

NÍVEIS TÓXICOS DE FERRO EM LAVOURAS DE CAFÉ CONILON (*Coffea canephora*) EM SOLOS DE TABULEIROS COSTEIROS

Cesar Abel Krohling¹, Frederico Jacob Eutrópio², Frederico Firme Figueira³, Eliemar Campostrini⁴, Leonardo Barros Dobbss⁵, Alessandro Coutinho Ramos⁶

(Recebido: 28 de setembro de 2015 ; aceito: 07 de dezembro de 2015)

RESUMO: Os plantios de café conilon no estado do Espírito Santo concentram-se em solos com elevado potencial de oxirredução, nestes solos predomina o Fe na forma reduzida e mais solúvel (Fe²⁺), o que pode causar interferências no desenvolvimento e na produtividade. Objetivou-se, neste estudo, avaliar os impactos da concentração de ferro nos tecidos vegetais e a produtividade de lavouras de café conilon (*Coffea canephora*), cultivadas nos solos dos tabuleiros costeiros do Estado. O estudo foi realizado em três propriedades produtoras de café conilon, localizadas no Sul do Espírito Santo, sendo três áreas em ambiente de baixada e outras três em ambiente de encosta, para comparar a influência dos locais. Foram avaliadas a composição físico-química dos solos, a concentração dos nutrientes em raízes, caules, folhas, grãos e casca das plantas e a produtividade em duas safras. Os resultados sugerem que a concentração de ferro, em todos os órgãos avaliados, foi maior nas lavouras de baixada e que a produtividade foi significativamente maior nas lavouras de encosta. Conclui-se que a alta concentração de ferro no solo e nos órgãos vegetais avaliados das lavouras de baixada pode influenciar negativamente na produtividade das lavouras.

Termos para indexação: Produtividade, desenvolvimento vegetal, hidromorfismo, físicoquímica.

TOXIC LEVELS OF IRON IN CONILON COFFEE CROPS (*Coffea canephora*) IN SOILS FROM THE COASTAL TABLELANDS

ABSTRACT: The crops conilon coffee in Espírito Santo concentrate on soils with high redox potential, in these soils predominates the Fe in reduced form and more soluble (Fe²⁺) which can cause interferences in development and productivity. The objective of this study was to evaluate the impacts of iron concentration in plant tissues and the productivity of crops conilon coffee (*Coffea canephora*) grown in soils of coastal tablelands in the State of Espírito Santo. The study was conducted in three producing properties conilon coffee located in the South of the Espírito Santo, three areas in lowland environment and three areas in the hillside environment, to compare the influence of local. We evaluated the physical and chemical composition of the soil, the concentration of nutrients in roots, stems, leaves, grains and fruit peel and productivity in two seasons. The results evidenced that the concentration of iron in all evaluated organs was higher in lowland crops and that productivity has been significantly higher in the hillside fields. We conclude that the high concentration of iron in the soil and plant organs evaluated the lowland crops may be negatively influence the productivity of crops.

Index terms: Productivity, plant development, hydromorphism, physical chemistry.

1 INTRODUÇÃO

O Espírito Santo apresenta condições favoráveis para o plantio do café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner), o que o torna o maior produtor deste café no Brasil, com produção estimada de 7,4 milhões de sacas na safra de 2015 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015). Os Tabuleiros Costeiros ocorrem em planícies fluviais e em altitudes baixas, próximas ao litoral, cujos solos são do tipo Latossolos Amarelos e/ou Argissolos (SOBRAL; CINTRA; SMYTH,

2009), pobres em nutrientes e com presença de muito material orgânico oriundo de altitudes mais elevadas (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013).

Nestes solos, as zonas coesas impõem restrição ao crescimento e ao desenvolvimento das raízes, o que reduz a profundidade efetiva do solo, além de propiciar a formação de zonas temporárias de encharcamento na estação chuvosa e de ressecamento na estação seca (LIMA et al., 2014). Apesar destas adversidades, estes solos têm importância na produção agrícola, como: coco,

¹Universidade Vila Velha/UVV - Laboratório de Microbiologia Ambiental e Biotecnologia - 29102-770 - Boa Vista - Vila Velha - ES cesar.kro@hotmail.com

^{2,3,6}Universidade Estadual do Norte Fluminense/UENF - Laboratório de Fisiologia e Bioquímica de Microrganismos - 28.013-602 Campos dos Goytacazes - RJ - eutropiofj@gmail.com, frederico_firme@hotmail.com, alessandro@uenf.br

⁴Universidade Estadual do Norte Fluminense/UENF - Laboratório de Fisiologia de Plantas - 28.013-602 - Campos dos Goytacazes - RJ - campostenator@gmail.com

⁵Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri/UFVJM - Instituto de Ciências Agrárias - Av. Vereador João Narciso - 1380 - 38610-000 - Unai - MG - leonardo.dobbss@ufvjm.edu.br

caju, mamão, abacaxi, cacau, mandioca, cana-de-açúcar e café conilon (SOUZA; SOUZA, 2014). Nesses ambientes, parte do relevo tem condições anaeróbicas (ambientes hidromórficos), o que pode provocar a falta de oxigênio, acarretando um maior acúmulo de matéria orgânica, o que favorece um ambiente potencial de oxirredução. A absorção em excesso de Fe^{2+} pode causar sintomas de toxidez (ALEXANDRE et al., 2012; SILVEIRA et al., 2007), sendo que estes ambientes são propícios para transformar Fe^{3+} em formas reduzidas (Fe^{2+}), as quais são mais solúveis e disponíveis para serem absorvidos pelas plantas.

Como o ferro é um nutriente mineral limitante para a produção de biomassa e da produtividade das plantas (BRIAT et al., 2010), a homeostase do ferro é extremamente importante e depende da espécie ou do genótipo vegetal, do solo, época do ano, da idade do vegetal e ainda, de acordo, com o órgão ou tecido da planta (BUCHANAN; GRUISSEN; JONES, 2002; FAGERIA et al., 2008). Por isso, o balanço do Fe deve ser controlado, pois tanto a deficiência como a toxicidade afetam o metabolismo vegetal (PEREIRA et al., 2013), e assim o desenvolvimento e crescimento das plantas (BRIAT et al., 2010; KUKI et al., 2008a, 2008b). Nos ecossistemas, o excesso de Fe pode alterar a ciclagem de nutrientes, provocar redução do crescimento, da floração e da frutificação (GRANTZ; GARNER; JHONSON, 2003). Nos vegetais, os danos causados pela toxicidade do Fe podem ser diretos, por meio da absorção e acúmulo excessivo do nutriente, ou indiretos, quando altos teores de Fe na solução do solo resultam na precipitação sobre as raízes, formando uma crosta de óxido férrico, o que altera a absorção de outros nutrientes como P, K e Zn (BECKER; ASCH, 2005).

Nas plantas, o Fe é necessário na respiração e na fotossíntese, na qual participa de transferência de elétrons por meio de reações redox reversíveis e nas conversões entre Fe^{2+} e Fe^{3+} (KIM; GUERINOT, 2007). Em condições aeróbicas no solo, o Fe está presente na forma de óxidos e hidróxidos, que são muito insolúveis, ou na forma de quelatos orgânicos de íon férrico (Fe^{3+}). Portanto, a concentração de Fe disponível na maioria dos solos é muito baixa, e as plantas desenvolveram mecanismos de mobilização e absorção deste nutriente pelas raízes (EPSTEIN; BLOOM, 2005).

Poucos são os estudos sobre o estresse provocado pelo excesso de Fe em espécies vegetais,

como é o caso do café, e em especial em solos sujeitos à hipoxia/anoxia. Em indivíduos adultos, tal exposição pode afetar os processos metabólicos, resultando numa menor produtividade e vigor, necessários ao crescimento e à ocorrência das fenofases da cultura (THOMPSON et al., 1984). Objetivou-se, neste estudo, avaliar os impactos da concentração de ferro nos tecidos vegetais (raízes, caules, folhas, grãos e cascas), na floração e na produtividade de lavouras de café conilon clonal (*C. canephora*) cultivadas na Região dos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo, em ambientes de baixada e encosta.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Descrição das áreas de estudo

O estudo foi realizado em três propriedades produtoras de café conilon, localizadas no Sul do estado do Espírito Santo. Os solos das áreas de estudo são do tipo Argissolo (EMBRAPA, 2013) (Tabela 1) e o clima é tropical com estação seca de inverno e chuvas de verão, segundo a classificação de Köppen. As características do clima, conforme a estação meteorológica do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) do município de Alfredo Chaves, (coordenadas: Lat: 20,6364 S, Long: 40,7414 W e altitude de 35 m) são: a temperatura (°C) média de 2013 e 2014 foi de 23,8 e 23,5; a mínima de 16,9 e 17,3 e a máxima de 33,8 e 33,8, respectivamente. A umidade relativa média de 2013 e 2014 foi de 73,7 e 69,6%, respectivamente e a precipitação (mm) foi de 2007,6 e 993,2, respectivamente.

Para as 6 áreas (3 de ambiente de baixada e 3 de ambiente de encosta), o espaçamento foi o mesmo (2,5x1,5 m). Para as avaliações, foram delimitados 4 blocos ao acaso com 4 repetições de 10 plantas, para todas as lavouras de café conilon variedade G35, sendo avaliadas somente as 8 plantas centrais. Os tratos culturais das lavouras, durante os dois anos do estudo, foram podas anuais para a retirada de ramos ladrões; uma adubação com 20-05-20 e duas adubações com 20-00-20, conforme a produtividade esperada das lavouras, de acordo com recomendação (PREZOTTI et al., 2007); uma capina manual e duas capinas químicas com o ativo Glyphosate, na dose de 1,0 L/ha do produto comercial. Não foram aplicados micronutrientes, inseticidas ou fungicidas e nem utilizada irrigação, durante os dois anos do estudo.

TABELA 1 - Características dos locais do estudo nos 03 municípios com as coordenadas, altitude, espaçamentos, idade das lavouras, de café conilon, variedade G35, características granulométricas e da classificação textural dos solos da baixada e encosta dos três municípios dos locais do estudo.

		1- Anchieta (Rio Joeba)	2-Iconha (Córrego Jaracatiá)	3- Rio Novo do Sul (Ribeirão S. Francisco)
Coordenadas	x	315698,4	314176,1	304187,9
	y	7711952,6	7700284,2	7693892,5
Altitude (m)	Baixada	15	13	12
	Encosta	27	26	27
Espaçamento (m)		2,5 x 1,5	2,5 x 1,5	2,5 x 1,5
Idade lavoura (anos)		13	10	11
Areia (%)	Baixada	41,6	46,7	56,9
	Encosta	58,8	59,1	58,5
Silte (%)	Baixada	23	29,9	15,7
	Encosta	10,8	9,5	8,1
Argila (%)	Baixada	35,4	23,4	27,4
	Encosta	30,4	31,4	33,4
Classificação Textural	Baixada	Argilosa	Média	Média
	Encosta	Média	Média	Média

Determinação dos atributos físico-químicos do solo

As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm, dentro da projeção dos ramos da planta. Cada amostra foi composta (repetição) de 10 subamostras de cada parcela. Para as 6 lavouras de café conilon do Sul (3 de Baixada e 3 de Encosta), foram avaliadas as características granulométricas e químicas dos solos (EMBRAPA, 1997). As análises químicas do solo foram: pH, potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), alumínio (Al) enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), Matéria Orgânica (MO).

Composição mineral de raízes, caules e folhas

As amostras de raízes, caules e folhas foram coletadas nos períodos de inverno e de verão, nas safras de 2013 e de 2014, e os frutos, nas safras de 2013 e de 2014, no inverno. Foram coletados os 3° e 4° pares de folhas de ramos produtivos do terço médio da planta e os caules foram os ramos onde se coletaram as folhas. Após a coleta, raízes, folhas e caules frescos foram secados em estufa de circulação forçada, durante 48 horas, a 60-70 °C. Os frutos foram secados ao sol até atingirem 12% de umidade. Depois, raízes, ramos, folhas,

grãos e cascas foram moídos para a análise da composição mineral, que foi realizada, utilizando-se metodologia de Tedesco et al. (1995), e os teores de nutrientes foram determinados em mg.kg⁻¹ dos seguintes elementos: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Fenologia e produtividade das plantas

No campo, foram analisados o Número de Frutos Totais/Ramo (NFT); Número de Frutos Médios/Roseta (NFMR) e o Número de Rosetas (NR) em 40 plantas, para caracterizar o vingamento da floração. Para a avaliação da produtividade (sacas beneficiadas/hectare) da lavoura, foi realizada a colheita manual nas 08 plantas/parcela nas 04 repetições nas safras de 2013 e 2014. Amostras médias de 2,0 kg/parcela foram retiradas, secadas ao sol até a umidade de 12%, beneficiadas e transformadas em sacas/hectare de acordo com o rendimento das parcelas.

Análise estatística dos dados

Para a análise dos dados da concentração dos nutrientes nas raízes, caules e folhas das plantas das lavouras de café conilon da baixada e da encosta, assim como, a composição mineral dos solos das áreas de café conilon da baixada e

da encosta, da baixada natural, do pasto e da mata, foi utilizada a Análise de Componentes Principais (PCA).

O Teste *t* foi usado para comparação das médias dos ambientes (baixada e encosta) entre o acúmulo médio de nutrientes e a relação do ferro com os demais nutrientes nos órgãos vegetais; na produtividade, Número de Frutos Totais (NFT), Número de Frutos Médios/Roseta (NFMR) e no Número de Rosetas (NR) pelo programa Statistica 12.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concentração de nutrientes nos órgãos vegetais de *C. canephora* em ambientes de baixada e encosta

Com a Análise dos Componentes Principais procurou-se resumir os nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn) em variáveis compostas, tornando mais simples a avaliação do acúmulo dos nutrientes, em função do órgão vegetal. Os dois eixos (variáveis compostas) das variáveis dos nutrientes explicaram 68,24% e 73,78 da variabilidade dos dados de café conilon da baixada e da encosta, respectivamente (Figura 1).

A PCA mostrou que, nas plantas de café conilon, cultivadas na baixada (Figura 1A) houve uma maior concentração dos nutrientes Fe, Zn, Cu, Mn e S no sistema radicular. Houve uma diminuição dos níveis de N e um aumento da concentração de Ca e de B nas folhas. O K acumulou mais nos grãos e na casca dos frutos e o P acumulou mais nos caules (ramos plagiotrópicos) das plantas de café conilon. Os dois eixos (variáveis compostas) foram significativos e explicaram 68,24% da variabilidade dos dados (Figura 1A e Tabela 2).

Para as plantas de café conilon cultivadas em ambiente de encosta, observamos, pela análise da PCA, que os elementos minerais Zn e Fe também se concentraram nas raízes das plantas. Um outro grupo de nutrientes: Mg, Mn, Cu, S, Ca, P, N e B se concentrou mais nas folhas e somente o K predominou nos grãos e na casca do café. Os dois eixos (variáveis compostas) explicaram 73,8% da variabilidade dos dados (Figura 1B e Tabela 2).

Quando compararmos os dois ambientes estudados, verificamos que o café conilon, cultivado na baixada, obteve 53,4%, 71,6%, 25,9%, 213,0% e 48,2% maior acúmulo de ferro do que o café conilon cultivado na encosta para raízes, folhas, caules, grãos e cascas, respectivamente; e que, no ambiente de baixada ocorreu diferença significativa da concentração do Fe para todos os

órgãos avaliados, comparados com o ambiente de encosta (Tabela 2). Observações visuais no campo mostraram que as plantas de baixada tinham as raízes mais escurecidas. A deposição de Fe nas raízes as tornam mais escurecidas, curtas, finas, rígidas e quebradiças (LIU et al., 2008; SILVA et al., 2012).

Café conilon é uma variedade de alto potencial produtivo, principalmente aqueles de seleções genéticas, o que demanda alta exigência nutricional. Trabalho realizado por Bragança et al. (2007), mostrou que a sequência de acúmulo de nutrientes pelo café conilon foi $N > Ca > K > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > Cu$. Entre eles, o Ferro é importante na fotossíntese e biossíntese de proteínas e clorofila. Porém, em solos inundados, ocorre um aumento expressivo na disponibilidade de Fe e Mn, podendo causar toxidez às plantas (PREZOTTI et al., 2007). De acordo com as classes de interpretação, para micronutrientes disponíveis no solo, o Fe pelo método Mehlich-1 é considerado alto acima de 45 mg.dm⁻³ e, na folha, maior que 131 mg.Kg⁻¹ (PREZOTTI; MARTINS, 2013). Este estudo encontrou valores médios de 166 mg.Kg⁻¹ de Fe (Tabela 2), porém foram obtidos valores de até 346 mg.Kg⁻¹ de Fe nas folhas de café conilon, cultivado em ambiente de baixada.

Em ambientes de solos de baixada úmida, há uma diminuição da difusão do oxigênio atmosférico (hipoxia). Nestes casos, ocorre o consumo do oxigênio dissolvido na água pelos microorganismos aeróbicos, que depois são substituídos pelos anaeróbicos, provocando, no ambiente, acúmulo de CO₂ (GROTZ; GUERINOT, 2006). Nestas condições, há diminuição do pH, o que favorece a redução de metais, como o do ferro ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$), tornando-os disponíveis em altas concentrações para as plantas com potencial de toxidez (AUDEBERT; FOFANA, 2009; BECKER; ASCH, 2005; SAHRAWAT, 2005). Nos solos dos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo, é comum ocorrer períodos, durante o ano, nos quais se verifica o encharcamento (hipoxia) destes solos, momento em que o ferro pode ficar na forma reduzida e causar acúmulo nas raízes.

Vários estudos relatam que o excesso de Fe promove desordens nutricionais nas plantas (AUDEBERT; FOFANA, 2009; OLALEYE et al., 2009; SILVEIRA et al., 2007), o que pode causar o desequilíbrio fisiológico. Silveira et al. (2007) verificaram uma diminuição na absorção de K, Ca e Mg em arroz e Schmidt (2003) relataram que o excesso de ferro pode influenciar na absorção de

Mn, Zn, Cu, P, Cobalto (Co) e cálcio no solo. Neste estudo, observamos pela PCA que as plantas de café conilon cultivadas na baixada (Figura 1A) tiveram maior concentração dos nutrientes Fe, Zn, Cu, Mn e S no sistema radicular. Müller et al. (2015) observaram que o acúmulo do K nas raízes de plantas de arroz foi reduzido, e que os níveis de Ca e Mg nas folhas também foram reduzidos, o que também observamos de forma semelhante em plantas de café de baixada, comparadas com as de encosta. O presente estudo mostrou maior acúmulo de ferro para todos os órgãos avaliados (raízes, folhas, caules, grãos e cascas) de café conilon cultivado na baixada, comparados com

café conilon de encosta, sendo que as raízes acumularam, aproximadamente, 95% do total de ferro absorvido, e que, café conilon na baixada acumulou 53,4% mais ferro nas raízes do que o café conilon cultivado na encosta. No estudo de Bragança et al. (2007), café conilon com seis anos de idade, cultivado em solo latossolo, acumulou 4.716,05 mg/planta de ferro, equivalente a 10,48 kg.ha⁻¹, sendo que, deste total, avaliado em mg/planta, aproximadamente 3.390 (72%); 434 (9%); 370 (8%); 366 (8%) e 156 (3%) foram acumulados em raízes, tronco + ramos ortotrópicos, folhas, frutos e ramos plagiotrópicos.

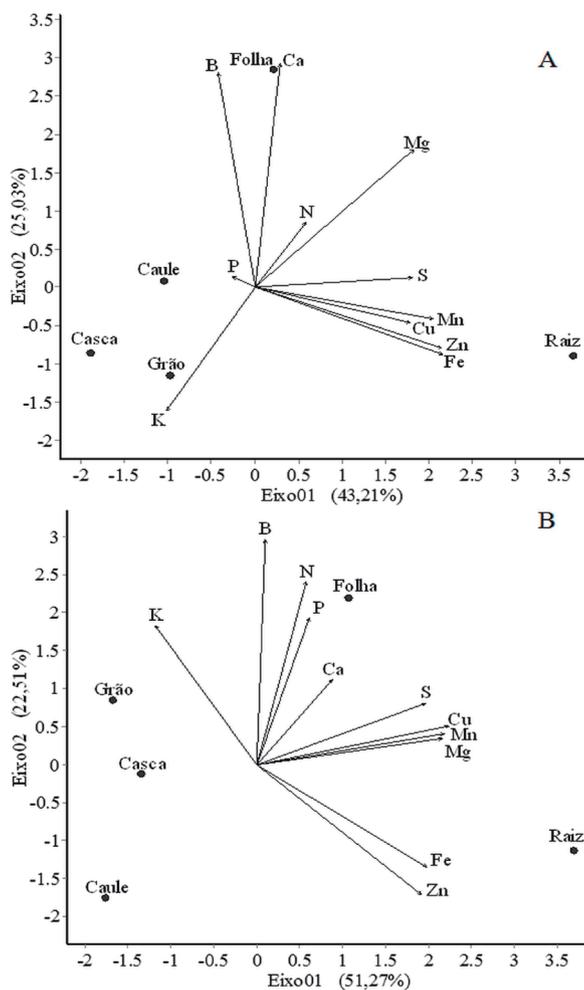


FIGURA 1 - Disposição vetorial das variáveis dos nutrientes: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S) em dag.Kg⁻¹ e Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn) em mg.Kg⁻¹, de acordo com os dois componentes principais da PCA; e distribuição dos resultados das amostras em relação aos componentes quanto ao órgão vegetal analisado: raiz, ramo, folha, casca e grão em lavouras de café conilon variedade G35 em 2013 e 2014 nos municípios de Anchieta, Iconha e Rio Novo do Sul, nos ambientes de Baixada (A) e Encosta (B), ES. n=8.

TABELA 2 - Acúmulo médio dos nutrientes nos órgãos vegetais (raiz, folha, caule, grãos e casca) dos anos de 2013 e 2014, em lavouras de café conilon, cultivar G35 de baixada e de encosta dos municípios de Anchieta, Iconha e Rio Novo do Sul, ES. n=8.

Órgão Vegetal	Local	g.kg ⁻¹						mg.kg ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Raiz	Baixada	17,4	1,1	8,4	8,3	5,1	2,8	7684*	24,3	78,0	89,7	25,7
	Encosta	16,8	1,1	9,0	9,5	5,0	2,9	5008	29,3	86,3	72,7	25,1
Folha	Baixada	20,8	1,3	8,2*	23,4	5,3*	2,3	166*	16,7	15,0	40,7	94,5
	Encosta	20,8	1,2	12,1	19,4	4,0	2,2	96,7	23,0	13,0	51,7	82,3
Caule	Baixada	15,1	0,7	7,7	13,1	2,6*	1,2	16,0*	17,3	26,7	17,3	37,0
	Encosta	12,8	0,2	9,1	11,7	1,9	1,1	12,7	10,0	23,3	12,7	30,8
Grão	Baixada	22,9	1,2	19,7	3,6	2,1*	2,0	51,2*	20,5*	15,9*	23,8	36,5
	Encosta	21,4	1,1	19,5	3,4	1,7	1,9	24,0	12,1	7,3	17,7	37,9
Casca	Baixada	10,3	1,5	13,6	5,2	1,3	1,9	113,8*	9,9	7,1	40,0	45,0
	Encosta	11,2	1,5	14,5	4,6	1,2	2,0	76,8	11,5	8,3	33,5	41,1

*Significativo a 5,0%.

O teste “t” a 1,0% na Tabela 3, indica que ocorreu diferença significativa entre a relação do Ferro com todos os nutrientes entre os ambientes de cultivo avaliados, tanto em folhas, como em raízes, sendo que, ambas as lavouras foram adubadas com o mesmo formulado e de acordo com a produtividade esperada de cada ano. A relação do Ferro nas folhas e raízes com os demais nutrientes foi maior nas lavouras de café conilon de baixada para todos os nutrientes avaliados, o que mostra que, nestes ambientes, ocorre um forte processo de oxirredução e a disponibilidade do Fe²⁺ é grande; resultando na sua consequente absorção pelas plantas.

Os resultados de Partelli et al. (2006) concluíram que não houve diferenças nas relações do Ferro com macro e micronutrientes, avaliados nas folhas entre lavouras de cultivo orgânicas e convencionais. Este estudo mostra que as relações entre Fe/N, Fe/P, Fe/K e Fe/Mn nas folhas apresentou resultados maiores da ordem de 95%, 85%, 94% e 484% respectivamente, quando comparados aos resultados de Partelli et al. (2006) para as lavouras orgânicas. Porém, as lavouras de baixada deste estudo tiveram relação entre Fe/Mg e Fe/B maiores que as lavouras de cultivo convencional; relação Fe/S maiores que as lavouras convencionais e orgânicas; relação Fe/B maior do que as lavouras convencionais e relação Fe/Cu e Fe/Zn maiores que as lavouras orgânicas. Entretanto, as lavouras de encosta tiveram relação

Fe/Mg, Fe/S, Fe/B, Fe/Cu e Fe/Zn menor que lavouras de cultivo convencionais e orgânicas que aqueles encontrados por Partelli et al. (2006). Jucoski et al. (2013) no seu estudo obtiveram uma relação entre o teor de Fe nas raízes/teor de Fe nas folhas de 5,7; indicando alta relação. Neste estudo, obtivemos uma relação de 46,2 vezes para as plantas de café conilon de baixada e 51,7 para as de encosta.

Composição mineral entre os ambientes estudados

A análise de PCA mostrou que para o grupo café conilon na baixada ocorreu uma maior concentração dos nutrientes Cu, P e Zn no solo das plantas avaliadas. Para o grupo de café conilon na encosta houve uma maior concentração das três bases trocáveis Ca, Mg e K, além do pH, que também foi maior neste local. A região avaliada de mata natural (fragmentos restantes) que ocorre nessa Região dos Tabuleiros Costeiros teve uma maior concentração de Mn, B. Na região considerada natural de baixada ocorreu predominância do Fe, Al e MO. No pasto, houve uma predominância do elemento B (Tabela 4 e Figura 2).

Neste estudo, observamos que, tanto café conilon na baixada, como café conilon na encosta acumularam mais ferro nas raízes, sendo que o acúmulo foi maior nas plantas de café conilon de ambiente de baixada.

TABELA 3 - Média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) da relação do Ferro com macro e micronutrientes, em folhas e raízes de lavouras de café conilon, cultivar G35 de ambientes de baixada e encosta, e a verificação da diferença entre elas, pelo teste “t” de Student.

Órgão vegetal	Relação	Lavoura						Teste T
		Baixada			Encosta			
		Média	Desvio padrão	CV	Média	Desvio padrão	CV	
Folha	Fe/N	8,0	0,7	8,8	4,7	0,3	5,8	*
	Fe/P	128,9	6,8	5,3	81,0	4,1	5,1	*
	Fe/K	20,4	1,6	7,9	8,0	0,4	5,1	*
	Fe/Ca	7,1	0,6	8,9	5,0	0,4	7,4	*
	Fe/Mg	31,1	1,7	5,4	24,1	1,6	6,4	*
	Fe/S	72,8	5,7	7,8	42,9	2,0	4,7	*
	Fe/B	1,8	0,2	12,4	1,2	0,1	10,2	*
	Fe/Cu	10,1	1,3	12,4	4,2	0,4	8,3	*
	Fe/Mn	4,1	0,6	13,3	1,9	0,2	9,0	*
	Fe/Zn	11,2	1,1	10,0	7,5	0,5	6,8	*
Raiz	Fe/N	446,9	65,1	14,6	309,9	43,5	14,0	*
	Fe/P	7050,4	1057,3	15,0	4516,8	1053,1	23,3	*
	Fe/K	918,9	128,1	13,9	597,6	198,3	33,2	*
	Fe/Ca	949,5	175,8	18,5	540,1	132,3	24,5	*
	Fe/Mg	1512,0	123,8	8,2	1023,4	138,3	13,5	*
	Fe/S	2798,3	527,8	18,9	1738,6	224,6	12,9	*
	Fe/B	321,0	40,5	12,6	173,3	25,2	14,5	*
	Fe/Cu	95,0	7,8	8,2	58,3	5,3	9,1	*
	Fe/Mn	85,8	5,8	6,8	69,1	4,0	5,8	*
	Fe/Zn	320,6	60,3	18,8	202,9	39,2	19,3	*

*Significativo 1,0%.

TABELA 4 - Média da composição mineral dos solo dos anos de 2013 e 2014, em lavouras de café conilon, cultivar G35 de baixada e encosta dos municípios de Anchieta, Iconha e Rio Novo do Sul, ES.

Local	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	MO	Zn	Fe	Mn	Cu	B	
		mg/dm ³			cmol _c /dm ³			dag/Kg	mg/dm ³					
Conilon	Baixada	5,5	62,0	61,0	11,0	2,0	0,5	1,0	3,2	4,5	195,0	19,7	1,5	0,2
	Encosta	6,3	35,7	89,0	10,7	3,6	1,0	0,0	2,5	5,6	48,6	33,2	0,9	0,2
Natural Baixada		4,7	10,7	31,7	28,0	0,9	0,1	1,4	4,2	3,9	591,3	22,0	0,9	0,3
Pasto		5,2	2,3	23,0	15,7	0,7	0,3	0,6	2,1	1,3	212,3	22,3	0,7	0,3
Mata		5,0	9,0	95,0	43,3	1,4	0,7	0,6	2,9	2,0	188,0	74,0	0,5	0,4

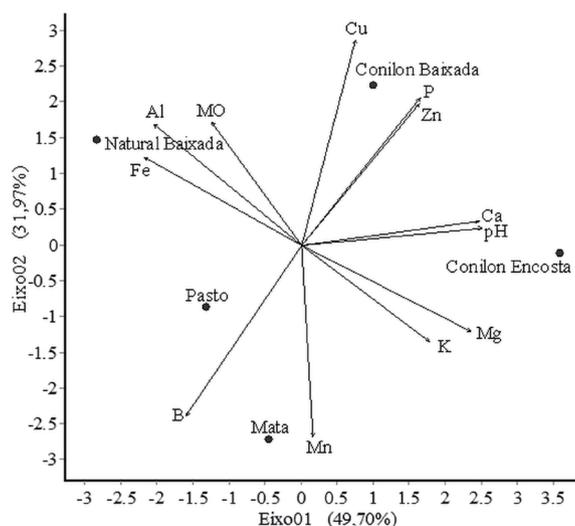


FIGURA 2 - Disposição vetorial das variáveis dos nutrientes: potássio (K), fósforo (P), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e sódio em $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) e Alumínio (Al) em $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$, pH e Matéria Orgânica (MO), em $\text{dag} \cdot \text{Kg}^{-1}$, de acordo com os dois componentes principais da PCA; e distribuição das amostras em relação aos componentes, quanto ao local da amostragem de solo: de café conilon cultivar G35 de baixada e encosta, mata nativa, pasto e natural baixada, nos anos de 2013 e 2014, nos municípios de Anchieta, Iconha e Rio Novo do Sul, ES. $n=8$.

A alta concentração de Fe^{2+} na solução inibe a formação de raízes novas e ocorre a deposição de uma camada de óxidos sobre as raízes, o que diminui a capacidade de absorção de nutrientes e a produção de grãos (BECKER; ASCH, 2005; DORLODOT; LUTTS; BERTIN, 2005). Os resultados da PCA deste estudo mostram que P e K, em café de baixada, acumularam mais no caule e nos grãos, respectivamente, enquanto que, em cafés na encosta, houve uma maior translocação de P para a folha e K para grãos e folhas.

A toxicidade de ferro, conforme descreve Ottow, Benckiser e Watanabe (1982) pode ser considerada como um distúrbio nutricional geral, pois envolve vários elementos. A disponibilidade de P, Mo e Al pode ser afetada como resultado da redução do ferro e a absorção de K, Zn e Mn podem ser prejudicadas como resultado da acumulação do ferro na rizosfera. Neste estudo, observamos que as lavouras de café conilon da baixada acumularam mais ferro nos órgãos vegetais analisados quando comparadas com as de encosta.

Ferro reduzido (Fe^{2+}) aumenta a disponibilidade de P e tem interações de antagonismo com elementos catiônicos como Mn, Zn e K, ou seja, aumentada a concentração de ferro pode ocorrer deficiência de Mn, Zn e K (FAGERIA, 1988). A redução do ferro pode exercer um efeito antagonista direto na absorção de Zn e na

formação de placas de ferro, que são da oxidação de ferro, ao redor das raízes e podem reduzir a concentração do Zn, e formando ZnFe_2O_4 , que é moderadamente solúvel (SAJWAN; LINDSAY, 1988). A absorção de K ocorre similarmente ao Zn e é afetada pelo excesso de Fe^{2+} na solução do solo (JUGSUJINDA; PATRICK JUNIOR, 1993). Porém, pela alta diversidade de solos e condições ambientais que podem afetar a taxa de redução e a quantidade de Fe^{2+} na solução do solo, são necessários cuidados na intervenção para melhorar as condições dos ambientes com ferro tóxico, como as que podem ocorrer nos solos dos Tabuleiros Costeiros, do estado do Espírito Santo.

Produtividade de *C. canephora* em ambientes de baixada e encosta

Na avaliação média das safras de 2013 e 2014, observamos que, para o Número de Frutos Totais (NFT), Número de Rosetas (NR), Número de Frutos Médios/Roseta (NFMR) e para a Produtividade (sacas beneficiadas/hectare), os resultados foram maiores e significativos para as lavouras de café implantadas em solos de ambiente de encosta. A produtividade média das duas safras de 2013 e 2014 foi 27,5% maior e o Número de Rosetas (NR) foi também 27,0% superior nas lavouras, implantadas na região de ambiente de encosta (Figura 3).

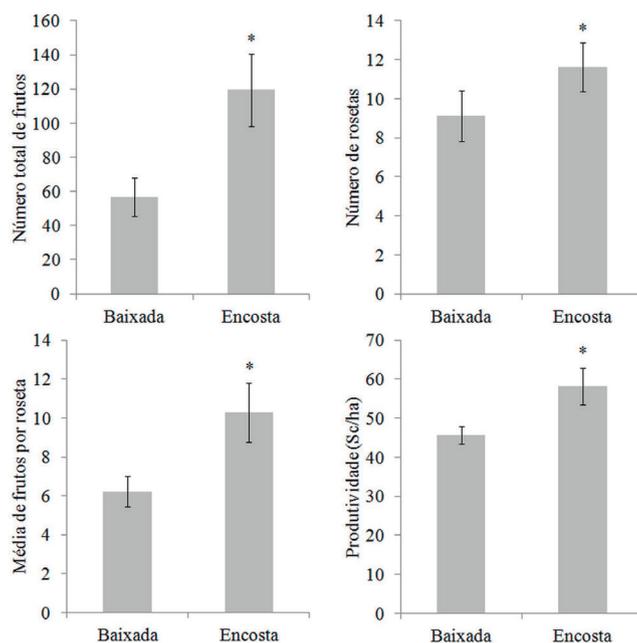


FIGURA 3 - Valores médios da Produtividade (Sc/hectare), Número de Frutos Totais (NFT); do Número de Frutos Médios/Roseta (NFMR) e do Número de Rosetas (NR) das safras de 2013 e 2014, de lavouras de café conilon, cultivar G35 de áreas de baixada e de encosta, nos municípios de Anchieta, Iconha e Rio Novo do Sul, ES. *Significativo ao nível de 1%, pelo Teste *t*. n=8.

Vários fatores são responsáveis pela toxicidade de ferro em baixada, com destaque para a condição anóxica e fatores edáficos. Estas alterações fisiológicas da toxicidade de ferro, em culturas, fazem diminuir o crescimento e a produção, sendo que, na África Ocidental, dados mostram uma redução na produção de arroz de 12-100%, devido à toxicidade de ferro (MEHRABAN; ZADEH; SADEGHIPOUR, 2008; SAHRAWAT, 2004). Porém, quando se utilizaram variedades selecionadas, resistentes ao excesso de ferro, ocorreu uma melhora do efeito negativo na produtividade em arroz (NOZOE et al., 2008; SILVEIRA et al., 2007). Em condições tropicais naturais, a maior precipitação, o pH do solo baixo e a alta concentração de Matéria Orgânica (MO), como os dados apresentados na Tabela 4, nos solos naturais de baixada pode contribuir para uma maior redução do ferro. Fageria et al. (2008) relatam que a toxicidade de ferro resultou na redução na altura e perfilhamento de plantas de arroz irrigado. A explicação é o efeito antagonista da absorção de ferro na disponibilidade de outros nutrientes essenciais como o K, Zn e Mn, o que pode causar desordem nutricional. Aderibigbe et al. (2015) verificaram interação significativa e positiva do N e a produtividade, sendo que o aumento de doses

de N inorgânico até 120 kg.ha⁻¹ tiveram efeito positivo na redução da influência da toxicidade do ferro na fase de crescimento das plantas e aumento da produtividade, porém o mesmo não ocorreu para o P. Jucoski et al. (2013) verificaram forte redução no crescimento de plantas de *Eugenia uniflora* L., em solução nutritiva com níveis elevados de ferro (1,0 e 2,0 mM) e a absorção elevada de ferro causou redução de P, Zn, Mn e Cu. Nguyen, Hiep e Fujita (2005) testaram o efeito combinado de ferro e de alumínio e observaram decréscimo na produção de matéria seca de folhas, caule e raízes de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh à medida que aumentaram a concentração de Fe na solução nutritiva. Em *Solanum tuberosum* L., Chatteree, Gopal e Dube (2006) verificaram queda de 70% na produção de matéria seca, quando as plantas foram expostas a 2,0 mM de Fe. Ismunadji, Ardjasa e Von Uexkull (1989) dizem que a melhoria da drenagem, equilíbrio na adubação, adição de matéria orgânica e calagem são medidas que devem ser adotadas para aumentar a colheita de arroz em terras que apresentam altas concentrações de ferro; medidas estas que também podem ser tomadas para as lavouras de café já implantadas em ambientes de baixada que estão sujeitas ao encharcamento, mesmo que, por

apenas um período do ano. Em visitas a lavouras de café conilon no Sul e no Norte do estado do Espírito Santo, verificamos que produtores que plantaram café conilon em áreas de tabuleiros costeiros utilizaram a técnica do plantio em cima do camalhão para evitar o excesso de umidade nas raízes e suas conseqüências aqui relatadas. Porém, observamos que, com os anos, alguns produtores já eliminaram lavouras de café nestas áreas e outros que irrigam com água, que também contém excesso de Ferro, estão tendo problemas sérios de manejo da cultura.

Para evitar prejuízos significativos na produtividade, é necessário o estudo do local antes da implantação de qualquer cultivo nestes ambientes em que ocorrem processos de oxirredução. Para culturas já instaladas, medidas no manejo das propriedades físico-químicas do solo devem ser adotadas para a sustentabilidade de cultivo, nestes ecossistemas.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que as altas concentrações de ferro em raízes, caules e folhas podem influenciar negativamente na produtividade das lavouras de café conilon, implantadas em ambientes de baixada (hipoxia) nos solos dos Tabuleiros Costeiros, do estado do Espírito Santo.

5 REFERÊNCIAS

- ADERIBIGBE, S. G et al. Yield and iron toxicity response of Rice cultivars to nitrogen and phosphorus application rates in lowland ecology of Moist Savanna of Northern Nigeria. **Journal of Agricultural Studies**, Las Vegas, v. 3, p. 114-128, 2015.
- ALEXANDRE, J. R. et al. Zinco e ferro: de micronutrientes a contaminantes do solo Zinc and iron : micronutrients to soil contaminants. **Natureza Online**, Las Vegas, v. 10, p. 23-28, 2012.
- AUDEBERT, A.; FOFANA, M. Rice yield gap due to iron toxicity in West Africa. **Journal of Agronomy & Crop Science**, Weinheim, v. 195, p. 66-76, 2009.
- BECKER, M.; ASCH, F. Iron toxicity in rice: conditions and menegement concepts. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 168, p. 558-573, 2005.
- BRAGANÇA, S. M. et al. Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 54, p. 398-404, 2007.
- BRIAT, J. F. et al. Ferritins and iron storage in plants. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1800, p. 806-814, 2010.
- BUCHANAN, B. B.; GRUISSSEN, W.; JONES, R. L. **Biochemistry and molecular biology of plants**. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2002.
- CHATTERJEE, C.; GOPAL, R.; DUBE, B. K. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 108, p. 1-6, 2006.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira, monitoramento agrícola café, safra 2015: terceira levantamento**. Brasília, 2015.
- DORLODOT, S.; LUTTS, S.; BERTIN, P. Effects of ferrous iron toxicity on the growth and mineral composition of an interspecific rice. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v. 28, p. 1-20, 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. 2nd ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2005. 380 p.
- FAGERIA, N. K. Influence of iron on nutrient uptake by rice. **International Rice Research Newsletter**, Manila, v. 13, p. 20-21, 1988.
- FAGERIA, N. K. et al. Iron toxicity in lowland rice. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v. 31, p. 1676-1697, 2008.
- GRANTZ, D. A.; GARNER, J. H. B.; JOHNSON, D. W. Ecological effects of particulate matter. **Environment International**, Oxford, v. 29, p. 213-239, 2003.
- GROTZ, N.; GUERINOT, M. L. Molecular aspects of Cu, Fe and Zn homeostasis in plants. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 1763, p. 595-608, 2006.

- ISMUNADJI, M.; ARDJASA, W. S.; VON UEXKULL, H. R. Increasing productivity of lowland rice grown on iron toxic soils. In: DETURK, P.; PONNAMPERUMA, F. (Ed.). **Rice production on acid soils of the tropics**. Sri Lanka: Institute of Fundamental Study, 1989. p. 205-211.
- JUCOSKI, G. O. et al. Impacto f iron toxicity on oxidative metabolism in young *Eugenia uniflora* L. plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 35, p. 1645-1657, 2013.
- JUGSUJINDA, A.; PATRICK JUNIOR, W. H. Evaluation of toxic conditions associated with orange symptoms of rice in a flooded Oxisol in Sumatra, Indonesia. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 152, p. 237-243, 1993.
- KIM, S. A.; GUERINOT, M. L. Minin iron uptake and transport in plants. **FEBS Letters**, Amsterdam, v. 581, p. 2273-2280, 2007.
- KUKI, K. N. et al. Effects of simulated deposition of acid mist and iron ore particulate matter on photosynthesis and the generation of oxidative stress in *Schinus terebinthifolius* Radii and *Sophora tomentosa* L. **Science of Total Environment**, Amsterdam, v. 403, p. 207-214, 2008a.
- _____. Iron or industry emissions as a potential ecological risk factor for tropical coastal vegetation. **Environmental Management**, New York, v. 42, p. 111-121, 2008b.
- LIMA, H. et al. Index of soil physical quality of hardsetting soils on the brazilian coast. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1722-1730, 2014.
- LIU, H. et al. Influence of iron plaque on uptake and accumulation of Cd by rice (*Oryza sativa* L.) seedlings grown in soil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 394, p. 361-368, 2008.
- MEHRABAN, P.; ZADEH, A. A.; SADEGHIPOUR, H. R. Iron toxicity in rice (*Oryza sativa* L.) under different potassium nutrition. **Asian Journal of Plant Sciences**, Faisalabad, v. 7, p. 251-259, 2008.
- MÜLLER, C. et al. Differential physiological responses in rice upon exposure to excess distinct iron forms. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 391, p. 123-138, 2015.
- NGUYEN, N. T.; HIEP, N. D.; FUJITA, K. Iron enhances aluminum-induced leaf necrosis and plant growth inhibition in *Eucalyptus camaldulensis*. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 277, p. 139-152, 2005.
- NOZOE, T. et al. Characteristics of iron tolerant rice lines developed at IRRI under field conditions. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Ibaraki, v. 42, p. 187-192, 2008.
- OLALEYE, A. O. et al. Elemental composition of two rice cultivars under potentially toxic on aquept and aquent. **Notulae Scientia Biologicae**, Cluj-Napoca, v. 1, p. 46-49, 2009.
- OTTOW, J. C. G.; BENCKISER, G.; WATANABE, I. Is iron toxicity of rice the result of a multiple nutritional stress? **Plant Research and Development**, Tübingen, v. 17, p. 96-109, 1982.
- PARTELLI, F. L. et al. Estabelecimento de normas DRIS em cafeeiro conilon orgânico ou convencional no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 443-451, 2006.
- PREZOTTI, L. C. et al. Calagem e adubação. In: FERRÃO, R. G. et al. (Ed.). **Café conilon**. Vitória: Incaper, 2007. p. 331-373.
- _____. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo: 5ª aproximação**. Vitória: SEEA, 2007. 305 p.
- PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória: Incaper, 2013. 104 p.
- PEREIRA, E. G. et al. Iron excess affects Rice photosynthesis through stomatal and non-stomatal limitations. **Plant Science**, County Clare, v. 201/202, p. 81-92, 2013.
- SAHRAWAT, K. L. Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v. 27, p. 1471-1504, 2004.
- _____. Managing iron toxicity in lowland rice: the role of tolerant genotypes and plant nutrients. In: TORIYAMA, K.; HEONG, K. L.; HARDY, B. (Ed.). **Rice is life: scientific perspectives for the 21st century: proceedings of the World Rice Research Conference**. Tsukuba: IRRI, 2005. p. 452-454.

- SAJWAN, K. S.; LINDSAY, W. L. Effects of redox on zinc deficiency in paddy rice. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 50, p. 1264-1269, 1988.
- SCHMIDT, W. Iron solutions: acquisition strategies and signaling pathways in plants. **Trends in Plant Science**, London, v. 8, p. 188-193, 2003.
- SILVA, A. I. S. et al. Iron plaque formation and morphoanatomy of roots from species of restinga subjected to excess iron. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, San Diego, v. 78, p. 265-275, 2012.
- SILVEIRA, V. C. et al. Influence of iron on mineral status of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 19, p. 127-139, 2007.
- SOBRAL, L. F.; CINTRA, F. L. D.; SMYTH, J. T. Lime and gypsum to improve root depth of orange crop in an Ultisol of the Coastal Tablelands. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 836-839, 2009.
- SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S. **Irrigação nos tabuleiros costeiros no nordeste do Brasil**: portal do agronegócio. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).
- THOMPSON, J. R. et al. The effect of dust on photosynthesis and its significance for roadside plants. **Environmental Pollution (Series A)**, London, v. 34, p. 171-190, 1984.