

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

PAULO ALFREDO DE SANTANA DANTAS

**RELAÇÃO ENTRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO
DO CACAUEIRO NO SUL DA BAHIA**

Ilhéus - BA

2011

PAULO ALFREDO DE SANTANA DANTAS

**RELAÇÃO ENTRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO
DO CACAUEIRO NO SUL DA BAHIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, da Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas em Ambiente Tropical Úmido.

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Olímpio Souza Júnior

CO-ORIENTADORES: Prof^a. Dr^a. Agna Almeida Menezes

Prof. Dr. Fábio Pinto Gomes

Ilhéus - BA

2011

PAULO ALFREDO DE SANTANA DANTAS

**RELAÇÃO ENTRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO
DO CACAUEIRO NO SUL DA BAHIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, da Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Área de concentração: Solos e nutrição de plantas em ambiente tropical úmido.

Prof. Dr. José Olimpio Souza Júnior
DCAA – UESC (Orientador)

Prof. Dr. Fábio Pinto Gomes
DCB – UESC

Prof^a. Dr^a. Agna Almeida Menezes
DCAA – UESC

Prof. Dr. Jorge Antonio Gonzaga Santos
DCS – UFRB

AGRADECIMENTOS

A todos da minha família, em especial a meus pais – Paulo Roberto Alves Dantas e Iara Reis de Santana Dantas – e a minha irmã, Daniella de Santana Dantas.

À minha namorada Maiana Henriques Almeida.

Aos meus orientadores: José Olímpio Souza Júnior, Fábio Pinto Gomes e Agna Almeida Menezes.

Aos amigos Antonio Walter de Oliveira Rocha Júnior, Ariana Reis Messias Fernandes de Oliveira, Daniel Ornelas Ribeiro, Daniela Baldez Vidal, Gedeon Almeida Gomes Junior e Milena Araújo de Lima.

Aos produtores rurais que colaboraram com a realização deste trabalho: Antonio Souza (Fazendas Bom Futuro e Jacarandá), Celso Santana (Faz. Ubirajara), Euvaldo Filho (Conjunto Nossa Senhora de Fátima), Francisco Barbosa (Faz. Bela Floresta), Gilson Silva (Faz. Moeda), João Tavares (Faz. Leolinda), José Carlos Assis (Faz. Nova Vida), José Mendonça (Faz. Oceania), José Oliveira Filho (Faz. Santo Antônio), Marcos Aurélio Almeida (Fazendas Canaã e São José), Milton dos Santos (Faz. Deus que me deu), Pedro Antônio Mello (Fazendas Reunidas São Rafael), Pedro Caetano (Faz. Lajedo do Ouro), Roberto Vieira (Fazendas São Domingos, São Domingos II e São Domingos IV), Terezinha Souza (Faz. Sucuriú) e Walter Serra (Faz. Bom Retiro).

Ao pessoal da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Ceplac): Ana Maria Tavares, Antônio de Oliveira, Claudio Pádua, Izabel Fontes, João Marcelino de Souza, José Raimundo Góes, José Valter Costa, Márcia Barbosa, Robério Pacheco, Rosivaldo Mendes Santos, Vilma Mororó, Waldemar Barretto e Wellington Carvalho.

À Universidade Estadual de Santa Cruz.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, especialmente a Antonio Carlos Abboud, Everaldo Zonta e Jair Guedes.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	01
GENERAL ABSTRACT	03
1. INTRODUÇÃO GERAL	05
1.2. REVISÃO DE LITERATURA	07
1.2.1. O cultivo do cacau na Bahia	07
1.2.2. Avaliação da fertilidade do solo sob cacauais	08
1.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13
2. CAPÍTULO 1 – ESTIMATIVA NÃO DESTRUTIVA DO TEOR FOLIAR DE NITROGÊNIO EM CACAUEIRO UTILIZANDO CLOROFILÔMETRO	16
RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	16
2.1. INTRODUÇÃO.....	17
2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
2.4. CONCLUSÕES.....	26
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
3. CAPÍTULO 2 – DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO, POTÁSSIO, CÁLCIO E MAGNÉSIO EM SOLOS CULTIVADOS COM CACAU: EXTRATORES E PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM	30
RESUMO.....	30
ABSTRACT.....	31
3.1. INTRODUÇÃO.....	32
3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
3.3.1. Fósforo	36
3.3.2. Potássio, cálcio e magnésio	44
3.4. CONCLUSÕES.....	52
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

4. CAPÍTULO 3 – DISPONIBILIDADE DE FERRO, ZINCO, COBRE E MANGANÊS EM SOLOS CULTIVADOS COM CACAU: EXTRATORES E PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM	55
RESUMO.....	55
ABSTRACT.....	56
4.1. INTRODUÇÃO.....	57
4.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	58
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4.3.1 Comparação entre métodos de extração e profundidade de amostragem	61
4.3.2 Influência do teor de argila e fósforo remanescente na extração de Fe, Zn, Cu e Mn	66
4.3.3 Teores extraídos pelas soluções e a absorção pelas plantas	72
4.4. CONCLUSÕES.....	82
4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85

RELAÇÃO ENTRE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DO CACAUEIRO NO SUL DA BAHIA

RESUMO GERAL

Nos sistemas agrossilviculturais cria-se um ambiente de acúmulo de nutrientes na superfície do solo diferente do encontrado no sistema convencional, resultante da deposição natural dos resíduos orgânicos, da reduzida movimentação do solo e do acúmulo superficial de insumos, especialmente aqueles de baixa mobilidade no solo. O conhecimento da disponibilidade dos nutrientes no solo é fundamental para uma recomendação de adubação adequada, evitando assim problemas de deficiência ou de toxidez. Quanto ao nitrogênio (N), em particular, a substituição do método tradicional de avaliação do seu teor na planta pelo uso do medidor portátil de clorofilas do tipo SPAD (*Soil and Plant Analysis Development*) é promissor por se tratar de um aparelho portátil que estabelece um índice de modo não destrutivo, instantâneo e com menor custo. Os objetivos deste trabalho foram definir os extratores para fósforo (P), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) que melhor se correlacionem com o estado nutricional das plantas; a profundidade de amostragem de solo para avaliação da disponibilidade de P, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), Fe, Zn, Cu e Mn; e determinar a capacidade do SPAD em estimar o teor foliar de N do cacaueteiro (*Theobroma cacao*). A área de abrangência deste estudo envolve as zonas climáticas úmida e úmida a subúmida da região cacaueteira da Bahia. Foram selecionadas dez propriedades rurais, em cada zona, com lavoura em sistema agrossilvicultural sem irrigação, que não utilizam fosfato natural e que tiveram a área renovada por enxertia de broto basal com clones tolerantes à vassoura de bruxa (*Moniliophthora perniciosa*). Em cada propriedade, quatro plantas (clone PH16) com idade superior a quatro anos foram selecionadas em condições edáficas e topográficas distintas. Foram coletadas oito folhas sadias por planta e em cada uma delas foram feitas seis leituras do índice SPAD. Além disso, determinaram-se o teor de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn na folha, área foliar (AF) e a massa foliar específica (MFE). Foram coletadas amostras de solo às profundidades 0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm. Para determinação de P disponível foram utilizados os extratores Resina (RTA), Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3); para K foi utilizado o M1 e para Ca e Mg, o cloreto de potássio. Também foram determinados o pH em água e os teores de argila e de fósforo remanescente (P-Rem). Para determinação de Fe, Zn, Cu e Mn disponíveis foram utilizados os extratores M1, M3 e DTPA. O índice SPAD se correlacionou significativa e positivamente com o teor foliar de N, com a AF e negativamente com a MFE. Não houve correlação entre o conteúdo de N e o índice SPAD. O modelo de regressão linear simples para a predição do teor de N a partir do índice SPAD, sem a distinção dos ambientes foi o mais apropriado. A capacidade de extração de P no solo foi: resina de troca aniônica (RTA) > M1 > M3. Os extratores apresentaram correlações entre si variáveis em função da profundidade do solo e da zona climática. Para os nutrientes não trocáveis, seus teores extraídos pelas soluções apresentaram correlações entre si variáveis em função da profundidade e da região. O extrator de P que gerou melhores modelos entre os teores no solo e na planta foi o M1, seguido da RTA e do M3. Estimadores da capacidade tampão de P (teor de argila e P-Rem) não foram significativos quando incluídos nos modelos de teor foliar de P em função de seu teor no solo. Os valores médios de P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn e P-Rem decresceram em profundidade. Os teores de Fe extraídos por M1 e M3 aumentaram em profundidade. Para os nutrientes avaliados, a relação entre sua

disponibilidade no solo e seu teor foliar no cacaueteiro variou em função da zona climática do sul da Bahia, independente do extrator e da profundidade do solo. De modo geral, a profundidade de amostragem mais apropriada para avaliar a fertilidade do solo foi 0-10 cm, independente do nutriente, do extrator e da região. De modo geral, os maiores teores médios de Fe, Zn, Cu e Mn foram obtidos pelo extrator M3, seguido do DTPA e do M1. As correlações entre teor de argila e P-Rem x teores de Fe, Zn, Cu e Mn, de modo geral, não foram significativas. De modo geral, o extrator M1 foi o que gerou melhores correlações entre os teores de micronutrientes catiônicos no solo e na folha de cacaueteiros.

Palavras-chave: diagnóstico nutricional, SPAD, Mehlich, DTPA, resina.

RELATIONSHIP BETWEEN SOIL FERTILITY AND NUTRITION OF COCOA IN SOUTHERN BAHIA

GENERAL ABSTRACT

In agroforestry systems creates an environment of accumulation of nutrients in the soil surface different from that found in conventional systems, resulting from natural deposition of organic waste, reduced handling of the soil surface and the accumulation of inputs, especially those of low mobility in soil. Knowledge of the availability of soil nutrients is essential for a proper fertilizer recommendation, avoiding problems of toxicity or deficiency. The nitrogen (N), in particular, replacing the traditional method of evaluating its content in the plant by the use of portable chlorophyll meter SPAD-type (Soil and Plant Analysis Development) is promising because it is a portable device that provides an index nondestructively, instant and at lower cost. Our objectives were to define the extractants for phosphorus (P), iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu) and manganese (Mn) that best correlate with the nutritional status of plants, the depth of soil sampling to assess the availability of P, potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), Fe, Zn, Cu and Mn and to determine the ability of the SPAD to estimate leaf N content of cacao (*Theobroma cacao* L.). The area covered by this study involves the wet and sub-humid zones of the cocoa region of Bahia. Ten farms were selected in each area, with crops in agroforestry system without irrigation, that do not use natural phosphate and that the area had renewed for basal bud grafting with clones tolerant to witches' broom (*Moniliophthora perniciosa*). In each property, four plants (clone PH16) over the age of four years were selected in different soil conditions and topography. Eight healthy leaves were collected per plant and each of the six readings were made SPAD index. In addition, they determined the concentration of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu and Mn in the leaf, leaf area (LA) and specific leaf mass (SLM). We collected soil samples at depths 0-05, 0-10, 0-20 and 20-40 cm. For determination of available P were used for extracting resin (RTA), Mehlich-1 (M1) and Mehlich-3 (M3). M1 was used for K and potassium chloride for Ca and Mg. Were also determined pH, clay and the remaining phosphorus (P-rem). For determination of Fe, Zn, Cu and Mn were used extractors available M1, M3 and DTPA. The SPAD index correlated significantly and positively with foliar N, with the AF and negatively with the MFE. There was no correlation between N content and SPAD index. The simple linear regression model to predict the N content from SPAD index, without distinction of environments was the most appropriate. The ability to extract soil P was: anionic exchange resin RTA > M1 > M3. Extractors variables showed correlations between them depending on the depth of soil and climate zone. For non-exchangeable nutrients, their contents extracted by the solutions presented themselves entr correlations vary according to depth and region. The extractors that generated the best models among the levels in soil and plant was the M1, followed by the RTA and the M3. Estimation of the buffering capacity of P (clay content and P-Rem) were not significant when included in models of foliar P in terms of their content in the soil. The average values of P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, Zn and P-Rem decreased in depth. The levels of Fe extracted by M1 and M3 increased in depth. For the nutrients, the relationship between their availability in the soil and its content in cocoa leaves varied depending on the climate zone of southern Bahia, regardless of the extractor and the soil depth. In general, the sampling depth is most appropriate for assessing the fertility of the soil was 0-10 cm, regardless of the

nutrient, the extractor and the region. In general, the highest average levels of Fe, Zn, Cu and Mn were obtained by extracting M3, followed by DTPA and M1. The correlations between clay content and P-levels of Rem x Fe, Zn, Cu and Mn, in general, were not significant. In general, the extractor was M1 which generated better correlations between the concentrations of cationic micronutrients in soil and cocoa leaf.

Keywords: Nutritional diagnosis, SPAD, mehlich, DTPA, resin.

1. INTRODUÇÃO GERAL

As lavouras cacaeiras (*Theobroma cacao* L.) do sul da Bahia foram formadas com o sistema de derruba de matas – formação de cabruca. Os poucos conhecimentos obtidos, resultantes da ausência de experimentação agrícola e de uma assistência técnica efetiva, não impediram que fazendeiros fizessem dessa lavoura base econômica da região e do Estado (Vieira, 2006).

No Brasil, a principal região produtora de cacau é a sul da Bahia, responsável por 72,8% da produção nacional (Mandarino e Gomes, 2009). A lavoura canavieira e a cacaeira, na década de 1980, foram responsáveis por mais de 90% do consumo de fertilizantes no nordeste brasileiro. Nessa época, a produtividade média de cacau no sul da Bahia era de 740 kg ha⁻¹ por ano. No final da década, com o aparecimento da fitodoença vassoura-de-bruxa (*Moniliophthora perniciosa*), a produtividade média foi reduzida a 595 kg ha⁻¹ por ano e chegou a uma média de 304 kg ha⁻¹ por ano em 2007 (Almeida et al., 2003; Chepote et al., 2005). Mas este cenário não é consequência apenas da epidemia, é consequência também do abandono das lavouras ou do baixo uso de tecnologias incluindo a adubação.

Atualmente, com a identificação e uso de clones tolerantes à vassoura de bruxa e mais produtivos, o Brasil, dentre os países produtores de cacau, despontou novamente como um dos países que vêm usando com maior intensidade sistemas de produção com tecnologia moderna (Chepote et al., 2005). Tal fato pode explicar o aumento da produção brasileira de cacau nos últimos anos: em 2010 somou 199790 t de amêndoas secas, um aumento de 29,8% sobre a produção de 2009 e o melhor desempenho desde 1996 (SEAGRI, 2011).

Diante da importância do uso de corretivos e fertilizantes, para que seja possível recomendá-los, se faz necessário conhecer o nível de fertilidade do solo por meio da análise química deste. Porém, para que a interpretação e recomendação tenham validade, é preciso que haja correlação entre os valores obtidos na análise e algum indicador da planta, como a produção ou teor/conteúdo do nutriente na planta (Cantarutti et al., 2007; Schlindwein e Gianello, 2008).

O Cepec – Centro de Pesquisas do Cacau, recomenda uma profundidade de amostragem, 0-20 cm, para a análise de todos os nutrientes (Chepote et al., 2005) e utiliza extrator Mehlich-1 para determinação de fósforo (P), potássio (K), ferro (Fe), zinco (Zn),

cobre (Cu) e manganês (Mn). No entanto, na região cacauceira da Bahia, trabalhos científicos sobre este tema são praticamente inexistentes, o que, de acordo com Malavolta et al. (2002), pode comprometer a eficiência dos resultados das análises químicas de solo.

1.2. REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 O cultivo do cacau na Bahia

O cacau é originário das regiões tropicais da América Central, onde foi utilizado até como moeda pelos pipiles, povo indígena pré-colombiano de El Salvador, que com ele pagavam tributos e compravam todo tipo de mercadoria (Cuenca e Nazário, 2004).

Na região cacauera da Bahia, 70% dos cacauais ainda estão estabelecidos sob a sombra de árvores da floresta original. Este sistema é denominado de cacau-cabruca. A palavra cabruca, que significa roçar a mata cortando arbustos e algumas árvores para plantar o cacau, deriva do verbo brocar (Lobão e Setenta, 2002).

Por ser uma planta muito tolerante à sombra, por muito tempo se pensou que a luz solar direta fosse prejudicial ao cacau. Porém, atualmente se sabe que estas plantas produzem mais quando cultivadas a pleno sol. Os fracassos obtidos nas primeiras tentativas de cultivo sem sombra resultaram da falta de conhecimentos sobre as influências da intensidade de luz para a nutrição mineral do cacau, a incidência de pragas e a disponibilidade de água para a planta (Alvim, 1966).

Na medida em que é removido o excesso de sombra das antigas cabucas, a adubação se torna uma prática imprescindível, salvo em casos de solos excepcionalmente ricos. Segundo Alvim (1966), experimentos de campo, realizados na Bahia, demonstraram que o raleamento da sombra combinado com tratamentos de adubação aumentaram o rendimento dos cacauais de 50 a 100% durante os primeiros dois anos.

A vantagem da sombra no cultivo do cacau não é baixar a intensidade de luz a um ponto ótimo, e sim compensar fatores desfavoráveis que se tornam mais sérios quando não se utiliza o sombreamento, tais como baixa fertilidade do solo, deficiência de água, grande incidência de doenças e ataque de pragas (Alvim, 1966).

O raleamento de sombra, seguido de adubação, é prática recomendada pela Ceplac (Comissão Executiva para o Plano da Lavoura Cacauera) desde o final da década de 1960, quando as plantações eram classificadas em rotineiras – sistema cacau cabruca, instaladas desordenadamente com excesso de sombra; e racionais – lavouras tecnicamente instaladas

(Rosand et al., 1966). As recomendações de corretivos e fertilizantes para cacau consideram o grau e distribuição do sombreamento, o estado fitossanitário da lavoura e as características químicas do solo (Chepote et al., 2005).

1.2.2 Avaliação da fertilidade do solo sob cacauais

A amostragem do solo é a principal etapa na avaliação da fertilidade deste. É uma etapa crítica em um programa de correção e adubação, pois uma amostra não representativa da área pode levar a recomendações errôneas (Chepote et al., 2005). O erro de amostragem é muito maior que o erro analítico que, normalmente, é inferior a 5% nos bons laboratórios, por isso a exatidão na avaliação da fertilidade do solo depende muito dos critérios de amostragem (Cantarutti et al., 2007).

Nos sistemas agrossilviculturais, comuns no sul da Bahia, cria-se um ambiente no solo diferente do encontrado no sistema convencional, resultante dos efeitos dos resíduos orgânicos superficiais, da reduzida movimentação do solo e acúmulo superficial de insumos, especialmente aqueles de baixa mobilidade no solo (Paiva e Araujo, 2007; Silveira et al., 2000). Apesar disso, nunca foram estudadas profundidades de amostragem de solo menores que 0-20 cm em cacauais e a mais recente publicação científica sobre o tema na região data da década de 1970 (Santana et al., 1975).

Assim como no sistema agrossilvicultural, no sistema de plantio direto (SPD), também considerado conservacionista, tem-se observado algumas mudanças na fertilidade do solo após dez ou mais anos de adoção. Dentre elas estão as seguintes: redução na adsorção de P, devido ao menor revolvimento do solo; alta concentração superficial de nutrientes, especialmente na camada de 0-5 cm e raramente ultrapassando a camada de 0-10 cm de profundidade; incremento do teor de matéria orgânica, que obstrui parcialmente os sítios de adsorção de P e aumenta a retenção de água no solo; e redução nas perdas por erosão, devido à proteção dada pelos resíduos culturais mantidos na superfície do solo (Cubilla et al., 2007). As características do SPD que geram as mudanças citadas são semelhantes às da cacauicultura.

Além da profundidade de amostragem, a seleção do extrator químico – solução ou substância que extrai do solo formas químicas dos nutrientes consideradas disponíveis para a

planta, que se correlaciona com a quantidade absorvida – é muito importante para a avaliação da fertilidade do solo sob determinada cultura, pois as soluções extraem diferentes quantidades de nutrientes num mesmo solo. Devem ser considerados para a seleção de extratores que as soluções possuem diferentes mecanismos de atuação, estão sujeitas a interferências causadas pelas propriedades de cada solo e que há diferenças entre espécies quanto à sensibilidade à disponibilidade do nutriente (Cantarutti et al., 2007).

A extração de nutrientes trocáveis – sujeitos ao processo reversível de adsorção pelos colóides do solo – é facilitada pelo próprio fenômeno de troca iônica, por isso, todos os extratores utilizados para K, Ca e Mg quantificam valores semelhantes. No entanto, quando se trata de nutrientes não trocáveis, sujeitos a adsorção específica; nutrientes cujas solubilidades são muito sensíveis às variações de pH; ou aqueles muito influenciados pelas reações de oxirredução do solo, há variações significativas entre extratores. Desta forma, a seleção de extratores para P, Cu, Fe, Mn e Zn para as culturas é de grande importância para quantificação mais próxima do que realmente está disponível no solo para as plantas.

O extrator Mehlich-1 (M1) é constituído de H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} + HCl 0,05 mol L^{-1} (ácidos fortes em baixas concentrações). Esse extrator dissolve predominantemente o P ligado ao Ca e quantidades menores de P ligado a Fe e alumínio (Novais *et al.*, 2007). O M1 é também utilizado para a determinação de micronutrientes (Abreu et al., 2007).

O Mehlich-3 (M3) é uma mistura de ácidos, sais e quelante, constituído de NH_4F 0,015 mol L^{-1} + NH_4NO_3 0,25 mol L^{-1} + CH_3COOH 0,2 mol L^{-1} + HNO_3 0,013 mol L^{-1} + EDTA 0,001 mol L^{-1} . Esse extrator tem sua ação baseada na acidez da solução e na presença do íon fluoreto. Essa solução se difere da solução M1 pela substituição do ânion cloreto pelo nitrato para eliminar o efeito corrosivo de cloretos sobre instrumentos e pela adição de EDTA, o qual serve para complexar Fe, Zn, Cu e Mn (Abreu et al., 2007). A utilização de soluções extratoras multielementares está sendo estudada por diversos pesquisadores com o objetivo de simplificar os procedimentos analíticos, reduzir o custo das análises e testar a extração simultânea de vários nutrientes de plantas (Bortolon e Gianello, 2008).

O DTPA é um extrator quelante, ou seja, combina com o íon metálico em solução, formando complexos solúveis, reduzindo sua atividade. Em consequência, os íons são dessorvidos do solo ou dissolvem da fase sólida para reabastecer os teores na solução. De

forma geral, os quelantes extraem maiores proporções das formas lábeis dos micronutrientes, sem dissolver as formas não lábeis (Abreu et al., 2007).

A Resina de troca aniônica (RTA) consiste em esferas com 2 mm de diâmetro e o seu princípio de extração se baseia na adsorção do P da solução, promovendo a dessorção do P da fase sólida para o restabelecimento do equilíbrio químico com a solução. As esferas formam um sistema poroso devido a um arranjo matricial das cadeias de poliestireno e, em função da presença de grupos funcionais nessas cadeias, o material comporta-se como base forte, estando dissociado em qualquer valor de pH.

A variabilidade dos solos altera a dinâmica do P no solo e a capacidade extrativa do M1, requerendo a determinação de um estimador da capacidade tampão de fosfato para a interpretação dos teores de P no solo. Isso ocorre em diversas regiões do País: Minas Gerais, Cerrados, Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul (Bortolon e Gianello, 2008). Porém, a quantidade de argila, onde existe muita variação na qualidade desta fração, não deve ser considerada como valor de referência para a recomendação de adubação fosfatada. Segundo Novais et al., (2007), o aumento do teor de argila fará com que haja aumento preferencial do caráter-dreno de P do solo, porém em solos menos intemperizados, o aumento da adsorção de P é muito menos expressiva do que o caráter-fonte de P.

No mapa de solos da região sul da Bahia, apresentado por Santana et al. (2002), consta que do litoral ao oeste aparecem com mais frequência tipos de solos menos intemperizados e mais férteis. Nele estão incluídos solos com argila de alta atividade – a exemplo do Luvisolo crômico – e de baixa atividade, como os Latossolos e Argissolos. A heterogeneidade da qualidade de argila no sul da Bahia deve inviabilizar a utilização do seu teor como medida indireta da adsorção de P no solo.

Outra característica do solo que influencia a adsorção de P, além da mineralogia das argilas, é o teor de matéria orgânica (Novais et al., 2007). A matéria orgânica do solo desempenha papel ambivalente em relação à disponibilidade de P, já que tanto pode adsorvê-lo quanto bloquear os sítios de adsorção que ocorrem nas superfícies das argilas silicatadas e óxidos de ferro e alumínio. A adoção de sistemas de manejo que propiciem um incremento no teor de matéria orgânica ou de suas frações pode promover a redução da adsorção de P, pela formação de complexos que bloqueiam os sítios de adsorção na superfície dos óxidos de ferro e de alumínio (Pereira et al., 2010).

O fósforo remanescente (P-Rem) é a quantidade de P adicionada que fica na solução de equilíbrio depois de decorrido o tempo de contato com o solo. O P-Rem é uma medida estreitamente correlacionada à capacidade máxima de adsorção e à capacidade tampão de fosfatos (Pereira et al., 2010). Esta medida, em casos de solos heterogêneos com relação à qualidade de argila, é mais eficiente como estimador da capacidade de adsorção de fosfatos. Cabala e Santana (1983), estudando três solos do sul da Bahia, encontraram altas correlações entre a concentração de P na solução de equilíbrio e o P absorvido pelo sorgo, porém as correlações se tornaram não significativas quando os três solos foram considerados em conjunto.

Segundo Malavolta et al. (1984), muitos fatores influenciam a composição mineral das folhas do cacau em igualdade de condições de fertilidade do solo e de clima: variedade, sombra, época do ano, estágio fisiológico da planta, presença de lançamentos, etc.

O método de amostragem de folhas é um critério importante para a comparação do estado nutricional da planta com o estado de fertilidade do solo. Segundo Santana e Igue (1979), o teor foliar de P de cacau adubados diminui nas folhas coletadas em ramos com lançamentos e não varia em folhas de cacau não adubados. Além disso, o teor de nutrientes varia com a posição da folha na planta e com o nível de sombreamento. Como o sistema de cultivo de cacau considerado neste trabalho é agrossilvicultural – sombreamento muito variável – é muito difícil estabelecer altas correlações entre o teor do nutriente no solo e na folha sob condições não controladas.

Outro fator crítico, relacionado à variação do teor foliar de nutrientes em cacau, é a sazonalidade. Santana e Igue (1979), em cacau sombreados e a pleno sol, com e sem adubação, encontraram médias de 1,4 g kg⁻¹ em dezembro de 1973 e 2,4 g kg⁻¹ de P-foliar no mesmo mês do ano posterior em folhas coletadas nas mesmas plantas. A variação dos teores foliares de P observada por Santana e Igue (1979) foi mensal e não seguiu um padrão, por isso, segundo os autores, é difícil o estabelecimento de uma correlação entre o estado de fertilidade do solo e o estado nutricional da planta. Porém, na região não houve até o momento, um trabalho de correlação que estudasse diferentes profundidade de amostragem de solo.

Quanto ao nitrogênio (N), mesmo em alguns casos, onde existe uma correlação significativa entre o teor de matéria orgânica no solo e o teor deste nutriente na planta, não se

considera esta relação como critério seguro para avaliação da disponibilidade de N no Brasil (exceto no RS e SC), pois a análise da matéria orgânica não leva em consideração a possibilidade de sua mineralização. Nos demais estados brasileiros, a análise de solo não é utilizada para avaliação da sua disponibilidade, por isso, o uso do clorofilômetro, em substituição da análise foliar, é promissor, por ser um aparelho portátil que mede um índice relativo de clorofila (IRC) de modo não destrutivo e instantâneo. O clorofilômetro já é utilizado para o monitoramento do estado nutricional em N de plantas de café fertirrigadas (Godoy et al., 2008).

O IRC é obtido pela transmitância de luz através da folha, no comprimento de onda com pico em 650 nm (região de alta absorbância pelas moléculas de clorofila) e com pico em 940 nm (absorbância pela folha é baixa), servindo como um fator de correção para o teor de água ou espessura da folha. As medidas são processadas pelo aparelho e no visor é mostrado o valor (Godoy et al., 2003), que pode substituir a análise foliar para este nutriente, que é mais demorada.

Em resumo, para maior funcionalidade dos modelos de avaliação da fertilidade do solo, os métodos de amostragem e análise química devem ser os mais universais possíveis – aplicáveis a uma ampla variação de propriedades de solo e de planta. Para isso, no processo de seleção desses métodos, devem ser empregadas terras com ampla variação quanto à classe taxonômica, mineralogia, classe textural, teor de matéria orgânica e disponibilidade do nutriente em estudo.

1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736.

ALMEIDA, C. M. V. C.; PEQUENO, P. L. L.; MATOS, P. G. G.; DESTRO, W.; SILVA, A. P. R.; LIMA, G. C.; SIRIACO, F. Fatores que afetam a produtividade do cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) em Rondônia, Brasil. Rev. Agrotrópica. 2003, v. 15, n. 3, p. 161-168.

ALVIM, P. T. O Problema do Sombreamento do Cacauzeiro. Cacau Atualidades, 1966, v. 3, n. 2, p. 2-5.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Interpretação de resultados analíticos de fósforo pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 em solos do Rio Grande do Sul. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2008, v. 32, p. 2751-2756.

CABALA, P.; SANTANA, M. B. M. Disponibilidade e diagnose de fósforo pela análise química do solo com referência ao Brasil. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 1983, v. 7, n. 2. p.109-118.

CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; MIELNICZUK, J. Calibração visando a fertilização com fósforo para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. Rev. Bras. de Ciênc. Solo. 2007, v. 31, p. 1463-1474.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-850.

CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. L.; SERÓDIO, M. H. C. F.; VALLE, R. R. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauzeiro no Sul da Bahia – 2ª aproximação. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2005. 36 p.

CUENCA, M. A. G.; NAZÁRIO, C. C. Importância Econômica e Evolução da Cultura do Cacau no Brasil e na Região dos Tabuleiros Costeiros da Bahia entre 1990 e 2002. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004. 25 p.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BULL, L. T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2003, v. 27, n. 6, p. 1049-1056.

GODOY, L. J. G.; SANTOS, T. da S.; VILLAS BÔAS, R. L.; LEITE JUNIOR, J. B. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2008, v. 32, n. 1, p. 217-226.

LOBÃO, D. E.; SETENTA, W. C. Cacau-cabruca: histórico e caracterização de um sistema agroflorestal sustentável de comprovada eficiência. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 4., 2002, Ilhéus, BA. Anais... p. 36-42.

LOUÉ, A. Etude das carencias et des deficiences minérales sur de cacaoyer. Paris, Institute Français du Café et du Cacao. 1961, Boletim Técnico nº 1.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. Adubos e adubações. São Paulo: Nobel, 2002. 200p.

MALAVOLTA, E.; MALAVOLTA, M. L.; CABRAL, C. P. Nota sobre as exigências minerais do cacauero. In: Anais da E. S. A. Luiz de Queiroz. vol. 41. 1984.

MANDARINO, E. P.; GOMES, A. R. S. Produtividade do cacauero (*Theobroma cacao* L.) cultivado em blocos monoclonais, no sul da Bahia, Brasil. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2009. 32p, Boletim Técnico nº 197.

NOVAIS, R. F.; JOT SMYTH, T.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471 – 550.

PAIVA, A. Q; ARAUJO, Q. R. Fundamentos do manejo e da conservação dos solos na região produtora de cacau da Bahia. In: VALLE, R. R. M. Ciência, tecnologia e manejo do cacauero. Itabuna: Vital, 2007, v.1, 467p.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. Pesq. Agropec. Bras. 2010, v. 45, n. 5, p. 508-514.

ROSAND, F. P. C.; PINHO, A. F. S.; PRADO, E. P. Adubação do Cacauero. Cacau Atualidades. 1966, v. 3, n.1, p. 8-11.

SANTANA, M. B. M.; IGUE, K. Composição química das folhas do cacauero em função da idade e da época do ano. Rev. Theobroma. 1979, v. 9, p. 63-76.

SANTANA, C. J. L.; PEREIRA, F. P.; CABALA, R. Amostragem de solos em cacauais do Sul da Bahia. Rev. Theobroma, 1975, v. 5 n. 1, p. 3 – 11.

SANTANA, S. O.; SANTOS, R. D.; GOMES, I. A.; JESUS, R. M.; ARAUJO, Q. R.; MENDONÇA, J. R.; CALDERANO, S. B.; FARIA FILHO, A. F. Solos da região sudeste da Bahia: atualização da legenda de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos. Ilhéus: CEPLAC; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. Cd rom. - Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n.16.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. Rev. Bras. de Ciênc. Solo. 2008, v. 32, p. 2037-2049.

SEAGRI – Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária do estado da Bahia. Cacau no Brasil e no mundo. Relatório 41/10, 2011. Disponível em:
<<http://www.seagri.ba.gov.br/cacauth/cacauth11012011.pdf>> Acessado em Janeiro de 2011.

SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C.; CUNHA, A. A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. Pesq. Agropec. Bras. 2000, v. 35, n. 10, p. 2057-2064.

VIEIRA, J. R. C. Região cacauceira da Bahia – Idéias ainda presentes. Ilhéus: Fábrica do Livro, 2006. 307p.

2. CAPÍTULO 1 – ESTIMATIVA NÃO DESTRUTIVA DO TEOR FOLIAR DE NITROGÊNIO EM CACAUEIRO UTILIZANDO CLOROFILÔMETRO

RESUMO

A substituição do método tradicional de avaliação do teor de nitrogênio (N) na planta pelo uso do medidor portátil de clorofilas do tipo SPAD é promissor por se tratar de um aparelho portátil que estabelece um índice de modo não destrutivo, instantâneo e com menor custo. Objetivou-se determinar a capacidade deste aparelho em estimar o teor foliar de N do cacauzeiro. A área de abrangência deste estudo envolve as zonas climáticas úmida e úmida a subúmida da região cacauzeira da Bahia. Foram selecionadas dez propriedades rurais, em cada zona, com lavoura em sistema agrossilvicultural e que tiveram a área renovada por enxertia de broto basal com clones tolerantes à vassoura de bruxa. Em cada propriedade, quatro plantas com idade superior a quatro anos foram selecionadas em condições edáficas e topográficas distintas. Foram coletadas oito folhas sadias por planta e em cada uma delas foram feitas seis leituras do índice SPAD. Além disso, determinaram-se o teor e o conteúdo de N na folha, área foliar (AF) e a massa foliar específica (MFE). As variáveis foram submetidas à análise estatística. O índice SPAD se correlacionou significativa e positivamente com o teor foliar de N ($r=0,74$), com a AF ($r=0,62$) e negativamente com a MFE ($r=-0,57$). Não houve correlação entre o conteúdo de N e o índice SPAD. O modelo de regressão linear simples para a predição do teor de N a partir do índice SPAD, sem a distinção dos ambientes foi o mais apropriado.

Palavras-chave: ecofisiologia, *Theobroma cacao*, diagnóstico nutricional.

NON DESTRUCTIVE ESTIMATION OF FOLIAR NITROGEN IN CACAO TREE USING CHLOROPHYLL METER

ABSTRACT

The replacement of the traditional method for evaluating the nitrogen (N) in the plant by the use of portable chlorophyll meter SPAD is promising because it is a portable device that provides an index nondestructively, Instant and low cost. This study aimed to determine the ability of this device in estimating leaf N content of cocoa. The area covered by this study involves the wet and humid climate zones of the subhumid cocoa region of Bahia. Were selected ten farms, in each area, with crops in agroforestry system and that the area had renewed by grafting of basal shoot with clones tolerant to witches' broom. In each farm, four plants over the age of four years were selected in different topographic and soil conditions. We collected eight healthy leaves per plant and in each, were made six SPAD readings of the index. Furthermore, were determined the N content, N content, leaf area (LA) and specific leaf mass (SLM). Mean values were subjected to statistical analysis. The SPAD index was significantly positively correlated with leaf N content ($r = 0.74$), with AF ($r = 0.62$) and negatively with the MFE ($r = -0.57$). There was no correlation between N content and SPAD index. There was no correlation between N content and SPAD index. The simple linear regression model to predict the N content from SPAD index, without distinction of environments was more appropriate.

Keys-word: ecophysiology, *Theobroma cacao*, nutritional diagnosis.

Introdução

O Brasil e a Malásia, dentre os países produtores de cacau, são os que vêm usando com maior intensidade sistemas de produção com tecnologia moderna (CHEPOTE et al., 2005), o que pode explicar o aumento da produção no Brasil. Em 2010, a produção brasileira somou 199790 t de amêndoas secas, um aumento de 29,8% sobre as 153936 t em 2009 e o melhor desempenho desde 1996 (SEAGRI, 2011). No Brasil, a principal região produtora de cacau é o sul da Bahia, responsável por 72,8 % da produção nacional (MANDARINO; GOMES, 2009).

As respostas ao emprego de corretivos e fertilizantes são evidentes nas culturas, destacadamente com a adubação nitrogenada, pois a capacidade fotossintética das plantas é grandemente dependente da disponibilidade de nitrogênio (N). Este macronutriente é necessário para garantir a integridade estrutural e funcional da clorofila e das proteínas (MAJEROWICZ, 2004). Para a recomendação de fertilizantes nitrogenados, a análise foliar tem sido apontada como uma boa ferramenta. Porém, a depender da região e sua disponibilidade de laboratórios, o intervalo entre a coleta da amostra e a entrega dos resultados pode ser extenso ao ponto de prejudicar a produtividade da cultura.

A quantificação da matéria orgânica do solo também pode servir para a recomendação de adubação nitrogenada no Brasil, mas somente nos estados do sul, de clima temperado, onde existe correlação entre esta característica do solo e o N absorvido pelas culturas (GIANELLO et al., 2000). A adubação nitrogenada para a cacauicultura não tem sido eficiente, pois há escassez de pesquisas sobre este tema. Atualmente, na ausência da análise foliar, a dose recomendada é fixa (60 kg ha⁻¹ de N) (CHEPOTE et al., 2005).

A substituição dos métodos tradicionais de avaliação da disponibilidade de N para as plantas pelo uso do medidor portátil de clorofilas do tipo SPAD (*Soil and Plant Analysis Development*) é promissor por se tratar de um aparelho portátil que estabelece um índice de modo não destrutivo, instantâneo (GODOY et al., 2008) e com menor custo (ARGENTA et al., 2001). O valor dado pelo SPAD é obtido pela transmitância de luz através da folha, no comprimento de onda com pico em 650 nm (região de alta absorbância pelas moléculas de clorofila) e com pico em 940 nm (baixa absorbância), servindo como fator de correção para o teor de água ou espessura da folha (ARGENTA et al., 2001; GODOY et al., 2003).

Em síntese, o aparelho mede o índice de esverdeamento foliar que se correlaciona com teor de clorofila. Como até 70% do nitrogênio em células do mesofilo pode estar localizado no cloroplasto (REIS et al., 2006), correlações entre o índice SPAD e o nitrogênio foliar foram observadas em plantas como milho (ARGENTA et al., 2001), mamão (TORRES NETTO et al., 2002), pimentão (GODOY et al., 2003), *Acer saccharum Marsh* (VAN DEN BERG; PERKINS, 2004), café (GODOY et al., 2008) e gramíneas (LAVRES JÚNIOR; MONTEIRO, 2006; COSTA et al., 2008).

As relações matemáticas entre o índice SPAD e o teor de nitrogênio variam inter e intra-espécies (VAN DEN BERG; PERKINS, 2004). O índice pode variar durante as fases de desenvolvimento da planta (GODOY et al., 2008) e com as variações ambientais a que estão submetidas (VAN DEN BERG; PERKINS, 2004).

O objetivo deste estudo foi determinar a capacidade do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 em estimar o teor de nitrogênio foliar do cacauzeiro (*Theobroma cacao*) numa larga amplitude de ambientes dentro da região cacauzeira da Bahia.

Material e Métodos

Foram selecionadas vinte propriedades rurais no sul da Bahia que possuem lavoura cacauzeira em sistema agrossilvicultural sem irrigação e que foram submetidas aos seguintes procedimentos técnicos: renovação da área pela técnica de enxertia de broto basal com clones tolerantes à vassoura de bruxa (*Moniliophthora perniciosa*); aumento da densidade para uma média de 900 a 1000 plantas ha⁻¹; remoção de espécies arbóreas consideradas indesejáveis por sombrear excessivamente a lavoura; e manejo da sombra através da poda de árvores remanescentes (MANDARINO; GOMES, 2009).

No sul da Bahia, as precipitações e a umidade relativa do ar diminuem no sentido leste-oeste (do oceano Atlântico ao interior do continente). A umidade relativa da região varia de 76,3 a 84,2% (NACIF, 2000). A área de abrangência do estudo envolve a zona úmida e úmida a subúmida da região. A zona úmida não possui estação seca definida e se enquadra em sete tipos climáticos segundo Thornthwaite: B4r A', B3r A', B2r A', B2r B', B1r A', B1r' A' e B1w A'. A zona úmida a subúmida possui um a dois meses de seca e se enquadra em quatro tipos climáticos: C2d A', C2d' A', C2d B' e C2w A' (SEI, 2007). Na tabela 1.1, as zonas envolvidas no estudo são caracterizadas quanto ao clima.

Tabela 1.1 – Caracterização climática das zonas úmida e úmida a subúmida do sul da Bahia
 Fonte: SEI (2007).

Zona climática	Temp. Mín (°C)	Temp Média (°C)	Temp Máx (°C)	Amp. Térmica (°C)
Úmido	14,4 a 22,5	18,4 a 25,3	24,3 a 31,2	4,9 a 13,5
Úmido a subúmido	15,3 a 22,4	19,4 a 24,6	25,4 a 32,2	5,0 a 15,5
Zona climática	Precip. Média (mm)	Defic. Hídrica (mm)	Excedente Hídrico (mm)	
Úmido	> 2000	0 a 345	200 a 1409	
Úmido a subúmido	1100 a 2000	3 a 426	22 a 424	

Dentre as propriedades rurais selecionadas, dez estão em zona úmida e dez em zona úmida a sub-úmida (doravante denominada apenas como semi-úmida). A localização das propriedades rurais consta na figura 1.1.

Na zona úmida, em 60% das propriedades rurais foi aplicado adubo nitrogenado entre setembro e novembro de 2009 e 40% não foram adubadas. Na zona semi-úmida, 20% foram adubadas em março de 2009, 50% foram adubadas entre setembro e novembro de 2009 e 30% não foram adubadas.

As plantas selecionadas para o presente trabalho são clones PH16. Este material genético é adaptado às zonas úmida e semi-úmida, tem produtividade média de 973 g de amêndoas secas por planta a partir do quarto ano, é autocompatível e tolerante à *Moniliophthora perniciosa* (MANDARINO; GOMES, 2009).

Em cada propriedade, quatro plantas com idade superior a quatro anos foram selecionadas em situações edáficas e topográficas distintas, buscando-se, assim, alcançar a maior variabilidade de solo possível. Espera-se, com a máxima variação de tipos de solo e conseqüente variação de disponibilidade de nutrientes, saber se o método de avaliação se correlaciona com o estado nutricional das plantas na mais ampla área possível, por motivos práticos – padronização do método (CANTARUTTI et al., 2007).

Foram coletadas oito folhas sadias por planta – a terceira a partir do ápice de um ramo recém amadurecido sem lançamentos (SANTANA; IGUE, 1979) – no período do verão (janeiro e fevereiro de 2010), época de menor flutuação estacional do ano (CANTARUTTI et al., 2007). Em cada folha destacada da planta, foram feitas imediatamente seis leituras do

índice SPAD com aparelho *Chlorophyll Meter SPAD-502* da Minolta – três leituras de cada lado da nervura central no terço médio do limbo, parte adaxial.

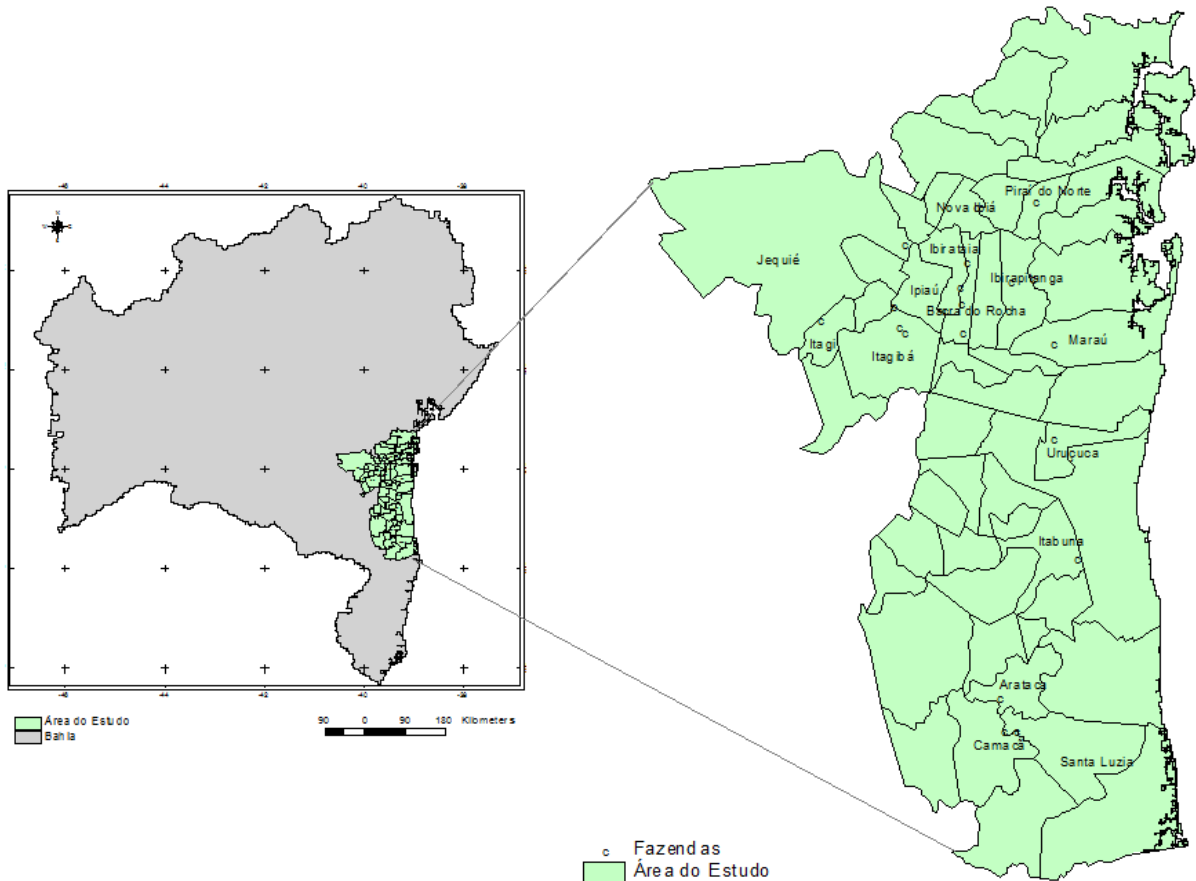


Figura 1.1 – Área de abrangência do estudo e propriedades rurais do sul do Estado da Bahia onde foram coletadas amostras foliares e de solo.

As leituras foram realizadas entre 9:00 e 10:30 horas, tomando-se o cuidado para que a luz solar não influenciasse as mesmas – para isso, o operador se curva sobre o aparelho protegendo-o (GODOY et al., 2008). Antes da realização das leituras, o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura, de acordo com as recomendações do manual de instruções do fabricante. Os pontos amostrados por folha estavam a 6,0 mm da margem do limbo, distância fixada pelo regulador de profundidade do aparelho.

As folhas coletadas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas ao laboratório da Universidade Estadual de Santa Cruz onde foram analisadas. A área foliar (AF) foi medida com medidor de bancada LI-3100C. O material foi seco em estufa com circulação forçada de

ar à temperatura de 65°C até atingirem peso constante. As amostras foram pesadas, moídas e o teor de N foi determinado, após digestão sulfúrica, por destilação-titulação de acordo com Embrapa (2009). A massa foliar específica (MFE) foi obtida pela razão entre a massa seca e a AF e foi utilizada como indicativo da espessura da folha (GODOY et al., 2008). O conteúdo de N foi obtido pela multiplicação do teor de N pela massa média das folhas da planta.

As médias das variáveis analisadas foram submetidas à análise estatística exploratória, correlação linear simples de Pearson (utilizando o test t para verificação da significância) e regressão, sendo selecionado o modelo que apresentasse todos os coeficientes de determinação ajustado.

As equações de regressão das zonas climáticas foram submetidas ao teste de identidade de modelos, visando avaliar diferenças entre os modelos para cada zona climática ou a possibilidade de utilizar apenas um modelo para as duas zonas. Esse teste consiste na redução da soma dos quadrados, permitindo verificar estatisticamente, pelo teste de F, a significância da diferença entre o total das somas dos quadrados das regressões ajustadas para cada zona isoladamente, e a soma do quadrado da regressão ajustada para o conjunto total dos dados (REGAZZI, 1996). Por exemplo, para o cálculo da soma de quadrados da regressão do modelo que agrupa as duas zonas, faz-se o ajuste do modelo para as duas juntas. E para o cálculo da soma de quadrados da regressão do modelo completo, primeiro calcula-se individualmente para cada zona e depois se faz o somatório.

Resultados e Discussão

Na tabela 2.1, são apresentadas as médias dos teores foliares de N nos dois ambientes, as quais variam de 14,0 g kg⁻¹ (plantas deficientes em N) a 31,0 g kg⁻¹ (excesso de N) com média de 21,3 g kg⁻¹ (dentro da faixa de suficiência para a cacauicultura) (CANTARUTTI et al., 2007). As folhas das plantas situadas na zona úmida apresentaram maior média (22,0 g kg⁻¹) e também maior variação; porém, nas duas zonas, a média se encontra dentro da faixa de suficiência para a cultura (19,0 a 23,0 g kg⁻¹).

Na zona úmida, 22,5% das plantas estão deficientes, 50% estão dentro da faixa de suficiência e 27,5% estão com excesso de N. Na zona semi-úmida, 22,5% estão deficientes, 60% dentro da faixa de suficiência e 17,5% com excesso de N.

Tabela 2.1 – Média e coeficiente de variação (CV) do teor e do conteúdo foliar e N, do índice SPAD, da massa foliar específica (MFE) e da área foliar (AF) de folhas diagnóstico de cacauzeiros, clone PH16, em zona úmida e semi-úmida do sul da Bahia

	Dois Ambientes		Zona úmida		Zona semi-úmida	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
Teor de N (g kg ⁻¹)	21,30	16,9	22,00	18,2	20,50	15,0
Conteúdo de N (mg)	27,22	23,1	30,47	19,3	24,00	20,2
SPAD	52,25	16,0	52,57	18,3	51,94	13,4
MFE (g m ⁻²)	82,17	27,5	87,55	24,2	76,78	29,8
AF (cm ²)	159,41	20,9	158,59	21,0	160,24	21,0

Presume-se que nos dois ambientes estudados as variações de sombreamento sejam semelhantes, pois suas médias para MFE e AF estão próximas e com coeficientes de variação semelhantes (tabela 2.1). Estudos mostram que a maioria das plantas da mesma espécie, cultivadas sob condições sombreadas, desenvolve folhas mais finas e maiores, proporcionando maior interceptação da luz disponível (MAJEROWICZ; PERES, 2004). Ademais, o índice SPAD se correlacionou significativamente e positivamente com a AF ($r=0,62$) e negativamente com a MFE ($r=-0,57$) (tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Coeficientes de correlação linear de Pearson entre teor e conteúdo de N, índice SPAD, massa foliar específica (MFE) e área foliar (AF) de folhas diagnóstico de cacauzeiros, clone PH16, em zona úmida e semi-úmida do sul da Bahia

	Dois ambientes			
	Conteúdo de N	SPAD	MFE	AF
Teor de N	0,501*	0,737**	- 0,486**	0,498*
Conteúdo de N		0,245 ^{ns}	0,242 ^{ns}	0,215 ^{ns}
SPAD			- 0,573**	0,622**
MFE				- 0,760**
Zona úmida				
Teor de N	0,384*	0,747**	- 0,648**	0,546**
Conteúdo de N		0,190 ^{ns}	0,082 ^{ns}	0,325*
SPAD			- 0,688**	0,659**
MFE				- 0,766**
Zona semi-úmida				
Teor de N	0,583**	0,745**	- 0,484**	0,487*
Conteúdo de N		0,394*	0,210 ^{ns}	0,201 ^{ns}
SPAD			- 0,514**	0,595**
MFE				0,787**

** , * : Significativo a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste t.

As variações no teor de clorofila dentro de uma mesma espécie são correlatas às adaptações morfológicas ocorridas em resposta às variações de luminosidade no ambiente. O índice SPAD é influenciado por tais adaptações. Godoy et al. (2008) afirmam que com o aumento da disponibilidade de luz há menor necessidade de produção de clorofila, explicando a cor verde menos intensa de folhas de plantas da mesma espécie cultivadas a pleno sol. As folhas de sombra são mais finas e maiores proporcionando maior interceptação da luz disponível. Elas também apresentam maior teor de clorofila do que folhas a pleno sol porque este pigmento é constantemente sintetizado e destruído (foto-oxidação) em presença de luz (ENGEL; POGGIANI, 1991). Portanto, a área foliar e a espessura da folha podem servir como variáveis auxiliares na estimativa do nitrogênio foliar pelo SPAD.

As médias do índice SPAD nas zonas úmida (52,57) e semi-úmida (51,94) são próximas (tabela 2.1) e variam de acordo aos mesmos critérios que indiretamente distinguem a localização das plantas em ambientes com mais ou menos disponibilidade de luz. O estudo de Engel e Poggiani (1991), sobre o desenvolvimento de mudas de quatro espécies florestais sob quatro níveis de sombreamento, confirmam o observado no presente trabalho – variações no esverdeamento das folhas dado pelo índice SPAD correlacionados a variações na AF e MFE (tabela 3.1). Engel e Poggiani (1991) observaram que os teores de clorofila das quatro espécies se correlacionam positivamente com os níveis de sombreamento. Almeida e Valle (2007) relataram aumento de clorofila em folhas de cacaueteiro com o aumento do sombreamento.

As variações de AF e MFE podem ser atribuídas a diferentes níveis de luminosidade, conforme Godoy et al. (2008) e Almeida e Valle (2007). O esverdeamento dado pelo teor de clorofila e, portanto, pelo índice SPAD, correlacionou-se positivamente com a AF nos dois ambientes, tanto quando avaliados separadamente ou em conjunto (tabela 3.1), indicando que o índice é influenciado pelas condições de sombreamento. Santiago et al. (2009) obtiveram resultados semelhantes ao testarem a correlação entre o índice SPAD e o comprimento foliar de quatro espécies de eucalipto em monocultivo e em consórcio.

A MFE tem relação inversa ao índice SPAD (tabela 3.1), fato também observado por Marengo et al. (2009) em seis espécies de árvores da Amazônia; por Godoy et al. (2008), em cafeeiros; e por Santiago et al. (2009), que observaram queda da média da MFE de folhas de

espécies de eucalipto consorciados com *Sesbania virgata* com a redução do fluxo de fótons fotossintéticos, seguida de aumento da MFE com a maior disponibilidade de luz proporcionada pela poda da sesbânia. O índice SPAD diminui em folhas mais espessas porque estas têm uma menor transmitância devido ao efeito de desvio causado pela maior extensão de caminho óptico através da folha (MARENCO et al., 2009).

Correlação alta também foi constatada entre o índice SPAD e o teor de N foliar (tabela 3.1). A mesma relação foi observada por Torres Netto et al. (2002) ao analisarem folhas de mamoeiro do grupo solo e formosa. Reis et al. (2006) atribuíram essa relação, principalmente, ao fato de que 50 a 70% do N total das folhas são integrantes de enzimas como a nitrato redutase que estão associadas aos cloroplastos. Van den Berg e Perkins (2004) analisaram folhas de *Acer saccharum Marsh.* em sub-bosque e em áreas abertas e constataram que o índice SPAD é capaz de prever o teor de N foliar por um modelo linear ($R^2 = 0,64$; $p < 0,001$) independente da localização da planta.

Para a zona úmida, não houve correlação significativa entre o conteúdo de N x índice SPAD (tabela 3.1). Na zona semi-úmida houve correlação significativa, porém com coeficiente abaixo de 0,40.

O modelo de regressão selecionado para a predição do teor de N pelo índice SPAD foi o linear (Figura 2.1). O teste de identidade de modelos de regressão (tabela 4.1) não detectou diferenças entre as zonas úmida e semi-úmida, implicando que não há diferenças entre os modelos separados por zonas estudadas, devendo-se utilizar o modelo conjunto, representando simultaneamente as duas zonas climáticas.

Dentre as variáveis climáticas, a de mais notável diferença entre os dois ambientes é a precipitação (tabela 1.1). Porém, a diferença não foi suficiente para gerar alterações nas plantas que pudessem ser detectadas indiretamente pelo índice SPAD. Além disso, sabe-se que plantas em regiões com menor índice pluviométrico, em comparação a plantas bem regadas, apresentam maiores valores de índice SPAD que podem ser atribuídos à maior concentração de N, uma vez que o crescimento daquelas plantas é reduzido e, conseqüentemente, há menos diluição de N em comparação a plantas bem regadas (TUONG et al., 2002). Por outro lado, segundo Cabangon et al. (2011), plantas de arroz irrigado, mas não inundado, que receberam diferentes tratamentos de água – sem serem submetidas a estresse hídrico – não apresentaram diferença significativa entre modelos de regressão linear

simples ($R^2 = 0,66$; $p < 0,01$) que estimam o teor de N, indicando que as leituras SPAD foram independentes dos tratamentos de água. Mielke et al. (2010), encontraram correlação de alta significância entre teor de clorofila e SPAD em plantas de *Eugenia uniflora*, e esta relação não foi influenciada pelo alagamento. Diante disso, pode-se afirmar que os modelos para predição do teor de N em cada zona climática pode ser reduzido a um só para as duas zonas.

Tabela 4.1 – Teste de identidade de modelos (valor F) e equações de regressão linear que estimam o teor de N foliar de cacauzeiros, clone PH16, em função do índice SPAD, área foliar (AF) e massa foliar específica (MFE), na zona úmida (ZU) e semi-úmida (ZSU) do sul da Bahia

Zonas climáticas	Equação de regressão	R^2	QM (diferença)	QM (resíduo)	F
ZU + ZSU	$\hat{y} = 4,717 + 0,317^{**}$ SPAD	0,54	10,89	8,55	1,27 ^{ns}
ZU	$\hat{y} = 5,784 + 0,309^{**}$ SPAD	0,56			
ZSU	$\hat{y} = 3,736 + 0,324^{**}$ SPAD	0,56			

QM: quadrado médio.

**Significativa a 1% de probabilidade pelo teste F.

^{ns}: não significativo pelo teste F.

Outro critério para a consideração da semelhança entre os ambientes quanto à variação climática é a correlação entre o índice SPAD nos ambientes e as características morfológicas da folha apontadas como adaptativas às variações de entrada de luz no ambiente. As equações tiveram o coeficiente de determinação (R^2) aumentado com a inclusão da MFE na análise de regressão múltipla (tabela 4.1). O mesmo foi observado por Van den Berg e Perkins (2004). Porém, o acréscimo de R^2 foi mínimo (na ordem de 2%), não compensando a sua utilização em rotina, uma vez que não é prático para o cacauicultor preparar a amostra para calcular a MFE. Os coeficientes de determinação das equações também tiveram pouca alteração com a inclusão da AF na análise. É importante ressaltar que apesar de significativas, as correlações entre N x MFE e N x AF nos dois ambientes juntos e separados foram em torno de 50% (tabela 3.1).

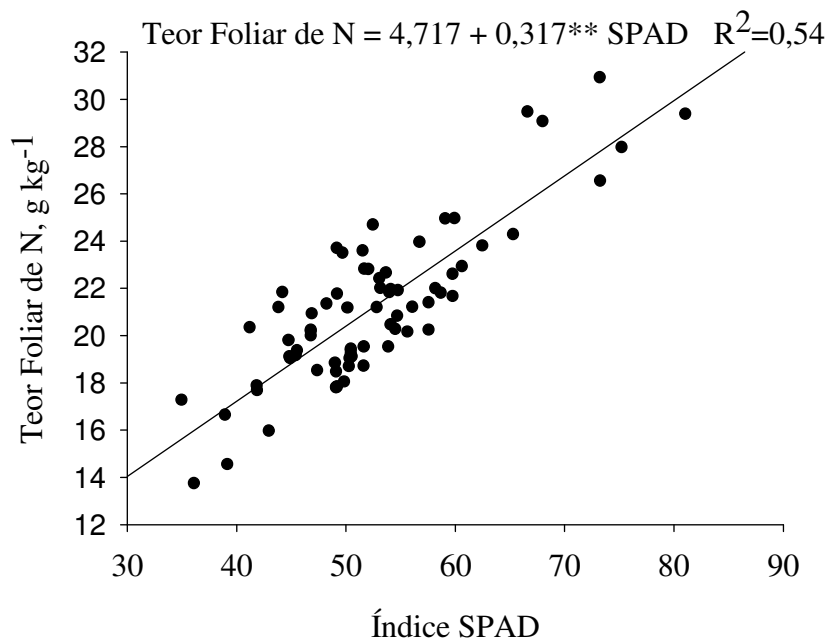


Figura 2.1 – Relação entre índice SPAD e teor foliar de N de cacauzeiros, clone PH16, no sul da Bahia nos dois ambientes conjuntamente (zonas úmida e semi úmida).

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Conclusões

O índice SPAD se correlacionou significativamente e positivamente com o teor de N e com a AF; e negativamente com a MFE. Não houve correlação significativa entre o conteúdo foliar de N e índice SPAD nas zonas em conjunto. O teste de identidade de modelos de regressão validou a semelhança entre as zonas úmida e semi-úmida. O índice SPAD pode ser utilizado para predição do teor foliar de N de cacauzeiros no sul da Bahia.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, A. A. F. de; VALLE, R. R. Ecophysiology of the cacao tree. *Braz. J. Plant Physiol.*, Londrina, v. 19, n. 4, p. 425-448, 2007.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G.; FORSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Rev. Bras. Fisiol. Veg. Lavras*, v. 13, n. 2, p. 158-167, 2001.

CABANGON, R. J.; CASTILLO, E. G.; TUONG, T. P. Chlorophyll meter-based nitrogen management of rice grown under alternate wetting and drying irrigation. *Field Crops Res.* v. 121, n. 1, p. 136-146, 2011.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS et al. Fertilidade do solo. ed.1. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. L.; SERÔDIO, M. H. C. F.; VALLE, R. R. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacaueteiro no Sul da Bahia – 2ª aproximação. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2005. 36p.

COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, J. L.; RODRIGUES, R. B. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. II – Nutrição nitrogenada da planta. Rev. Bras. Ciênc. Solo., Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1601-1607, 2008.

Embrapa Informação Tecnológica. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. ed. 2. Brasília: Embrapa, 2009. 627p.

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. Rev. Bras. Fisiol. Vegetal, Lavras, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.

GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. O.; REICHMANN, E.; TEDESCO, M. J. Avaliação da disponibilidade do nitrogênio do solo estimada por métodos químicos. Rev. Bras. Ci. Solo, Viçosa, v. 24, p. 93-101, 2000.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BULL, L. T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. Rev. Bras. Ci. Solo. Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1049-1056, 2003.

GODOY, L. J. G.; SANTOS, T. da S.; VILLAS BÔAS, R. L.; LEITE JUNIOR, J. B. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. Rev. Bras. Ciênc. Solo. Viçosa, v. 32, n. 1, p. 217-226, 2008.

LAVRES JUNIOR, J.; MONTEIRO, F. A. Diagnose nutricional de nitrogênio no capim-aruaana em condições controladas. Rev. Bras. Ciênc. Solo. Viçosa, v. 30, n. 5, p. 829-837, 2006.

MAJEROWICZ, N. Fotossíntese. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 2004. 452p.

MAJEROWICZ, N.; PERES, L. E. Fotomorfogênese em Plantas. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia Vegetal. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 2004. 452p.

MANDARINO, E. P.; GOMES, A. R. S. Produtividade do cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) cultivado em blocos monoclonais, no sul da Bahia, Brasil. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2009. 32p. (Boletim Técnico nº 197)

- MARENCO, R. A.; ANTEZANA-VERA, S. A.; NASCIMENTO, H. C. S. Relationship between specific leaf area, leaf thickness, leaf water content and *SPAD-502* readings in six Amazonian tree species. *Photosynthetica*. v. 47, n. 2, p. 184-190, 2009.
- MIELKE, M. S.; SCHAFFER, B.; LI, C. Use of a SPAD meter to estimate chlorophyll content in *Eugenia uniflora* L. leaves as affected by contrasting light environments and soil flooding. *Photosynthetica*. v. 48, n. 3, p. 332-338, 2010.
- NACIF, P. G. S. Ambientes naturais da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, com ênfase nos domínios pedológicos. 2000. 132p. Tese (Doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 31, n. 1, p. 1-17, 1996.
- REIS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. *Bragantia*. Campinas, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.
- SANTANA, M. B. M.; IGUE, K. Composição química das folhas do cacaueteiro em função da idade e da época do ano. *Rev. Theobroma*, Itabuna, v. 9, p. 63-76, 1979.
- SANTIAGO, A. R.; BARROSO, D. G.; MENDONÇA, A. V. R.; CAMPOSTRINI, E.; CARNEIRO, J. G. A.; DETMANN, E. Monocultivo de eucalipto e consórcio com sesbânia: crescimento inicial em cavas de extração de argila. *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 67-79, 2009.
- SEAGRI – Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária do estado da Bahia. Cacau no Brasil e no mundo. Relatório 41/10, 2011. Disponível em: <<http://www.seagri.ba.gov.br/cacauth/cacauth11012011.pdf>> Acesso em 20 de Jan. de 2011.
- SEI – Superintendência de estudos econômicos e sociais da Bahia. Informações geoambientais. Tipologia climática – segundo Thornthwaite – do estado da Bahia, 2007. Disponível em: <http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/cartogramas/pdf/carto_tip_clim.pdf> Acesso em 21 de Jan. de 2011.
- TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; YAMANISHI, O. K. Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. *Braz. J. Plant Physiol.* Londrina, v. 14, n. 3, p. 203-210, 2002.
- TUONG, T. P.; CASTILLO, E. G.; CABANGON, R. C.; BOLING, A.; SINGH, U. The drought response of lowland rice to crop establishment practices and N-fertilizer source. *Field Crops Res.* v.74, n. 3, p. 243–257, 2002.

VAN DEN BERG, A.K.; PERKINS, T. D. Evaluation of a portable chlorophyll meter to estimate chlorophyll and nitrogen contents in sugar maple (*Acer saccharum Marsh.*) leaves. *Forest Ecology and Management*, v. 200, p. 113–117, 2004.

3. CAPÍTULO 2 – Disponibilidade de fósforo, potássio, cálcio e magnésio em solos cultivados com cacau: extratores e profundidade de amostragem

RESUMO

Nos sistemas agrossilviculturais cria-se um ambiente no solo diferente do encontrado no sistema convencional, resultante do acúmulo de resíduos orgânicos superficiais, da reduzida movimentação do solo e do acúmulo superficial de insumos, especialmente aqueles de baixa mobilidade no solo. Os objetivos deste trabalho foram definir o extrator de fósforo (P) e a melhor profundidade de amostragem de solo para avaliação da disponibilidade de P, potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) para cacau (*Theobroma cacao* L.) sob sistema agrossilvicultural. A área de abrangência deste estudo envolve as zonas climáticas úmida e úmida a subúmida da região cacauzeira da Bahia. Foram selecionadas dez propriedades rurais, em cada zona climática, com lavoura em sistema agrossilvicultural sem irrigação, que não usaram fosfato natural e que tiveram a área renovada por enxertia de broto basal com clones tolerantes à vassoura de bruxa (*Moniliophthora perniciosa*). Em cada propriedade, quatro plantas (clone PH16) com idade superior a quatro anos foram selecionadas em condições edáficas e topográficas distintas. Foram coletadas amostras de solo às profundidades 0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm. Para determinação de P disponível foram utilizados os extratores Resina de troca aniônica (RTA), Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3); para K foi utilizado o M1 e para Ca e Mg, o cloreto de potássio. Também foram determinados os teores de argila e de fósforo remanescente (P-Rem). Foram coletadas oito folhas diagnóstico por planta para a determinação dos teores dos nutrientes. As variáveis foram submetidas à análise estatística. A capacidade de extração de P no solo foi: RTA > M1 > M3. Os extratores apresentaram correlações entre si variáveis em função da profundidade do solo e da zona climática. O extrator de P que gerou melhores modelos entre os teores no solo e na planta foi o M1, seguido da RTA e do M3. Estimadores da capacidade tampão de P (teor de argila e P-Rem) não foram significativos quando incluídos nos modelos de teor foliar de P em função de seu teor no solo. Os valores médios de P, K, Ca, Mg e P-Rem decresceram em profundidade. Para os nutrientes avaliados, a relação entre sua disponibilidade no solo e seu teor foliar no cacauzeiro variou em função da zona climática do sul da Bahia, independente do extrator e da profundidade do solo, exceto para o K, que não teve a relação influenciada em função da

região climática. A profundidade de amostragem mais apropriada para avaliar a fertilidade do solo para P, K, Ca e Mg foi 0-10 cm, independente do extrator e da região.

Palavras-chave: Mehlich, resina, fósforo remanescente, argila

3. CHAPTER 2 – Availability of phosphorus, potassium, calcium and magnesium in soil cultivated with cocoa: extractors and sampling depth

ABSTRACT

In agroforestry systems creates an environment different from that found in the soil in the conventional system, resulting from the accumulation of organic waste surface, reduced movement of the soil surface and the accumulation of inputs, especially those of low mobility in soil. Our objectives were to define the extractor of phosphorus (P) and the best depth of soil sampling to evaluate the availability of P, potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) to cocoa (*Theobroma cacao* L.) under agroforestry system. The area covered by this study involves the humid and sub-humid zones of the cocoa region of Bahia. Ten farms were selected in each climate zone, with crops in agroforestry system without irrigation, which did not use rock phosphate and that the area had renewed by grafting the bud with basal clones tolerant to witches' broom (*Moniliophthora perniciosa*). In each property, four plants (PH16) over the age of four years were selected in different soil conditions and topography. We collected soil samples at depths 0-05, 0-10, 0-20 and 20-40 cm. For determination of available P were used extractors anion exchange resin (RTA), Mehlich-1 (M1) and Mehlich-3 (M3). M1 was used for K and potassium chloride for Ca and Mg. Were also determined clay contents of remaining phosphorus (P-Rem). We collected eight leaves per plant diagnosis for determining the levels of nutrients. The variables were subjected to statistical analysis. The ability to extract soil P was: RTA > M1 > M3. Extractors variables showed correlations between them depending on the depth of soil and climate zone. The extractors that generated the best models among the levels in soil and plant was the M1, followed by the RTA and the M3. Estimation of the buffering capacity of P (clay content and P-Rem) were not significant when included in models of foliar P in terms of their content in the soil. The average values of P, K, Ca, Mg and P-Rem decreased in depth. For the nutrients, the relationship between their

availability in the soil and its content in cocoa leaves varied depending on the climate zone of southern Bahia, regardless of the extractor and the soil depth, except for K, which was not influenced in the relationship function of climatic region. The depth of sampling more appropriate for assessing the fertility of the soil for P, K, Ca and Mg was 0-10 cm, regardless of the extractor and the region.

Keys-words: Mehlich, resin, equilibrium phosphorus, clay

3.1 INTRODUÇÃO

Nos sistemas agrossilviculturais, comuns nos cacauais do sul da Bahia, cria-se um ambiente no solo diferente do encontrado no sistema convencional, resultante do acúmulo de resíduos orgânicos superficiais, da reduzida movimentação do solo e acúmulo superficial de insumos, especialmente aqueles de baixa mobilidade no solo (Paiva e Araujo, 2007; Silveira et al., 2000). Os teores de fósforo (P) disponível para as plantas estão localizados, preferencialmente, nos horizontes superficiais, decrescendo conforme aumenta a profundidade do solo. Este nutriente é, freqüentemente, um fator que restringe o crescimento de plantas por apresentar baixa mobilidade no solo (Bastos et al., 2010). Apesar disso, nunca foram estudadas profundidades de amostragem de solo menores que 0-20 cm em cacauais e a mais recente publicação científica sobre o tema na região data da década de 1970 (Santana et al., 1975).

Assim como no sistema agrossilvicultural, no sistema de plantio direto (SPD), também considerado conservacionista, tem-se observado algumas mudanças na fertilidade do solo após dez ou mais anos de adoção. Dentre elas estão as seguintes: redução na adsorção de P, devido ao menor revolvimento do solo; alta concentração superficial de nutrientes, especialmente na camada de 0-05 cm e raramente ultrapassando a camada de 0-10 cm de profundidade; incremento do teor de matéria orgânica, que obstrui parcialmente os sítios de adsorção de P e aumenta a retenção de água no solo; e redução nas perdas por erosão, devido à proteção dada pelos resíduos culturais mantidos na superfície do solo (Cubilla et al., 2007). As características deste sistema que geram as mudanças citadas são semelhantes às da cacaicultura.

Além da profundidade de amostragem, a seleção do extrator químico – solução ou substância que remove do solo formas químicas dos nutrientes consideradas disponíveis para a planta – é muito importante para a avaliação da fertilidade do solo sob determinada cultura, pois as soluções extraem diferentes quantidades de nutrientes num mesmo solo (Cantarutti et al., 2007). A extração de nutrientes trocáveis – sujeitos ao processo reversível de adsorção pelos colóides do solo – é facilitada pelo próprio fenômeno de troca iônica, por isso, todos os extratores utilizados para potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) quantificam valores semelhantes.

No Brasil, o extrator Mehlich-1 (M1) é o mais utilizado para a determinação de P. O M1 é constituído de ácidos fortes em baixas concentrações e dissolve predominantemente o P ligado ao Ca e quantidades menores de P ligado a ferro e alumínio (Novais et al., 2007). O Mehlich-3 (M3), evolução do M1, é uma mistura de ácidos, sais e quelante, que tem sua ação baseada na acidez da solução e na presença do íon fluoreto (Abreu et al., 2007). A Resina de troca aniônica (RTA), extrator padrão no estado de São Paulo, consiste em esferas com 2 mm de diâmetro e o seu princípio de extração se baseia na adsorção do P da solução, promovendo a dessorção do P da fase sólida para o restabelecimento do equilíbrio químico com a solução (Bortolon et al., 2009).

A variabilidade dos solos altera a dinâmica do P no solo e a capacidade extrativa do M1, requerendo a determinação de um estimador da capacidade tampão de fosfato (ex.: teor de argila e P remanescente). Isso ocorre em diversas regiões do Brasil (Bortolon e Gianello, 2008), porém, o teor de argila, onde existe muita variação na qualidade desta fração, não deve ser considerada como valor de referência para a recomendação de adubação fosfatada. Segundo Novais et al. (2007), o aumento do teor de argila fará com que haja aumento preferencial do caráter-dreno de P do solo, porém em solos menos intemperizados, o aumento da adsorção de P é muito menos expressiva do que o caráter-fonte de P.

O fósforo remanescente (P-Rem) é a quantidade de P adicionada que fica na solução de equilíbrio depois de decorrido o tempo de contato com o solo. O P-Rem é uma medida estreitamente correlacionada à capacidade máxima de adsorção e à capacidade tampão de fosfatos (Pereira et al., 2010). Esta medida, em casos de solos heterogêneos com relação à qualidade de argila, é mais eficiente na determinação da capacidade do solo em adsorver fosfato.

Os objetivos deste trabalho são definir o extrator de P e a profundidade de amostragem de solo para avaliação da disponibilidade de P, K, Ca Mg que melhor se correlacionam com o estado nutricional do cacauzeiro cultivado em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas vinte propriedades rurais no sul da Bahia que possuem lavoura cacauzeira em sistema agrossilvicultural sem irrigação e que foram submetidas aos seguintes procedimentos técnicos: renovação da área pela técnica de enxertia de broto basal com clones tolerantes à vassoura de bruxa (*Moniliophthora perniciosa*); aumento da densidade média para 900 a 1000 plantas ha⁻¹; remoção de espécies arbóreas consideradas indesejáveis por sombrear excessivamente a lavoura; manejo da sombra através da poda de árvores remanescentes e sem uso de fosfato natural como fonte de fósforo (P).

No sul da Bahia, as precipitações e a umidade relativa do ar diminuem no sentido leste-oeste (do oceano Atlântico ao interior do continente). A umidade relativa da região varia de 76,3 a 84,2% (Nacif, 2000). A área de abrangência deste estudo envolve as zonas climáticas úmida e úmida a subúmida da região. A zona úmida não possui estação seca definida e se enquadra em sete tipos climáticos segundo Thornthwaite: B4r A', B3r A', B2r A', B2r B', B1r A', B1r' A' e B1w A'. A zona úmida a subúmida possui um a dois meses de seca e se enquadra em quatro tipos climáticos: C2d A', C2d' A', C2d B' e C2w A' (SEI, 2007). As zonas envolvidas são caracterizadas quanto ao clima na tabela 1.2.

Dentre as propriedades rurais selecionadas, dez estão em zona úmida e dez em zona úmida a sub-úmida (doravante denominada apenas como semi-úmida). Na tabela 2.2, estão relacionados os municípios e o número de fazendas selecionadas a eles pertencentes.

Em cada propriedade, quatro plantas (clone PH16) com idade superior a quatro anos foram selecionadas em condições edáficas e topográficas distintas, buscando-se, assim, alcançar a maior variabilidade de solo possível. Espera-se, com a máxima variação de tipos de solo e conseqüente variação de disponibilidade de nutrientes, saber se o método de avaliação se correlaciona com o estado nutricional das plantas na mais ampla área possível, por motivos práticos – padronização do método (Cantarutti et al., 2007).

As amostras compostas de solo, de cada planta, foram obtidas de doze amostras simples (Chepote et al., 2005) retiradas com sonda nas profundidades de 0-05, 0-10, 0-20 e

20-40 cm, numa faixa de 1,5 a 2,0 m de distância do caule. Depois de secas ao ar, destorroadas e peneiradas (2 mm), as amostras de solo foram analisadas de acordo com Embrapa (2009). Os métodos utilizados foram: Resina de troca aniônica (RTA), Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3) para determinação de P disponível; Cloreto de potássio (KCl, 1 mol L⁻¹) para cálcio (Ca) e magnésio (Mg); M1 para potássio (K); e P remanescente (P-Rem). Para o M1 e o M3, as relações solo:solução foram 1:10 com tempo de agitação de cinco minutos e repouso de 16 horas. O teor de argila foi determinado pelo método do densímetro (Embrapa, 1997).

Tabela 1.2 – Caracterização climática das zonas úmida e úmida a subúmida do sul da Bahia

Descrição	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Média (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Amplitude Térmica (°C)
Úmido	14,4 a 22,5	18,4 a 25,3	24,3 a 31,2	4,9 a 13,5
Úmido a subúmido	15,3 a 22,4	19,4 a 24,6	25,4 a 32,2	5,0 a 15,5
	Precipitação Média (mm)	Deficiência Hídrica (mm)	Excedente Hídrico (mm)	
Úmido	> 2000	0 a 345	200 a 1409	
Úmido a subúmido	1100 a 2000	3 a 426	22 a 424	

Fonte: SEI (2007).

Tabela 2.2 – Municípios do sul da Bahia onde estão localizadas as fazendas selecionadas para a coleta de folhas diagnóstico de cacauero (clone PH16)

Municípios (Zona Úmida)	Fazendas	Municípios (Zona Semi-úmida)	Fazendas
Arataca	1	Barra do Rocha	1
Camacan	1	Ibirataia	4
Ibirapitanga	1	Itagi	1
Igrapiúna	1	Itagibá	2
Itabuna	1	Ipiaú	1
Marau	1	Jequié*	1
Nova Ibiá	1		
Pirai do Norte	1		
Santa Luzia	1		
Uruçuca	1		

* A área do município de Jequié se localiza em três zonas: úmida a subúmida, subúmida a seca e semi-árida (SEI, 2007). Neste município, a coleta foi realizada em zona úmida a subúmida, onde se localizam as lavouras de cacau.

Foram coletadas oito folhas sadias por planta, duas por quadrante na meia altura da copa da planta – a terceira folha a partir do ápice de um ramo recém amadurecido sem

lançamentos (Santana e Igue, 1979) – no período do verão (janeiro e fevereiro de 2010), época de menor flutuação estacional do ano (Cantarutti et al., 2007). As folhas coletadas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas ao laboratório. O material foi seco em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65°C até atingirem massa constante. Após moagem, em moinho tipo Wiley, os teores de Ca, Mg, K e P foram analisados de acordo com Embrapa (2009): digestão nitroperclórica; determinação de P por espectrofotometria de absorção molecular; de K por espectrofotometria de chama e de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica.

As médias das variáveis analisadas foram submetidas à análise estatística exploratória, correlação linear simples de Pearson (utilizando o teste t para verificação da significância até 5%) e regressão, onde os coeficientes foram testados até 5% pelo teste F. Após a seleção da profundidade de amostragem e extrator, foi empregado o teste de identidade de modelos, para avaliar a possibilidade de utilização de apenas um modelo para as duas zonas climáticas juntas. Esse teste consiste na redução da soma dos quadrados, permitindo verificar estatisticamente, pelo teste de F, a significância da diferença entre o total das somas dos quadrados das regressões ajustadas para cada zona isoladamente, e a soma do quadrado da regressão ajustada para o conjunto total dos dados (Regazzi, 1996).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Fósforo

O extrator Mehlich-3 (M3) extraiu os menores teores médios de fósforo (P) em relação ao Mehlich-1 (M1) e a Resina (RTA): $RTA > M1 > M3$. Os valores mínimos e máximos também seguiram este comportamento nas quatro profundidades estudadas, nas duas zonas climáticas (tabela 3.2). Em média, nas quatro profundidades de amostragem e nas duas zonas em conjunto, a RTA extraiu 107% mais que o M1, que por sua vez, extraiu 253% mais que o M3. Este resultado contraria os estudos de Bortolon e Gianello (2008), Schlindwein e Gianello (2008) e Bortolon et al. (2009), que atribuíram ao M3 os maiores teores médios de P em relação à RTA e ao M1.

Presume-se que essa discordância se deva aos diferentes mecanismos de extração das soluções e aos diferentes tipos de solos em questão. Os trabalhos citados foram realizados no sul do Brasil, em solos com grandes quantidades de ferro e alumínio, o que pode explicar a

maior capacidade de extração obtida a partir da solução M3, já que este extrai preferencialmente o P ligado àqueles elementos (Bortolon e Gianello, 2008) e, em menor quantidade, P ligado a Ca (Novais et al., 2007). Além disso, na região cacauzeira da Bahia, excluindo-se os solos hidromórficos, em média, apenas 19% do P total no horizonte A está ligado a ferro, 2,2% ligado a alumínio e 8,3% ligado a Ca (Cabala e Fassbender, 1970).

Os maiores teores médios de P, obtidos pelo método da RTA se devem ao mecanismo de atuação deste extrator. O P ligado à RTA está em equilíbrio com a solução, tal como ocorre no processo de extração do método M1, porém, o M1 extrai por dissolução seletiva das frações mais lábeis em função da redução do pH. Por esse motivo, em solos com alto poder tampão, o tempo de decantação (16 h) pode propiciar o desgaste da capacidade de extração e ocorrer readsorção de P já dissolvido, o que resultará em subestimação dos teores de P nestes solos. Esse efeito é reduzido com o uso da RTA, que extrai por mecanismo de troca iônica entre o bicarbonato do extrator e o P da solução do solo, imitando, assim, a raiz da planta – com a redução do P da solução do solo, há a reposição pelas formas adsorvidas até a exaustão das fontes consideradas disponíveis (Bortolon et al., 2009).

Os menores teores de P obtidos pelo M1 em relação à RTA podem ser também, devidos ao desgaste de seu poder de extração pelo próprio solo, pois em solos com acidez mais tamponada, o pH inicial de 1,2 do M1 é rapidamente elevado para valores de pH próximos ao do solo (Novais et al., 2007). Este resultado é respaldado por várias publicações científicas, porém, contrariando estes dados, Cabala e Santana (1983) encontraram valores de P semelhantes para M1 e RTA ($r=0,84$) em solos do sul da Bahia. Estes autores determinaram faixas de disponibilidade de P, para cacau, semelhantes para os dois extratores.

Os valores médios de P obtidos por todos os extratores decresceram da camada 0-05 para a 20-40 cm nas duas zonas juntas e separadas (tabela 3.2). Muitos trabalhos, no sistema de plantio direto (SPD), têm apresentado resultados semelhantes – maior quantidade de P nas camadas mais superficiais (Silveira et al., 2000; Schlindwein e Gianello, 2008; Bortolon et al., 2009; Zanão Jr. et al., 2010). Nas zonas em conjunto, foram obtidos 23, 27 e 77% a mais de P na profundidade 0-10 cm em relação à 0-20 cm pelos extratores RTA, M1 e M3, respectivamente. Os extratores seguem o mesmo comportamento nas duas zonas quando analisadas separadamente. Schlindwein e Anghinoni (2000) encontraram teores de P extraídos por M1 aproximadamente 50% maiores na camada 0-10 cm em relação a 0-20 cm, em

experimento de longa duração sob SPD. De acordo com Cabala e Fassbender (1970), em média, na região cacauceira da Bahia, a fração orgânica compreende 55% do conteúdo total de P, responsável pela maior concentração deste nutriente próxima a superfície.

Tabela 3.2 – Teores médios, amplitude e coeficiente de variação (CV) de P extraídos por Resina (RTA), Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3) em quatro profundidades de amostragem (0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm) nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas em solos cultivados com cacau (clone PH16) em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia

Profundidade de amostragem (cm)						
Zona úmida + Zona semi-úmida						
	-----0-05-----			-----0-10-----		
	RTA	M1	M3	RTA	M1	M3
	----- mg dm ⁻³ -----					
Amplitude	2,8 - 95,9	1,0 - 66,0	0,6 - 15,5	5,5 - 79,4	1,0 - 51,0	0,5 - 14,5
Média	25,2	17,2	4,9	25,0	11,2	3,9
CV(%)	74,4	87,5	77,3	74,2	90,2	88,7
	-----0-20-----			-----20-40-----		
Amplitude	2,21 - 94,7	1,0 - 35,0	0,3 - 8,9	2,0 - 79,8	0,1 - 28,0	0,3 - 2,2
Média	20,2	8,8	2,2	16,8	4,9	0,9
CV(%)	89,4	88,0	90,5	97,2	118,7	53,4
Zona úmida						
	-----0-05-----			-----0-10-----		
Amplitude	2,8 - 59,1	1,0 - 51,0	0,6 - 3,5	5,5 - 73,3	1,0 - 45,0	0,5 - 6,6
Média	18,3	16,0	2,0	24,4	12,2	1,8
CV(%)	80,8	78,3	44,6	77,8	81,5	74,3
	-----0-20-----			-----20-40-----		
Amplitude	2,2 - 64,3	1,0 - 28,0	0,3 - 1,2	2,0 - 79,7	1,0 - 19,0	0,3 - 0,8
Média	18,5	8,8	0,7	24,8	4,2	0,5
CV(%)	89,2	76,5	43,0	66,5	92,9	28,3
Zona semi-úmida						
	-----0-05-----			-----0-10-----		
Amplitude	9,9 - 78,1	2,0 - 66,0	3,8 - 15,5	7,4 - 79,4	1,0 - 37,0	0,9 - 14,5
Média	30,5	18,5	7,8	25,8	10,3	6,2
CV(%)	56,2	93,8	42,6	73,7	92,3	60,1
	-----0-20-----			-----20-40-----		
Amplitude	5,3 - 94,7	2,0 - 35,0	1,3 - 8,9	2,2 - 33,5	0,1 - 28,0	0,8 - 2,2
Média	21,8	8,8	3,8	9,0	5,4	1,3
CV(%)	89,2	100,1	60,8	86,7	131,2	30,5

Os valores mínimos, máximos e médios de P-Rem diminuem da camada mais superficial para a mais profunda (tabela 4.2). Tal gradiente pode ser explicado pelo tipo de manejo adotado nas lavouras de cacau. O sistema agrossilvicultural permite o acúmulo de

matéria orgânica em superfície (Paiva e Araujo, 2007) e quanto maior é a quantidade de matéria orgânica, em geral é menor a adsorção de fosfatos e, conseqüentemente, maior é o P-Rem, uma vez que ácidos orgânicos de baixo peso molecular podem bloquear os sítios de adsorção (Donagemma et al., 2008).

A média de P-Rem a 0-20 cm de profundidade ($27,7 \text{ mg L}^{-1}$), apresentada na tabela 4.2, é 72% maior que a média de um Latossolo Vermelho eutrófico típico estudado por Donagemma et al. (2008). O trabalho citado apresenta um valor médio de P-Rem de $5,8 \text{ mg L}^{-1}$ para sete tipos de LV: o menor valor para um LV perférrico ($2,4 \text{ mg L}^{-1}$) e o maior valor para um LVe ($10,2 \text{ mg L}^{-1}$).

Os teores mais altos de P-Rem na profundidade 0-05 e 0-10 cm podem ser explicados pelo acúmulo de resíduos orgânicos e inorgânicos em superfície – em decorrência da reduzida movimentação do solo (Paiva e Araujo, 2007). Com a alta concentração superficial de nutrientes e com o incremento do teor de matéria orgânica, que obstrui parcialmente os sítios de adsorção de P, ocorre redução na adsorção de P (Cubilla et al., 2007). Além das maiores médias de P-Rem, os coeficientes de variação na profundidade de amostragem 0-05 cm foram abaixo de 16% (tabela 4.2). Isso indica a ação da matéria orgânica no bloqueio dos sítios de adsorção de P.

Os coeficientes de correlação obtidos entre os teores de P extraídos pelos métodos estão apresentados na tabela 5.2. Foram observadas correlações significativas entre os extratores na profundidade 0-05 cm nas duas zonas juntas e separadas. Na profundidade 0-10 cm, os mais altos graus de associação foram constatados entre o M1 e o M3 nas duas zonas em conjunto e separadas. Correlações entre estes extratores também foram observadas por Bortolon et al. (2009). Na zona úmida, as correlações entre RTA x M1 e M3 foram mais baixas em relação à zona semi-úmida. Na profundidade 20-40 cm, os coeficientes de correlação entre os extratores foram menores em comparação às outras profundidades.

Os teores foliares de P estão apresentados na tabela 6.2. A composição mineral das folhas do cacauzeiro é tão variável que não há concordância entre os autores acerca dos teores adequados para uma boa produção (Chepote et al., 2005). A faixa de suficiência para cacau, considerada neste trabalho, é de $1,5$ a $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ de P (Malavolta, 1987; Cantarutti et al., 2007). O valor médio das duas zonas climáticas e na zona semi-úmida se encontra dentro dessa faixa. Na zona úmida, os teores foliares de P variaram de $1,09 \text{ g kg}^{-1}$ (plantas

deficientes em P) a 1,72 g kg⁻¹ (excesso de P). Na zona semi-úmida, os teores variam de 0,82 g kg⁻¹ (plantas deficientes em P) a 3,13 g kg⁻¹ (excesso de P).

Tabela 4.2 – Teores mínimo, máximo, médio e coeficiente de variação (CV) de P-remanescente (P-Rem) e argila em quatro profundidades de amostragem (0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm), nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas, em solos cultivados com cacau (clone PH16) em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia

Profundidade de amostragem (cm)				
Zona Úmida + Zona semi-úmida				
	0-05		0-10	
	P-Rem (mg L ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	P-Rem (mg L ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)
Amplitude	20,1 – 54,9	20,0 – 400,0	15,3 – 56,9	20,0 – 240,0
Média	34,4	96,8	31,8	237,6
CV (%)	14,3	84,2	27,4	61,0
	0-20		20-40	
Amplitude	12,5 – 46,6	100,0 – 580,0	9,9 – 45,2	80,0 – 600,0
Média	27,7	372,2	21,6	349,8
CV (%)	27,1	30,7	23,9	20,0
Zona Úmida				
	0-05		0-10	
Amplitude	21,2 – 54,9	20,0 – 400,0	16,3 – 48,1	20,0 – 240,0
Média	34,3	105,5	30,9	101,5
CV (%)	15,7	95,1	37,7	60,4
	0-20		20-40	
Amplitude	14,78 – 41,3	100,0 – 560,0	9,9 – 45,3	80,0 – 560,0
Média	27,2	344,0	20,6	374,0
CV (%)	23,4	40,8	34,4	29,3
Zona Semi-úmida				
	0-05		0-10	
Amplitude	20,6 – 45,2	20,0 – 200,0	15,3 – 56,9	80,0 – 560,0
Média	34,4	88,0	32,5	374,0
CV (%)	13,1	46,2	32,0	39,3
	0-20		20-40	
Amplitude	12,5 – 46,6	220,0 – 580,0	10,1 – 45,2	120,0 – 600,0
Média	28,2	400,5	22,8	325,5
CV (%)	30,4	17,8	33,3	36,4

Os teores foliares de P se correlacionaram positivamente e significativamente com os teores disponíveis de P no solo (tabela 5.2). Os maiores graus de associação foram constatados na profundidade 0-10 cm para todos os extratores. De modo geral, os teores de argila e P-Rem tiveram correlações baixas com os teores foliares de P. Na tabela 7.2 são apresentados os modelos de regressão que estimam o teor foliar de P do cacau em função

do P disponível no solo. Os maiores coeficientes de determinação foram obtidos à profundidade de 0-10 cm.

Os maiores valores de R^2 foram observados na zona semi-úmida. Na zona úmida, os modelos foram estatisticamente significativos, apesar de terem menores R^2 . Na zona úmida, também foram observados os menores graus de correlação entre os extratores (tabela 5.2). A alta variabilidade nas características físicas, químicas e mineralógicas dos solos em estudo e as diferenças nos mecanismos de extração de cada solução – conforme já discutido anteriormente – conduziram às diferenças entre os extratores na capacidade de prever o teor foliar de P.

São muitas as causas de variação de teor foliar de nutrientes em cacauzeiros sob sistema agrossilvicultural. Dentre elas estão: variedade, sombra, época do ano, estágio fisiológico da planta, posição da folha, presença de lançamentos e variação sazonal (Santana e Igue, 1979; Malavolta et al., 1984). Por isso, com todas essas fontes de variação, os valores de R^2 superiores à profundidade de 0-10 cm em relação às demais são suficientes para considerar esta como profundidade de amostragem de solo ideal para avaliar a fertilidade de P no solo para o cultivo agrossilvicultural de cacau.

Se o presente trabalho tivesse sido conduzido em ambiente controlado, não seria possível chegar a uma conclusão próxima da situação real, pois as diferenças, principalmente, de entrada de luz num sistema agrossilvicultural são muito heterogêneas. E existem ainda, outros fatores que devem ser levados em consideração como causa de variação do teor foliar de P, como o ataque / incidência de pragas e doenças, interações com diferentes espécies de árvores que compõem o sistema e heterogeneidade genética do sistema radicular, visto que a padronização do clone (PH16) só pode ser feita para o enxerto.

O teste de identidade de modelos indicou, para todos os extratores de P e todas as profundidades avaliadas, que há diferenças entre as zonas climáticas, ou seja, não é possível agrupar as duas em um modelo reduzido, porque existe diferença significativa entre as declividades dos modelos das duas zonas (tabela 7.2). Os coeficientes angulares dos modelos da zona semi-úmida na profundidade 0-10 cm são 475, 480 e 616% maiores em relação aos da zona úmida para RTA, M1 e M3, respectivamente. Isso sugere que deve haver tabelas distintas para a interpretação de P disponível e para o teor foliar de P entre as duas zonas climáticas em estudo.

Tabela 5.2 – Coeficientes de correlação linear de Pearson entre os teores de P extraídos por Resina (RTA), Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3), teor de argila, P-remanescente (P-Rem) e teor foliar de P (TFP), nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas, em solos cultivados com cacau (clone PH16) em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia nas profundidades de amostragem do solo 0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm

	Profundidade de Amostragem (cm)									
	TFP	Argila	P-Rem	M3	M1	TFP	Argila	P-Rem	M3	M1
Zona Úmida + Semi-Úmida										
-----0-05-----										
RTA	0,51*	-0,01 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,52*	0,55*	0,65**	-0,03 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,62**	0,69**
M1	0,41*	0,00 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,68**		0,48*	-0,12 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,82**	
M3	0,60*	-0,01 ^{ns}	0,10 ^{ns}			0,54*	-0,02 ^{ns}	-0,01 ^{ns}		
P-Rem	0,21 ^{ns}	-0,04 ^{ns}				0,30*	-0,04 ^{ns}			
Argila	-0,05 ^{ns}					-0,01 ^{ns}				
-----0-10-----										
-----0-20-----										
RTA	0,30*	0,08 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,44*	0,53*	0,09 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,50*	0,31*
M1	0,37*	0,21 ^{ns}	0,33*	0,74*		0,12 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	0,32*	0,31*	
M3	0,41*	0,25 ^{ns}	0,28*			0,23 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,26*		
P-Rem	0,35*	0,05 ^{ns}				0,29*	-0,37*			
Argila	0,18 ^{ns}					0,10 ^{ns}				
-----20-40-----										
Zona Úmida										
-----0-05-----										
RTA	0,24 ^{ns}	0,28 ^{ns}	-0,36*	0,49*	0,57*	0,53*	0,04 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,04 ^{ns}
M1	0,21 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,72**		0,67**	0,05 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,71**	
M3	0,49*	-0,01 ^{ns}	-0,21 ^{ns}			0,44*	0,14 ^{ns}	0,11 ^{ns}		
P-Rem	-0,29 ^{ns}	0,00 ^{ns}				0,11 ^{ns}	0,14 ^{ns}			
Argila	-0,02 ^{ns}					0,37*				
-----0-10-----										
-----0-20-----										
RTA	0,39*	-0,04 ^{ns}	-0,16 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,0 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,43*	0,23 ^{ns}
M1	0,35*	0,10 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,81**		0,32*	-0,05 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,13 ^{ns}	
M3	0,28 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,12 ^{ns}			0,19 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,05 ^{ns}		
P-Rem	-0,29 ^{ns}	-0,08 ^{ns}				-0,23 ^{ns}	-0,63**			
Argila	0,37*					0,35*				
-----20-40-----										
Zona Semi-Úmida										
-----0-05-----										
RTA	0,78**	-0,14 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,57*	0,54*	0,80**	-0,08 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,87**	0,88**
M1	0,56*	-0,18 ^{ns}	0,48*	0,65**		0,83**	-0,26 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,88**	
M3	0,69*	-0,23 ^{ns}	0,42*			0,75**	-0,12 ^{ns}	0,06 ^{ns}		
P-Rem	0,45*	-0,20 ^{ns}				0,37*				
Argila	-0,12 ^{ns}					-0,01 ^{ns}				
-----0-10-----										
-----0-20-----										
RTA	0,44*	0,24 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,65**	0,77*	0,44**	-0,08 ^{ns}	0,54*	0,59**	0,82**
M1	0,49*	0,38*	0,50*	0,72**		0,07 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	0,67**	0,58**	
M3	0,50*	0,39*	0,43*			0,57*	0,25 ^{ns}	0,65**		
P-Rem	0,49*	0,44*				-0,08 ^{ns}	-0,12 ^{ns}			
Argila	0,32 ^{ns}					0,35*				
-----20-40-----										

** , * : Significativo a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste t, respectivamente. ^{ns}: não significativo.

Tabela 6.2 – Teores foliares mínimos, máximos, médios e coeficiente de variação (CV) de P de cacaueteiro (clone PH16), cultivados em sistema agrossilvicultural nas zonas climáticas úmida e semi-úmida no sul da Bahia

Zonas climáticas	Teor foliar de P (g kg ⁻¹)			
	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)
Nas duas zonas climáticas	0,82	3,13	1,50	30,81
Zona úmida	1,09	1,72	1,34	22,56
Zona semi-úmida	0,82	3,13	1,64	38,46

Tabela 7.2 – Equações de regressão linear simples que estimam o teor foliar de P, g kg⁻¹, de cacaueteiros (clone PH16) cultivados em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia em função do P extraído por Resina, Mehlich-1 e Mehlich-3, mg dm⁻³, nas profundidades 0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm, nas zonas climáticas úmida (ZU) e semi-úmida (ZSU)

Zonas	Modelo	R ²	TIM	Modelo	R ²	TIM
Profundidade de Amostragem						
P – Resina						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 1,34$		A	$\hat{y} = 1,23 + 0,004 * x$	0,28	A
ZSU	$\hat{y} = 0,64 + 0,032 ** x$	0,61	B	$\hat{y} = 0,89 + 0,023 ** x$	0,64	B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 1,34$		A	$\hat{y} = m = 1,34$		A
ZSU	$\hat{y} = 1,26 + 0,016 * x$	0,20	B	$\hat{y} = 1,20 + 0,048 * x$	0,20	B
P – Mehlich-1						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 1,34$		A	$\hat{y} = 1,21 + 0,010 * x$	0,45	A
ZSU	$\hat{y} = 1,20 + 0,024 * x$	0,32	B	$\hat{y} = 0,97 + 0,058 ** x$	0,70	B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 1,34$		A	$\hat{y} = m = 1,34$		A
ZSU	$\hat{y} = 1,25 + 0,036 * x$	0,24	B	$\hat{y} = m = 1,64$		B
P – Mehlich-3						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 1,24 + 0,023 * x$	0,26	A	$\hat{y} = 1,27 + 0,018 * x$	0,20	A
ZSU	$\hat{y} = 1,02 + 0,125 * x$	0,48	B	$\hat{y} = 1,08 + 0,129 ** x$	0,56	B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 1,34$		A	$\hat{y} = m = 1,34$		A
ZSU	$\hat{y} = 1,31 + 0,164 * x$	0,25	B	$\hat{y} = 0,86 + 1,054 * x$	0,33	B

**, *: Significativo a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste F, respectivamente. TIM: teste de identidade de modelos de regressão (letras diferentes na mesma profundidade de amostragem indicam que os modelos completos – de cada zona em particular – diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste F).

A inclusão dos teores de argila ou P-Rem nos modelos de regressão para a predição do teor foliar de P em função do P disponível não foi significativa. Quanto à argila, há uma heterogeneidade mineralógica muito grande nos solos sob cacauais na região em estudo (Santana, 1985; Santana et al., 2002), o que justificaria a sua não utilização como medida indireta da adsorção de P. Por este motivo, o teor de argila, em circunstâncias como esta, não deve ser considerado como valor auxiliar de referência para a recomendação de adubação fosfatada. Segundo Novais et al. (2007), o aumento do teor de argila fará com que haja aumento preferencial do caráter-dreno de P do solo, porém em solos menos intemperizados, o aumento da adsorção de P é muito menos expressiva do que o caráter-fonte de P.

Quanto ao P-Rem, de um modo geral, as suas médias foram próximas e elevadas com coeficientes de variação abaixo de 38% nas duas zonas juntas e separadas (tabela 4.2), o que indica que os solos estudados tem capacidade de adsorção de fosfato bem menor que a média dos solos brasileiros e que esta característica varia relativamente pouco, não sendo relevante para avaliação da fertilidade de P, mesmo quando o extrator utilizado é sensível à capacidade tampão de fosfato, como é o caso do M1.

A RTA, em particular, é menos sensível ao fator capacidade de P. Por isso não é necessário incluir medidas de adsorção de P na interpretação de níveis críticos de P por RTA (Novais et al., 2007). Schlindwein e Anghinoni (2000) determinaram que o nível crítico de P por RTA para as culturas da soja, trigo e milho é independente do teor de argila.

A figura 1.2 ilustra o aumento dos teores foliares de P em função dos teores de P disponível no solo em cada zona na camada de 0-10 cm – profundidade de amostragem que concentra maior parte do P em relação às camadas mais profundas e que melhor se correlacionou com os teores foliares do nutriente.

3.3.2 Potássio, Cálcio e Magnésio

Os teores médios de K, Ca e Mg trocáveis decresceram da profundidade 0-05 cm para a 20-40 cm (tabela 8.2) nas duas zonas climáticas juntas e separadas. Como o sistema agrossilvicultural favorece o acúmulo de matéria orgânica no solo, conseqüentemente, favorece também o acúmulo de K, Ca e Mg próximo a superfície. Bortolon et al. (2009) encontraram teores de K extraído por M1 maiores em 29,1% na camada de 0-10 cm em

relação a camada de 0-20 cm e atribuíram este comportamento ao fato de que grande parte do K absorvido pelas plantas retorna ao solo – remanescente nos resíduos orgânicos.

Concentrações superficiais de K com a formação de gradiente à medida que aumenta a profundidade de amostragem também foram observadas por Schlindwein e Anghinoni (2008) em SPD. Furtado et al. (2009) encontraram 41 e 26% mais Ca e Mg, respectivamente, na camada de 0-20 cm em relação à de 20-40 cm em 16 propriedades rurais na região do Vale do Ribeira no estado de São Paulo .

Chepote et al., (2005), relataram teores foliares de K em cacauzeiros, de lavouras de alta produtividade, em três faixas distintas, a saber: 3,8-12,5; 21,0-24,0 e 16,5-17,1 g kg⁻¹, mas não explicou o porquê das diferenças entre elas. Desse modo, tomou-se como referência uma faixa de suficiência para a caracterização dos dados do presente trabalho – de 17,0 a 20,0 g kg⁻¹ (Cantarutti et al., 2007). Na zona úmida, 82,5 e 15,4% das plantas apresentaram teores foliares de K abaixo e dentro da faixa de suficiência, respectivamente. Na zona semi-úmida, 72,5 e 22,5% apresentaram teores baixos e adequados, respectivamente. Nas duas zonas em conjunto, 18,8% das plantas apresentaram teores foliares de K adequados; 3,8%, acima; e as demais, em deficiência. Foi observado que na zona semi-úmida os teores de K trocável do solo foram, em média, 25% superiores em relação à zona úmida (tabela 8.2). Isso refletiu no teor foliar médio de cada zona – maior na semi-úmida (tabela 9.2).

Existe, também, discordância entre os autores, acerca dos valores de referência para Ca e Mg, conforme pode ser observado em Chepote et al. (2005). Por isso, para a caracterização dos dados quanto a estes nutrientes, foram consideradas faixas de suficiências recomendadas por Cantarutti et al. (2007) – 9,0 a 12,0 g kg⁻¹ para Ca e 4,0 a 7,0 g kg⁻¹ para Mg.

Nas duas zonas climáticas juntas, 11,5, 32,0 e 56,5% das plantas apresentaram teores foliares de Ca abaixo, adequados e acima da faixa de referência, respectivamente. Na zona úmida, 15,4, 15,4 e 69,2% apresentaram teores abaixo, adequados e acima do preconizado, respectivamente. Na zona semi-úmida, apenas 7,7% apresentaram valores abaixo do recomendado; 48,7%, adequado; e 43,6%, acima (tabela 9.2). Os teores de Ca trocável no solo e foliar desta zona foram, em média, 8 e 18%, respectivamente, superiores em relação à zona úmida.

Tabela 8.2 – Teores médios, amplitude e coeficiente de variação (CV) de K, Ca e Mg trocáveis de amostras coletadas às profundidades 0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm em solos cultivados com cacau em sistema agrossilvicultural nas zonas climáticas úmida e semi-úmida da região sul da Bahia

	Profundidade de Amostragem (cm)			
	(0-05)	(0-10)	(0-20)	(20-40)
Zona úmida + semi-úmida (K)				
	cmol _c dm ⁻³			
Média	0,23	0,21	0,18	0,11
Amplitude	0,07-0,73	0,07-0,60	0,04-0,57	0,02-0,41
CV (%)	62,76	63,35	63,54	73,64
Zona úmida (K)				
Média	0,20	0,18	0,16	0,10
Amplitude	0,07-0,73	0,07-0,55	0,04-0,47	0,02-0,41
CV (%)	61,16	53,80	54,80	75,00
Zona semi-úmida (K)				
Média	0,26	0,23	0,20	0,11
Amplitude	0,09-0,65	0,08-0,60	0,06-0,57	0,03-0,36
CV (%)	60,83	67,64	65,88	72,72
Zona úmida + semi-úmida (Ca)				
Média	5,03	4,28	3,29	2,09
Amplitude	1,7-11,3	1,2-9,7	0,9-6,5	0,50-7,90
CV (%)	40,72	44,96	46,40	75,93
Zona úmida (Ca)				
Média	4,91	4,16	3,15	1,87
Amplitude	1,70-11,30	1,20-9,70	1,00-6,50	0,50-7,90
CV (%)	47,48	51,41	50,73	74,48
Zona semi-úmida (Ca)				
Média	5,15	4,40	3,41	2,30
Amplitude	1,90-8,90	1,30-8,20	0,90-6,50	0,60-7,50
CV (%)	34,06	38,90	42,78	75,89
Zona úmida + semi-úmida (Mg)				
Média	2,32	2,00	1,60	1,08
Amplitude	0,90-5,10	0,60-4,50	0,50-3,90	0,20-3,30
CV (%)	38,80	41,50	44,88	60,49
Zona úmida (Mg)				
Média	2,33	2,02	1,61	1,08
Amplitude	0,90-5,10	0,60-4,50	0,60-3,90	0,40-2,70
CV (%)	46,32	48,78	53,72	66,81
Zona semi-úmida (Mg)				
Média	2,32	1,98	1,58	1,06
Amplitude	0,90-4,00	0,60-3,50	0,50-3,00	0,20-3,30
CV (%)	17,20	32,84	34,10	54,02

Nas duas zonas, o teor foliar médio de Mg se apresentou um pouco acima da faixa de suficiência para a cultura. Nas duas zonas climáticas juntas, 23,8 e 56,2% das plantas apresentaram teores foliares adequados e acima da faixa de referência, respectivamente. Na zona úmida, 47,5 e 50,0% apresentaram teores adequados e acima do preconizado, respectivamente. Na zona semi-úmida, 37,5% das plantas apresentaram valores abaixo e 62,5%, acima. Os teores médios de Mg trocável do solo diferem, em média, apenas 1% entre as zonas.

Tabela 9 – Teores foliares médios, amplitude e coeficiente de variação (CV) de K, Ca e Mg de cacau (clone PH16) cultivado em sistema agrossilvicultural nas zonas climáticas úmida e semi-úmida do sul da Bahia

Parâmetros	K	Ca	Mg
Zona úmida + semi-úmida			
----- g kg ⁻¹ -----			
Média	12,8	15,8	7,4
Amplitude	4,3-24,2	4,0-26,5	3,3-10,9
CV (%)	37,1	30,1	21,4
Zona úmida			
Média	12,5	14,5	7,3
Amplitude	4,3-21,8	4,0-26,5	3,3-10,9
CV (%)	36,7	35,5	25,1
Zona semi-úmida			
Média	13,1	17,1	7,4
Amplitude	4,8-24,2	10,0-25,6	4,8-10,0
CV (%)	36,8	23,1	17,2

Os teores de K, Ca e Mg trocáveis do solo se correlacionaram com os teores foliares destes nutrientes (Figura 2.2). Embora tenham sido obtidas correlações significativas nas diferentes profundidades avaliadas, foi considerada a profundidade 0-10 cm como ideal para todos os nutrientes avaliados, por motivo de praticidade na coleta da amostra. Para Ca e K, a melhor profundidade seria 0-20 cm para a zona semi-úmida apenas. A profundidade 0-10 cm foi a única que apresentou todos os modelos significativos. Conseqüentemente, é a profundidade indicada para avaliar a fertilidade do solo sob lavoura cacauzeira.

Como já discutido anteriormente, além da variabilidade de solos, são muitas as causas da variação da composição mineral das folhas de cacau sob sistema agrossilvicultural. Por isso, mesmo com valores de R² em torno de 0,50, considera-se que a profundidade de amostragem de solo ideal para esta cultura é de 0-10 cm. Um exemplo dessa variação é

relatado por Santana e Igue (1979), que encontraram, aproximadamente, duas vezes mais Ca em dezembro de 1974 em comparação a dezembro do ano anterior em folhas coletadas nas mesmas plantas. O contrário foi observado em relação ao Mg – maiores valores no primeiro ano em comparação ao segundo.

O teste de identidade de modelos indicou, para todas as profundidades avaliadas, que há diferenças entre as zonas climáticas, ou seja, não é possível agrupar as duas em um modelo reduzido, porque existe diferença significativa entre as declividades dos modelos das duas zonas, exceto para o K nas profundidades 0-10, 0-20 e 20-40 cm (tabela 10.2).

Tabela 10.2 – Equações de regressão que estimam o teor foliar, mg kg⁻¹, de K, Ca e Mg de cacauzeiros (clone PH16) cultivados em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia em função dos teores destes nutrientes no solo, cmol_c dm⁻³, às profundidades 0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm, nas zonas climáticas úmida (ZU) e semi-úmida (ZSU)

Zonas	Modelo	R ²	TIM	Modelo	R ²	TIM
K						
Profundidade de Amostragem						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 8,51+18,182*x$	0,26	A	$\hat{y} = 7,57+24,767*x$	0,50	A
ZSU	$\hat{y} = 6,24+26,331**x$	0,75	B			A
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 7,10+30,21*x$	0,52	A	$\hat{y} = 7,99+41,452*x$	0,54	A
ZSU			A			A
Ca						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 14,5$		A	$\hat{y} = 10,54+1,015*x$	0,20	A
ZSU	$\hat{y} = 8,46+1,683*x$	0,55	B	$\hat{y} = 8,98+1,851*x$	0,59	B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 14,5$		A	$\hat{y} = m = 14,5$		A
ZSU	$\hat{y} = 9,67+2,185*x$	0,60	B	$\hat{y} = 13,87+1,413*x$	0,35	B
Mg						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 5,52+0,776*x$	0,20	A	$\hat{y} = 5,52+0,894*x$	0,23	A
ZSU	$\hat{y} = 5,04+1,034*x$	0,32	B	$\hat{y} = 5,31+1,081*x$	0,30	B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 7,3$		A	$\hat{y} = m = 7,3$		A
ZSU	$\hat{y} = 5,28+1,364*x$	0,33	B	$\hat{y} = m = 7,4$		A

**, *: Significativo a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste F, respectivamente. TIM: teste de identidade de modelos de regressão (letras diferentes na mesma profundidade de amostragem indicam que os modelos completos – de cada zona em particular – diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste F).

Os coeficientes angulares dos modelos da zona semi-úmida na profundidade 0-10 cm são 82 e 21% maiores em relação aos da zona úmida para Ca e Mg, respectivamente. Isso sugere que deve haver tabelas distintas para interpretação de Ca e Mg trocáveis e na planta entre as duas zonas climáticas em estudo, fato não aplicável para K, que mostrou semelhante relação entre os teores no solo e na planta nas duas regiões. A figura 2.2 ilustra a relação dos teores foliares de Ca e Mg com os teores desses nutrientes no solo em cada zona climática separadamente e a relação dos teores foliares de K com os teores trocáveis nas duas zonas em conjunto.

Talvez, para os teores foliares de Mg, a diferença de pluviosidade entre as zonas tenha sido suficiente para gerar as diferenças entre os modelos de cada uma. A média de conteúdo foliar de Mg foi 16% superior na zona úmida em relação à semi-úmida (10,2 mg na zona úmida e 8,8 mg na zona semi-úmida). Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que a média de massa seca foliar da zona úmida (1,4g) foi 17% superior em relação à zona semi-úmida (1,2g), compensando assim, as menores médias de teores foliares de nutrientes encontrados na zona úmida.

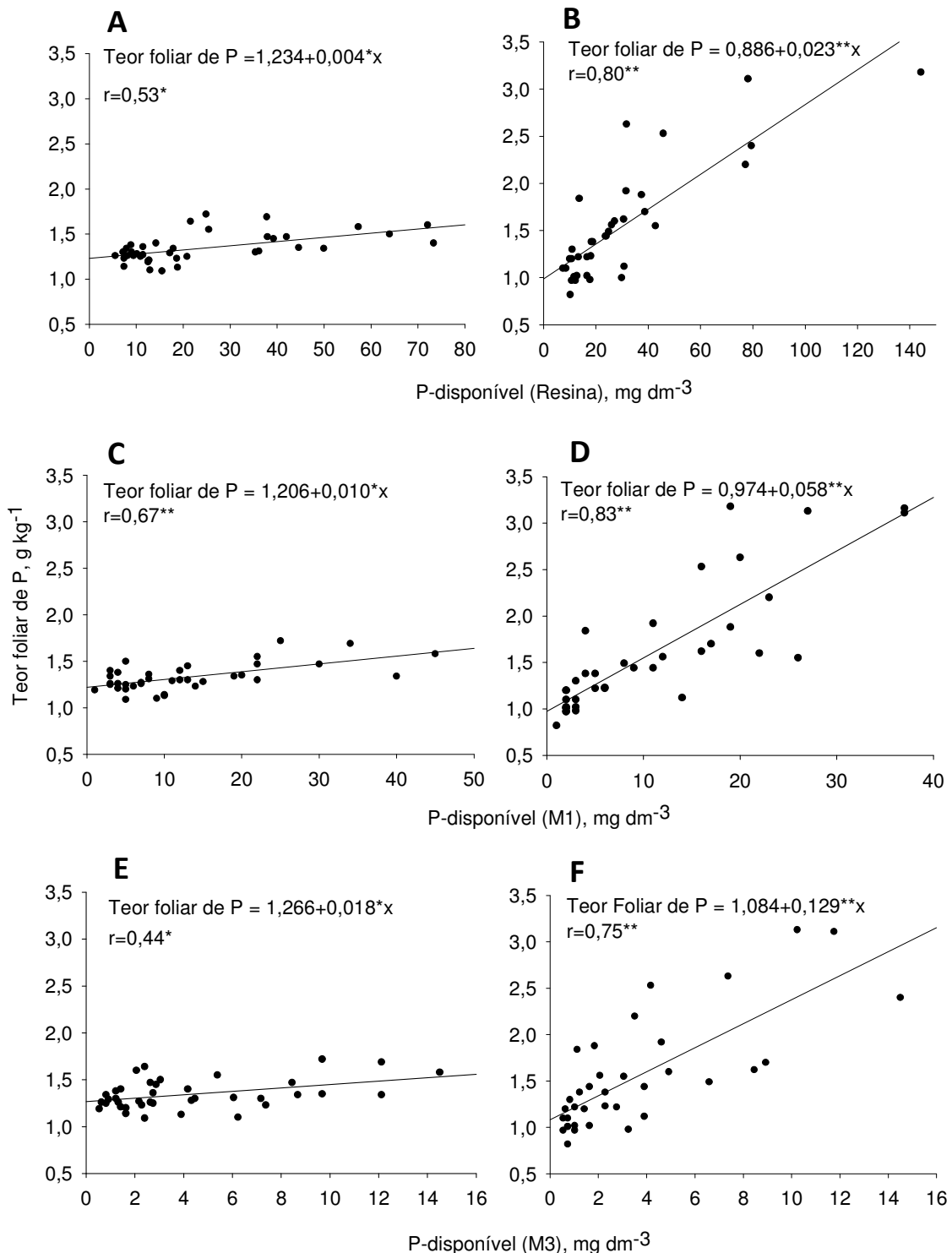


Figura 1.2 – Teores foliares de P de cacauero (clone PH16) em função do teor de P disponível no solo a 0-10 cm de profundidade, extraído por Resina, Mehlich-1 (M1) e Mehlich-3 (M3), nas zonas climáticas úmida (A, C e E) e semi-úmida (B, D e F) do sul da Bahia.

******, *****: Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

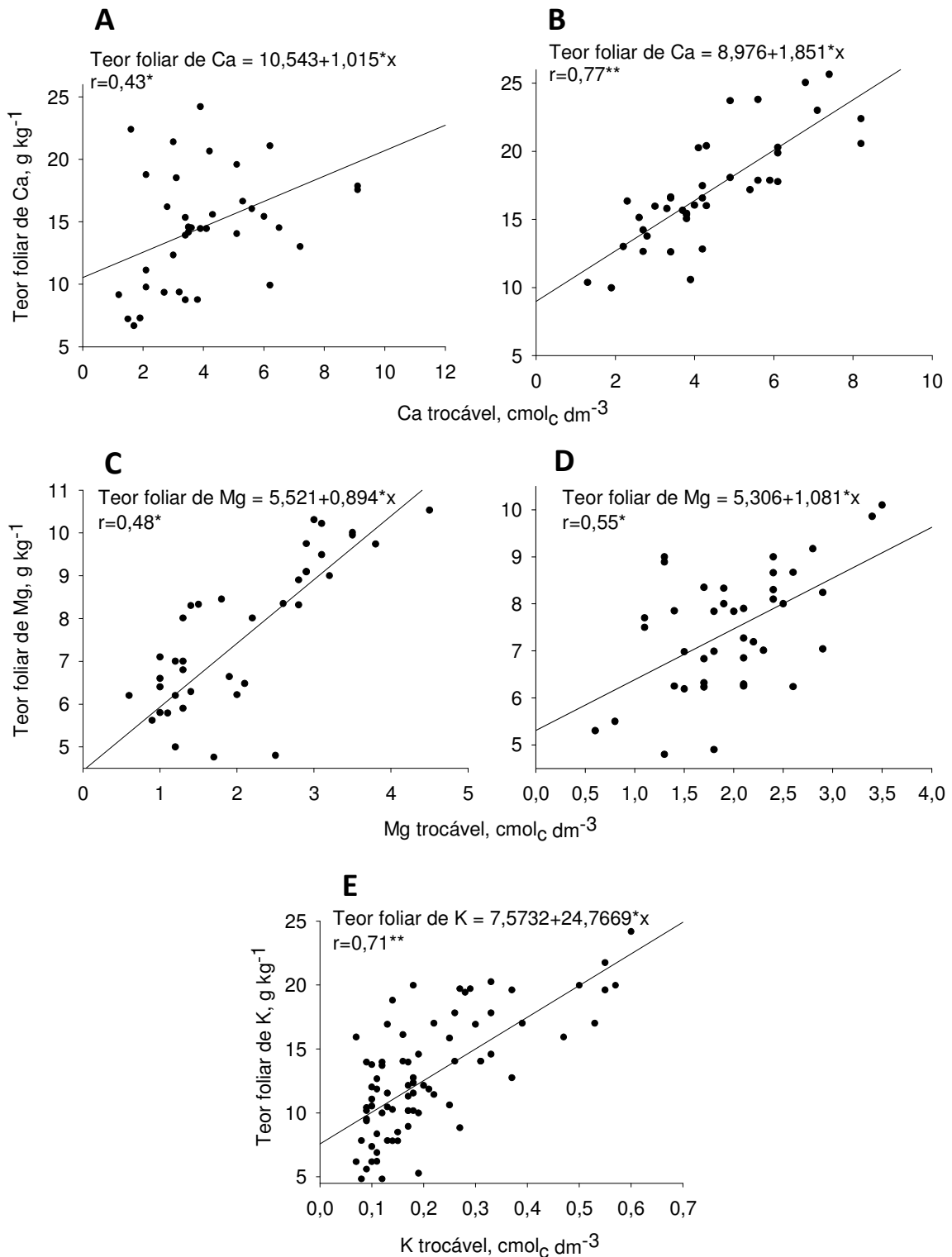


Figura 2.2 – Teores foliares de K, Ca e Mg de cacaueteiro (clone PH16) em função do teor de K, Ca e Mg trocáveis do solo a 0-10 cm de profundidade nas zonas climáticas úmida (A e C), semi-úmida (B e D) e nas duas zonas climáticas (E) do sul da Bahia.

** , * : Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

3.4 CONCLUSÕES

1. A capacidade de extração de fósforo no solo foi: resina de troca aniônica (RTA) > Mehlich-1 (M1) > Mehlich-3 (M3). Estes extratores apresentaram correlações entre si variáveis em função da profundidade do solo e da região climática, sendo as maiores correlações, de modo geral, entre M1 e M3.
2. O extrator de P que gerou melhores modelos entre os teores no solo e na planta foi o M1, seguido da RTA e do M3. Estimadores da capacidade tampão de P (teor de argila e P-remanescente) não foram significativos quando incluídos nos modelos de teor foliar de P em função de seu teor no solo.
2. Os valores médios de P, K, Ca, Mg e P-remanescente decresceram em profundidade.
3. Para os nutrientes avaliados, a relação entre sua disponibilidade no solo e seu teor foliar no cacaueteiro variou em função da região climática do sul da Bahia, independente do extrator e da profundidade do solo, exceto para o K, que não teve a relação influenciada em função da região climática.
4. A profundidade de amostragem mais apropriada para avaliar a fertilidade do solo em P foi 0-10 cm, independente do extrator e da região; para os nutrientes trocáveis essa profundidade também mostrou-se, em média, a mais apropriada.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. M. V. C.; PEQUENO, P. L. L.; MATOS, P. G. G.; DESTRO, W.; SILVA, A. P. R.; LIMA, G. C.; SIRIACO, F. Fatores que afetam a produtividade do cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) em Rondônia, Brasil. Ver. Agrotrópica, 2003, v. 15, n. 3, p. 161-168.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C. Interpretação de resultados analíticos de fósforo pelos extratores Mehlich-1 e Mehlich-3 em solos do Rio Grande do Sul. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2008, v. 32, p. 2751-2756.

BORTOLON, L.; SCHLINDWEIN, A.; GIANELLO, C. Métodos de extração de fósforo e potássio no solo sob sistema plantio direto. Ciência Rural, 2009, v.39, n.8, p.2400-2407.

CABALA, P.; FASSBENDER, H. W. Formas del fósforo en suelos de La región cacaotera de Bahía, Brasil. Turrialba, 1970, v.20, n.4, p.439-444.

CABALA, P.; SANTANA, M. B. M. Disponibilidade e diagnose de fósforo pela análise química do solo com referência ao Brasil. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 1983, v. 7, n. 2. p.109-118.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769 – 850.

CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. L.; SERÔDIO, M. H. C. F.; VALLE, R. R. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauzeiro no Sul da Bahia – 2ª aproximação. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC, 2005. 36p.

CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; MIELNICZUK, J. Calibração visando a fertilização com fósforo para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. Rev. Bras. de Ciênc. Solo. 2007, v. 31, p. 1463-1474.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. H.; KER, J. C.; FONTES, M. P. F. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2008, v. 32, n. 4, p. 1785-1791.

EMBRAPA, Informação tecnológica. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Editor técnico: SILVA, F. C.; 2 ed. rev. amp. Brasília, 2009. 627p.

EMBRAPA, Centro Nacional de pesquisa de solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FURTADO, E. L.; BUENO, C. J.; OLIVEIRA, A. L.; MENTEN, J. O. M.; MALAVOLTA, E. Relações entre ocorrência do Mal-de-Panama em bananeira da cv. Nanicao e nutrientes no solo e nas folhas. Trop. plant pathol. 2009, v. 34, n. 4, p. 211-215.

MALAVOLTA, E. Manual de calagem e adubação das principais culturas. São Paulo: Ceres, 1987. 497p.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. Adubos e adubações. São Paulo: Nobel, 2002. 200p.

MANDARINO, E. P.; GOMES, A. R. S. Produtividade do cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) cultivado em blocos monoclonais, no sul da Bahia, Brasil. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. 2009, 32 p. Boletim Técnico nº 197.

NACIF, P. G. S. Ambientes naturais da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, com ênfase nos domínios pedológicos. 2000. 132p. Tese (Doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal de Viçosa.

NOVAIS, R. F.; JOT SMYTH, T.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471 – 550.

PAIVA, A. Q.; ARAUJO, Q. R. Fundamentos do manejo e da conservação dos solos na região produtora de cacau da Bahia. In: VALLE, R. R. M. Ciência, tecnologia e manejo do cacauzeiro. Itabuna: Vital, 2007, v.1, 467p.

PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. *Pesq. Agropec. Bras.* 2010, v. 45, n. 5, p. 508-514.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão. *Pesq. Agropec. Bras.* 1996, v. 31, n. 1, p. 1-17.

SANTANA, C. J. L.; PEREIRA, F. P.; CABALA, R. Amostragem de solos em cacauais do Sul da Bahia. *Rev. Theobroma*, 1975, v. 5 n. 1, p. 3-11.

SANTANA, M. B. M.; IGUE, K. Composição química das folhas do cacaueteiro em função da idade e da época do ano. *Rev. Theobroma*. 1979, v. 9, p. 63-76.

SANTANA, S. O. Estágio atual dos estudos de mineralogia de argila dos solos da região cacaueteira da Bahia. *Rev. Theobroma*. 1985, v. 15, n. 1, p. 43-48.

SANTANA, S. O.; SANTOS, R. D.; GOMES, I. A.; JESUS, R. M.; ARAUJO, Q. R.; MENDONÇA, J. R.; CALDERANO, S. B.; FARIA FILHO, A. F. Solos da região sudeste da Bahia: atualização da legenda de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos. Ilhéus: CEPLAC; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. Cd rom. - (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n.16)

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. *Rev. Bras. de Ciênc. Solo*. 2008, v. 32, p. 2037-2049.

SEAGRI – Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária do estado da Bahia. Cacau no Brasil e no mundo. Relatório 41/10, 2011. Disponível em:
<<http://www.seagri.ba.gov.br/cacauth/cacauth11012011.pdf>> Acessado em Janeiro de 2011.

SEI – Superintendência de estudos econômicos e sociais da Bahia. Informações geoambientais. Tipologia climática – segundo Thornthwaite – do estado da Bahia, 2007. Disponível em:
<http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/cartogramas/pdf/carto_tip_clim.pdf> Acessado em Novembro de 2010.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. *Ci. Rural*, 2000, v. 30, p. 611-617.

SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C.; CUNHA, A. A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.10, p. 2057-2064, 2000.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M.; GUIMARÃES, E. C.; PEREIRA, J. M. A. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob sistema plantio direto. *Rev. Bras. de Ciênc. Solo*. 2010, v. 34, p. 389-400.

4. CAPÍTULO 3 – Disponibilidade de ferro, zinco, cobre e manganês em solos cultivados com cacau: extratores e profundidade de amostragem

RESUMO

O conhecimento da disponibilidade dos micronutrientes no solo é fundamental para uma recomendação de adubação adequada, evitando assim problemas de deficiência ou de toxidez. Os objetivos deste trabalho são definir a profundidade de amostragem de solo e o extrator de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) que melhor se correlacionam com o estado nutricional do cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.). A área de abrangência deste estudo envolve as zonas climáticas úmida e úmida a subúmida da região cacauzeira da Bahia. Foram selecionadas dez propriedades rurais, em cada zona climática, com lavoura em sistema agrossilvicultural sem irrigação e que tiveram a área renovada por enxertia de broto basal com clones tolerantes à vassoura de bruxa (*Moniliophthora perniciosa*). Em cada propriedade, quatro plantas (clone PH16) com idade superior a quatro anos foram selecionadas em condições edáficas e topográficas distintas. Foram coletadas amostras de solo às profundidades 0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm. Para determinação de Fe, Zn, Cu e Mn disponíveis foram utilizados os extratores Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA. Também foram determinados o pH em água e os teores de argila e de fósforo remanescente (P-Rem). Foram coletadas oito folhas diagnósticas por planta para a determinação dos teores dos nutrientes. As variáveis foram submetidas à análise estatística: correlação e regressão. De modo geral, os maiores teores médios de Fe, Zn, Cu e Mn foram obtidos pelo extrator M3, seguido do DTPA e do M1. Os teores de Zn, Cu e Mn diminuíram em profundidade e de forma geral, os teores de Fe extraídos por M1 e M3 aumentaram em profundidade. As correlações entre teor de argila e P-Rem x teores de Fe, Zn, Cu e Mn, de modo geral, não foram significativas. A profundidade 0-10 cm foi a mais apropriada para avaliação da disponibilidade de micronutrientes catiônicos para o cacauzeiro. De modo geral, o extrator M1 foi o que gerou melhores correlações entre os teores de micronutrientes catiônicos no solo e na folha de cacauzeiros.

Palavras-chave: Mehlich, DTPA, *Theobroma cacao*, micronutrientes

4. CHAPTER 3 – Availability of iron, zinc, copper and manganese in soils cultivated with cocoa: extractors and sampling depth

ABSTRACT

Knowledge of the availability of micronutrients in the soil is essential for a proper fertilizer recommendation, avoiding problems of toxicity or deficiency. Our objectives are to define the depth of soil sampling and extracting iron (Fe), zinc (Zn), copper (Cu) and manganese (Mn) that correlated with nutritional status of cocoa (*Theobroma cacao* L.) . The area covered by this study involves the wet and humid climate zones of the sub-humid cocoa region of Bahia. Ten farms were selected in each climate zone, with crops in agroforestry system without irrigation and that the area had renewed for basal bud grafting with clones tolerant to witches' broom (*Moniliophthora perniciosa*). In each property, four plants (clone PH16) over the age of four years were selected in different soil conditions and topography. We collected soil samples at depths 0-05, 0-10, 0-20 and 20-40 cm. For determination of Fe, Zn, Cu and Mn available were used Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) and DTPA. Were also determined pH, clay and the remaining phosphorus (P-Rem). We collected eight leaves per plant for determining the levels of nutrients. The variables were subjected to statistical analysis. In general, the highest average levels of Fe, Zn, Cu and Mn were obtained by extracting M3, followed by DTPA and M1. The levels of Zn, Cu and Mn decreased in depth and in general, the levels of Fe extracted by M1 and M3 increased in depth. Correlation between clay content and P-Rem x amounts of Fe, Zn, Mn and Cu, generally, were not significant. The 0-10 cm depth was the most appropriate for evaluating the availability of cationic micronutrients for cocoa. In general, the extractor was M1 which generated better correlations between the concentrations of cationic micronutrients in soil and cocoa leaf.

Keys-words: Mehlich, DTPA, *Theobroma cacao*, micronutrients

4.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento da disponibilidade dos micronutrientes no solo é fundamental para uma recomendação de adubação adequada, evitando assim problemas de deficiência ou de toxidez. Na seleção de um método de análise de solo é fundamental que haja elevada relação positiva entre a concentração do nutriente extraído pelo método e o acúmulo do nutriente nas plantas (Cantarutti et al., 2007; Bortolon e Gianello, 2009), ou seja, a seleção de um extrator na determinação da disponibilidade de um elemento no solo deve se basear no extrator-padrão: a planta (Menezes et al., 2010). Porém, segundo Silva et al. (2009), a opção por determinado extrator muitas vezes ocorre pela facilidade de uso no laboratório e não pela sua eficiência.

Excesso e deficiência de micronutrientes são observados nas análises de solo e de tecido vegetal, porém, no Brasil, notadamente na região sul da Bahia, ainda há poucos estudos que contribuem para uma definição e padronização de metodologias de extração desses elementos. No Brasil, as disponibilidades de ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) no solo são avaliadas, principalmente, pelo extrator Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1}$ e $\text{H}_2\text{SO}_4 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$), que é uma solução ácida diluída.

No entanto, as disponibilidades também podem ser avaliadas por soluções ácidas diluídas com adição de agente complexante, como a solução de Mehlich-3 ($\text{CH}_3\text{COOH } 0,02 \text{ mol L}^{-1}$, $\text{NH}_4\text{NO}_3 0,25 \text{ mol L}^{-1}$, $\text{NH}_4\text{F } 0,015 \text{ mol L}^{-1}$, $\text{HNO}_3 0,013 \text{ mol L}^{-1}$ e $\text{EDTA } 0,001 \text{ mol L}^{-1}$) (Mehlich, 1984) e soluções complexantes como a DTPA ($\text{DTPA } 0,005 \text{ mol L}^{-1}$, trietanolamina $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O } 0,01 \text{ mol L}^{-1}$) (Lindsay & Norvell, 1978). A vantagem desses extratores é que eles têm a capacidade de extrair simultaneamente vários elementos em um único procedimento analítico (Bortolon e Gianello, 2009).

Além do teor de cada micronutriente, outras características do solo podem ser utilizadas como critério auxiliar na avaliação da disponibilidade e na recomendação de adubação, notadamente para extratores sensíveis à capacidade-tampão dos nutrientes. Menezes et al. (2010), obtiveram correlações positivas entre fósforo remanescente e teor de Zn, e correlações negativas entre teores de argila e de Zn em solos de Minas Gerais.

A profundidade de amostragem do solo é outro critério que deve ser levado em consideração para o conhecimento da disponibilidade de micronutrientes, principalmente nos sistemas de cultivo onde não há o revolvimento de solo. Nos sistemas convencionais – com

aração e gradagem – a distribuição dos teores de micronutrientes ao longo da camada revolvida do solo é mais homogênea (Teixeira et al., 2003). Do contrário, devido aos efeitos dos resíduos superficiais, da reduzida movimentação do solo e acúmulo superficial de insumos, especialmente aqueles de baixa mobilidade no solo, há maior heterogeneidade entre as camadas de solo (Paiva e Araujo, 2007; Silveira et al., 2000).

No sistema agrossilvicultural, comum no cultivo do cacau no sul da Bahia, onde não há revolvimento de solo, nunca foram estudadas profundidades de amostragem menores que 0-20 cm. E a mais recente publicação científica sobre a avaliação de profundidades de amostragem e comparação dos resultados de análise de solo com os de análise de tecido vegetal do cacau na região data da década de 1970 (Santana et al., 1975). Naquele sistema de cultivo, o acúmulo superficial de matéria orgânica pode ser responsável pela formação de complexos orgânicos com micronutrientes do solo – diminuir a solubilidade, devido à formação de complexos com ácidos húmicos ou aumentar a disponibilidade devido à complexação com ácidos fúlvico e outros compostos orgânicos (Abreu et al., 2007). O Cu, em particular, é o micronutriente que apresenta maior afinidade pelos ligantes orgânicos do solo (Borges e Coutinho, 2004), porém outros fatores podem ser responsáveis por pelo gradiente vertical de disponibilidade de micronutrientes, como, por exemplo, o pH e as reações de óxido-redução.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a disponibilidade de Fe, Zn, Cu e Mn para cacau em sistema agrossilvicultural, em solos das zonas climáticas úmida e úmida a sub-úmida do sul da Bahia em função da profundidade de amostragem e de extratores químicos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas vinte propriedades rurais no sul da Bahia que possuem lavoura cacauera em sistema agrossilvicultural sem irrigação e que foram submetidas aos seguintes procedimentos técnicos: renovação da área pela técnica de enxertia de broto basal com clones tolerantes à vassoura de bruxa (*Moniliophthera pernicioso*); aumento da densidade para uma média de 900 a 1000 plantas ha⁻¹; remoção de espécies arbóreas consideradas indesejáveis por sombrear excessivamente a lavoura; e manejo da sombra através da poda de árvores remanescentes (Mandarino e Gomes, 2009).

No sul da Bahia, as precipitações e a umidade relativa do ar diminuem no sentido leste-oeste (do oceano Atlântico ao interior do continente). A umidade relativa da região varia de 76,3 a 84,2% (Nacif, 2000). A área de abrangência deste estudo envolve a zona úmida e úmida a subúmida da região. A zona úmida não possui estação seca definida e se enquadra em sete tipos climáticos segundo Thornthwaite: B4r A', B3r A', B2r A', B2r B', B1r A', B1r' A' e B1w A'. A zona úmida a subúmida possui um a dois meses de seca e se enquadra em quatro tipos climáticos: C2d A', C2d' A', C2d B' e C2w A' (SEI, 2007). Na tabela 1.3, as zonas envolvidas no estudo são caracterizadas quanto ao clima.

Tabela 1.3 – Caracterização climática das zonas úmida e úmida a subúmida do sul da Bahia

Descrição	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Média (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Amplitude Térmica (°C)
Úmido	14,4 a 22,5	18,4 a 25,3	24,3 a 31,2	4,9 a 13,5
Úmido a subúmido	15,3 a 22,4	19,4 a 24,6	25,4 a 32,2	5,0 a 15,5
	Precipitação Média (mm)	Deficiência Hídrica (mm)	Excedente Hídrico (mm)	
Úmido	> 2000	0 a 345	200 a 1409	
Úmido a subúmido	1100 a 2000	3 a 426	22 a 424	

Fonte: SEI (2007).

Dentre as propriedades rurais selecionadas, dez estão em zona úmida e dez em zona úmida a sub-úmida (doravante denominada semi-úmida). Na tabela 2.3, estão relacionados os municípios e o número de fazendas selecionadas a eles pertencentes.

Em cada propriedade, quatro cacauzeiros (clone PH16) com idade superior a quatro anos foram selecionados em situações edáficas e topográficas distintas, buscando-se, assim, alcançar a maior variabilidade de solo possível. Espera-se, com a máxima variação de tipos de solo e conseqüente variação de disponibilidade de nutrientes, saber se o método de avaliação se correlaciona com o estado nutricional das plantas na mais ampla área possível, por motivos práticos – padronização do método (Cantarutti et al., 2007).

As amostras compostas de solo, de cada planta, foram obtidas de doze amostras simples (Chepote et al., 2005) retiradas com sonda nas profundidades de 0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm, numa faixa de 1,5 a 2,0 m de distância do caule. Depois de secas ao ar e peneiradas, as amostras de solo foram analisadas de acordo com Embrapa (2009). Os métodos utilizados para determinação de Fe, Zn, Cu e Mn disponíveis foram: Mehlich-1 (M1), com 5 cm³ de solo, 25 mL de extrator, 5 min. de agitação a 120 rpm, repouso de 16 h e filtragem do

sobrenadante; Mehlich-3 (M3), com 5cm³ de solo, 50 mL de extrator, 5 min. de agitação a 220 rpm, repouso de 16 h e filtragem do sobrenadante; e DTPA (20 cm³ de solo e 40 mL de extrator, 2 h de agitação a 220 rpm e filtragem imediata). Os elementos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

Tabela 2.3 – Municípios do sul da Bahia onde estão localizadas as fazendas selecionadas para a coleta de folhas diagnóstico de cacaueteiro (clone PH16)

Municípios (Zona Úmida)	Fazendas	Municípios (Zona Semi-úmida)	Fazendas
Arataca	1	Barra do Rocha	1
Camacan	1	Ibirataia	4
Ibirapitanga	1	Itagi	1
Igrapiúna	1	Itagibá	2
Itabuna	1	Ipiaú	1
Maraú	1	Jequié*	1
Nova Ibiá	1		
Pirai do Norte	1		
Santa Luzia	1		
Uruçuca	1		

* A área do município de Jequié se localiza em três zonas: úmida a subúmida, subúmida a seca e semi-árida (SEI, 2007). Neste município, a coleta foi realizada em zona úmida a subúmida, onde se localizam as lavouras de cacau.

A determinação do pH foi feita com 10 cm³ de solo e 25 mL de água agitados com bastão de vidro e com repouso de uma hora. O teor de fósforo remanescente (P-Rem), foi feito na relação solo:solução de 1:10 (solução de 60 mg L⁻¹ de P + CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹), cinco minutos de agitação e repouso de 16 h e determinado por espectrofotometria (Embrapa, 2009). O teor de argila foi determinado pelo método do densímetro (Embrapa, 1997).

Foram coletadas oito folhas sadias por planta, duas por quadrante na meia altura da copa da planta – a terceira folha a partir do ápice de um ramo recém amadurecido sem lançamentos (Santana e Igue, 1979) – no período do verão (janeiro e fevereiro de 2010), época de menor flutuação estacional do ano (Cantarutti et al., 2007). As folhas coletadas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas ao laboratório do Cepec onde foram analisadas. O material foi seco em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65°C até atingirem massa constante. Após moagem, em moinho tipo Wiley, os teores de Fe, Zn, Cu e Mn foram analisados de acordo com a metodologia da Embrapa (2009) – digestão nítrico-perclórica e dosagem dos extratos, por espectrofotometria de absorção atômica.

As médias das variáveis analisadas foram submetidas à análise estatística exploratória, correlação linear simples de Pearson (utilizando o teste t para verificação da significância até 10%) e regressão, onde os coeficientes foram testados até 5% pelo teste F. Após a seleção da profundidade de amostragem e extrator, foi empregado o teste de identidade de modelos, para avaliar a possibilidade de utilização de apenas um modelo para as duas zonas climáticas juntas. Esse teste consiste na redução da soma dos quadrados, permitindo verificar estatisticamente, pelo teste de F, a significância da diferença entre o total das somas dos quadrados das regressões ajustadas para cada zona isoladamente, e a soma do quadrado da regressão ajustada para o conjunto total dos dados (Regazzi, 1996).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Comparação entre métodos de extração e profundidades de amostragem

Os maiores teores mínimos, máximos e médios de Fe foram obtidos pelo extrator Mehlich-3 (M3), seguido do DTPA e do Mehlich-1 (M1) (tabela 3.3). Esse comportamento foi observado nas duas zonas climáticas em conjunto e separadas e nas quatro profundidades estudadas. Silva et al., (2009), apresentaram, para quatro solos do estado do Paraná, maiores valores de Fe extraídos por M3, seguido de M1 e DTPA.

O extrator M3 extraiu os maiores teores mínimos, máximos e médios de Zn nas profundidades estudadas nas duas zonas climáticas juntas e separadas. Os extratores M1 e DTPA extraíram teores semelhantes desse nutriente (tabela 4.3). Em discordância com os resultados do presente trabalho, Borges e Coutinho (2004) encontraram 22,6 e 22,3% mais Zn extraído por M1 em relação ao DTPA e M3, respectivamente, em um Neossolo Quartzarênico (RQ) e um Latossolo Vermelho (LV) analisados em conjunto. Porém, no artigo citado, foi relatado que o M1 recuperou as mesmas proporções de Zn aplicado em ambos os solos, e o M3 e o DTPA recuperaram mais no RQ em relação ao LV. Segundo os autores, a maior variação na recuperação do Zn entre os dois solos pode indicar maior sensibilidade dos extratores M3 e DTPA aos atributos do solo relacionados com o fator capacidade do nutriente no solo, em relação ao M1. Bortolon e Gianello (2009) obtiveram maiores teores de Zn por M1 em relação ao M3 em solos do sul do Brasil cultivados com milho. Ortiz et al. (2007), apresentaram maiores teores de Zn por M1 em relação ao DTPA para um LV.

Tabela 3.3 – Teores médios (TM), amplitude (AMP) e coeficiente de variação (CV) de Fe extraído por Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA em quatro profundidades de amostragem (0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm), em solos cultivados com cacau em sistema agrossilvicultural nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas

	Fe-M1	Fe-M3	Fe-DTPA	Fe-M1	Fe-M3	Fe-DTPA
Zona úmida + semi-úmida						
	----- 0-05 (mg dm ⁻³) -----			----- 0-10 (mg dm ⁻³) -----		
TM	24,3	332,8	71,6	27,0	360,7	90,2
AMP	3,8-58,1	100,7-740,0	7,8-197,0	5,9-58,1	218,0-730,0	28,0-253,6
CV _(%)	57,5	41,4	60,5	53,0	26,4	51,9
	----- 0-20 (mg dm ⁻³) -----			----- 20-40 (mg dm ⁻³) -----		
TM	37,1	357,3	88,8	39,5	287,2	49,0
AMP	6,9-155,0	226,0-740,0	32,4-198,8	9,4-163,8	164,0-500,4	10,4-130,9
CV _(%)	73,5	26,9	41,6	72,7	21,4	42,5
Zona úmida						
	----- 0-05 (mg dm ⁻³) -----			----- 0-10 (mg dm ⁻³) -----		
TM	28,8	360,4	77,1	31,5	381,6	96,93
AMP	7,5-57,5	107,4-680,0	14,0-197,0	8,1-56,8	232,0-670,0	34,4-253,6
CV _(%)	51,2	42,1	57,4	48,4	25,8	54,45
	----- 0-20 (mg dm ⁻³) -----			----- 20-40 (mg dm ⁻³) -----		
TM	46,4	388,7	91,6	49,5	309,0	56,86
AMP	10,0-155,0	232,0-630,0	34,4-253,6	15,6-163,8	222,0-500,4	18,4-130,9
CV _(%)	73,4	23,8	54,4	71,9	22,2	42,34
Zona semi-úmida						
	----- 0-05 (mg dm ⁻³) -----			----- 0-10 (mg dm ⁻³) -----		
TM	19,5	303,8	65,9	22,2	338,7	83,2
AMP	3,8-58,1	100,7-740,0	7,8-168,7	5,9-58,1	218,0-730,0	28,0-174,8
CV _(%)	58,8	38,2	64,0	11,6	26,0	47,1
	----- 0-20 (mg dm ⁻³) -----			----- 20-40 (mg dm ⁻³) -----		
TM	27,4	324,3	86,0	29,0	264,3	40,7
AMP	6,9-62,5	226,0-740,0	34,4-162,8	9,8-55,0	164,0-340,3	10,4-64,3
CV _(%)	42,6	27,6	41,3	44,0	16,1	30,6

Os maiores teores mínimos, máximos e médios de Cu foram determinados pelo extrator M3 nas quatro profundidades estudadas, nas duas zonas climáticas juntas e separadas (tabela 5.3). Borges e Coutinho (2004) encontraram resultados semelhantes para um LV com aplicação de corretivos, e diferentes para o mesmo solo sem aplicação de calcário – DTPA > M3 > M1. Os autores apresentaram valores semelhantes de Cu para os extratores em questão num RQ com ou sem calagem. Bortolon e Gianello (2009) obtiveram teores mais elevados de Cu por M1 em relação ao M3 em vários solos do Rio Grande do Sul cultivados com milho,

porém, os mesmos autores também observaram maiores valores de Cu por M3 em relação ao M1 em Vertissolo, Cambissolo e Chernossolo com a mesma cultura no mesmo estado.

Tabela 4.3 – Teores médios (TM), amplitude (AMP) e coeficiente de variação (CV) de Zn extraído por Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA em quatro profundidades de amostragem (0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm), em solos cultivados com cacau em sistema agrossilvicultural nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas

	Zn-M1	Zn-M3	Zn-DTPA	Zn-M1	Zn-M3	Zn-DTPA
Zona úmida + semi-úmida						
	----- 0-05 (mg dm ⁻³) -----			----- 0-10 (mg dm ⁻³) -----		
TM	4,8	8,2	5,2	3,8	6,6	4,3
AMP	0,9-11,2	1,4-25,0	0,6-20,8	0,6-9,5	0,7-20,0	0,4-15,4
CV(%)	56,7	66,3	66,0	59,9	71,1	72,5
	----- 0-20 (mg dm ⁻³) -----			----- 20-40 (mg dm ⁻³) -----		
TM	3,0	4,4	2,9	1,7	2,2	1,2
AMP	0,6-10,9	0,4-16,0	0,3-9,4	0,4-7,8	0,6-8,9	0,2-5,2
CV(%)	67,7	82,2	78,1	72,9	66,7	83,4
Zona úmida						
	----- 0-05 (mg dm ⁻³) -----			----- 0-10 (mg dm ⁻³) -----		
TM	4,2	6,3	4,0	3,4	5,4	3,6
AMP	0,9-11,2	1,4-25,0	0,6-11,8	0,8-8,8	1,0-20,0	0,6-15,3
CV(%)	67,2	78,3	74,7	69,5	80,4	82,3
	----- 0-20 (mg dm ⁻³) -----			----- 20-40 (mg dm ⁻³) -----		
TM	2,8	3,5	2,3	1,5	2,0	1,1
AMP	0,6-10,8	0,4-13,0	0,3-9,0	0,4-7,8	0,6-8,9	0,2-5,2
CV(%)	86,8	87,1	89,8	96,0	86,2	104,9
Zona semi-úmida						
	----- 0-05 (mg dm ⁻³) -----			----- 0-10 (mg dm ⁻³) -----		
TM	5,4	10,0	6,4	4,1	7,8	5,0
AMP	1,6-10,9	2,4-23,4	1,2-20,8	0,6-9,5	0,7-20,0	0,4-15,4
CV(%)	46,6	52,7	54,1	51,5	61,3	62,9
	----- 0-20 (mg dm ⁻³) -----			----- 20-40 (mg dm ⁻³) -----		
TM	3,1	5,3	3,5	1,8	2,3	1,4
AMP	0,8-6,4	0,4-16,0	0,3-9,4	0,6-4,3	1,0-5,0	0,4-3,8
CV(%)	47,5	74,1	66,6	50,5	46,0	64,2

O extrator M3, seguido do DTPA e do M1, extraiu os maiores teores mínimos, máximos e médios de Mn nas quatro profundidades estudadas, nas duas zonas climáticas juntas e separadas (tabela 6.3). Resultados semelhantes foram obtidos por Borges e Coutinho (2004). O M1 extraiu mais Mn em relação ao DTPA apenas na profundidade 0-05 cm das duas zonas analisadas em conjunto e na zona semi-úmida. Ortiz et al. (2007), também

encontraram teores de Mn extraído por M1 superiores em relação ao extraído por DTPA em um Latossolo Vermelho distrófico.

Tabela 5.3 – Teores médios (TM), amplitude (AMP) e coeficiente de variação (CV) de Cu extraído por Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA em quatro profundidades de amostragem (0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm), em solos cultivados com cacau em sistema agrossilvicultural nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas

	Cu-M1	Cu-M3	Cu-DTPA	Cu-M1	Cu-M3	Cu-DTPA
Zona úmida + semi-úmida						
	----- 0-05 (mg dm ⁻³) -----			----- 0-10 (mg dm ⁻³) -----		
TM	7,2	19,7	12,4	6,1	14,3	8,8
AMP	0,4-54,4	0,9-102,6	0,7-78,1	0,3-53,7	1,5-80,0	0,8-59,5
CV(%)	172,4	140,7	152,1	181,2	130,0	154,9
	----- 0-20 (mg dm ⁻³) -----			----- 20-40 (mg dm ⁻³) -----		
TM	4,1	8,9	4,8	2,1	4,0	2,2
AMP	0,4-26,2	1,2-50,0	0,6-26,7	0,2-10,0	0,7-22,4	0,3-14,3
CV(%)	148,7	114,6	121,9	93,3	91,6	110,0
Zona úmida						
	----- 0-05 (mg dm ⁻³) -----			----- 0-10 (mg dm ⁻³) -----		
TM	12,5	32,2	21,3	10,5	19,2	14,2
AMP	0,5-54,4	0,9-102,6	0,7-78,1	0,5-53,7	2,0-80,0	1,1-59,5
CV(%)	128,6	109,2	111,2	136,7	116,1	124,8
	----- 0-20 (mg dm ⁻³) -----			----- 20-40 (mg dm ⁻³) -----		
TM	6,6	12,8	7,0	2,9	5,3	3,1
AMP	0,5-26,2	1,2-50,0	0,64-26,72	0,2-10,0	1,0-22,4	0,3-14,3
CV(%)	117,3	101,5	108,62	80,5	87,9	99,8
Zona semi-úmida						
	----- 0-05 (mg dm ⁻³) -----			----- 0-10 (mg dm ⁻³) -----		
TM	2,1	7,6	3,7	1,6	9,7	3,5
AMP	0,4-8,0	1,2-24,4	0,8-13,5	0,3-4,8	1,5-80,0	0,8-11,5
CV(%)	88,0	79,5	74,6	63,3	133,1	70,9
	----- 0-20 (mg dm ⁻³) -----			----- 20-40 (mg dm ⁻³) -----		
TM	1,5	5,1	2,7	1,4	2,7	1,3
AMP	0,4-4,9	1,4-18,0	0,7-7,9	0,2-6,4	0,7-7,9	0,3-3,0
CV(%)	63,3	73,8	64,0	86,4	57,7	53,9

Os teores de Zn, Cu e Mn pelos extratores M1, M3 e DTPA diminuíram da profundidade 0-05 cm para a 20-40 cm (tabelas 4.3, 5.3 e 6.3). Tal gradiente pode ser explicado pelo tipo de manejo adotado nas lavouras de cacau – o sistema agrossilvicultural permite o acúmulo de matéria orgânica em superfície (Paiva e Araujo, 2007). Estes resultados se assemelham aos de Teixeira et al. (2003) e Zanão Jr. et al. (2007), que também atribuíram a

formação do gradiente de concentração de Zn e de Mn devido a matéria orgânica presente em superfície – uma das principais fontes desses nutrientes no solo. Teixeira et al. (2003) utilizaram o mesmo argumento para explicar a heterogeneidade dos teores de Cu entre profundidades de amostragem, além da ausência de preparo do solo.

Tabela 6.3 – Teores médios (TM), amplitude (AMP) e coeficiente de variação (CV) de Mn extraído por Mehlich-1 (M1), Mehlich-3 (M3) e DTPA em quatro profundidades de amostragem (0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm), em solos cultivados com cacau em sistema agrossilvicultural nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas

	Mn-M1	Mn-M3	Mn-DTPA	Mn-M1	Mn-M3	Mn-DTPA
Zona úmida + semi-úmida						
	----- 0-05 (mg dm ⁻³) -----			----- 0-10 (mg dm ⁻³) -----		
TM	80,4	235,6	58,4	59,0	287,0	68,2
AMP	3,8-375,6	16,0-800,0	2,0-182,2	6,2-220,6	12,0-950,0	2,0-279,2
CV(%)	96,4	91,8	87,7	82,4	92,4	91,7
	----- 0-20 (mg dm ⁻³) -----			----- 20-40 (mg dm ⁻³) -----		
TM	47,5	243,9	70,5	24,2	167,0	28,8
AMP	4,7-223,8	7,0-900,0	2,0-290,4	1,9-143,1	4,5-801,0	3,6-114,1
CV(%)	92,5	109,8	109,9	108,4	100,3	89,6
Zona úmida						
	----- 0-05 (mg dm ⁻³) -----			----- 0-10 (mg dm ⁻³) -----		
TM	47,6	181,4	49,6	39,8	218,2	57,0
AMP	9,9-136,8	16,0-622,7	2,0-183,2	6,2-108,1	12,0-900,0	2,0-279,2
CV(%)	68,2	105,5	113,3	71,0	104,8	107,6
	----- 0-20 (mg dm ⁻³) -----			----- 20-40 (mg dm ⁻³) -----		
TM	32,6	182,9	52,1	15,1	116,9	19,9
AMP	4,7-128,1	7,0-900,0	2,0-290,4	1,9-52,5	4,5-419,1	3,6-55,4
CV(%)	83,7	125,2	133,7	90,8	92,5	72,9
Zona semi-úmida						
	----- 0-05 (mg dm ⁻³) -----			----- 0-10 (mg dm ⁻³) -----		
TM	110,8	287,1	66,6	77,2	352,3	78,5
AMP	3,8-375,6	39,0-800,0	8,8-158,4	10,6-220,6	12,0-950,0	6,4-266,4
CV(%)	84,6	79,5	68,2	73,4	80,5	79,7
	----- 0-20 (mg dm ⁻³) -----			----- 20-40 (mg dm ⁻³) -----		
TM	61,3	303,3	87,9	32,6	214,6	37,1
AMP	8,1-223,8	11,0-900,0	4,0-281,6	3,1-143,1	16,3-801,0	7,6-114,1
CV(%)	84,3	96,2	92,4	97,9	92,7	83,6

Ao contrário do observado para os demais micronutrientes, de forma geral, os teores de Fe extraídos por M1 e M3 aumentaram das camadas mais superficiais para as mais profundas (tabela 3.3). Nas duas zonas em conjunto, os teores médios de Fe extraídos por M1 e M3 se apresentaram próximos nas profundidades 0-05 e 0-10 cm (11,1 e 8,4% maiores a 0-

10 cm para cada extrator, respectivamente). Entre as profundidades 0-20 e 20-40 cm também houve pequena diferença com o M1 (6,5% a mais na camada de 20-40 cm). O extrator M1 extraiu 37,4% mais Fe na profundidade 0-20 cm em relação à profundidade 0-10 cm. Este resultado se assemelha aos de Teixeira et al. (2003) e Zanão Jr. et al., (2007). O Fe é reciclado em maior quantidade que o Zn, porém seu aumento em superfície não ocorre porque a sua oxidação ao ser liberado da matéria orgânica é rápida (Teixeira et al., 2003).

Os extratores M3 e DTPA apresentaram pequena diferença entre os teores de Fe entre as camadas 0-20 e 0-10 cm (tabela 3.3). Ao contrário do observado para o M1, esses extratores extraíram menos Fe na camada 20-40 cm em relação à camada 0-20 cm – 19,6 e 44,8%, respectivamente. A mais expressiva diferença entre as profundidades 0-05 cm e 0-10 cm foram obtidas pelo DTPA, que extraiu 26% a mais na camada de 0-10 cm.

Os teores de Fe, Zn, Cu e Mn determinados pelos extratores se correlacionaram positivamente e significativamente entre si. De modo geral, as correlações entre M1 e M3 foram em torno de 0,62; 0,72; 0,74 e 0,73 para Fe, Zn, Cu e Mn, respectivamente. Entre M1 e DTPA, foram em torno de 0,72; 0,64; 0,72 e 0,60 para Fe, Zn, Cu e Mn, respectivamente. Entre M3 e DTPA foram em torno de 0,63; 0,90; 0,89 e 0,87 para Fe, Zn, Cu e Mn, respectivamente (tabelas 8.3, 9.3, 10.3 e 11.3). Altos coeficientes de correlação entre os extratores em questão também foram relatados por Silva et al. (2009) e Ortiz et al. (2007).

4.3.2 Influência do teor de argila e de fósforo remanescente na extração de Fe, Zn, Cu e Mn

Os valores mínimos, máximos e médios de P-Rem diminuem da camada mais superficial para a mais profunda (tabela 7.3). Tal gradiente pode ser explicado pelo tipo de manejo adotado nas lavouras de cacau. O sistema agrossilvicultural permite o acúmulo de matéria orgânica em superfície (Paiva e Araujo, 2007) e quanto maior é a quantidade de matéria orgânica, em geral é menor a adsorção de fosfatos e, conseqüentemente, maior é o P-Rem, uma vez que ácidos orgânicos de baixo peso molecular podem bloquear os sítios de adsorção (Donagemma et al., 2008).

Tabela 7.3 – Teores médios, amplitude e coeficiente de variação de fósforo remanescente (P-Rem) e argila em quatro profundidades de amostragem (0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm), nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas, em solos cultivados com cacau em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia

Profundidade de amostragem (cm)				
Zona Úmida + Zona semi-úmida				
	0-05		0-10	
	P-rem (mg L ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	P-rem (mg L ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)
Amplitude	20,1 – 54,9	20,0 – 400,0	15,3 – 56,9	20,0 – 240,0
Média	34,4	96,8	31,8	100,0
CV (%)	14,3	84,2	27,4	61,0
	0-20		20-40	
Amplitude	12,5 – 46,6	100,0 – 580,0	9,9 – 45,2	80,0 – 600,0
Média	27,7	372,2	21,6	349,8
CV (%)	27,1	30,7	23,9	20,0
Zona Úmida				
	0-05		0-10	
Amplitude	21,2 – 54,9	20,0 – 400,0	16,3 – 48,1	20,0 – 240,0
Média	34,3	105,5	30,9	101,5
CV (%)	15,7	95,1	37,7	60,4
	0-20		20-40	
Amplitude	14,78 – 41,3	100,0 – 560,0	9,9 – 45,3	80,0 – 560,0
Média	27,2	344,0	20,6	374,0
CV (%)	23,4	40,8	34,4	29,3
Zona Semi-úmida				
	0-05		0-10	
Amplitude	20,6 – 45,2	20,0 – 200,0	15,3 – 56,9	80,0 – 560,0
Média	34,4	88,0	32,5	374,0
CV (%)	13,1	46,2	32,0	39,3
	0-20		20-40	
Amplitude	12,5 – 46,6	220,0 – 580,0	10,1 – 45,2	120,0 – 600,0
Média	28,2	400,5	22,8	325,5
CV (%)	30,4	17,8	33,3	36,4

De modo geral, não houve correlação significativa entre teor de argila e fósforo remanescente (P-Rem) x teores de Fe, Zn, Cu e Mn (tabelas 8.3, 9.3, 10.3 e 11.3). O teor de P-Rem se correlacionou positivamente com o teor de Zn na profundidade 0-10 cm nas duas zonas analisadas em conjunto. Porém, não houve correlação significativa com a análise de cada zona separadamente. Correlações entre teor de Zn e P-Rem também foram observadas por Menezes et al. (2010).

Tabela 8.3 – Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre teor de argila, fósforo remanescente (P-Rem) e teores de Fe extraídos por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em quatro profundidades de amostragem (0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm), em solos cultivados com cacau (clone PH16) em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia, nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas

Profundidade de amostragem (cm)						
Zona úmida + semi-úmida						
	0-05			0-10		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,25 ^{ns}	- 0,33*	- 0,24 ^{ns}	- 0,11 ^{ns}	- 0,20 ^{ns}	- 0,23 ^{ns}
P-Rem	- 0,19 ^{ns}	- 0,09 ^{ns}	- 0,05 ^{ns}	- 0,09 ^{ns}	0,16 ^{ns}	- 0,19 ^{ns}
Mehlich-1		0,83**	0,74**		0,56**	0,66*
Mehlich-3			0,80**			0,47*
	0-20			20-40		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	0,41*	- 0,07 ^{ns}	- 0,33 ^{ns}	- 0,05 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,17 ^{ns}
P-Rem	- 0,15 ^{ns}	- 0,06 ^{ns}	- 0,05 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,02 ^{ns}	- 0,17 ^{ns}
Mehlich-1		0,43*	0,60**		0,82**	0,92**
Mehlich-3			0,48*			0,88**
Zona úmida						
	0-05			0-10		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,25 ^{ns}	- 0,33*	0,14 ^{ns}	- 0,11 ^{ns}	- 0,20 ^{ns}	- 0,23 ^{ns}
P-Rem	- 0,19 ^{ns}	- 0,09 ^{ns}	- 0,06 ^{ns}	- 0,09 ^{ns}	- 0,11 ^{ns}	- 0,19 ^{ns}
Mehlich-1		0,85**	0,75**		0,64**	0,76**
Mehlich-3			0,84**			0,55*
	0-20			20-40		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	0,41*	- 0,07 ^{ns}	0,33 ^{ns}	- 0,05 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,17 ^{ns}
P-Rem	- 0,15 ^{ns}	- 0,06 ^{ns}	- 0,05 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,02 ^{ns}	- 0,17 ^{ns}
Mehlich-1		0,36*	0,66**		0,84**	0,92**
Mehlich-3			0,58*			0,90**
Zona semi-úmida						
	0-05			0-10		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	0,04 ^{ns}	- 0,29 ^{ns}	0,13 ^{ns}	- 0,41*	- 0,18 ^{ns}	- 0,39*
P-Rem	0,26 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,16 ^{ns}	- 0,29 ^{ns}	- 0,46*	- 0,38*
Mehlich-1		0,74**	0,70**		0,36*	0,48*
Mehlich-3			0,70**			0,29*
	0-20			20-40		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	0,13 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,10 ^{ns}	- 0,31 ^{ns}	- 0,43*
P-Rem	- 0,16 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,19 ^{ns}
Mehlich-1		0,41*	0,62*		0,63**	0,86**
Mehlich-3			0,37*			0,68**

** , * : Significativo a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste t, respectivamente. ns: não significativo.

Tabela 9.3 – Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre teor de argila, fósforo remanescente (P-Rem) e teores de Zn extraídos por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em quatro profundidades de amostragem (0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm), em solos cultivados com cacau (clone PH16) em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia, nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas

Profundidade de amostragem (cm)						
Zona úmida + semi-úmida						
	0-05			0-10		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,10 ^{ns}	- 0,10 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,13 ^{ns}
P-Rem	- 0,17 ^{ns}	- 0,15 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,53*	0,53*	0,56*
Mehlich-1		0,52*	0,42*		0,45*	0,49*
Mehlich-3			0,86**			0,90**
	0-20			20-40		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,30 ^{ns}	- 0,30 ^{ns}	- 0,24 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,14 ^{ns}
P-Rem	- 0,17 ^{ns}	- 0,17 ^{ns}	- 0,18 ^{ns}	- 0,31 ^{ns}	- 0,28 ^{ns}	- 0,31 ^{ns}
Mehlich-1		0,53*	0,54*		0,96**	0,93**
Mehlich-3			0,93**			0,92**
Zona úmida						
	0-05			0-10		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,19 ^{ns}	- 0,06 ^{ns}	- 0,10 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,13 ^{ns}
P-Rem	- 0,19 ^{ns}	- 0,26 ^{ns}	0,19 ^{ns}	- 0,06 ^{ns}	- 0,09 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Mehlich-1		0,93**	0,67**		0,50*	0,53*
Mehlich-3			0,85**			0,87**
	0-20			20-40		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,30 ^{ns}	- 0,30 ^{ns}	- 0,24 ^{ns}	- 0,31 ^{ns}	- 0,28 ^{ns}	- 0,31 ^{ns}
P-Rem	- 0,06 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,08 ^{ns}	- 0,08 ^{ns}	- 0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Mehlich-1		0,55*	0,53*		0,98**	0,95**
Mehlich-3			0,88**			0,93**
Zona semi-úmida						
	0-05			0-10		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,02 ^{ns}	- 0,18 ^{ns}	- 0,05 ^{ns}	- 0,15 ^{ns}	- 0,17 ^{ns}	- 0,04 ^{ns}
P-Rem	- 0,07 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,34 ^{ns}
Mehlich-1		0,01 ^{ns}	- 0,05 ^{ns}		0,69**	0,72**
Mehlich-3			0,84**			0,92**
	0-20			20-40		
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,28 ^{ns}	- 0,20 ^{ns}	- 0,26 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,01 ^{ns}	- 0,02 ^{ns}
P-Rem	- 0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Mehlich-1		0,94**	0,94**		0,90**	0,94**
Mehlich-3			0,97**			0,88**

** , * : Significativo a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste t, respectivamente. ns: não significativo.

Tabela 10.3 – Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre teor de argila, fósforo remanescente (P-Rem) e teores de Cu extraídos por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em quatro profundidades de amostragem (0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm), em solos cultivados com cacau (clone PH16) em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia, nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas

Profundidade de amostragem (cm)						
Zona úmida + semi-úmida						
0-05			0-10			
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,02 ^{ns}	- 0,04 ^{ns}	- 0,04 ^{ns}	- 0,14 ^{ns}	- 0,13 ^{ns}	- 0,18 ^{ns}
P-Rem	0,21 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Mehlich-1		0,83**	0,86**		0,83**	0,95**
Mehlich-3			0,98**			0,88**
0-20			20-40			
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,08 ^{ns}	- 0,08 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,07 ^{ns}
P-Rem	- 0,45*	- 0,45 *	- 0,52*	- 0,40*	- 0,41*	- 0,41*
Mehlich-1		0,96**	0,93**		0,92**	0,91**
Mehlich-3			0,94**			0,96**
Zona úmida						
0-05			0-10			
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	0,18 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,13 ^{ns}
P-Rem	- 0,05 ^{ns}	- 0,01 ^{ns}	- 0,01 ^{ns}	- 0,10 ^{ns}	- 0,01 ^{ns}	- 0,05 ^{ns}
Mehlich-1		0,79**	0,83**		0,94**	0,90**
Mehlich-3			0,68**			0,99**
0-20			20-40			
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,45*	- 0,45*	- 0,52*	- 0,41*	- 0,41*	- 0,40*
P-Rem	0,09 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,30 ^{ns}
Mehlich-1		0,96**	0,92**		0,98**	0,97**
Mehlich-3			0,93**			0,98**
Zona semi-úmida						
0-05			0-10			
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,20 ^{ns}	- 0,10 ^{ns}	- 0,12 ^{ns}	- 0,20 ^{ns}	- 0,35 ^{ns}	- 0,21 ^{ns}
P-Rem	- 0,08 ^{ns}	- 0,16 ^{ns}	- 0,12 ^{ns}	- 0,21 ^{ns}	- 0,12 ^{ns}	- 0,08 ^{ns}
Mehlich-1		0,82**	0,58*		0,80**	0,76**
Mehlich-3			0,85**			0,92**
0-20			20-40			
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	0,25 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,13 ^{ns}
P-Rem	0,16 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,00 ^{ns}	- 0,03 ^{ns}
Mehlich-1		0,94**	0,94**		0,48*	0,33*
Mehlich-3			0,93**			0,61**

** , * : Significativo a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste t, respectivamente. ns: não significativo.

Tabela 11.3 – Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre teor de argila, fósforo remanescente (P-Rem) e os teores de Mn extraídos por Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em quatro profundidades de amostragem (0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm), em solos cultivados com cacau (clone PH16) em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia, nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas

Profundidade de amostragem (cm)						
Zona úmida + semi-úmida						
0-05			0-10			
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	0,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}	- 0,08 ^{ns}	0,40*	0,57*	0,52*
P-Rem	0,15 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,41*	0,17 ^{ns}	0,21 ^{ns}
Mehlich-1		0,58*	0,40*		0,66**	0,59**
Mehlich-3			0,79**			0,90**
0-20			20-40			
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,27 ^{ns}	- 0,49*	- 0,39*	0,25 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,21 ^{ns}
P-Rem	0,11 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Mehlich-1		0,72**	0,70**		0,95**	0,95**
Mehlich-3			0,95**			0,93**
Zona úmida						
0-05			0-10			
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	0,15 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,41*	0,17 ^{ns}	0,21 ^{ns}
P-Rem	0,11 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,19 ^{ns}
Mehlich-1		0,88**	0,81**		0,82**	0,80**
Mehlich-3			0,95**			0,97**
0-20			20-40			
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	0,11 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,07 ^{ns}
P-Rem	- 0,06 ^{ns}	- 0,30 ^{ns}	- 0,20 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,19 ^{ns}
Mehlich-1		0,77**	0,82**		0,70**	0,63**
Mehlich-3			0,96**			0,63**
Zona semi-úmida						
0-05			0-10			
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,34 ^{ns}	- 0,32 ^{ns}	- 0,23 ^{ns}	- 0,28 ^{ns}	- 0,26 ^{ns}	- 0,30 ^{ns}
P-Rem	- 0,20 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Mehlich-1		0,45*	0,21 ^{ns}		0,57*	0,50*
Mehlich-3			0,65**			0,85**
0-20			20-40			
	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA	Mehlich-1	Mehlich-3	DTPA
Argila	- 0,19 ^{ns}	- 0,14 ^{ns}	- 0,23 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,01 ^{ns}
P-Rem	- 0,33 ^{ns}	- 0,13 ^{ns}	- 0,12 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Mehlich-1		0,67**	0,62**		0,95**	0,94**
Mehlich-3			0,93**			0,95**

** , * : Significativo a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste t, respectivamente. ns: não significativo.

O teor de Mn se correlacionou positivamente com o teor de argila na camada de 0-10 cm nas duas zonas agrupadas, mas não se correlacionou significativamente em cada zona separadamente (tabela 11.3). Silva et al. (2006), em cinco solos, encontraram maiores teores de Mn, a 0-20 cm, associados a teores de argila maiores que 35%, e menores teores de Mn a teores de argila menores que 35%. No mesmo artigo citado, a situação se torna inversa à profundidade 20-40 cm.

4.3.3 Teores extraídos pelas soluções e a aborção pelas plantas

Não há concordância entre os autores acerca dos teores foliares de micronutrientes adequados para cacau (Chepote et al., 2005). No presente trabalho, foram considerados como valores de referência as faixas de suficiência apresentadas por Cantarutti et al. (2007).

As médias dos teores foliares de Fe nas zonas climáticas juntas e na zona semi-úmida se apresentaram abaixo da faixa de suficiência apontada em Cantarutti et al. (2007), que é de 150-200 mg kg⁻¹ (tabela 12.3). A maioria das plantas apresentou teores foliares de Fe abaixo da faixa de referência – 60,0; 42,5 e 77,5% nas duas zonas, na zona úmida e na semi-úmida, respectivamente. Apenas 23,8; 32,5 e 15,0% se apresentaram dentro da referida faixa nas duas zonas, na zona úmida e semi-úmida, respectivamente.

As médias dos teores foliares de Zn nas zonas juntas e separadas se apresentaram altos em relação à faixa de suficiência sugerida por Cantarutti et al. (2007), que é de 50-70 mg kg⁻¹ (tabela 12.3). A maioria das plantas apresentou teores foliares de Zn acima da faixa de referência – 67,2; 52,5 e 82,0% nas duas zonas, na zona úmida e na semi-úmida, respectivamente. Apenas 37 e 37,5% apresentaram teores baixos em relação à faixa de referência nas duas zonas e na zona úmida, respectivamente. Na zona semi-úmida não foram observadas plantas com deficiência em Zn.

As médias dos teores foliares de Cu nas zonas juntas e separadas se apresentaram dentro da faixa de suficiência, que é de 10-15 mg kg⁻¹ (Cantarutti et al., 2007). Os valores mínimos estão abaixo dessa faixa e o máximo, acima (tabela 12.3). A maioria das plantas apresentou teores foliares de Cu abaixo do limite inferior da faixa de referência – 51,2; e 85,0% nas duas zonas e na zona úmida, respectivamente. Na zona semi-úmida, apenas 17,5% das plantas se apresentaram deficientes em Cu.

As médias dos teores foliares de Mn nas zonas juntas e separadas se apresentaram altos em relação à faixa de suficiência, que é de 150-200 mg kg⁻¹ (Cantarutti et al., 2007) (tabela 12.3). A maioria das plantas apresentou teores foliares de Mn acima da faixa de referência – 81,2; 70,0 e 92,5% nas duas zonas, na zona úmida e na semi-úmida, respectivamente.

Os coeficientes de variação de todos os micronutrientes estudados – teores foliares – foram próximos nas duas zonas climáticas agrupadas e separadas (tabela 12.3). As médias dos teores foliares de Zn e Mn da zona semi-úmida foram 100,5 e 48,1% maiores em relação à zona úmida. Os teores desses nutrientes no solo também foram superiores na zona semi-úmida – 20,6; 44,4 e 38,9% para Zn extraído por M1, M3 e DTPA (0-10 cm), respectivamente, e 94,0; 61,5 e 37,7% para Mn extraído por M1, M3 e DTPA (0-10 cm), respectivamente. Possivelmente, os teores de Zn e Mn disponíveis no solo foram superiores na zona semi-úmida porque os solos desta zona são mais jovens em relação à zona úmida (Santana et al., 2000).

A média do teor foliar de Fe foi maior na zona-úmida, e as médias dos teores desse nutriente no solo por M1, M3 e DTPA (0-10 cm) também foram superiores em relação à zona semi-úmida – 59,2; 16,9 e 17,0%, respectivamente.

As médias dos teores de Cu no solo por M1, M3 e DTPA (0-10 cm), foram maiores na zona-úmida – 392,4; 176,8 e 107,1%, respectivamente, porque nesta zona há o efeito residual de fungicida cúprico que foi muito utilizado para o controle da podridão parda (*Phytophthora* spp) principalmente durante as décadas de 1970 e de 1980. De acordo com Veloso e Santana (2000), o Cu do solo aumenta lentamente até o 10º ano de aplicação de fungicida, elevando-se rapidamente a partir daí. Apesar disso, a média do teor foliar de Cu foi inferior na zona úmida, porque, também nesta zona, a massa seca das folhas foi 17% superior (1,4 g) em relação à zona semi-úmida (1,2 g), indicando que houve efeito de concentração do Cu. Conseqüentemente, a média de conteúdo foliar de Cu da zona semi-úmida foi semelhante ao da zona úmida (0,01 mg).

De modo geral, a média de pH foi de 5,26 com coeficiente de variação em torno de 11% (tabela 13.3). Os valores médios e mínimos de pH obtidos foram próximos entre as zonas e as profundidades estudadas. Os valores máximos foram maiores nas profundidades 0-

20 e 20-40 cm, porém esses valores são, em média, apenas 5% superiores em relação às profundidades 0-05 e 0-10 cm.

Nas tabelas 14.3, 15.3, 16.3 e 17.3 estão apresentados os modelos de regressão que estimam o teor foliar dos micronutrientes estudados em função dos teores desses nutrientes no solo. A inclusão do pH e do valor de P-Rem nas equações não tiveram significância estatística, porque, talvez, a variação não tenha sido suficiente – coeficiente de variação de pH e P-Rem em torno de 11 e 23% em todas as profundidades estudadas nas duas zonas climáticas, respectivamente. A inclusão do teor de argila também não teve significância.

O teste de identidade de modelos indicou, para todos os extratores e todas as profundidades avaliadas, que há diferenças entre as zonas climáticas, ou seja, não é possível agrupar as duas em um modelo reduzido, porque existe diferença significativa entre as declividades dos modelos das duas zonas, exceto para o Fe extraído por M1 na profundidade 0-10 cm (tabelas 14.3, 15.3, 16.3 e 17.3).

Dentre as variáveis climáticas, a de mais notável diferença entre as zonas úmida e semi-úmida é a precipitação (tabela 1.3). Talvez, essa diferença tenha sido suficiente para gerar as diferenças entre os modelos. Sabe-se que plantas que estão em regiões com menor pluviosidade, em comparação a plantas bem regadas, apresentam maior concentração de nutrientes, uma vez que o crescimento das plantas nas regiões menos úmidas é reduzido e, conseqüentemente, há menos diluição dos nutrientes.

Os coeficientes angulares dos modelos da zona semi-úmida na profundidade 0-10 cm são 239 e 59,9% maiores em relação aos da zona úmida para Zn e Mn extraídos por M1, respectivamente. Isso sugere que deve haver tabelas distintas para interpretação destes micronutrientes disponíveis e para teor foliar entre as duas zonas climáticas em estudo.

A melhor profundidade de amostragem para a determinação de Fe disponível por M1 foi a 0-10 cm nas zonas úmida e semi-úmida (tabela 14.3). Também foram gerados modelos com significância para os extratores DTPA e M3 na zona úmida, porém na zona semi-úmida, para estes extratores não houve significância estatística. O Zn extraído por M1 a 0-10 cm teve melhor relação com o estado nutricional das plantas nas duas zonas, porém o Zn extraído por M3 e DTPA, na zona semi-úmida, se correlacionou melhor à profundidade 0-20 cm. Para este nutriente extraído por M3 e DTPA, não houve significância estatística na zona úmida.

Tabela 12.3 – Teores foliares médios, amplitude e coeficiente de variação (CV) de Fe, Zn, Cu e Mn, nas zonas climáticas úmida e semi-úmida, de cacaueteiro (clone PH16) cultivados em sistema agrossilvicultural nas zonas úmida e semi úmida do sul da Bahia

	Fe	Zn	Cu	Mn
Zona úmida + semi-úmida				
	----- mg kg ⁻¹ -----			
Média	133,9	122,9	12,2	511,7
Amplitude	31,6-281,4	25,8-322,4	7,0-25,4	117,2-1266,9
CV (%)	45,5	58,5	36,7	59,0
Zona úmida				
	----- mg kg ⁻¹ -----			
Média	154,9	81,8	10,4	409,3
Amplitude	31,6-281,4	25,8-229,9	7,1-18,0	117,2-967,3
CV (%)	40,5	61,3	29,5	59,0
Zona semi-úmida				
	----- mg kg ⁻¹ -----			
Média	111,9	164,0	14,1	606,3
Amplitude	43,3-249,3	40,3-322,4	7,0-25,4	185,0-1266,9
CV (%)	45,6	49,5	35,5	53,4

Tabela 13.3 – Valores médios, amplitude e coeficiente de variação (CV) de pH em quatro profundidades de amostragem (0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm), em solos cultivados com cacaueteiro (clone PH16) em sistema agrossilvicultural nas zonas climáticas úmida, semi-úmida e nas duas agrupadas

	Profundidade de amostragem (cm)			
	0-05	0-10	0-20	20-40
Zona úmida + semi-úmida				
	----- pH -----			
Média	5,39	5,38	5,25	5,00
Amplitude	4,10-6,40	4,10-6,50	4,00-7,30	4,00-7,30
CV (%)	10,49	10,58	12,02	12,66
Zona úmida				
Média	5,26	5,26	5,11	4,79
Amplitude	4,10-6,40	4,10-7,30	4,0-7,3	4,00-7,30
CV (%)	10,16	10,00	12,09	11,76
Zona semi-úmida				
Média	5,52	5,51	5,40	5,21
Amplitude	4,50-6,40	4,30-6,50	4,3-6,4	4,10-6,40
CV (%)	10,37	10,72	11,45	12,19

O estabelecimento de um modelo para estimar o estado nutricional de uma planta é dependente de muitos fatores extrínsecos e intrínsecos às plantas, principalmente da capacidade de absorção que é diferente em cada espécie. Como exemplo, pode-se citar

Bortolon e Gianello (2009), que tendo como variável dependente o Zn absorvido pelo milho, obtiveram coeficientes de determinação para regressão linear de 0,18, 0,32 e 0,10 para Zn extraído por HCl, M1 e M3, respectivamente. Os mesmos autores encontraram valores de R^2 de 0,37, 0,36 e 0,93 para HCl, M1 e M3, quando consideraram como variável dependente o Zn absorvido pela soja. Outro exemplo é o de Silva et al. (2007), que num Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, encontraram valores de R^2 em torno de 0,95 para equações de regressão linear que tem como variável independente a dose de Zn aplicada no solo e variável dependente, o teor foliar deste nutriente em bananeiras.

Não houve significância estatística para o teor foliar de Cu como variável dependente do teor de Cu no solo pelos extratores em questão na zona úmida. Na zona semi-úmida, os modelos com R^2 mais elevados foram observados à profundidade 0-10 cm para todos os extratores. Novamente, é possível citar exemplos que confirmam as diferenças causadas pelas condições edafoclimáticas e pelas plantas: Bortolon e Gianello (2009), analisando ampla variedade de solos do Rio Grande do Sul e tendo como variável dependente o Cu absorvido pelo milho, obtiveram coeficientes de determinação de regressão linear de 0,56, 0,35 e 0,46 para este nutriente extraído por HCl, M1 e M3, respectivamente. Os mesmos autores encontraram valores de R^2 de 0,66, 0,43 e 0,93 para HCl, M1 e M3, quando consideraram como variável dependente o Cu absorvido pela soja. Borges e Coutinho (2004), tendo como variável dependente o teor de Cu absorvido pelo milho num LV, obtiveram valores de R^2 de 0,12, 0,83, 0,19 e 0,60 para o Cu extraído por DTPA, HCl, M1 e M3 como variável independente, respectivamente. Contrariando os resultados do presente trabalho, estes autores, conseguiram elevar o R^2 da equação do M1 e M3 para 0,78 e 0,82, respectivamente, com a inclusão do pH na análise de regressão. No mesmo artigo, para um Neossolo Quartzarênico (RQ), foram obtidos valores de R^2 de 0,94, 0,88, 0,94 e 0,94 para o Cu extraído por DTPA, HCl, M1 e M3, respectivamente.

A profundidade de amostragem mais adequada para a avaliação da disponibilidade de Mn para cacau foi a 0-10 cm para todos os extratores nas duas zonas climáticas (tabela 17.3). Para demonstrar as diferenças entre espécies, citam-se Borges e Coutinho (2004), que tendo como variável dependente o teor de Mn absorvido pelo milho num LV, obtiveram valores de R^2 inferiores ao do presente trabalho (0,35, 0,44, 0,30 e 0,11 para o Mn extraído por DTPA,

HCl, M1 e M3 como variável independente, respectivamente). Estes autores elevaram o R^2 das equações para 0,75, 0,86, 0,82 e 0,74, respectivamente, com a inclusão do pH na análise de regressão. No mesmo artigo, porém para RQ, foram obtidos valores de R^2 de 0,84, 0,76, 0,80 e 0,83 para o Mn extraído por DTPA, HCl, M1 e M3, respectivamente.

Tabela 14.3 – Equações de regressão linear simples que estimam o teor foliar de Fe, mg kg^{-1} , de cacauzeiros (clone PH16) cultivados em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia em função do Fe extraído por Mehlich-1, DTPA e Mehlich-3, mg dm^{-3} , nas profundidades 0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm, nas zonas climáticas úmida (ZU) e semi-úmida (ZSU)

Zonas	Modelo	R^2	TIM	Modelo	R^2	TIM
Profundidade de Amostragem						
Fe – Mehlich-1						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 61,70+3,206*x$	0,50	A	$\hat{y} = 32,29+3,77**x$	0,60	A
ZSU	$\hat{y} = 63,71+2,5408*x$	0,29	B			A
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 105,76+1,0635*x$	0,33	A	$\hat{y} = 149,66+1,3598*x$	0,28	A
ZSU	$\hat{y} = 24,38+3,229*x$	0,57	B	$\hat{y} = 207,76-18,1391*x$	0,34	B
Fe – DTPA						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 87,55+0,8623*x$	0,30	A	$\hat{y} = 82,29+0,7481*x$	0,44	A
ZSU	$\hat{y} = 74,20+0,6031*x$	0,25	B	$\hat{y} = m = 111,9$		B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 69,99+0,9355*x$	0,30	A	$\hat{y} = m = 154,9$		A
ZSU	$\hat{y} = m = 111,9$		B	$\hat{y} = m = 111,9$		B
Fe – Mehlich-3						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 54,82+0,2751*x$	0,38	A	$\hat{y} = 2,14+0,4013*x$	0,40	A
ZSU	$\hat{y} = m = 111,9$		B	$\hat{y} = m = 111,9$		B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 24,51+0,3368*x$	0,26	A	$\hat{y} = m = 154,9$		A
ZSU	$\hat{y} = m = 111,9$		B	$\hat{y} = m = 111,9$		B

** , * : Significativo a 5% e 10% de probabilidade de erro pelo teste F, respectivamente. ^{ns}: não significativo. TIM: teste de identidade de modelos de regressão (letras diferentes na mesma profundidade de amostragem indicam que os modelos completos – de cada zona em particular – diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste F).

Por motivos práticos, pode-se considerar o extrator M1 como o mais eficiente para a determinação de todos os micronutrientes em questão, especialmente para Fe,

Mn e Zn. Ademais, o DTPA e o M3 não foram estatisticamente significativos a 0-10 cm para o Fe na zona semi-úmida e para o Zn na zona úmida. O M1 tem vantagem pela facilidade de adaptação no laboratório de análise de solo, pois é o mesmo extrator utilizado para análise de fósforo e potássio, não necessitando de adequação física ao laboratório (Bortolon e Gianello, 2009).

Tabela 15.3 – Equações de regressão linear simples que estimam o teor foliar de Zn, mg kg⁻¹, de cacauzeiros (clone PH16) cultivados em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia em função do Zn extraído por Mehlich-1, DTPA e Mehlich-3, mg dm⁻³, nas profundidades 0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm, nas zonas climáticas úmida (ZU) e semi-úmida (ZSU)

Zonas	Modelo	R ²	TIM	Modelo	R ²	TIM
Profundidade de Amostragem						
Zn – Mehlich-1						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 78,46+0,6919*x$	0,14	A	$\hat{y} = 45,73+10,7255*x$	0,25	A
ZSU	$\hat{y} = m = 164,0$		B	$\hat{y} = 30,32+36,2911**x$	0,55	B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 81,8$		A	$\hat{y} = m = 81,8$		A
ZSU	$\hat{y} = 29,63+47,998**x$	0,60	B	$\hat{y} = 82,33+53,1245*x$	0,31	B
Zn – DTPA						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 81,8$		A	$\hat{y} = m = 81,8$		A
ZSU	$\hat{y} = 75,32+16,3472*x$	0,41	B	$\hat{y} = 102,66+15,2713*x$	0,30	B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 81,8$		A	$\hat{y} = m = 81,8$		A
ZSU	$\hat{y} = 76,92+29,4838**x$	0,61	B	$\hat{y} = 100,71+57,4796*x$	0,33	B
Zn – Mehlich-3						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 81,8$		A	$\hat{y} = m = 81,8$		A
ZSU	$\hat{y} = 43,16+13,565**x$	0,67	B	$\hat{y} = 100,36+10,1392*x$	0,30	B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 81,8$		A	$\hat{y} = m = 81,8$		A
ZSU	$\hat{y} = 88,63+17,0691*x$	0,59	B	$\hat{y} = 80,43+42,9689*x$	0,27	B

** , * : Significativo a 5% e 10% de probabilidade de erro pelo teste F, respectivamente. ^{ns}: não significativo. TIM: teste de identidade de modelos de regressão (letras diferentes na mesma profundidade de amostragem indicam que os modelos completos – de cada zona em particular – diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste F).

A figura 1.3 ilustra o comportamento dos teores foliares de Zn e Mn em função dos teores destes nutrientes disponíveis no solo (determinados por M1) em

cada zona na camada de 0-10 cm e a mesma relação para Fe nas duas zonas em conjunto.

Tabela 16.3 – Equações de regressão linear simples que estimam o teor foliar de Cu, mg kg⁻¹, de cacauzeiros (clone PH16) cultivados em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia em função do Cu extraído por Mehlich-1, DTPA e Mehlich-3, mg dm⁻³, nas profundidades 0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm, nas zonas climáticas úmida (ZU) e semi-úmida (ZSU)

Zonas	Modelo	R ²	TIM	Modelo	R ²	TIM
Profundidade de Amostragem						
Cu – Mehlich-1						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 10,4$		A	$\hat{y} = m = 10,4$		A
ZSU	$\hat{y} = 11,47+1,2523*x$	0,21	B	$\hat{y} = 9,58+2,6568*x$	0,30	B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 10,4$		A	$\hat{y} = m = 10,4$		A
ZSU	$\hat{y} = 10,86+2,0139*x$		B	$\hat{y} = m = 14,1$		B
Cu – DTPA						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 10,4$		A	$\hat{y} = m = 10,4$		A
ZSU	$\hat{y} = 11,07+0,8066*x$	0,19	B	$\hat{y} = 10,36+1,0579*x$	0,28	B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 10,4$		A	$\hat{y} = m = 10,4$		A
ZSU	$\hat{y} = 10,33+1,3656*x$	0,22	B	$\hat{y} = 10,74+2,4921^{ns}*x$	0,12	B
Cu – Mehlich-3						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 10,4$		A	$\hat{y} = m = 10,4$		A
ZSU	$\hat{y} = 10,60+0,4542*x$	0,30	B	$\hat{y} = m = 14,1$		B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = m = 10,4$		A	$\hat{y} = m = 10,4$		A
ZSU	$\hat{y} = 11,09+0,5809*x$	0,19	B	$\hat{y} = m = 14,1$		B

*: Significativo a 10% de probabilidade de erro pelo teste F, respectivamente. ^{ns}: não significativo. TIM: teste de identidade de modelos de regressão (letras diferentes na mesma profundidade de amostragem indicam que os modelos completos – de cada zona em particular – diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste F).

Tabela 17.3 – Equações de regressão linear simples que estimam o teor foliar de Mn, mg kg⁻¹, de cacaueiros (clone PH16) cultivados em sistema agrossilvicultural no sul da Bahia em função do Mn extraído por Mehlich-1, DTPA e Mehlich-3, mg dm⁻³, nas profundidades 0-05, 0-10, 0-20 e 20-40 cm, nas zonas climáticas úmida (ZU) e semi-úmida (ZSU)

Zonas	Modelo	R ²	TIM	Modelo	R ²	TIM
Profundidade de Amostragem						
Mn – Mehlich-1						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 112,70+6,2333*x$	0,50	A	$\hat{y} = 110,54+7,5063*x$	0,42	A
ZSU	$\hat{y} = 270,72+3,0306*x$	0,56	B	$\hat{y} = 176,76+5,4972**x$	0,52	B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 206,83+6,2027*x$	0,38	A	$\hat{y} = 214,14+12,8919*x$	0,41	A
ZSU	$\hat{y} = 280,74+5,3156*x$	0,47	B	$\hat{y} = 368,58+7,2991*x$	0,36	B
Mn – DTPA						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 267,54+2,8603*x$	0,44	A	$\hat{y} = 240,46+2,9624*x$	0,57	A
ZSU	$\hat{y} = 606,3$		B	$\hat{y} = m = 606,3$		B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 284,76+2,3896*x$	0,48	A	$\hat{y} = 153,22+12,6206*x$	0,56	A
ZSU	$\hat{y} = 385,33+2,3298*x$	0,37	B	$\hat{y} = 307,66+7,9119*x$	0,36	B
Mn – Mehlich-3						
	----- 0-05 cm -----			----- 0-10 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 232,20+0,9622*x$	0,53	A	$\hat{y} = 226,88+0,8362**x$	0,63	A
ZSU	$\hat{y} = 395,32+0,7217*x$	0,26	B	$\hat{y} = 364,13+0,6803*x$	0,35	B
	----- 0-20 cm -----			----- 20-40 cm -----		
ZU	$\hat{y} = 272,45+0,7308*x$	0,51	A	$\hat{y} = 188,78+2,0105*x$	0,53	A
ZSU	$\hat{y} = 362,15+0,7395*x$	0,47	B	$\hat{y} = 363,37+1,1058*x$	0,46	B

** , * : Significativo a 5% e 10% de probabilidade de erro pelo teste F, respectivamente. ^{ns}: não significativo. TIM: teste de identidade de modelos de regressão (letras diferentes na mesma profundidade de amostragem indicam que os modelos completos – de cada zona em particular – diferem entre si a 1% de probabilidade pelo teste F).

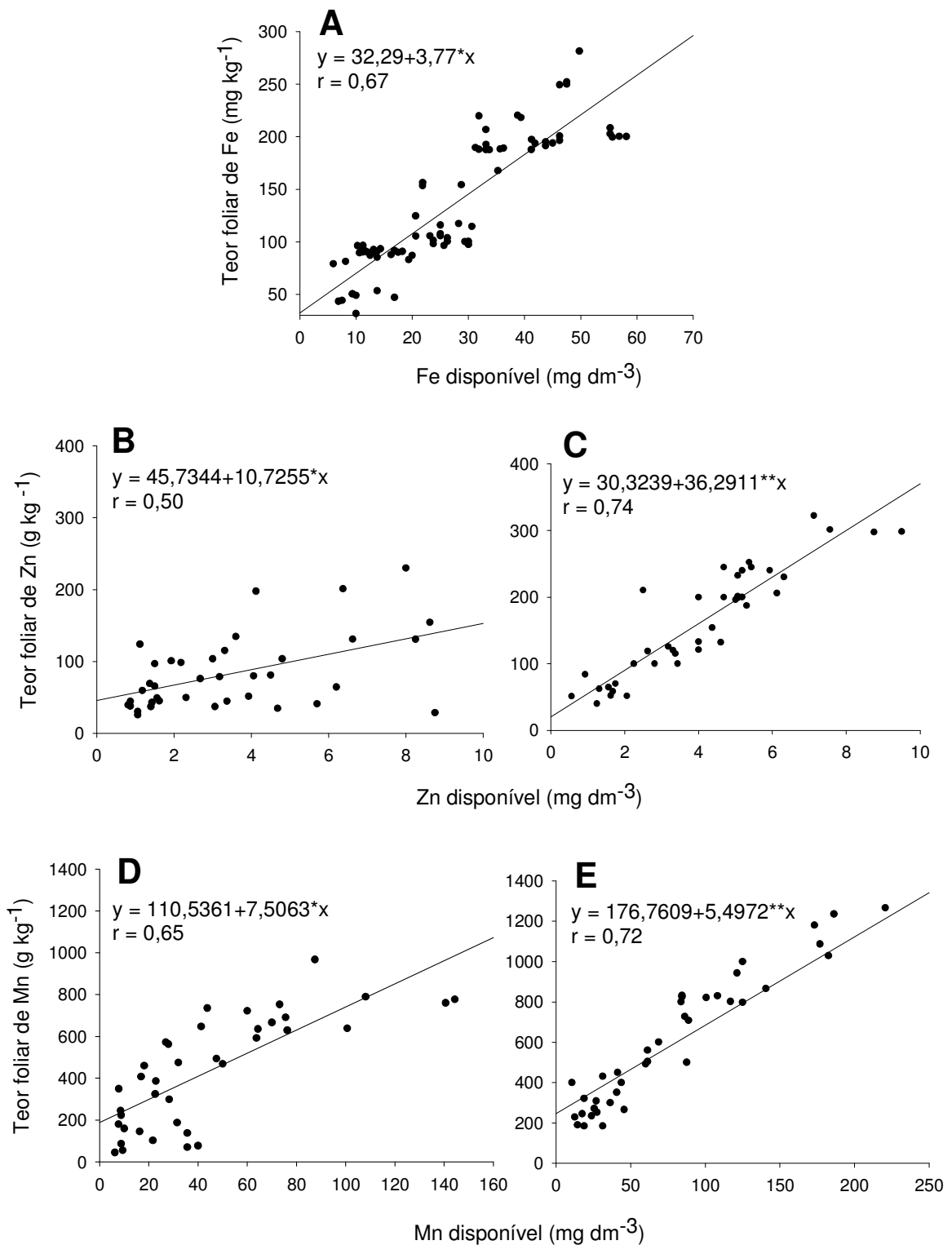


Figura 1.3 – Teores foliares de Fe, Zn e Mn de cacauero (clone PH16) em função do teor destes micronutrientes disponíveis no solo a 0-10 cm de profundidade extraídos por Mehlich-1, nas duas zonas climáticas em conjunto (A) e somente nas zonas úmida (B e D) e semi úmida (C e E) do sul da Bahia.

4.4 CONCLUSÕES

De modo geral, os maiores teores médios de Fe, Zn, Cu e Mn foram obtidos pelo extrator Mehlich-3, seguido do DTPA e do Mehlich-1. Os teores de Zn, Cu e Mn diminuíram em profundidade e de forma geral, os teores de Fe extraídos por Mehlich-1 e Mehlich-3 aumentaram em profundidade. As correlações entre teor de argila e fósforo remanescente x teores de Fe, Zn, Cu e Mn, de modo geral, não foram significativas. A profundidade 0-10 cm foi a mais apropriada para avaliação da disponibilidade de micronutrientes catiônicos para o cacauzeiro. De modo geral, o extrator Mehlich-1 foi o que gerou melhores correlações entre os teores de micronutrientes catiônicos no solo e na folha de cacauzeiros.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 645-736.
- BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido. II – Disponibilidade. Rev. Bras. de Ciênc. Solo. 2004, n. 28, p. 557-568.
- Bortolon, L.; Gianello, C. Disponibilidade de Cobre e Zinco em solos do sul do Brasil. Rev. Bras. de Ciênc. Solo. 2009, n. 33, p. 647-658.
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769 – 850.
- CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. L.; SERÔDIO, M. H. C. F.; VALLE, R. R. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauzeiro no Sul da Bahia – 2ª aproximação. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC, 2005. 36p.
- DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ, V. H.; KER, J. C.; FONTES, M. P. F. Fósforo remanescente em argila e silte retirados de Latossolos após pré-tratamentos na análise textural. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2008, v. 32, n. 4, p. 1785-1791.
- EMBRAPA, Informação tecnológica. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Editor técnico: SILVA, F. C.; 2 ed. rev. amp. Brasília, 2009. 627p.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1978, v. 42, p. 421-428.

MALAVOLTA, E.; MALAVOLTA, M. L.; CABRAL, C. P. Nota sobre as exigências minerais do cacauzeiro. In: *Anais da E. S. A. Luiz de Queiroz.* v. 41. 1984.

MANDARINO, E. P.; GOMES, A. R. S. Produtividade do cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.) cultivado em blocos monoclonais, no sul da Bahia, Brasil. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. 2009, Boletim Técnico nº 197. 32 p.

NACIF, P. G. S. Ambientes naturais da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, com ênfase nos domínios pedológicos. 2000. 132p. Tese (Doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal de Viçosa.

MEHLICH, A. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractants. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 1984, v. 15, p. 1409-1416.

MENEZES, A. A.; DIAS, L. E.; NEVES, J. C. L.; SILVA, J. V. O. Disponibilidade de zinco para milho pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DPTA em solos de Minas Gerais, na presença e ausência de calagem. *Rev. Bras. Ciênc. Solo.* 2010, v.34, n.2, p. 417-424.

ORTIZ, F. R.; BRITO, O. R.; BORKERT, C. M. Extratores para a quantificação de zinco, cobre e manganês em solo arenoso. *Scientia Agraria.* 2007, v. 8, n.1, p. 95-98.

PAIVA, A. Q; ARAUJO, Q. R. Fundamentos do manejo e da conservação dos solos na região produtora de cacau da Bahia. In: VALLE, R. R. M. *Ciência, tecnologia e manejo do cacauzeiro.* Itabuna: Vital, 2007, v.1, 467p.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão. *Pesq. Agropec. Bras.* 1996, v. 31, n. 1, p. 1-17.

SANTANA, C. J. L.; PEREIRA, F. P.; CABALA, R. Amostragem de solos em cacauais do sul da Bahia. *Rev. Theobroma.* 1975, v. 5, n.1, p. 3-11.

SANTANA, M. B. M.; IGUE, K. Composição química das folhas do cacauzeiro em função da idade e da época do ano. *Rev. Theobroma.* 1979, v. 9, p. 63-76.

SEI – Superintendência de estudos econômicos e sociais da Bahia. Informações geoambientais. Disponível em:

<http://www.sei.ba.gov.br/site/geoambientais/cartogramas/pdf/cartotip_clim.pdf> Acessado em Novembro de 2010.

SILVA, M. A. G.; MUNIZ, A. S.; NODA, A. Y.; MARCHETTI, M. E.; MATA, J. D. V.; LOURENTE, E. R. P. Metodologias e eficiência de extratores para zinco, cobre, ferro e manganês. *Acta Scientiarum. Agronomy.* 2009, v. 31, n. 3, p. 537-545.

SILVA, E. B.; FARNEZI, M. M. M.; PINHO, P. J.; RODRIGUES, M. G. V.; CARVALHO, J. G. Aplicação de doses de zinco, via solo, na bananeira "Prata Anã" (AAB) irrigada, no norte de Minas Gerais. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2007, v. 31, n. 6, p. 1497-1502.

SILVA, F. C.; SILVA, C. A.; BERGAMASCO, A. F.; RAMALHO, A. L. Disponibilidade de micronutrientes em cinco solos em função do tempo de incubação de um composto de lixo. Eng. Agríc. 2006, v. 26, n. 1, p.224-234.

TEIXEIRA, I. R.; SOUZA, C. M.; BOREM, A.; SILVA, G. F. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo de solo. Bragantia. 2003, v. 62, n. 1, p. 119-126.

VELOSO, J. L. M.; SANTANA, C. J. L. Cobre residual em solos de plantações de cacau (*Theobroma cacao* L.). Agrotrópica. 2000, v. 12, n. 2, p. 75-80.

ZANÃO Jr., L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. Ciência Rural. 2007, v. 37, n. 4, p.1000-1007.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No capítulo 1, observou-se que o índice SPAD se correlacionou significativamente e positivamente com o teor foliar de nitrogênio e com a área foliar; e negativamente com a massa foliar específica. O teste de identidade de modelos de regressão validou a semelhança entre as zonas úmida e semi-úmida, para essas características.

No capítulo 2, concluiu-se que a capacidade de extração de fósforo no solo foi: resina de troca aniônica (RTA) > Mehlich-1 (M1) > Mehlich-3 (M3). Estes extratores apresentaram correlações entre si variáveis em função da profundidade do solo e da região climática, as maiores correlações foram, de modo geral, entre M1 e M3. O extrator de P que gerou melhores modelos entre os teores no solo e na planta foi o M1, seguido da RTA e do M3. Estimadores da capacidade tampão de P (teor de argila e P-remanescente) não foram significativos quando inclusos nos modelos de teor foliar de P em função de seu teor no solo.

Os valores médios de P, K, Ca, Mg e P-remanescente decresceram em profundidade. Para os nutrientes avaliados, a relação entre sua disponibilidade no solo e seu teor foliar no cacaueteiro variou em função da região climática do sul da Bahia, independente do extrator e da profundidade do solo, exceto para o K, que não teve a relação influenciada em função da região climática. A profundidade de amostragem mais apropriada para avaliar a fertilidade do solo em P foi 0-10 cm, independente do extrator e da região; para os nutrientes trocáveis essa profundidade também mostrou-se, em média, a mais apropriada.

No capítulo 3, concluiu-se que os maiores teores médios de Fe, Zn, Cu e Mn foram obtidos pelo extrator M3, seguido do DTPA e do M1. Os teores de Zn, Cu e Mn diminuíram em profundidade e de forma geral, os teores de Fe extraídos por M1 e M3 aumentaram em profundidade. As correlações entre teor de argila e fósforo remanescente x teores de Fe, Zn, Cu e Mn, de modo geral, não foram significativas. A profundidade 0-10 cm foi a mais apropriada para avaliação da disponibilidade de micronutrientes catiônicos para o cacaueteiro. De modo geral, o extrator M1 foi o que gerou melhores correlações entre os teores de micronutrientes catiônicos no solo e na folha de cacaueteiros.