outros fatores, dos teores disponíveis de nutrientes em cada área avaliada. Isso dificultará a utilização da diagnose foliar como ferramenta para diferenciar SMC e SMO de manejo de café no Brasil, face à inerente variabilidade espacial da fertilidade do solo e, além disso, as variações impostas pelos diferentes manejos adotado pelos produtores.

O uso da análise multivariada é uma alternativa quando se pretende avaliar a variabilidade mediada por diferentes fatores. Campos et al. (2013), em estudo com mudas de *C. arabica*, cuja finalidade foi apresentar uma análise alternativa à realização de análises estatísticas individuais (que levam a resultados diferenciados para cada característica quando se possui várias variáveis resposta), apontam que a transformação dos dados multivariados em uma nova variável unidimensional pode ser considerada uma técnica viável para avaliação de experimento com várias características.

Análise Canônica Discriminante

Houve separação entre SMO e SMC em termos de teores foliares de nutrientes, em ambas estações do ano (Figuras 2A e 2B), pelo teste de *Wilk's Lambda* ($p < 0,001$) quanto às funções Canônicas Discriminantes 1 (FCD1) e 2 (FCD2), o que também pode ser verificado pela análise da dispersão dos pontos, que representam os Coeficientes Canônicos Padronizados (CCP). Observa-se que a FCD1 separou de forma bastante clara os dois sistemas de manejo, tanto no verão como no inverno (Figuras 2A e 2B).

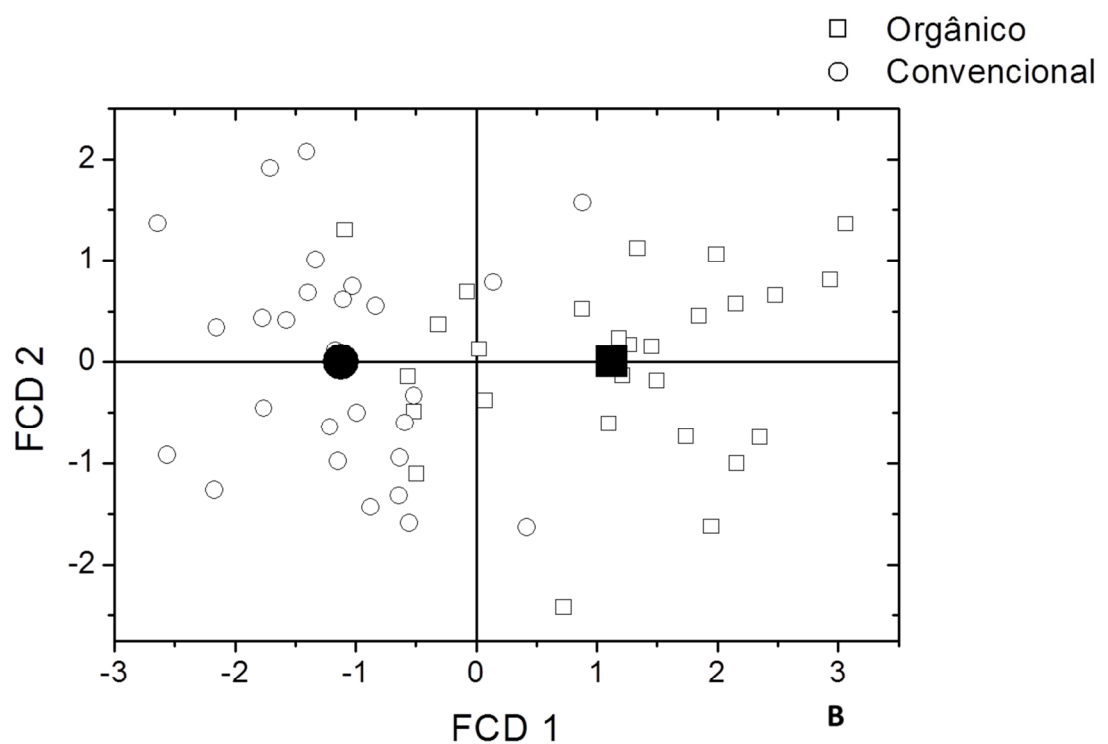
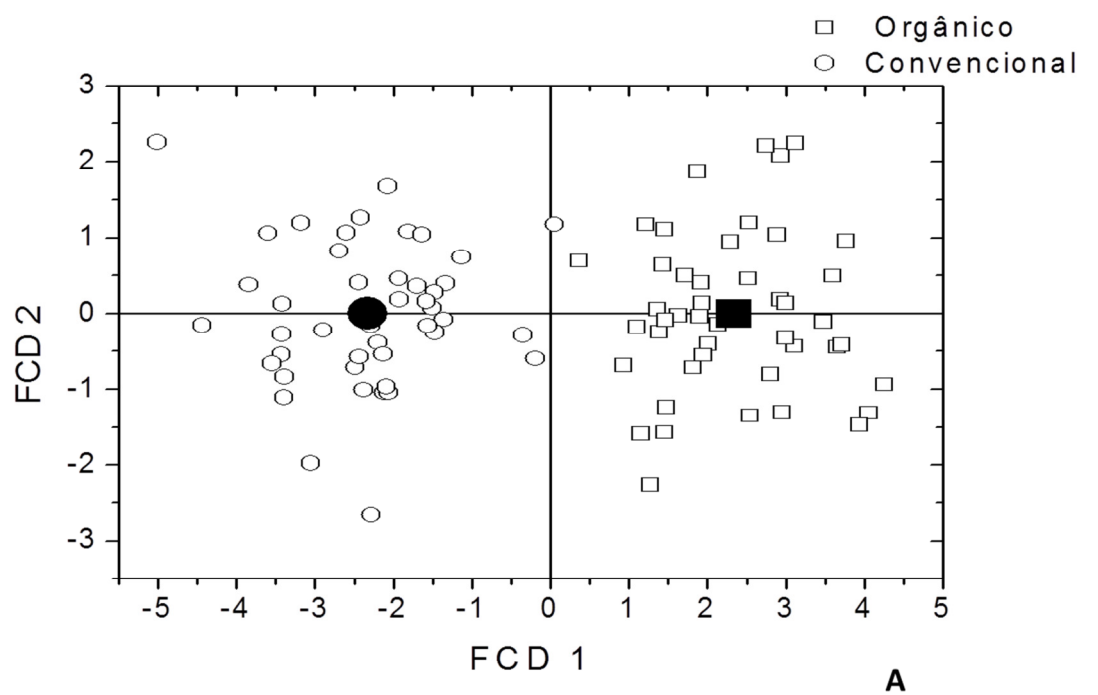


Figura 2. Coeficientes Canônicos Padronizados (CCP) das Funções Canônicas Discriminantes 1 (FCD1) e 2 (FCD2), discriminando SMO e SMC de *C. arabica*, considerando todos os teores foliares de nutrientes, analisados no verão (A) e no inverno (B). O símbolo cheio representa o valor médio de CCP (centróide) para cada sistema (n=27).

Isso ocorre por FCD1 ter obtido, de uma forma geral, valores mais elevados de CCP, independentemente do nutriente avaliado. A distribuição polarizada dos pontos indica alta dissimilaridade entre as áreas com cafeicultura orgânica e convencional, mostrando também que os atributos foliares foram eficientes para realizar essa discriminação.

Pelo teste LSD, os CCPs diferenciaram-se entre os dois sistemas de manejo, somente no verão (Tabela 4). Esse resultado indica que esse período é o mais indicado para se avaliar o potencial dos teores de macro e micronutrientes foliares para discriminar SMO e SMC. Outros autores também encontraram diferença significativa quando confrontaram essas duas estações do ano, como Pereira et al. (2013) e Vasconcelos et al. (2013), que trabalharam com espécies florestais e Maluche-Baretta et al. (2006), que trabalharam com pomares orgânicos e convencionais de maçã.

O coeficiente da taxa de discriminação paralela (TDP), parâmetro bastante adequado para avaliar a real eficiência de cada um dos atributos analisados para a separação entre os sistemas estudados (Baretta et al., 1995; Maluche-Baretta et al., 2006; Pereira et al., 2013), confirmou a discriminação entre os dois manejos e indicou que os atributos mais eficientes em separar as áreas de SMO e SMC foram os teores foliares de Mg e B, tanto no inverno como no verão, e S e Cu, no inverno. Esses atributos, destacados em negrito na Tabela 4, possuem valores de TDP mais elevados e superiores a 0,1, que se considera o valor mínimo para uma boa discriminação (Baretta et al., 2008). Dessa forma, demonstrou-se que esses quatro atributos da análise foliar foram fundamentais para a separação entre SMO e SMC. Os demais teores foliares de nutrientes foram menos sensíveis, assumindo menores valores de TDP e contribuíram menos na função indicada para essa separação entre os tipos de manejos (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de coeficiente de correlação canônica (r), coeficiente canônico padronizado (CCP) e coeficiente da taxa de discriminação paralela (TDP) dos macro e micronutrientes foliares, no verão e inverno, independentemente do sistema avaliado (n=54).

Nutriente na Folha	Verão			Inverno		
	r	CCP	TDP	r	CCP	TDP
Nitrogênio	-0,119	0,068	-0,008	0,059	0,235	0,014
Fósforo	0,221	-0,500	-0,111	0,162	0,229	0,037
Potássio	-0,038	-0,321	0,012	-0,014	0,556	-0,008
Cálcio	-0,163	0,058	-0,009	-0,112	-0,156	0,017
Magnésio	0,257	0,627	0,161	0,393	1,018	0,400
Enxofre	0,382	0,484	0,185	0,261	0,340	0,089
Ferro	-0,222	-0,369	0,082	0,155	0,604	0,094
Cobre	0,507	1,007	0,510	0,111	-0,071	-0,008
Zinco	0,081	-0,363	-0,030	0,032	-0,234	-0,007
Manganês	0,038	-0,061	-0,002	-0,046	0,130	-0,006
Boro	-0,272	-0,770	0,210	0,440	0,860	0,378
Manejo	Verão			Inverno		
Orgânico	0,998 ^A			NS		
Convencional	0,998 ^B			NS		

NS = Não Significativo.

Médias de CCP seguidas de letras distintas na mesma coluna apresentaram diferença significativa entre as duas categorias de manejo pelo teste LSD ($p < 0,05$), (n=27).

Para o Espírito Santo e Brasil, encontram-se poucos trabalhos usando métodos de análise multivariada e com objetivos distintos deste presente estudo, como os trabalhos de determinação do índice DRIS, que, ao final, irá indicar os elementos limitantes à produtividade nos manejos como a publicação de Costa (1999), para *C. arabica* e *C. canephora*, no Espírito Santo, que estabeleceu os nutrientes mais limitantes para a produção de *C. canephora*, sendo estes Mn, B, P e N. Para *C. arabica*, o autor relata serem os dados ainda preliminares para obtenção do índice para essa espécie no estado do Espírito Santo. Ainda para *C. arabica*, Barbosa et al. (2006), ao realizarem diagnóstico nutricional na região Noroeste do estado do Rio de Janeiro, identificaram que os nutrientes Ca, B, Zn e K foram os que

mais se apresentaram como limitantes, e Fe e Mn foram os nutrientes que ocorreram com maior frequência com índices mais positivos, ou seja, em excesso. Lana et al. (2010), trabalhando na determinação do índice DRIS, para *C. arabica* em solos de baixa fertilidade natural da região do Alto Paranaíba-MG, apontaram os principais nutrientes limitantes à produtividade, como sendo: P, Fe, K = Mn e Zn = B.

Outros trabalhos com *C. canephora*, no Espírito Santo indicaram elementos limitantes à produção: P e K e Ca, nessa ordem (lavouras de baixa produtividade), P, B e Ca (lavouras de média produtividade) e Mn (lavouras de alta produtividade) (Wadt et al., 1999). Em manejos orgânicos de *C. canephora*, estabeleceu-se que o Mn seguido pelo P, Cu=Fe e N foram os nutrientes que se destacaram como limitantes da produção (Partelli et al., 2006). Comparando-se SMC e SMO de conilon, no Espírito Santo, concluiu-se que os nutrientes que ocorreram com maior frequência nas lavouras orgânicas como deficientes foram Mn, P, Fe e Cu, e nas lavouras convencionais foram o Mn, N e P (Partelli et al., 2005).

Ricci et al. (2011), usando Análise de Componentes Principais (ACP) para realizar avaliação conjunta de características vegetativas, teores nutricionais e produtividade cafeeiro (*C. arabica*), cultivado sob manejo orgânico nos sistemas a pleno sol e sombreado com bananeira (*Musa* sp.), concluíram que, dentre os macronutrientes avaliados (de N, P, K, Ca e Mg), o teor foliar de N e P apresentaram alta correlação com o primeiro componente principal, indicando que tiveram importância para diferenciar os dois sistemas de manejo confrontados.

Não há registro de trabalhos confrontando teores foliares em SMO e SMC de *C. arabica*, no Brasil, utilizando-se Análise Canônica Discriminante, ferramenta essa considerada mais recomendada e robusta do que a ACP para este tipo de conjunto de dados (Baretta et al., 2005; Baretta et al., 2008; Pereira et al., 2013). Essa metodologia traz nova abordagem a esse tema por ter o poder de discriminar esses dois sistemas de manejo a partir de variáveis de interesse, sendo assim, metodologicamente, ferramenta distinta das anteriores.

4. CONCLUSÕES

- Os teores foliares de macro e micronutrientes foram diferenciados entre o SMO e SMC, tanto no inverno quanto no verão, servindo para discriminar entre os dois sistemas de manejo.
- O SMO apresentou maiores valores foliares ($p < 0,05$) de cobre em comparação ao SMC e menores valores ($p < 0,05$) de boro, cálcio, enxofre e ferro no mesmo comparativo.
- Os macro e micronutrientes mais importantes para discriminar os sistemas foram cobre, magnésio, boro e enxofre.

5. REFERÊNCIAS

(Seguindo normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo, em que o artigo foi submetido antes da defesa da tese)

- ANDRADE, S.A.L.; MAZZAFERA, P.; SCHIAVINATO, M.A. & SILVEIRA, A.P.D. Arbuscular mycorrhizal association in coffee. J. Agr. Sci., 147:105-115. 2009.
- BARBOSA, D.H.S.G.; VIEIRA, H.D.; PARTELLI, F.L. & SOUZA, R.M. Estabelecimento de normas DRIS e diagnóstico nutricional do cafeeiro arábica na região noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Ci. Rural, 36:1717-1722, 2006.
- BARETTA, D.; MALUCHE-BARETTA, C.R.D.M. & CARDOSO, E.J.B.N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em florestas com *Araucaria angustifolia*. R. Bras. Ci. Solo, 32:2683-2691, 2008.
- BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R & KLAUBER-FILHO, O. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no plantio sul catarinense, R. Bras. Ci. Solo, 29:715-724, 2005.
- BARTZ, M. L. C.; BROWN, G.G; ROSA, M.G. da; KLAUBER FILHO, O.; JAMES, S.W.; DECAËNS, T.; BARETTA, D. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. App. S. E., 83:59-70, 2014.
- CAMPOS, K.A.; PAIXÃO, C.A. & MORAIS, A.R. Transformação de dados como alternativa a análise de variância univariada. Sigmae, 2:57-64, 2013.
- CATANI, R.A. & MORAES, F.R.A.P. Composição química do cafeeiro. Rev. Agric., 33:45-52, 1958.
- 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. An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz, 24, 1967b. p. 249-63.
- CATANI, R.A.; PELLEGRINO, D.; BITTENCOURT, V.C.; JACINTHO, A.O. & GRANER, C.A.F. A concentração e a quantidade de micronutrientes e de alumínio no cafeeiro (*Coffea arabica*, L. var. Mundo Novo (B. Rodr.) Choussy), aos dez anos de idade. An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz, 24, 1967a. p. 97-106.

- CIETTO, S.; HAAG, H.P. & DECHEN, A.R. Acumulação de matéria seca e absorção de N, P e K 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. An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz, 48, 1991. p.245-68.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de café. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Data de acesso: 23 set. 2014.
- COSTA, A.N. 1999. Aplicação do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) em cafeeiros Conilon (*Coffea canephora*) e arábica (*Coffea arabica*). In: SIMPÓSIO MONITORAMENTO NUTRICIONAL PARA RECOMENDAÇÃO DA ADUBAÇÃO DE CULTURAS, 1, Piracicaba, 1999.
- CRUZ-CASTILLO, J.G.; GANESHANANDAM, S.; MACKAY, B.R.; LAWES, G.S.; LAWOKO, C.R.O. & WOOLLEY, D.J. Applications of canonical discriminant analysis in Horticultural research. Hortscience, 29:1115-1119.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2.ed. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. SILVA, F. C. coord. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 623p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.
- FERRÃO, M.A.G.; FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; VERDIM FILHO, A.C. & VOLPI, P.S. Origem, dispersão geográfica, taxonomia e diversidade genética em *Coffea canephora*. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G. & MUEER, L.H. eds. Café Conilon. Espírito Santo: Incaper, 2007. p. 65-91.
- HARIPRASAD, P. & NIRANJANA; S.R. Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. Plant Soil, 316:13–24, 2009.
- IBM Corp. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0, Armonk, NY, 2011.

- ICO - International Coffee Organization. Trade statistics. Disponível em: http://www.ico.org/trade_statistics.asp. Data de acesso: 21 de dezembro de 2014.
- LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B. & ALVAREZ, V.H. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de *Coffea arabica*. R. Bras. Ci. Solo, 31: 319-329, 2007.
- LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B.; SALOMÃO, L.C.C. & CRUZ, C.D. Macronutrient accumulation in coffee fruits at Brazilian Zona da Mata conditions. J. Plant Nutr, 32:980-995, 2009.
- LEITE, V.M. Absorção e translocação de boro em cafeeiro – uma revisão. Revista científica eletrônica agronomia, 1-8, 2003.
- LIMA FILHO, O.F. & MALAVOLTA, E. Calibração de boro e zinco para o cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Amarelo). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, Piracicaba, 1992. p.54-5.
- LYNGBÆK, A.E.; MUSCHLER, R.G. & SINCLAIR, F.L. Productivity and profitability of multistrata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. Agrofor. SYS., 53: 205–213, 2001.
- MALUCHE-BARETTA, C.R.D.; VIDAL, C. & KLAUBERG, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. Pesq. Agropec. Bras., 41:1531–1539, 2006.
- MARTINS, A. P. L.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. SAP, 8: 1-17, 2007.
- MARUBAYASHI, O.M.; PEDROSO, P.A.C.; VITTI, G.C. & COSTA, W.M. Efeito de fontes e formas de aplicação de boro e zinco na cultura do cafeeiro. Científica 22:289-99, 1994.
- PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D. & COSTA, A. N. da. Diagnóstico nutricional em cafeeiro conilon orgânico e convencional no Espírito Santo, utilizando o DRIS. Cienc. Rural, Santa Maria, 35:1456-1460. 2005.
- PARTELLI, F.L.; VIEIRA, H.D. & MARTINS, M.A. Nutritional diagnosis of the organic Conilon coffee trees (*Coffea canephora* Pierre ex Froehn): sufficiency range approach for leaves and soil. Coffee Sci., 1:43-49, 2006.

- PAULO, E.M. & FURLANI JR., E. Yield performance and leaf nutrient levels of coffee cultivars under different plant densities. *Sci. Agric.*, 67:720-726, 2010.
- PEREIRA, J.M.; BARETTA, D.; BINI, D.; VASCONCELLOS, R.L.F & CARDOSO, E.J.B.N. Relationships between microbial activity and Soil physical and chemical properties in native and reforested *Araucaria angustifolia* forests in the state of São Paulo, Brazil. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:572-586, 2013.
- PETERS, J.B. Wisconsin Procedures for Soil Testing, Plant Analysis and Feed & Forage Analysis: Plant Analysis. Department of Soil Science, College of Agriculture and Life Sciences, University of Wisconsin-Extension, Madison, W.I. <http://uwlab.soils.wisc.edu/procedures.htm>. 2005.
- PIRES, F.R.; CATEN, A.; GUARÇONI, A.; DUTRA, M. & ESPOSTI, D. Levantamento da fertilidade nas principais unidades de mapeamento do Espírito Santo. *Rev. Ciênc. Agron.*, 34:115-123, 2003.
- REIS JR., R.A.; CORRÊA, J.B.; CARVALHO, J.G. & GUIMARÃES, P.T.G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região sul de Minas Gerais: Normas DRIS e teores foliares adequados. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:801-808, 2002.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V.H.V., eds. 1999. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 359. 1999. p.43-60.
- RICCI, M.S.F.; COSTA, J.R. & OLIVEIRA, N.G. Utilização de componentes principais para analisar o comportamento do cafeeiro a pleno sol e sombreado. *Coffee Sci.*, 6:44-54, 2011.
- RICCI, M.S.F.; ALVES, B.J.R; MIRANDA, S.C. & OLIVEIRA, F.F. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. *Sci. Agric.*, 62:138-144, 2005.
- ROSOLEM, C.A. Eficiência da adubação foliar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, Piracicaba, 1992. p.315-351.
- SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M.B. & GONZÁLEZ O.H. Acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio en los frutos de café (*Coffea arabica* L.). *Revista Cenicafe*, 63:7-18, 2012.
- SAS Institute. SAS user's guide: Statistics. Versão 8.2. 6. ed. Cary, 2002.

- SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S. & BOTTEGA, E.L. Yield mapping of arabic coffee and their relationship with plant nutritional status. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 13:556-564, 2013.
- SOUZA, H.A.; CAVALCANTE, A.C.R.; TONUCCI, R.G.; POMPEU, R.C.F.F.; SOUZA, M.C.M.R. & MAIA, C.E. Níveis críticos para atributos do solo pela distribuição normal reduzida em culturas anuais de subsistência. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* 18:425-430, 2014.
- THEODORO, V.C.A.; ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J. & SOUZA, C.A.S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1039-1047, 2003.
- TOMÉ JR., J.B. Manual para interpretação de análises de solo. Guaíba/RS; Agropecuária, 247p.;1997.
- VALARINI, V.; BATAGLIA, O.C. & FAZUOLI, L.C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. *Bragantia*, 64:661-672, 2005.
- VASCONCELOS, R.L.F.; SEGAT, J.; BONFIM, J.A.; BARETTA, D. & CARDOSO, E.J.B.N. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. *Eur. J. Soil*, 58:105-112, 2013.
- WADT, P.G.S. & DIAS, J.R.M. Normas DRIS regionais e inter-regionais na avaliação nutricional de café Conilon. *Pesq. Agropec. Bras.* 47:822-830, 2012.

CAPÍTULO II

Atributos químicos e microbiológicos do solo em manejos orgânico e convencional de *Coffea arabica* L.

Azevedo Junior, Romildo. Universidade Vila Velha - ES, 23 de JULHO de 2015. **Atributos químicos e microbiológicos do solo em manejos orgânico e convencional de *Coffea arabica* L.** Orientador: Dr^a. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso. Co-orientador: Dr. Alessandro Coutinho Ramos.

RESUMO

O alto custo dos insumos, aliado à inconstância dos preços, tem contribuído para uma alta vulnerabilidade econômica do café, de forma que o cultivo orgânico tem-se destacado como uma alternativa de renda. Entretanto, grande parte das técnicas propostas pela agricultura orgânica está sendo aplicada empiricamente no cultivo de café. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito dos sistemas de manejo orgânico (SMO) e convencional (SMC) de café arábica sobre os atributos químicos e microbiológicos do solo e identificar quais desses atributos se relacionam entre si e contribuem para discriminar esses dois sistemas de manejo. Foram retiradas 27 amostras de solo em um grid de 100 x 100 m tanto no sistema convencional, quanto no orgânico, em duas estações contrastantes (inverno e verão). Os resultados dos atributos químicos e microbiológicos foram obtidos por meio de análises uni e multivariadas (Análise Canônica Discriminante – ACD - e Análise de Redundância - RDA). Os atributos químicos e microbiológicos discriminaram os dois sistemas de manejo, e os químicos mais importantes para discriminar foram cálcio (Ca) e boro (B), enquanto os microbiológicos foram carbono da biomassa microbiana (CBM), fosfatase ácida (Fac), fosfatase alcalina (Falc) e quociente metabólico (qCO_2). A RDA mostrou que, independentemente da época, CBM e Fac se correlacionaram principalmente com nitrogênio (N), enxofre (S) e matéria orgânica (MO), enquanto respiração basal ($C-CO_2$) e Falc se correlacionaram com magnésio (Mg) e o qCO_2 , aos teores de Mg, Ca, fósforo (P), potássio (K) e pH.

Palavras-chave: café, análises multivariadas, atributos edáficos, qualidade do solo.

1. INTRODUÇÃO

Mesmo para os agricultores bem sucedidos, com produção intensiva de café, o alto custo dos insumos, aliado à inconstância dos preços, tem contribuído para uma alta vulnerabilidade econômica (Haggar et al., 2011). Relatório da Organização Internacional do Café (ICO), que avaliou o preço do café nos 50 anos do período 1963-2013, enfatiza que o preço instável do café é o maior responsável por incertezas e vulnerabilidade aos produtores e que a variação do preço nesse período foi enorme: de menos de 50 centavos de dólar/lb para mais de 300 centavos de dólar. O relatório destaca ainda que os pequenos agricultores são os mais expostos a essas flutuações, uma vez que os mecanismos reguladores internos, em muitos países produtores, foram desmantelados, como consequência, tem-se o aumento da pobreza rural, de forma que a adoção de estratégias de gestão de risco estão se tornando cada vez mais recomendadas aos produtores dos países em desenvolvimento (ICO, 2014).

O plantio de lavouras orgânicas tem-se destacado como estratégia de gestão de risco, uma vez que a produção de café orgânico, por ser baseada na diversidade, na reciclagem, em processos biológicos e no mimetismo dos habitats naturais, pode gerar múltiplos produtos, uma vez que está menos sujeita a impactos externos do que os sistemas convencionais. Essa dinâmica de produção faz com que valores recebidos pelos agricultores orgânicos compensem produtividades, muitas vezes, mais baixas no sistema orgânico quando comparado ao convencional (Lyngbæk et al. 2001). Um dos possíveis motivos à baixa produtividade pode ser o fato de que grande parte das técnicas propostas pela agricultura orgânica está sendo aplicada empiricamente no cultivo de café (Theodoro et al., 2003), tanto que Ponti et al. (2012) sugerem que estudos futuros prestem especial atenção à disponibilidade de nutrientes em ambos sistemas agrícolas, orgânico e convencional.

A agricultura convencional usa uma ampla gama de práticas e ferramentas culturais, biológicas e químicas, incluindo o uso de pesticidas, que resulta em perda de biodiversidade em todo o mundo (Letourneau & Bothwell, 2008).

Somando-se a esse panorama de perda de biodiversidade e agravando-o, tem-se a redução da qualidade de vida dos produtores e consumidores de produtos convencionais, consequência dos efeitos nocivos dos agrotóxicos utilizados no manejo das culturas, o quê pode comprometer o uso do solo pelas futuras gerações,

pois há uma inerente redução da fertilidade natural dos solos cultivados sob o sistema convencional (Alencar et al., 2013).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito dos manejos orgânico e convencional de café arábica sobre os atributos químicos e microbiológicos e identificar quais desses atributos contribuem para discriminar esses sistemas de manejo, bem como verificar a correlação existente entre os atributos edáficos, nesses manejos. Com isso, espera-se melhor avaliar a dinâmica da interação entre o sistema de manejo adotado para *C. arabica* e os aspectos químicos e microbiológicos do solo, obtendo-se, assim, resultados que considerem a atuação simultânea de diversos componentes químicos e microbiológicos do solo sobre o sistema de manejo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nos municípios de Marechal Floriano (20°26'1"S40°45'780"W), Domingos Martins (20°21'572"S41°03'063"W) e Santa Maria de Jetibá (20°0'267"S47'010"W), no estado do Espírito Santo, Brasil, no verão (janeiro de 2013) e inverno (julho 2013), em seis propriedades (Figura 1) representativas dos manejos orgânico e convencional de *Coffea arabica* L., situadas em altitudes na faixa de 700 a 1.000m.

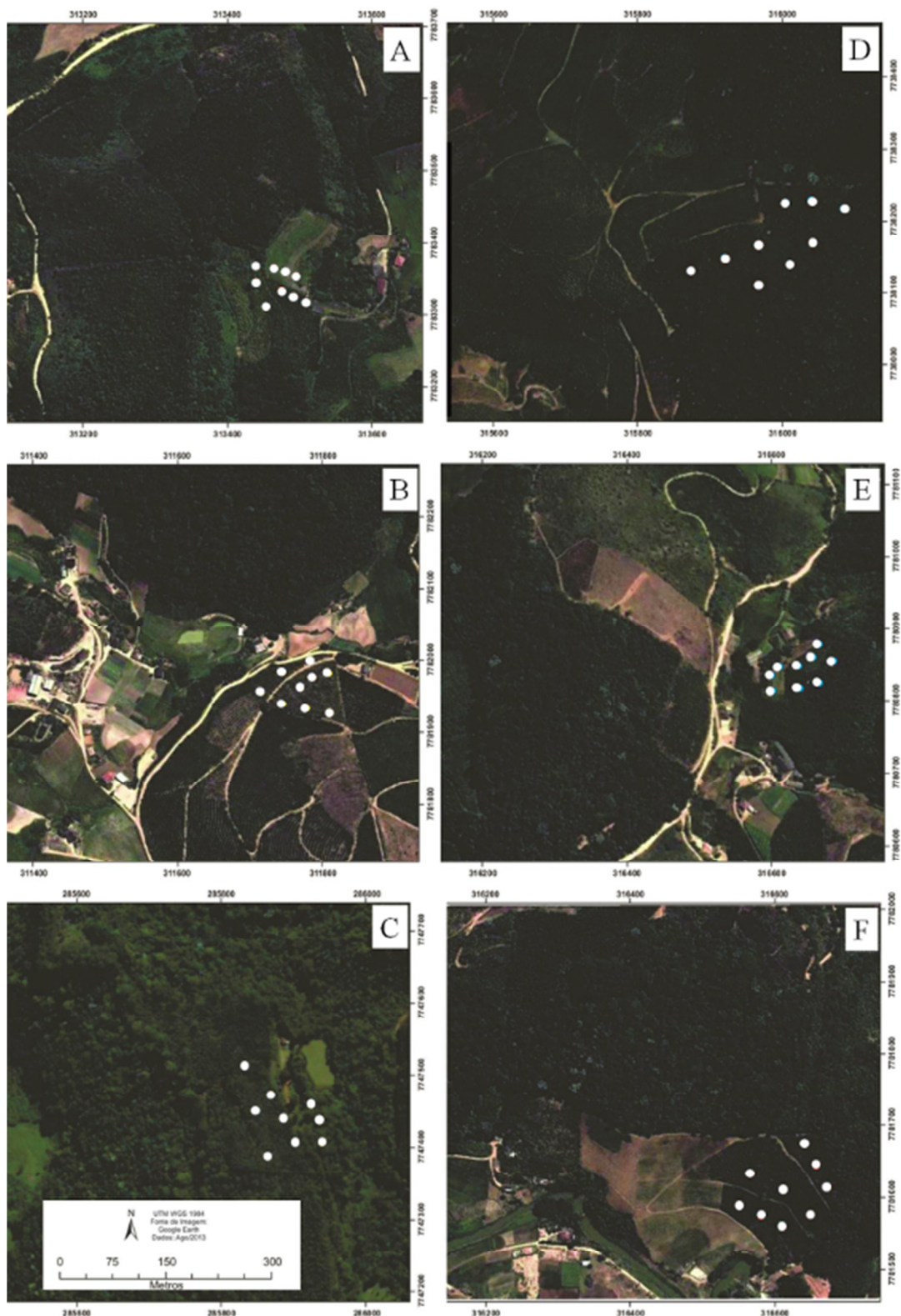


Figura 1. Grid de amostragem em cada propriedade de cultivo orgânico (Figuras A, em Santa Maria de Jetibá/ES, C, em Domingos Martins/ES, e E, em Santa Maria de Jetibá/ES) e convencional (B, em Santa Maria de Jetibá/ES, D, em Marechal Floriano/ES, e F, em Santa Maria de Jetibá/ES).

Na Tabela 1, estão indicadas características das figuras 1-A, 1-B, 1-C, 1-D e 1-E.

Tabela 1. Caracterização dos seis cultivos em que as coletas de verão (janeiro/2013) e inverno (julho/2013) foram realizadas, Espírito Santo/Brasil.

Código Cultivo	Município	Tipo de Cultivo	Variedade	Altitude (m)
Fig. A	Stª Mª de Jetibá	Orgânico	Catuaí (IAC44)	795,10
Fig. B	Stª Mª de Jetibá	Convencional	Catuaí (IAC44)	857,72
Fig. C	Domingos Martins	Orgânico	Iapar (IAPAR 59) e Bourbon Amarelo (IAC J2)	1056,66
Fig. D	Marechal Floriano	Convencional	Catuaí (IAC44)	775,14
Fig. E	Stª Mª de Jetibá	Orgânico	Catuaí (IAC44)	680,87
Fig. F	Stª Mª de Jetibá	Convencional	Catuaí (IAC44)	715,43

Foram escolhidos cultivos em fase de produção, com no mínimo quatro anos (idade média de 14 anos), visto que a exigência nutricional da planta de café aumenta em função da idade, sendo menor no início do desenvolvimento da cultura e aumentando significativamente depois da primeira colheita. Informações adicionais sobre as práticas culturais adotadas em SMO e SMC encontram-se em Azevedo Jr. et al. (2015). Em todos os casos, foi possível escolher cultivos voltados para a encosta leste.

O solo de todos os cultivos foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (Embrapa, 2013) e de textura argilosa em todos os cultivos, por possuir teor de argila na faixa de 35 a 60% (Ribeiro et al., 1999). O clima dos municípios de Marechal Floriano e Domingos Martins, segundo a classificação climática proposta por Köppen, é Cwb, ou seja, clima temperado, com período de temperaturas médias inferiores a 18°C, porém superior a 10°C, que são climas encontrados na região tropical em áreas montanhosas. Santa Maria de Jetibá tem um clima Tropical de Altitude (Cwa), correspondente ao clima subtropical úmido tipo (Cwa), registrando uma das temperaturas mais amenas no Espírito Santo, por causa da altitude (Incaper, 2015).

A maior precipitação pluviométrica ocorre no verão (dezembro a fevereiro). Especificamente no mês de coleta (janeiro 2013) a precipitação média foi de 257 mm, em Marechal Floriano e Domingos Martins, e de 269,6 mm, em Santa Maria de Jetibá. No inverno, mais seco, obtiveram-se médias 60 e 80,8 mm, nos respectivos municípios. As temperaturas médias foram de 23 e 21,2°C, no verão, e de 18,5 e 16,7°C, no inverno, para os municípios Marechal Floriano/Domingos Martins e Santa Maria de Jetibá, respectivamente.

Amostragens

Cada sistema de manejo foi representado por três réplicas verdadeiras. Em cada propriedade, foi montado um *grid* de amostragem de 100 x 100m, donde se extraíram nove amostras de solo para as análises químicas e microbiológicas. As amostras foram retiradas na projeção da copa dos cafeeiros, espaçados entre si de 30m, para evitar a autocorrelação (Pereira et al., 2013; Bartz et al., 2014). Além disso, foi deixada bordadura de 20 m. Para garantir adequada representatividade, em cada planta de café, foram retiradas oito subamostras de solo, na profundidade de 0-20 cm, as quais, posteriormente, foram misturadas, donde se processaram as análises químicas e microbiológicas, perfazendo um total de 54 amostras em cada uma das duas épocas de coleta.

Análises físicas, granulométricas, químicas e microbiológicas do solo

A umidade do solo, em cada amostra, foi avaliada em estufa, a 105 °C, até peso constante. Para a análise granulométrica, as frações areia foram separadas por meio de peneiramento (0,053mm), e as de silte e argila, por sedimentação. A argila foi determinada pela leitura do densímetro e o silte, pela diferença, conforme descrito pela Embrapa (1997).

Para as análises químicas, o pH foi verificado em pHmetro; os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) foram determinados por combustão no Analisador Elementar e, para os demais atributos químicos, utilizaram-se métodos de avaliação ou extração: matéria orgânica (MO), por Walkley- Black; fósforo disponível, potássio (K) e sódio (Na) trocáveis, por extrator Mehlich; cálcio (Ca), Alumínio (Al) e magnésio (Mg) trocáveis, por Extrator KCl 1N, e os Micronutrientes (ferro - Fe, cobre - Cu,

zinco – Zn e manganês - Mn) por extrator Mehlich, seguindo o que preconiza Malavolta et al. (1997)

Para os atributos microbiológicos, o carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado pelo método da fumigação-extração (Vance et al., 1987), e a atividade microbiana foi avaliada pela determinação da respiração basal (C-CO₂) (Alef & Nannipieri, 1995). Os resultados de C-CO₂ e do CBM foram utilizados para calcular o quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), conforme descrito por Anderson & Domsch (1993). A determinação das fosfatases ácida e alcalina do solo basearam-se no método descrito em Tabatabai & Bremner (1969).

Análises de dados

Para as análises estatísticas, inicialmente, foi realizado teste *t* a fim de se confrontar os dois sistemas de cultivo, utilizando-se o SPSS 20.0 (IBM, 2011). Os atributos químicos e microbiológicos foram também submetidos à Análise Canônica Discriminante (ACD) para identificar quais deles foram mais relevantes na separação dos sistemas de manejo estudados (Cruz-Castillo et al. 1994; Baretta et al., 2005). Quando verificada diferença significativa entre os sistemas de manejo, pela ACD, foi efetuado teste de comparação de médias para os valores dos coeficientes canônicos padronizados (CCP), nas distintas funções canônicas, por meio do teste de LSD ($p < 0,05$), conforme Cruz-Castillo et al. (1994). Também foi realizada Análise de Redundância (RDA) entre os atributos químicos e microbiológicos do solo. A significância das correlações sugeridas pela RDA foi obtida por meio do coeficiente de correlação de Spearman (Hair, 1987). O nível de significância adotado nas análises foi 5%, e os programas estatísticos utilizados foram SPSS 20.0 (IBM, 2011), SAS versão 8.2 (SAS, 2002), para ACD, e Canoco (Ter Braak & Smilauer, 1998), para RDA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos bioquímicos incluem tanto os parâmetros mais genéricos, como biomassa microbiana, atividade da desidrogenase e potencial de mineralização do N, bem como parâmetros bioquímicos específicos, como atividade das enzimas fosfatase, urease e beta-glucosidade (Gil-Sotres et al., 2005). Todos os atributos bioquímicos, tanto genéricos (Tabela 2) como específicos (Figura 2), avaliados no presente estudo, foram significativamente mais elevados no SMO quando comparados ao SMC ($p < 0,05$), nas duas épocas estudadas.

Tabela 2. Média $\pm$ erro padrão dos atributos microbiológicos do solo no sistema de manejo orgânico (SMO) e no convencional (SMC), no verão e no inverno (n=27).

Atributos Microbiológicos	SMO		SMC	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
CBM (mg C g ⁻¹ de solo seco)	0,62 ^{Aa} $\pm$ 0,03	0,60 ^{Aa} $\pm$ 0,04	0,46 ^{Ba} $\pm$ 0,01	0,37 ^{Bb} $\pm$ 0,02
C-CO ₂ * (mg g ⁻¹ de solo seco)	0,06 ^{Aa} $\pm$ 0,03	0,07 ^{Ab} $\pm$ 0,06	0,03 ^{Ba} $\pm$ 0,03	0,04 ^{Bb} $\pm$ 0,03
qCO ₂ (μg C-CO ₂ /mg CMB g ⁻¹ solo seco h ⁻¹)	3,84 ^{Aa} $\pm$ 0,20	5,17 ^{Ab} $\pm$ 0,43	2,97 ^{Ba} $\pm$ 0,32	4,17 ^{Bb} $\pm$ 0,36

* Média produção diária

CBM = Carbono Biomassa Microbiana (mg C g⁻¹ de solo seco); C-CO₂ = Respiração Basal (média produção diária, em mg g⁻¹ de solo seco); qCO₂ = quociente metabólico (μg C-CO₂/mg CMB g⁻¹ solo seco h⁻¹).

Letras maiúsculas diferentes na mesma estação, para cada tipo de manejo, indicam diferença significativa pelo teste *t* ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes no mesmo tipo de manejo, para cada estação, indicam diferença significativa pelo teste *t* ($p < 0,05$).

A diferença significativa entre os parâmetros microbiológicos deve refletir as discrepâncias entre as interações microbianas com as plantas do café nos dois diferentes sistemas de manejo avaliados, uma vez que esses parâmetros são largamente empregados para avaliar a qualidade do solo e as mudanças que ocorrem em função do manejo ou pela presença de contaminantes (Gil-Sotres et al., 2005).

Em estudo comparativo entre manejos orgânico e convencional de fazendas holandesas, com cultivos agrícolas variados, Diepeningen et al. (2006) também encontraram valores significativos mais elevados no SMO quando comparado ao SMC para as características relacionadas à microbiologia do solo. Também encontraram poucas diferenças quando se compararam características químicas e físicas do solo, além de associarem os valores mais elevados das características microbiológicas ao maior número e à maior diversidade de bactérias copiotróficas, oligotróficas e fungos micorrízicos nos solos orgânicos.

Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)

O Carbono da Biomassa Microbiana e os demais parâmetros relacionados a ele, como carbono orgânico total do solo e qCO_2 , são bem conhecidos como indicadores de qualidade do solo, particularmente quando usados para comparar solos sob diferentes sistemas de manejo agrícola (Kaschuk et al., 2010). No presente estudo, os valores para CBM foram mais elevados no SMO (Tabela 2), podendo-se considerar que, nesse manejo, estabelece-se um ambiente que propicia benefícios à microbiota do solo (Wardle, 1992). Pereira et al. (2013) também encontraram valores mais elevados para CBM no solo de florestas nativas de *Araucaria angustifolia* quando comparados a áreas reflorestadas.

Essa tendência de se apresentar mais elevado em ambientes mais conservados também se manifesta quando se trata de sistemas agrícolas, como se pode observar em Nunes et al. (2009), que obtiveram maiores valores de CBM, nos sistemas de mata em relação aos sistemas com café, e alegaram que, nos sistemas com café, a perda de material orgânico, em função do manejo exercido nesses solos, pode ter limitado o substrato para a atividade microbiana tendo como consequência reduções significativas nos valores de CBM. Balota et al. (1998) e Carvalho et al. (1997) relatam maiores teores de CBM em sistema de plantio direto bem consolidados quando comparados aos convencionais, bem como Araújo et al. (2009), ao comparar manejos orgânicos e convencionais em trabalho que incluiu diversas culturas.

Os valores de CBM, no verão, no presente estudo, foram mais elevados do que no inverno, somente no cultivo convencional (Tabela 2), como ocorreu no trabalho de Ullah et al. (2013) que compararam cultivos de trigo (*Triticum aestivum*) consorciado com milho (*Zea mays* L.) e com leguminosa (*Vigna radiata*). Bastida et al. (2006) também relataram variações sazonais em sua experimentação, ao

compararem áreas de vegetação nativa com áreas sem essa vegetação, pontuando as influências das características climáticas sobre esses resultados.

Respiração Basal (C-CO₂)

Lourente et al. (2011), comparando cinco sistemas de manejo do solo, encontraram maior taxa de respiração basal no solo sob vegetação nativa, o sistema mais conservacionista por eles testado e justificam que esse resultado, provavelmente, está relacionado aos maiores teores de carbono na biomassa, observados no solo sob vegetação nativa. Araújo et al. (2009), trabalhando com manejos orgânico e convencional em cultivos variados, também encontraram taxas mais elevadas e com significância estatística para respiração basal no SMO quando comparadas ao SMC, tanto quando essas taxas foram medidas a campo ou no laboratório, e sinalizam que uma maior taxa de respiração basal no SMO indica uma maior atividade microbiana no solo devido à permanente e contínua adição de fontes exógenas de matéria orgânica lábil ao solo, com consequente estímulo aos microrganismos heterotróficos.

Maluche-Baretta et al. (2007), comparando pomares orgânicos e convencionais de maçãs, não encontraram diferenças estatísticas para respiração basal entre esses sistemas, nas duas épocas (inverno e verão), justificando que esse fato pode ter sido devido à recente conversão do pomar ao sistema orgânico.

No presente estudo, é bastante provável que os resultados mais elevados de C-CO₂ para SMO sejam devidos à correlação entre CBM e C-CO₂ e ao fato desses cultivos orgânicos de café serem bem consolidados.

Foram encontrados valores mais elevados de C-CO₂ no verão ($p < 0,05$), independente do sistema de manejo (Tabela 2). Lourente et al. (2011) também encontraram valores mais elevados de C-CO₂, no verão e, assim como ocorre para CBM, também pontuam a relevância dos fatores climáticos sobre esse parâmetro. Espíndola et al. (2001) discutem que o aumento de C-CO₂ e $q\text{CO}_2$, observados no verão, é indicativo de que a biomassa microbiana estaria atuando na decomposição da matéria orgânica do solo, com imobilização de nutrientes em sua biomassa e liberação de parte destes nutrientes para a solução do solo.

Pereira et al. (2013) discutem que as alterações sazonais na atividade microbiana devem estar relacionadas ao aumento da temperatura e da pluviosidade (regiões tropicais) que aceleram o processo metabólico e promovem a atividade da comunidade microbiana do solo. Silva et al. (2009) também indicam menor

crescimento da população microbiana no inverno, retornando sua atividade de decomposição efetiva quando o ambiente apresenta condições favoráveis.

Quociente metabólico (qCO_2)

O quociente metabólico (qCO_2) é um índice que expressa a quantidade de C- CO_2 liberado em determinado tempo, por unidade de C, e normalmente reflete o *stress* provocado por diferentes fatores (Baretta et al., 2005; Bastida et al. 2006).

Aumentos no qCO_2 normalmente são observados em sistemas menos conservacionistas de produção (Maluche-Baretta et al., 2007), ou seja, ecossistemas mais perturbados (Gil-Sotres et al., 2005). Pereira et al. (2013) justificam taxas mais elevadas de qCO_2 em ambientes mais perturbados com um maior consumo de carbono prontamente assimilável pela comunidade microbiana, que requer maior necessidade energética para sua sustentação. Essa tendência dos maiores valores de qCO_2 pode indicar um ambiente de estresse ecológico e de degradação ou um alto nível de produtividade nessa área.

No presente estudo, foram encontrados valores mais elevados de qCO_2 no SMO (Tabela 2), considerado mais conservacionista, e mais reduzidas no inverno quando comparadas ao verão ($p < 0,05$), independentemente do sistema de manejo (Figura 2), como ocorre no trabalho de Bastida et al. (2006), que encontraram valores mais elevados de qCO_2 em vegetação nativa quando comparado a fragmento perturbado. Estes autores alegam que esses valores mais elevados de qCO_2 são devido à presença de restos vegetais que atuariam como substrato para a respiração nas áreas com vegetação nativa, o que deve ocorrer também no presente em função dos tratos culturais aplicados ao manejo orgânico em que se incorporariam mais restos vegetais ao solo.

Ainda citando Bastida et al. (2006), esses autores justificam valores mais altos, no verão, devido às variações sazonais de temperatura que podem trazer alterações ao quociente metabólico, o qual normalmente se eleva com o aumento desse parâmetro físico. Maluche-Baretta et al. (2007) obtiveram valores mais elevados de qCO_2 e de C- CO_2 no inverno de Urupema, Santa Catarina, e os autores atribuem esse fato a uma possível perda líquida de carbono, em razão do aumento da taxa de decomposição do material orgânico adicionado na adubação de pós-colheita (abril/maio), favorecida por altas temperatura e umidade, incomuns para o período.

Fosfatase Ácida (Fac) e Fosfatase Alcalina (Falc)

As fosfatases são enzimas adaptativas, e a intensificação da sua síntese em plantas ou em microrganismos é determinada pela necessidade de fósforo para o seu desenvolvimento (Oliveira et al., 1999).

Observamos que, tanto fosfatase ácida como alcalina apresentaram-se mais elevadas no SMO, tanto no inverno como no verão ($p < 0,05$) e, considerando cada um dos manejos individualmente, foram mais elevadas no inverno, independentemente do tipo de manejo do solo (Figura 2).

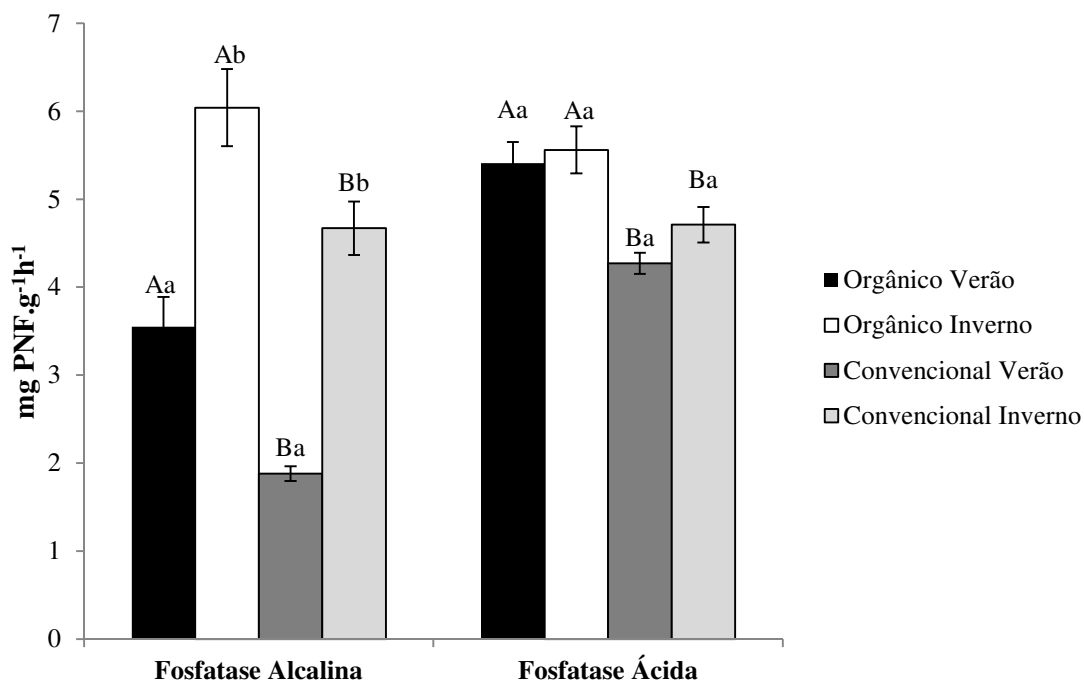


Figura 2. Média $\pm$ erro padrão das fosfatases ácida e alcalina em sistema de manejo orgânico (SMO) e no convencional (SMC), no verão e no inverno ($n=27$). Letras maiúsculas diferentes na mesma estação, para cada tipo de manejo, indicam diferença significativa entre estes, pelo teste t ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes no mesmo tipo de manejo, para cada estação, indicam diferença significativa entre estas, pelo teste t ($p < 0,05$).

Valores mais altos de fosfatases são comumente encontrados em ambientes menos impactados, conforme se observa no trabalho de Silva et al. (2012) em que as áreas de floresta e pasto apresentaram maior atividade em relação às áreas agrícolas, representando superioridade da atividade das fosfatases em ambientes preservados em relação aos cultivados. Nunes et al. (2009), quando compararam cultivos de café de 16 e de 22 anos de idade com matas de 30 e 40 anos de idade, encontraram maiores valores de fosfatase ácida nos solos sob mata natural em todas as épocas do ano avaliadas. Também o trabalho de Salam et al. (1997), ao comparar florestas primárias, florestas secundárias, plantios de café e terras

cultivadas com plantios anuais de tomate, feijão e arroz, dentre outros, indicaram atividade de fosfatases ácida e alcalina significativamente mais elevadas na floresta quando comparada aos plantios de café e cultivos anuais.

Contrariando os achados do presente estudo, Ullah et al. 2013, quando confrontaram trigo (*Triticum aestivum*) consorciado com milho (*Zea mays* L.) e com leguminosa (*Vigna radiata*), cultivados em solos áridos, obtiveram maior atividade de fosfatase alcalina significativa no verão, mas somente para o consórcio com leguminosa.

Análise Canônica Discriminante (ACD)

O teste de *Wilk's Lambda* para os atributos microbiológicos e químicos do solo indicou que houve separação entre SMO e SMC, tanto no verão como no inverno ($P < 0,0001$), para a primeira (FCD1) e segunda (FCD2) funções canônicas discriminantes. Essa discriminação pode ser percebida a partir da configuração polarizada dos pontos nas Figuras 3A e B.

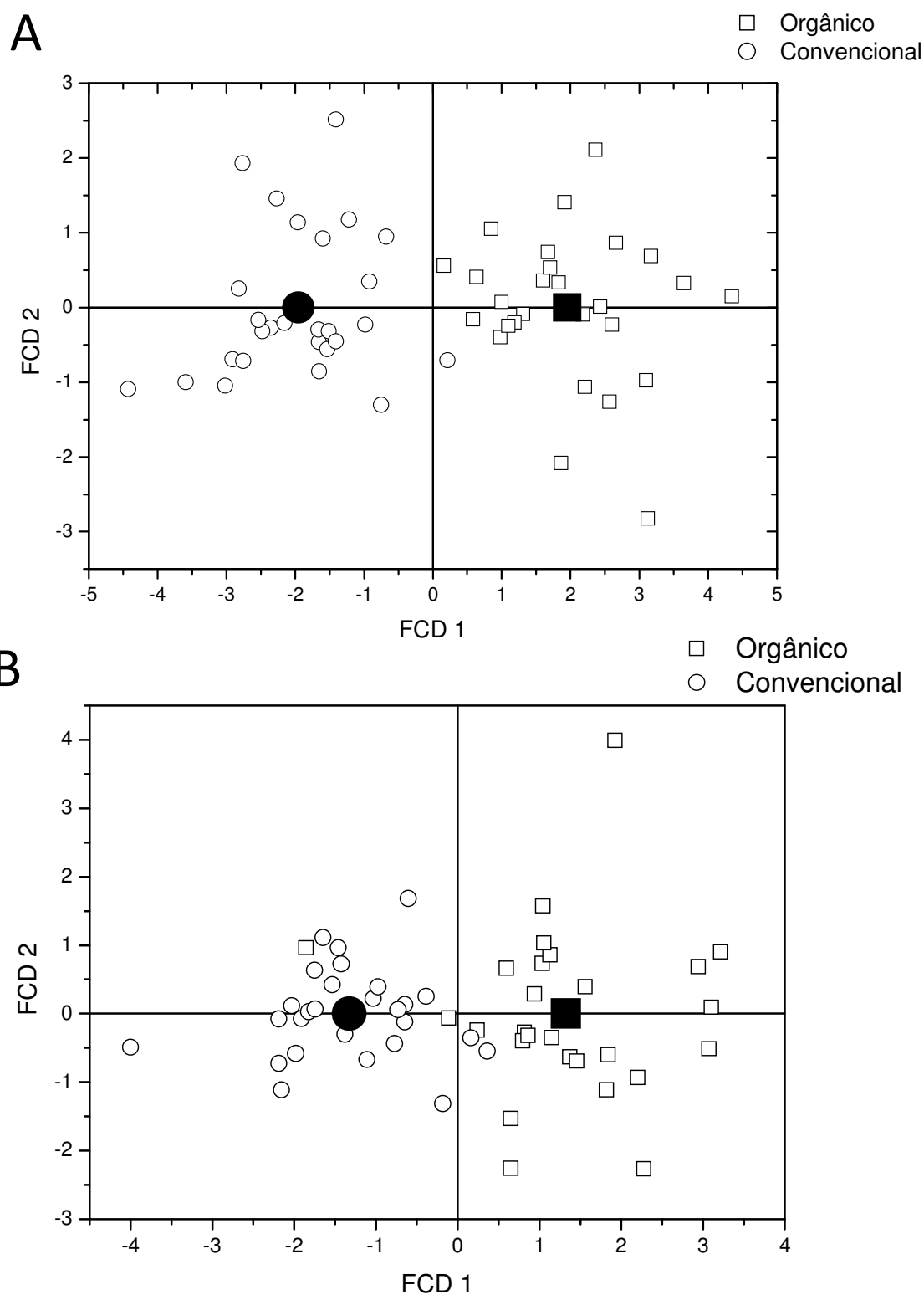


Figura 3. Coeficientes Canônicos Padronizados (CCP) das Funções Canônicas Discriminantes 1 (FCD1) e 2 (FCD2), discriminando sistema orgânico (SMO) e convencional (SMC) de *C. arabica*, considerando os atributos químicos e microbiológicos do solo, analisados no verão (A) e no inverno (B). O símbolo cheio representa o valor médio de CCP (centróide) para cada área (n=27).

Adequado para avaliar a contribuição individual de cada atributo para a discriminação das áreas, o coeficiente da taxa de discriminação paralela (TDP), resultante do produto entre os coeficientes canônicos padronizados (CCP) e de correlação canônica (r) (Baretta et al., 2010), revelou, no presente estudo, que, no verão, CBM, fosfatase ácida, boro, cálcio e fosfatase alcalina, marcados em negrito na Tabela 3, foram, em ordem decrescente, os maiores responsáveis pela discriminação dos sistemas de manejo estudados. Valores positivos de TDP indicam efeitos de separação entre os manejos convencional e orgânico, e os negativos, semelhanças entre eles; e, quando maiores que 0,1, a variável é considerada boa discriminadora (Baretta et al, 2010). No inverno, os atributos mais importantes foram, em ordem decrescente, CBM, cálcio, boro, fosfatase ácida e $q\text{CO}_2$ (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de coeficiente de correlação canônica (*r*), coeficiente canônico padronizado (CCP) e coeficiente da taxa de discriminação paralela (TDP) dos atributos químicos e microbiológicos do solo da FCD1, no verão e inverno, independentemente do manejo avaliado (n=54).

Atributo	Verão			Inverno		
	<i>r</i>	CCP	TDP	<i>r</i>	CCP	TDP
pH	0,104	-0,723	-0,075	0,006	-0,821	-0,005
P-resina	0,173	-0,229	-0,040	0,242	-0,291	-0,070
K	0,000	0,317	0,000	0,080	0,266	0,021
Ca	0,187	1,198	0,224	0,267	1,219	0,326
MO	0,137	-0,199	-0,027	0,182	-0,165	-0,030
B	-0,356	-0,644	0,230	-0,245	-0,526	0,129
N	0,089	-0,137	-0,012	0,218	-0,189	-0,041
Falc	0,334	0,529	0,177	0,264	-0,386	-0,102
CBM	0,415	0,748	0,311	0,559	0,938	0,525
Fac	0,297	0,896	0,266	0,262	0,475	0,124
C-CO ₂	0,402	-0,314	-0,126	0,590	0,029	0,017
qCO ₂	0,162	0,457	0,074	0,185	0,573	0,106
Manejo	Verão			Inverno		
Orgânico	1,955 ^A			1,325 ^A		
Convencional	-1,955 ^B			-1,325 ^B		

P = fósforo (mg dm⁻³); K = potássio (mmol_c dm⁻³); Ca = cálcio (mmol_c dm⁻³); MO = matéria orgânica (g dm⁻³); B = boro (mg dm⁻³); N = nitrogênio (%); Falc = Fosfatase Alcalina (mg PNF.g⁻¹h⁻¹); Fac = Fosfatase Ácida (mg PNF.g⁻¹h⁻¹); CBM = Carbono Biomassa Microbiana (mg C.g⁻¹ de solo seco); C-CO₂ = Respiração Basal (média produção diária, em mg.g⁻¹ de solo seco); qCO₂ = quociente metabólico (μg C-CO₂/mg CBM.g⁻¹ solo seco h⁻¹)

Médias de CCP seguidas de letras distintas na mesma coluna apresentaram diferença significativa entre as duas categorias de manejo pelo teste LSD (*p* < 0,05), (n=27).

O Carbono da Biomassa Microbiana, tanto no inverno quanto no verão, foi o atributo de maior valor de TDP (Tabela 3). Resultado semelhante também foi encontrado por autores que trabalharam com análise multivariada, como Partelli et al. (2009), que concluem que CBM foi o parâmetro microbiológico mais importante para agrupar diferentes formas de cultivo, assim como Maluche-Baretta et al. (2006),

quando confrontaram cultivos orgânicos e convencionais de maçã, em Santa Catarina, e classificam CBM, a partir da ACD, como principal variável discriminadora.

Trabalhando com *Araucaria angustifolia*, Pereira et al. (2013) definiram outros atributos químicos e microbiológicos como principais discriminadores, dentre os químicos, apontam o P e, dentre os microbiológicos, a respiração basal. Porém, Baretta et al. (2008), trabalhando com essa mesma espécie florestal, define CBM como o principal discriminador, seguido por C-CO₂. Contrariamente, no presente estudo com *C. arabica*, o C-CO₂, por apresentar valor de TDP negativo, indica similaridade entre SMO e SMC.

Os resultados de TDP (Tabela 3) também indicam a atividade enzimática como fator relevante para discriminar os sistemas de manejo orgânico e convencional de *C. arabica*. A fosfatase ácida (Fac) mostrou-se relevante tanto no verão como no inverno, já a fosfatase alcalina (Falc), somente no verão.

Silva et al. (2012), utilizando a Análise de Componentes Principais (ACP) como técnica multivariada, também pontuam a atividade enzimática como relevante para diferenciar os sistemas agrícolas, dos sistemas florestais e de pastagem, sendo que os valores das propriedades biológicas do solo avaliadas por eles (atividade enzimática e carbono e nitrogênio da biomassa microbiana) foram reduzidas nas áreas agrícolas quando comparadas aos sistemas florestais e de pastagem. Esses autores atribuem essa redução às menores taxas de deposição de material vegetal por esses sistemas agrícolas, tendo como consequência baixa incorporação de matéria orgânica no solo, o que pode refletir em baixos teores de carbono orgânico total e menor atividade biológica, representada no trabalho desses autores pelas enzimas fosfatase ácida, arilsufatase e β -glicosidase, do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e quociente metabólico.

Considerando os atributos químicos do solo, Partelli et al. (2009), também compararam manejos orgânicos e convencionais de café no Espírito Santo, porém trabalharam com *C. canephora*, e concluíram que, das características químicas do solo, as maiores influências no agrupamento dos manejos são provenientes da concentração de Mn, K, saturação de bases, P, S, Fe e Na. Entretanto, no presente estudo, o Ca foi o atributo mais representativo para discriminar manejos orgânicos e convencionais de *C. arabica*, tanto no inverno como no verão, seguido pelo B.

O teste LSD para os CCPs (Tabela 3) indica diferenciação entre SMO e SMC em ambas épocas de coleta ($p < 0,05$), indicando ser possível fazer avaliações com o objetivo de discriminar os dois sistemas de manejo a partir dos atributos químicos

e microbiológicos do solo, tanto no inverno como no verão. Outros autores que trabalharam com ACD também encontraram diferença significativa quando confrontaram essas duas estações do ano, como Pereira et al. (2013) e Vasconcelos et al (2013), que trabalharam com espécies florestais no estado de São Paulo e Maluche-Baretta et al. (2006), que trabalharam com maçã, em Santa Catarina.

Análise de Redundância (RDA)

Os autovalores baseados nos atributos químicos e microbiológicos para a RDA nos eixos um, dois, três e quatro foram 0,252, 0,069, 0,021 e 0,012, respectivamente. As variáveis edáficas selecionadas explicaram 35,4% dos dados ($p < 0,05$). Destes, 71,1% estão representados na dimensão um e 19,5% são representados na dimensão dois. O teste de permutação de Monte Carlo revelou uma relação significativa entre os atributos químicos e microbiológicos, tanto no verão ($F=6,7$; $p=0,002$) quanto no inverno ($F=6,6$; $p=0,002$) (Ter Braak & Smilauer, 1998).

Outros autores também chegaram a correlações significativas estudando esses mesmos atributos edáficos em florestas de araucária (Pereira et al., 2013), monocultivos comparados a pastagens (Baretta et al., 2005) e pomares orgânicos e convencionais de maçã (Maluche-Baretta et al., 2007).

Para o período do verão (Figura 3A), CBM e Falc se correlacionaram principalmente a pH, P e Ca, enquanto C-CO₂ e qCO₂ somente com K. Fac se apresenta sem associação a atributos químicos, e os atributos químicos B, N e MO não apresentaram relação com nenhum atributo microbiológico avaliado.

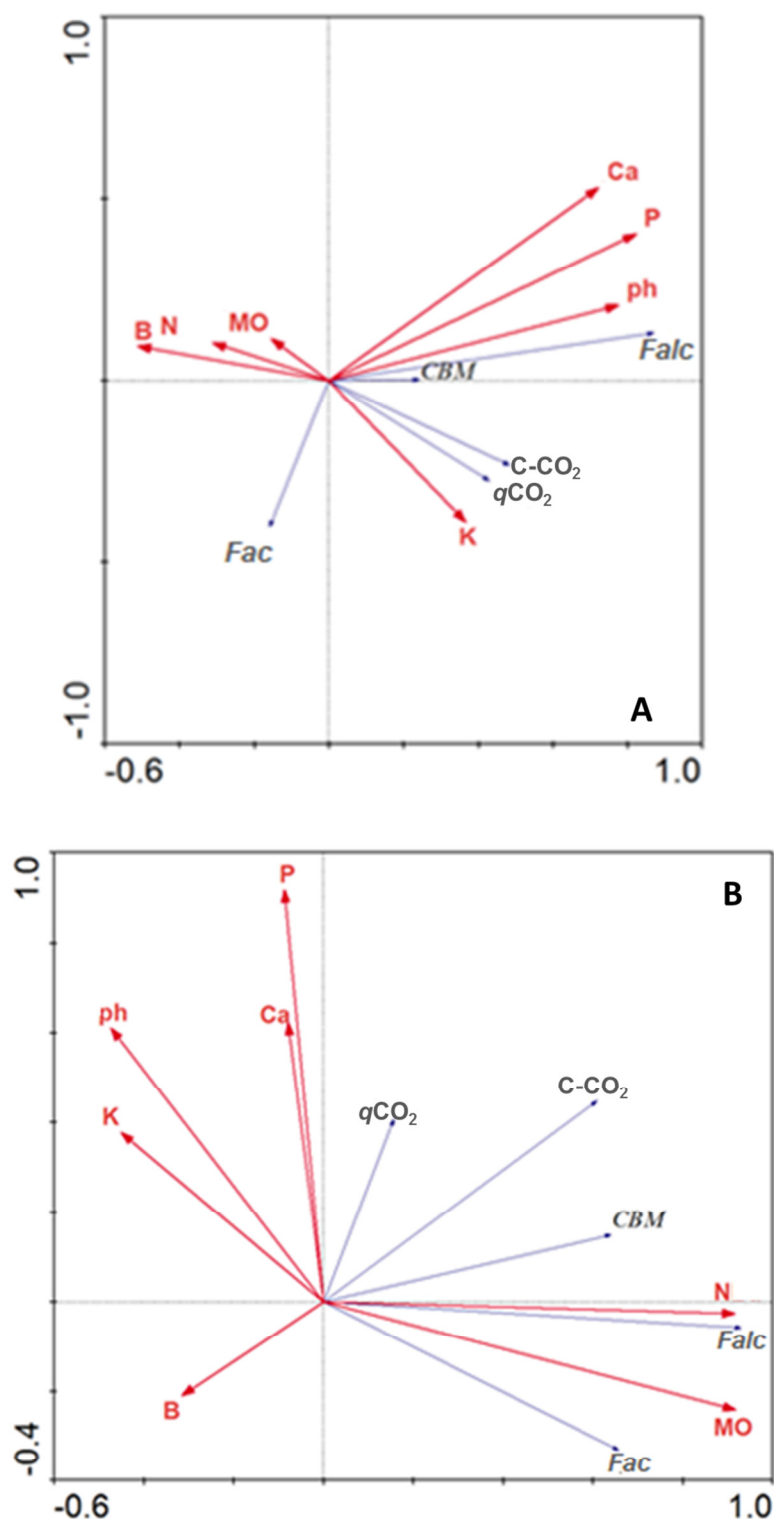


Figura 3. Análise de Redundância no verão (A) e inverno (B), relacionando os atributos químicos com os microbiológicos, independente do sistema de manejo (n=54). **Atributos Químicos:** N = nitrogênio, MO = matéria orgânica, S = enxofre, K = potássio, Mg = magnésio, Ca = cálcio, P = fósforo, ph = pH e B = boro. **Atributos Microbiológicos:** CBM = carbono biomassa microbiana, qCO_2 = quociente metabólico, Fac = fosfatase ácida C- CO_2 = respiração basal e Falc = fosfatase alcalina.

Para o período do inverno (Figura 3B), CBM se correlacionou com N, e Falc a N e também a MO. Já Fac se correlacionou somente a MO. Quociente metabólico (qCO_2) se correlacionou aos teores de P e Ca, enquanto C- CO_2 se apresenta sem forte correlação a nenhum dos atributos químicos. pH, K e B não se correlacionaram a nenhum dos atributos microbiológicos analisados no presente estudo.

Era esperada uma variação nos resultados obtidos em épocas contrastantes como verão e inverno, pois, por cumprirem a função ecológica de caracterizar o solo como ambiente dinâmico, os atributos microbiológicos, no presente estudo, também mostram um alto grau de variabilidade em função do clima, da estação do ano, da localização geográfica e de fatores pedogenéticos (Gil-Sotres, 2005)

Independentemente da época, percebe-se, pela RDA (Figura 4), que CBM e Fac se correlacionaram com N, S e MO, enquanto C- CO_2 e Falc se associaram, especialmente com Mg. Já qCO_2 se correlacionou com Mg, Ca, P, K e pH do solo.

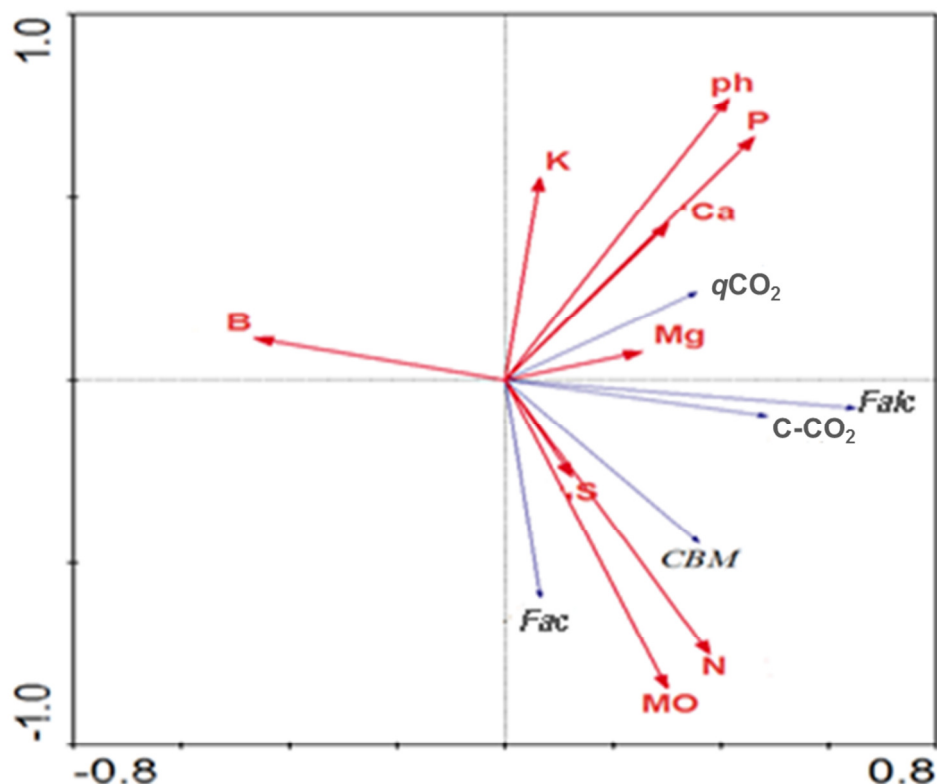


Figura 4. Análise de redundância, independente do sistema de manejo e do período avaliados, relacionando os atributos químicos com os microbiológicos do solo (n=108). **Atributos Químicos:** N = nitrogênio, MO – matéria orgânica, S = enxofre, K – potássio, Mg = magnésio, Ca = cálcio, P = fósforo, ph = pH e B = boro. **Atributos Microbiológicos:** CBM = carbono biomassa microbiana, qCO_2 = quociente metabólico, Fac = fosfatase ácida, C- CO_2 = respiração basal e Falc = fosfatase alcalina.

CONCLUSÕES

- Todos os atributos microbiológicos se diferenciaram entre os sistemas de manejo orgânico (SMO) e convencional (SMC), sendo mais elevados no SMO ($p < 0,05$), tanto no inverno quanto no verão;
- Os parâmetros microbiológicos e os químicos do solo serviram para discriminar os dois sistemas de manejo, sendo que cálcio e boro foram os parâmetros químicos mais importantes nessa caracterização, no inverno e verão;
- Os parâmetros microbiológicos que se destacaram como sensíveis indicadores foram: o carbono da biomassa microbiana e a fosfatase ácida, em ambas estações; a fosfatase alcalina, no verão somente, e o quociente metabólico, somente no inverno;
- Independentemente da época, carbono da biomassa microbiana e fosfatase ácida se relacionaram principalmente a nitrogênio, enxofre e matéria orgânica, enquanto respiração basal e fosfatase alcalina se correlacionaram ao magnésio. Já o quociente metabólico se correlacionou com magnésio, cálcio, fósforo, potássio e pH do solo.

5. REFERÊNCIAS

- ALEF, K. & NANNIPIERI, P., ed. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. London, Academic Press, 1995. 576p.
- ALENCAR, G. V. de; MENDONÇA, E.. de; OLIVEIRA, T.S. de; JUCKSCH, I.; CECON, P.R. Percepção ambiental e uso do solo por agricultores de sistemas orgânicos e convencionais na Chapada da Ibiapaba, Ceará. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 51: p. 217-236, 2013.
- ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 25: p. 393-395, 1993.
- ANDRADE, S.A.L.; MAZZAFERA, P.; SCHIAVINATO, M.A. & SILVEIRA, A.P.D. Arbuscular mycorrhizal association in coffee. *Journal of Agricultural Science*, v. 147: p. 105-115, 2009.
- ARAÚJO, A.S.F.; LEITE, L.F.C. SANTOS, V.B.; CARNEIRO, R.F.V. Soil microbial activity in conventional and organic agricultural systems. *Sustainability*, v. 1, p. 268-276, 2009.
- AZEVEDO JR, R.R.; BIRAL, J. DOS S.; BARETTA, D; RAMOS, A. C.; CARDOSO, E.J.N.B. & FAÇANHA, A.R. Teores foliares de macro e micronutrientes em *Coffea arabica* L. sob sistemas de manejo orgânico e convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* (prelo). 2015.
- BALOTA, E. L. COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 4: p. 641-649, 1998.
- BARETTA, D., BROWN, G.G., CARDOSO, E.J.B.N. Potencial da Macrofauna e outras variáveis edáficas como indicadores da qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. *Acta Zoológica Mexicana*, v.2, p.135-150, 2010.
- BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R.; KLAUBER-FILHO, O. Efeito do monocultivo de Pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no plantio sul catarinense, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29: p. 715-724, 2005.

- BARTZ, M. L. C.; BROWN, G.G; ROSA, M.G. da; KLAUBERG FILHO, O.; JAMES, S.W.; DECAËNS, T.; BARETTA, D. Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. *Applied Soil Ecology*, v. 83: p. 59-70, 2014.
- BASTIDA, F.; MORENO, J.L.; HERNANDEZ, T. & GARCIA, C. Microbiological activity in a soil 15 years after its devegetation. *Soil Biol. Biochem.*, 38:2503-2507, 2006.
- CARVALHO, Y. Densidade e atividade dos microrganismos do solo em plantio direto e convencional na região de Carambeí (PR). Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1997. 108p. (Dissertação de Mestrado)
- CRUZ-CASTILLO, J.G.; GANESHANANDAM, S.; MACKAY, B.R.; LAWES, G.S.; LAWOKO, C.R.O. & WOOLLEY, D.J. Applications of canonical discriminant analysis in Horticultural research. *Hortscience*, v. 29: p. 1115-1119, 1994.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.
- ESPÍNDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D.L. DE; GUERRA, J.G.M.; SILVA, E.M.R. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalum notatum* em um agroecossistema. *Floresta e Ambiente*, v. 8: p. 104-113, 2001.
- GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M.C. & SEOANE, S. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 37: p. 877-887, 2005.
- HAGGAR, J., BARRIOS, M., BOLAÑOS, M., MERLO, M., MORAGA, P., MUNGUÍA, M., PONCE, A., ROMERO, S., SOTO, G., STAVAR, C., AND VIRGINIO, E. Coffee Agroecosystem Performance Under Full Sun, Shade, Conventional and Organic Management Regimes in Central America. *Agroforestry Systems*. V. 82, p.285-301, 2011.
- HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. Multivariate data analysis with readings. 2nd ed. New York: Macmillan, 1987. 449p.
- IBM Corp. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0, Armonk, NY, 2011.
- ICO - International Coffee Organization. World coffee trade (1963 – 2013): A review of the markets, challenges and opportunities facing the sector. In: International Coffee Council 112th Session 3 – 7. Londres, Reino Unido, 2014.

- Incaper - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Disponível em (<http://www.incaper.es.gov>). Data de acesso: 21 de fevereiro de 2015.
- KASCHUK G.; ALBERTON O.; HUNGRIA M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 42: p. 1-13, 2010.
- LETOURNEAU, D.K.; BOTHWELL, S.G. Comparison of organic and conventional farms: challenging ecologists to make biodiversity functional. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 6: p. 430–438, 2008.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GASPARINI, A. S.; GOMES, C. F.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos do solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41: p. 20-28, 2011.
- LYNGBÆK, A.E.; MUSCHLER, R.G.; SINCLAIR, F.L. Productivity and profitability of multistrata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, v. 53: p. 205–213, 2001.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. Agronômica Ceres, 528p. São Paulo. 1976.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A.. Avaliação do Estado Nutricional das Plantas(princípios e aplicações). 2º ed. Potafos; 319p. Piracicaba, SP. 1997.
- MALUCHE-BARETTA, C.R.D.; VIDAL, C. & KLAUBERG, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41: p.1531-1539, 2006.
- MALUCHE-BARETTA, C.R.D.; KLAUBERG-FILHO, O.; AMARANTE, C.V.T.; RIBEIRO, G.M. & ALMEIDA, D. Atributos microbianos e químicos do solo em sistemas de produção convencional e orgânico de maçãs no estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31: p. 655-665, 2007.
- NUNES, L. A. P. L. ; DIAS, L. E. ; JUCKSCH, I ; BARROS, N.F. ; KASUYA, M.C.M.; CORREIA, M. E. F. Impacto do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo na zona da mata mineira. *Ciência Rural*, v. 39: p. 2467-2474, 2009.

- PARTELLI, F.L.; VIEIRA, H.D.; MARTINS, M.A.; URQUIAGA, S. FERREIRA, E.P.B.; CORRECHEU, V.; LENDRO, W.M. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em cafeeiro conilon sob manejo orgânico e convencional. In: VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Vitória/ES, 2009.
- PEREIRA, J.M.; BARETTA, D.; BINI, D.; VASCONCELLOS, R.L.F & CARDOSO, E.J.B.N. Relationships between microbial activity and Soil physical and chemical properties in native and reforested *Araucaria angustifolia* forests in the state of São Paulo, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37: p. 572-586, 2013.
- PONTI, T. de; RIJK, B.; ITTERSUM, MARTIN K. van. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems*, v. 108: p.1–9, 2012.
- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V.H.V., eds. 1999. Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG, 359. 1999. p.43-60.
- ROBERT, A.R. Noble goals and challenging terrain: organic and fair trade coffee movements in the global marketplace. *Journal of Agricultural and Environmental*, v. 14: p. 39–66, 2001.
- SALAM, A.K.; KATAYAMA, A; KIMURA, M. Activities of some soil enzymes in different land use systems after deforestation in hilly areas of West Lampung, South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, v. 44: p. 93-103, 1997.
- SAS Institute. SAS user's guide: Statistics. Versão 8.2. 6. ed. Cary, 2002.
- SILVA, L.G.; MENDES, I.C.; REIS-JUNIOR, F.B.; FERNANDES, M.F.; MELO, J.T. & KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44: p. 613-620, 2009.
- SILVA, C.F. da; PEREIRA, M.G.; DIVINO, L.M.; FEITORA, J.C.F.; LOSS, A.; MENEZES, C.E.G.; SILVA, E.M.R.S. da. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36: p. 1680-1689, 2012.

- TABATABAI, M. A. & B REMNER, J. M. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 1: p. 301-307, 1969.
- TER BRAAK, C.J.F. & SMILAUER, P. CANOCO: Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (Version 4), Microcomputer Power, New York, 1998.
- THEODORO, V.C.A.; ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J. & SOUZA, C.A.S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27: p. 1039-1047, 2003.
- VANCE, E.D.; BROOKS, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 19: p. 703-707, 1987.
- van DIEPENINGEN A. D; VOS O. J. DE; KORTHALS, G. W.; VAN BRUGGEN, A. H. C. Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils. *Applied Soil Ecology*, v. 31: p. 120-135, 2006.
- VASCONCELOS, R.L.F.; SEGAT, J.; BONFIM, J.A.; BARETTA, D. & CARDOSO, E.J.B.N. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. *European Journal of Soil Biology*, v. 58: p. 105-112, 2013.
- WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews*, v. 67: p. 321-358, 1992.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tanto as análises univariadas como as multivariadas expressaram diferenciações entre os sistemas de manejo orgânico (SMO) e convencional (SMC).

Das univariadas, diversos atributos, tanto nas análises químicas foliares como do solo, expressaram diferença significativa. Além disso, todos os atributos microbiológicos se diferenciaram entre SMO e SMC ($p < 0,05$), tanto no inverno quanto no verão, sendo sempre, com maiores valores, os microbiológicos em SMO.

A ACD evidenciou discriminação entre SMO e SMC, destacando-se, para os teores foliares de macro e micronutrientes, os elementos: cobre, magnésio, boro e enxofre; como os que mais colaboraram para separar os manejos.

Para os químicos do solo, destacam-se: cálcio e boro.

Para os atributos microbiológicos: carbono da biomassa microbiana, fosfatase ácida, fosfatase alcalina e quociente metabólico. Era de se esperar uma maior contribuição dos atributos microbiológicos em discriminar os dois sistemas de manejo, uma vez que estes atributos bioquímicos respondem mais rapidamente às mudanças do que os atributos químicos e físicos do solo.

A Análise de Redundância expressou a relação existente entre os parâmetros químicos e microbiológicos, de modo que o carbono da biomassa microbiana e a fosfatase ácida se correlacionaram com nitrogênio, enxofre e matéria orgânica, enquanto a respiração basal e fosfatase alcalina se correlacionaram com magnésio. Já o quociente metabólico se correlacionou com magnésio, cálcio, fósforo, potássio e pH do solo.

O presente estudo foi pioneiro ao utilizar réplicas verdadeiras e metodologia robusta (Análise Canônica Discriminante) para discriminar os sistemas de manejo orgânico e convencional de *C. arabica*, considerando teores foliares de macro e micronutrientes e atributos edáficos (químicos e microbiológicos). Com isso, foi possível garantir avanços nos temas qualidade dos solos sob cultivo do café e dinâmica dos nutrientes nesses dois sistemas de manejo, bem como possibilitar aperfeiçoamento técnico a fim de se melhorar o manejo dos solos sob cultivo de *C. arabica*.

Embora o sistema orgânico nem sempre apresente maior produtividade, é um sistema que leva em consideração os serviços ambientais da microbiota do solo (refletido em seus resultados), sendo também, normalmente, menos dispendioso por

reduzir a necessidade de insumos comerciais. Porém, esse sistema precisa de vários anos para se tornar equilibrado, principalmente, quando implantado após o uso convencional do solo, tornando-o meio degradado. Assim sendo, nesse sistema de manejo, também devem ser implantadas tecnologias modernas de otimização dos processos produtivos, o que, às vezes, é negligenciado.