



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

**NAIRA COSTA SANTOS LEONE**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM SUBSTRATO E CRESCIMENTO DE  
MUDAS DE CACAUEIRO EM RESPOSTA À SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE  
POTÁSSIO POR SÓDIO E A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA**

Ilhéus-BA  
2014

**NAIRA COSTA SANTOS LEONE**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM SUBSTRATO E CRESCIMENTO DE  
MUDAS DE CACAUEIRO EM RESPOSTA À SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE  
POTÁSSIO POR SÓDIO E A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA**

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. Arlicélio de Queiroz Paiva  
**COORIENTADORES:** Prof. Dr. José Olímpio de Souza Jr.  
Prof. Dr. Fábio Pinto Gomes

Ilhéus-BA  
2014

**NAIRA COSTA SANTOS LEONE**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM SUBSTRATO E CRESCIMENTO DE  
MUDAS DE CACAUEIRO EM RESPOSTA À SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE  
POTÁSSIO POR SÓDIO E A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA**

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.

---

Arlicélio de Queiroz Paiva  
DCAA-UESC

---

Raphael Bragança Alves Fernandes  
DPS-UFV

---

Agna Almeida Menezes  
DCAA-UESC

*“Os sonhos não determinam o lugar onde vocês vão chegar, mas produzem a força necessária para tirá-los do lugar onde vocês estão”.*

*Augusto Cury*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, autor e consumidor da minha fé.

Ao meu marido Wesley Leone, pelo apoio físico, financeiro, emocional e espiritual. A ele, que está sempre ao meu lado, suportando meus dias de estresse e ansiedade, agradeço pelo auxílio nos dias de coleta, noites viradas na UESC para realizações das medições 'pre-dawn', pelos múltiplos conselhos, e, principalmente por ser meu amigo, aquele que nos momentos de fraqueza e desânimo, sempre me incentivou a continuar e jamais desistir. Esta vitória também é sua!

À minha única e verdadeira companheira Talita Leone. Sei que você fez tudo o que pôde para ver o meu sucesso, inclusive cumprir o papel de mãe e dona de casa no meu lugar. Obrigada pela ajuda.

Aos meus pais Haroldo Andrade e Margarida Maria, por serem exemplos de ética, moral e bons costumes e também por vibrarem sempre a cada conquista minha.

Aos colegas Felipe Neves, Juliane Damasceno, Nairane Miranda e Renata Silveira, pelo coleguismo até quando não mais existiam forças. Obrigada, pela grande amizade, pelo riso e apoio que nunca me foi negado.

À Amanda Ácido de Macedo, pela ajuda nas análises, acompanhamento do projeto e pela correção das minhas falhas nos cálculos e medidas.

À Leandro Dias pela ajuda nas análises bioquímicas.

Ao meu orientador Arlicélio de Queiroz Paiva, pela ajuda, ensino, confiança depositada, paciência, esforço e dedicação que foram fundamentais para o meu amadurecimento e crescimento na minha vida pessoal e profissional. Feliz é aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina. Cora Coralina

Ao meu coorientador José Olímpio de Souza Júnior a minha sincera gratidão por contribuir valiosamente desde a escrita do projeto até a finalização deste trabalho com críticas, sugestões e especialmente incentivo.

Aos técnicos do laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal de Viçosa, seu Carlos, Lula, Carlinhos e Paulo pela boa vontade nos ensinamentos, e pelas orientações na realização das análises de solo e material vegetal.

Aos professores da banca examinadora: Dr<sup>a</sup> Agna Almeida Menezes e Dr. Raphael Bragança Alves Fernandes pela colaboração.

À Universidade Estadual de Santa Cruz, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pela oportunidade.

À secretária do curso, Carol Tavares pelo auxílio, paciência e dedicação.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Finalmente, a todos aqueles não citados, mas que participaram direta e indiretamente do projeto, tenham o meu afetuoso reconhecimento.

## SUMÁRIO

RESUMO	6
GENERAL ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO GERAL	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. <i>Theobroma cacao</i> L.	12
2.2. Potássio	13
2.3. Sódio	15
2.4. Substituição parcial de K por Na	18
2.5. Relações hídricas	20
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO SUBMETIDO À SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE POTÁSSIO POR SÓDIO E A TEORES DE ÁGUA DO SUBSTRATO	
RESUMO	29
ABSTRACT	30
1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAL E MÉTODOS	34
2.1. Localização do experimento	34
2.2. Delineamento experimental	34
2.3. Substrato	34
2.4. Condução do experimento	36
2.5. Análises físicas do substrato	39
2.6. Análises químicas do substrato	40
2.7. Análise estatística	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
3.1. Atributos físicos do substrato	42
3.2. Atributos químicos do substrato	45
4. CONCLUSÕES	49
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
CAPÍTULO 2 - CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE MUDAS CLONAIIS DE <i>Theobroma cacao</i> L. SUBMETIDAS À SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE POTÁSSIO POR SÓDIO E A TEORES DE ÁGUA DO SUBSTRATO	
RESUMO	52
ABSTRACT	53
1. INTRODUÇÃO	54
2. MATERIAL E MÉTODOS	57
2.1. Localização do experimento	57
2.2. Delineamento experimental	57
2.3. Substrato	57
2.4. Condução do experimento	59
2.5. Avaliações biométricas	62
2.6. Nutrição mineral	62
2.7. Análise estatística	63
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
3.1. Avaliações biométricas	64
3.2. Nutrição mineral	67
4. CONCLUSÕES	75
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
APÊNDICE	79

## ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM SUBSTRATO E CRESCIMENTO DE MUDAS DE CACAUEIRO EM RESPOSTA À SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE POTÁSSIO POR SÓDIO E A DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

### RESUMO GERAL

O objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos da substituição parcial de potássio por sódio nos atributos químicos e físicos do substrato e no crescimento e nutrição de mudas de *Theobroma cacao* L., mantidas sob diferentes teores de água no substrato e fornecimento de adubação potássica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no *Campus* da Universidade Estadual de Santa Cruz, em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 3x2x2 onde, utilizaram-se três níveis de substituição de K por Na (0 % - controle, 20 e 40 %); dois teores de água do substrato (75 e 90 % da capacidade de campo) e duas doses de adubação potássica (2,5 e 4,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), em quatro blocos. A unidade experimental foi composta de duas mudas do clone PH16 de *Theobroma cacao* L., plantadas em vasos de 45 dm<sup>3</sup> com substrato feito da mistura de sete partes de Argissolo Vermelho-Amarelo e três partes de Neossolo Quartzarênico. Os dados foram submetidos à análise de variância e adotou-se a probabilidade de erro (p<0,05) com teste de Tukey. Para cada tratamento avaliaram-se: atributos físicos do substrato (classes de agregados, diâmetro médio ponderado e índice de estabilidade de agregados, textura, argila dispersa em água, grau de flocculação), bem como macro e micronutrientes; parâmetros morfológicos (altura da planta, diâmetro do caule, área foliar e biomassa seca das folhas, do caule e das raízes); nutrição mineral da planta (teor foliar e conteúdo da parte aérea dos macro e micronutrientes). Os resultados indicam que a substituição do potássio pelo sódio até o nível de 40 % não provocou alteração nos agregados nem na flocculação das argilas do substrato; os teores de sódio no substrato aumentaram e os de potássio diminuíram com o incremento da substituição de K por Na; os demais nutrientes não apresentaram resultados significativos; a condutividade elétrica na pasta de saturação do substrato e o índice de saturação por sódio aumentaram com a elevação da substituição de K por Na, em ambos os teores de água do substrato, os valores encontrados ainda estão dentro da normalidade; a substituição do potássio pelo sódio até o nível de 40 % não interferiu na altura da planta, nem na produção de biomassa seca, no entanto, provocou diminuição do diâmetro do caule; apenas os teores dos macronutrientes K, Na e N na folha foram influenciados pelos níveis de substituição do K por Na, os demais macronutrientes (Ca, Mg e P) e os micronutrientes (Fe, Cu, Mn e Zn) não apresentaram resultados significativos.

**Palavras-chave:** cacau, adubação, déficit hídrico moderado.

## ATTRIBUTES OF A PHYSICAL AND CHEMICAL SUBSTRATE AND GROWTH OF CACAO SEEDLINGS IN RESPONSE TO PARTIAL REPLACEMENT OF SODIUM AND POTASSIUM IN THE AVAILABILITY OF WATER

### GENERAL ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of partial substitution of potassium for sodium in chemical and physical properties of soil and on the growth and nutrition of seedlings of *Theobroma cacao* L., maintained under different levels of soil moisture and supply of potassium fertilization. The experiment was conducted in a greenhouse on the campus of the Universidade Estadual de Santa Cruz, in a randomized complete block design in a factorial 3x2x2 where we used three levels of substitution of K by Na (0 % - control, 20 and 40%); Two levels of soil moisture (75 and 90 % of field capacity) and two doses of potassium fertilization (2.5 and 4.0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) in four blocks. The experimental unit consisted of two plants of clone PH16 *Theobroma cacao* L., planted in pots of 45 dm<sup>3</sup> with substrate made of blend of seven pieces of red-yellow Podzolic and three parts PSAMENT. Data were subjected to analysis of variance and adopted the probability of error ( $p < 0.05$ ) with Tukey's test. For each treatment were evaluated: soil physical properties (aggregate classes, mean weight diameter and index of aggregate stability, texture, clay dispersion in water, flocculation) and nutritional status (macro and micronutrients); morphological parameters (plant height, stem diameter, leaf area and dry biomass of leaves, stem and roots); mineral nutrition of the plant (leaf content and content of shoots of macro and micronutrients). The results indicate that replacement of sodium by potassium to the level of 40 % resulted in no change in the aggregate or flocculation of clay soil; the sodium concentration in the soil increased and decreased with increasing potassium substituting K for Na; other nutrients were not significant; the electrical conductivity of the saturated soil paste and sodium saturation index increased with increasing substitution of K by Na in both levels of soil moisture, the values found are still within the normal range; replacement of potassium by sodium until the 40 % level did not affect the plant height, or in the production of dry biomass, however, caused a reduction of the diameter of the stem; only the contents of macronutrients K, Na, and N in the leaf were influenced by the levels of substitution of K by Na, the other macronutrients (Ca, Mg and P) and micronutrients (Fe, Cu, Mn and Zn) were not significant.

**Keywords:** cocoa, fertilizer, moderate drought.



## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O cacauieiro (*Theobroma cacao* L.) é uma planta nativa de regiões de floresta pluvial da América Tropical, cabeceiras do Rio Amazonas, onde até hoje, é encontrado em estado selvagem, desde o Peru até o México (CHEESMAN, 1944; METCALFE; CHALK, 1979; NAKAYAMA, 1996).

A planta foi classificada por Lineu, como pertencente ao gênero *Theobroma*, sendo recentemente reclassificado por Sounigo et al. (2003), como pertencente à família Malvaceae. Possui dois importantes grupos genéticos: Criollo e Forastero. O Criollo se espalhou na direção norte, para as imediações do Rio Orenoco, penetrando na América Central e sul do México. Este grupo produz frutos grandes, com superfície enrugada, suas sementes são grandes e de coloração que vão de tons brancos a violáceos pálidos. O grupo Forastero espalhou-se pela região da Bacia Amazônica, em direção às Guianas e possui frutos ovóides, com superfície variando de levemente ondulada a lisa, pouquíssimos sulcos, sementes de cor violeta bem escura, muitas vezes quase preta. Este é considerado o verdadeiro Cacau Brasileiro (N' GORAN et al., 1994).

A cultura do cacau possuía forte importância nas civilizações Astecas e Maias fazendo parte de sua religião e constituindo naquela época mercadoria com alto valor econômico, devido à exploração de suas amêndoas secas na produção de chocolate. Hoje, em países produtores como Gana, Costa do Marfim, Nigéria, Indonésia e Brasil, o cacau representa uma considerável parcela na balança comercial, avaliado pelo Produto Interno Bruto (PIB), devido às exportações.

No Brasil, o cacau começou oficialmente a ser cultivado no ano de 1679, através da Carta Régia, que autorizava os colonizadores a introduzirem a cultura em suas propriedades (GRAMACHO, 1992; BASTOS, 1987). Hoje, nosso país é o 6º produtor de cacau do mundo com uma produção estimada no ano de 2013 de 248.500 toneladas em uma área total de 680.484 hectares (AGRIANUAL, 2013).

No ano de 1746, o cacauieiro foi introduzido na Bahia por Antônio Dias Ribeiro que, ao receber algumas sementes de cacau Forastero do colonizador francês Luiz Frederico Warneaux, plantou-as na fazenda Cubículo, às margens do Rio Pardo, Capitania de São Jorge dos Ilhéus, hoje município de Canavieiras. O cultivo adaptou-se bem ao clima e solos da região sul da Bahia, que é hoje, a principal zona

produtora de cacau no Brasil, respondendo por 75 % da produção nacional (LEITE; SODRÉ, 2012).

Na Bahia, o cultivo já ocupou mais de 700 mil hectares e por apresentar características conservacionistas, já que é feito sob o sombreamento de árvores nativas, conhecido como sistema cabruca, até hoje ainda ocupa grande parte das áreas de Mata Atlântica proporcionando assim sua conservação.

Por mais de 200 anos a história da região sul da Bahia foi escrita às margens da cultura cacauera. Porém, ao final da década de 1980 ocorreu uma grave crise econômica causada pelo aparecimento de uma doença conhecida como Vassoura-de-Bruca, sendo seu agente patogênico o fungo *Moniliophthora perniciosa*. Com isso, houve um grande declínio nos preços da amêndoa, como consequência, muitas áreas foram devastadas e substituídas por pastagens para pecuária de corte e leite.

A doença foi classificada como um dos principais problemas fitossanitários da região cacauera da Bahia, cujo reflexo proporcionou quedas na produtividade, que nos últimos anos saltou de 400 mil toneladas por ano para somente 100 mil toneladas. Desde então, a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) e os produtores de cacau têm buscado alternativas para aumentar a produtividade das fazendas de cacau. Uma delas é o plantio de clones resistentes à Vassoura-de-Bruca, que vem promovendo a recuperação gradativa da produção de cacau no país e na região.

Outra prática bastante difundida, com o intuito do aumento da produtividade, é a fertilização das lavouras. A recomendação de adubação para lavoura do cacau no sul da Bahia foi feita pelos pesquisadores da CEPLAC, com base em curvas de respostas. Essas curvas geraram um Boletim de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes para a Cultura do Cacaueiro no Sul da Bahia - BRCFSB (CHEPOTE et al., 2013).

Segundo o BRCFSB, o cacau requer grandes quantidades de potássio: cerca de 700 kg ha<sup>-1</sup> de K são necessários para produzir 1000 kg ha<sup>-1</sup> de amêndoas por ano. Este elemento corresponde a, aproximadamente, 70 % dos nutrientes na seiva do xilema. Ele é um dos elementos essenciais às plantas sendo absorvido em maior quantidade que qualquer outro mineral exceto o nitrogênio.

De toda a produção mundial de K, cerca de 95 % é consumida sob a forma de fertilizantes, ficando a parte restante para uso nas indústrias químicas e correlatas (MOSAIC, 2010). Do K utilizado para fins agrícolas, 90 % está representado pelo

cloreto de potássio (KCl) e o restante por sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ), sulfato duplo de potássio e magnésio ( $K_2SO_4.MgSO_4$ ), nitrato de potássio ( $KNO_3$ ) e salitre potássico ( $KNO_3.NaNO_3$ ) (SILVA et al., 2004).

O Brasil consome atualmente cerca de 4,3 mil toneladas anuais de  $K_2O$  e deverá atingir aproximadamente 6,0 mil toneladas até 2015, sendo que produz somente cerca de 10 % do potássio que consome e tal percentual tende a diminuir nos próximos anos com aumento da demanda (KULAIF, 2009). Com isso, os agricultores são dependentes da importação do fertilizante, que corresponde a 20,4 milhões de toneladas ou 66,8 % de todo o consumo estimado para o ano de 2013 no Brasil.

O adubo potássico possui uma grande flutuação de preço, por não seguir uma cotação internacional, como o petróleo ou o ouro. O preço é o resultado de negociações diretas entre consumidores e produtores e, com isso, o valor do cloreto de potássio no mercado aumentou consideravelmente nos últimos anos, refletindo o aumento da demanda e da oferta "inelástica", chegando a ser negociado entre U\$ 350 e U\$ 370 a tonelada (CHAIZE, 2008).

O sódio (Na) é essencial para algumas plantas de região árida (Atriplex, Versicaria, Hewartol). Por outro lado, apesar de não ser considerado elemento essencial para a cultura do cacau, pode promover efeitos benéficos ao crescimento e desenvolvimento da planta. Alguns estudos com a *Beta vulgaris* L. revelaram os efeitos benéficos deste elemento, contudo, as funções desempenhadas nos tecidos vegetais carecem de estudos e não estão bem esclarecidas (CARVALHO, 2008).

O custo da adubação com cloreto de sódio é menos onerosa do que com o cloreto de potássio, visto que, seu processo de fabricação é físico e não químico, dando-se por dissolução de sal gema com água quente injetada nas jazidas para a produção de salmoura (ARAÚJO et al., 2012). Além disso, a precipitação incidente também é, principalmente em regiões costeiras, uma grande fonte natural do elemento Na e, em muitos trabalhos tem-se evidenciado que este elemento pode substituir algumas funções do K na planta. Por isso é muito rara a percepção de deficiência de K em culturas de regiões costeiras, fato atribuído à substituição parcial do K pelo Na.

Assim sendo, a compreensão dos processos e interações existentes entre a disponibilidade potássica e sódica se faz necessária, pois a possibilidade de substituição total ou parcial do potássio por sódio na fertilização de cacau é de

grande interesse para o Brasil, diminuindo assim nossa dependência no fertilizante em grande parte importado, bem como os custos de produção envolvidos.

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da substituição parcial de potássio por sódio nos atributos físicos e químicos do substrato e no crescimento e nutrição de mudas de *Theobroma cacao* L., mantidas sob diferentes teores de água no substrato e fornecimento de adubação potássica.

## 1. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. *Theobroma cacao* L.

O cacau (*Theobroma cacao* L.), anteriormente pertencente à família Sterculiaceae foi reclassificada, tornando-se parte da família Malvaceae (SOUNIGO et al., 2003), possui aproximadamente 75 gêneros e em torno de 1.500 espécies, com ocorrência predominante nos trópicos (CRONQUIST, 1981) e apresentando grande valor econômico (LORENZI, 1992). O *T. cacao* pode ser subdividido em três grupos de acordo com as características morfológicas e distribuição geográfica, (I) Forasteiro, (II) Crioulo e (III) Trinitário (N'GORAN ET AL., 1994). O tipo Crioulo tem sido cultivado há muito tempo na América Central e no norte da América do Sul. O primeiro Forasteiro cultivado foi no Baixo Amazonas, principalmente no Brasil e na Venezuela (SOUNIGO et al., 2003).

Existem 22 espécies pertencentes ao gênero *Theobroma*, porém o *Theobroma cacao* é praticamente a única espécie economicamente explorada. Ela é utilizada para fabricação de cosméticos, bebidas finas, geleias, sorvetes, sucos e suas amêndoas, após secas e beneficiadas, irão compor a base para chocolates e derivados (SODRÉ, 2007). De sua região de origem, o cacau se expandiu por grande parte do continente americano, sendo que atualmente as principais regiões produtoras de amêndoas de cacau concentram-se na África, Ásia e América (DIAS, 2001).

O cacau é uma árvore de pequeno porte, podendo atingir seis metros de altura, de copa globosa e baixa, com pequenas flores inseridas no tronco, nos ramos principais e na axila das folhas caducas, de onde surgem os frutos de tamanho e formato variáveis (LORENZI; MATOS, 2002). Em mudas cultivadas a partir do plantio por estaquia, o sistema radicular é predominantemente superficial, apresentando, em média, 80 % das raízes na profundidade de 0 a 30 cm (RODRIGUES; CADIMA, 1991).

A produção mundial de amêndoas de cacau da safra 2011/2012 foi de aproximadamente 4.075.000 t, e a produção em 2012/2013 foi estimada em 4.003.000 t (ICCO, 2013). A Costa do Marfim continua sendo o maior produtor mundial de amêndoas de cacau com 1.486.000 t, seguida de Gana (879.000 t),

Indonésia (450.000 t), Brasil (230.000 t), Camarões e Nigéria, ambos com 210.000 t (ICCO, 2013).

Atualmente a maioria das lavouras de cacau vem atravessando dificuldades, culminando em uma redução drástica da produção do Brasil, principalmente no estado da Bahia onde se encontra a maior parte da produção nacional. Esse estado possui um modelo agrossilvicultural sustentável chamado cacau cabruca, cuja palavra significa roçar a mata cortando arbustos e algumas árvores para plantar o cacauzeiro (LOBÃO; SETENTA, 2002). Esta forma de cultivo tem permitido a conservação de remanescentes florestais da Mata Atlântica, conservando indivíduos arbóreos de elevada significância ecológica (LOBÃO et al., 1997). Neste sistema, um dos principais produtos econômicos da região, o cacau, pode ser considerado como uma atividade econômica de grande potencial para a manutenção dos fragmentos e ampliação da conectividade em remanescentes de Mata Atlântica.

Em 1989, o aparecimento da Vassoura-de-Bruca, gerou uma crise na lavoura cacauzeira, com isso, muitas pesquisas foram direcionadas à busca de clones de cacau tolerantes ao ataque do fungo causador da doença, tais como: CCN 10, CCN 51, CEPEC 2002, CEPEC 2005, PS 1319, TSH 565, PH 16, entre outros. O PH 16 é adaptado às zonas úmidas e semi-úmidas, apresenta produtividade média de 973 g/planta de amêndoas secas a partir do quarto ano, e é autocompatível além de ser tolerante à *Moniliophthora perniciosa*, patógeno causador da Vassoura-de-Bruca (MANDARINO; GOMES, 2009). O clone possui ainda pequeno porte, chegando a atingir em alguns casos, até seis metros de altura, de copa baixa e com flores inseridas no tronco, dando origem a frutos de tamanho e formato variado (LORENZI; MATOS, 2002).

## 2.2. Potássio

O potássio é um dos nutrientes minerais mais requeridos pelas plantas sendo, assim, o cátion mais abundante nas células vegetais (LEBAUDY et al., 2007). É um elemento que tem grande mobilidade o que lhe confere fácil redistribuição no interior da planta, deslocando-se das folhas velhas para as folhas mais novas em caso de deficiência do elemento. Acumula-se sempre nas partes em crescimento ativo. Cerca de 70 % do K encontra-se no suco celular e nas proteínas do protoplasma. O elemento participa do curso normal de todos os processos metabólicos e é

responsável pela economia de água na planta, diminuindo a tendência ao murchamento. O K tem importância na translocação dos carboidratos e na síntese das proteínas e ácidos graxos. Ainda afeta a qualidade de muitos produtos vegetais, aumentando o conteúdo de açúcar, amido e gordura (COELHO; VERLENGIA, 1973).

As funções biológicas desempenhadas pelo K nas plantas envolvem processos celulares e fisiológicos diversos. Nessas células, este elemento atua na manutenção do potencial da membrana plasmática, no balanço das cargas negativas do citosol e na manutenção da pressão osmótica do vacúolo. Além disso, diversas enzimas da fotossíntese, da respiração e da biossíntese de proteínas dependem do K como cofator (GIERTH et al., 2007).

De acordo com Lebaudy et al. (2007), considerando a planta completa, a acumulação de K nos elementos de vaso do xilema mantém a pressão radicular que movimenta a seiva das raízes para as folhas na ausência da transpiração. Outros movimentos também dependem do K, como os tropismos, nastismos, e movimentos dos estômatos.

Doses crescentes de K, além de proporcionarem incrementos na produção de matéria seca, tendem a minimizar os efeitos de um severo déficit de pressão de vapor d'água (2,71 a 2,99 kPa) sobre a fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em plântulas de cacau.

O K no solo é absorvido em grandes quantidades pelas plantas, sendo somente superado pelo nitrogênio. Em solos cultivados, o K é encontrado em quantidades de 7 a 15.000 kg ha<sup>-1</sup>, mas desse total, só 1 a 2 % encontra-se em forma trocável ou solúvel. O nível crítico de potássio em solos estudados na região cacauera da Bahia, está em torno de 2,25 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (SOUZA JR., 1997) logo, os maiores coeficientes de respostas do elemento, estão situados abaixo desse nível.

Diversos fatores podem interferir nas respostas do cacauero à adubação potássica como, por exemplo, disponibilidade de água no solo, interação do potássio K com a intensidade luminosa e com outros nutrientes, fontes de adubos potássicos, tipo de solo, lixiviação e fixação de acordo com as doses aplicadas, teor de reserva total de K no solo e sua ciclagem no agrossistema do cacau. O K disponível no solo tende normalmente a lixiviar devido às poucas cargas no complexo coloidal e à preferência pela adsorção de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (MOSAIC, 2010). É

necessário, portanto, o conhecimento da reserva total de K no solo, representado pelo somatório das frações K- estrutural + K- não trocável + K- trocável + K- solução.

### 2.3. Sódio

O sódio é o sexto elemento mais abundante no planeta, representando cerca de 2,8 % da crosta terrestre (LUTGENS; TARBUCK, 2003) e, depois de cloreto, é o segundo soluto mais abundante nos oceanos.

Pesquisadores costumam classificar os nutrientes minerais da planta com base no conceito de "Essencialidade", como definido por Arnon; Stout, (1939). São considerados essenciais aqueles elementos necessários para uma planta completar seu ciclo de vida . Alguns outros elementos, tais como Na, estão presentes em solos e águas e são absorvidos e utilizados pelas plantas, mas não são considerados como nutrientes vegetais, uma vez que não atendem à definição estrita de "essencialidade".

O Na tem uma função muito específica em um número limitado de famílias de plantas C4, tais como: *Amaranthaceae*, *Chenopodiaceae* e *Ciperáceas*, nas quais é requerido em níveis de micronutrientes (JOHNSTON et al., 1988). Também é necessário para algumas espécies como beterraba (SUBBARAO et al.; 1999; SZULC et al.; 2010), cacau (GATTWARD et al.; 2012), milho, sorgo e cana-de-açúcar (OHNISHI et al.; 1990), para as quais foi demonstrado ser um nutriente benéfico. Além dos efeitos sobre crescimento (melhoria da raiz e biomassa da parte aérea) e produção, estudos iniciais relataram mudanças facilmente visíveis e benéficas, como: melhora na cor (ou seja, mais verdes) e manutenção de folhas em fases de crescimento posteriores e, relacionado a isso, manifestações menos pronunciadas de deficiência de nutrientes (clorose ou necrose), entretanto, isso por si só é insuficiente para generalizar que o Na seja essencial para as plantas superiores (ZHANG; BLUMWALD, 2001).

Conforme demonstrado por Flores; Colmer (2008), o Na possui efeito benéfico, mesmo que em concentrações consideradas altas para íons de nutrientes comuns, como  $\text{NO}_3^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{K}^+$ . Há muito tempo se sabe que o  $\text{Na}^+$  pode ser benéfico para o crescimento de algas e cianobactérias (BROWNELL; NICHOLAS, 1968), mas, com relação às plantas superiores, a reputação do íon como um tóxico é dominante



(MAATHUIS, 2007; MUNNS; TESTER, 2008; KRONZUCKER; BRITTO, 2011; CHEESEMAN, 2013).

Em geral, as plantas cultivadas podem ser classificadas de acordo com a resposta ao Na, conforme sugestão de Richards (1954): i) plantas que não respondem favoravelmente ao Na mesmo sob a deficiência de K: apresentam pouco potencial para a utilização de Na; ii) plantas em que existe um ligeiro potencial (cerca de 10 %) de substituição de K por Na em determinadas funções; e iii) plantas com grande potencial de substituição de K por Na.

Com base nos níveis conhecidos de tolerância ao Na e de sua translocação na parte aérea Subbarao et al. (2003) determinaram a quantidade de K que pode ser substituída por Na, 90, 75, 50, 40 e 25 % para beterraba, aipo, alface, batata e tomate, respectivamente, com apenas efeitos mínimos no crescimento.

As plantas tolerantes à salinidade são designadas como plantas halófitas e podem necessitar cerca de  $15 \text{ g L}^{-1}$  de cloreto de sódio, equivalente à metade da concentração da água do mar, para completar seu ciclo fenológico. Essas plantas absorvem, por exemplo, o NaCl em altas taxas e o acumulam em suas folhas para reduzirem o potencial osmótico interno estabelecendo um equilíbrio osmótico com o baixo potencial da água presente no solo. Este ajuste osmótico se dá com o acúmulo dos íons absorvidos nos vacúolos das células das folhas, mantendo a concentração salina no citoplasma e nas organelas em baixos níveis de modo que não haja interferência com os mecanismos enzimáticos e metabólicos e com a hidratação de proteínas das células. Esta compartimentação do sal é que permite, às plantas halófitas viverem em ambientes salinos, porém as plantas sensíveis à salinidade tendem a excluir os sais na solução do solo, e não são capazes de realizar o ajuste osmótico descrito e sofrem com decréscimo de turgor, levando as plantas ao estresse hídrico, por osmose (LAUCHI; EPSTEIN, 1984).

Nas plantas tolerantes, o Na influencia o crescimento de forma muito significativa, tanto na taxa de crescimento como na eficiência de utilização de outros nutrientes. O papel funcional do Na na nutrição das plantas pode ser grande, multifacetado e de importância fundamental para os bio-sistemas naturais. Este fenômeno de usar Na como um nutriente mineral alternativo em tecidos foliares, pode ter uma aplicação prática para algumas culturas em estufa como alface ou espinafre, onde uma parcela significativa dos fertilizantes potássicos aplicados pode

ser substituída por sais de Na, que são relativamente baratos (SUBBARAO et al., 2003).

O potencial benéfico do Na em culturas importantes como tomate, batata, cenoura, cacau e cereais, tem sido demonstrado através do maior incremento nas taxas de crescimento das plantas (DRAYCOTT; DURRANT, 1976; GALEEV, 1990; TAKAHASHI; MAEJIMA, 1998; GATTWARD et al., 2012).

Marschner (1988) apontou que o cacau é classificado como planta tolerante a alto teor de Na no solo. Gattward et al. (2012) indicou que o K quando substituído parcialmente pelo Na na cultura do cacau, pode melhorar seu desempenho quanto à fotossíntese e eficiência do uso da água, podendo ser considerado como elemento benéfico. No entanto, Tisdale et al. (1990) indicaram que o elevado teor de Na no solo pode arruinar as características físicas dos solos.

O efeito dos sais sobre a estrutura do solo ocorre, basicamente, pela interação eletroquímica existente entre os cátions e a argila. A característica principal deste efeito é o aumento da dupla camada de cátions quando úmida e a contração quando seca, devido ao excesso de sódio trocável. Se houver grande expansão, poderá ocorrer a fragmentação dos agregados, causando a dispersão da argila e modificando a estrutura do solo (LIMA, 1997).

Quanto maior a carga do íon, maior também será a força de atração entre as partículas do solo razão pela qual os cátions bivalentes (como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) são atraídos pela superfície da argila com maior força eletrostática que os monovalentes (como  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ). A força de atração entre as cargas opostas (positiva e negativa) é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas, ou seja, quanto menor o raio iônico hidratado, menor é a espessura da dupla camada, porém a hidratação dos cátions é um fator importante a se considerar quando se refere ao raio iônico (UYEDA, 2009). O K embora possua maior raio iônico do que o  $\text{Na}^+$ , quando hidratado o Na se torna maior cerca de 0,030 nm do que o K, causando maior dispersão das argilas (MARSCHNER, 1997).

No solo, os efeitos negativos da salinização são desestruturação, aumento da densidade do solo, da retenção de água do solo, perda da fertilidade, susceptibilidade à erosão, contaminação de lençol freático, redução da infiltração de água pelo excesso de íons sódicos (RHOADES et al., 2000).

Os efeitos da salinização sobre as plantas podem ser causados pelas dificuldades de absorção de água, toxicidade de íons específicos e pela interferência

dos sais nos processos fisiológicos (efeitos indiretos) reduzindo o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Estes efeitos implicam na perda de produtividade e de qualidade, ou perda total da produção. Os danos causados pelo sal podem reduzir significativamente os rendimentos e sua magnitude depende do tempo, da concentração de íons, da tolerância das plantas e do uso da água pelas culturas.

Os prejuízos causados pela salinidade elevada dos solos têm sido atribuídos aos efeitos tóxicos do Na sobre o metabolismo das plantas. Assim, o excesso de Na no solo causa diminuição nos teores de K no solo e na planta, especialmente nas raízes (ALVES et al., 2008). O Na afeta processos primários como fotossíntese, transpiração, crescimento e produção, muitos deles, se não todos, podem ser considerados como efeitos em vez de causas primárias de toxicidade (BAZIHIZINA et al., 2012; CHEESEMAN, 2013).

Culturas que têm antepassados halófitos ou culturas que evoluíram perto do mar têm tipicamente um elevado potencial de usar Na como uma alternativa para grande parte da sua necessidade de K. A produtividade dos sistemas biológicos naturais e artificiais está cada vez mais sujeita aos riscos de salinização em potencial, e o conhecimento de como o Na interage com as plantas, em ambos os sentidos, benéficos e deletérios, é fundamental para a compreensão e gestão destes sistemas.

#### 2.4. Substituição parcial de K por Na

A possibilidade de substituição total ou parcial do potássio por sódio na fertilização de cacau é de grande interesse para o Brasil, já que pode ocorrer diminuição da dependência do fertilizante, bem como, redução dos custos de produção, uma vez que 90 % dos fertilizantes potássicos utilizados nas lavouras brasileiras são oriundos de importação, sendo, portanto, de elevado custo.

O mecanismo de interação entre Na e K ainda não é totalmente esclarecido, porém as similaridades físico-químicas entre eles são preponderantes para esse processo ocorra (MAATHIUS; AMTMANN, 1999). Os íons K e Na apresentaram forte antagonismo em termos de taxas de transporte em caule, pecíolos e folhas.

Rodrigues et al. (2012) observaram que quando a concentração de K trocável foi ausente, plantas de pinhão-mansão apresentaram elevada taxa de transporte de Na para as folhas, fato que contribuiu para sua acumulação excessiva na parte

aérea, induzindo sintomas visuais de toxidez. Marschner et al. (1981) verificaram que aumento na produção de biomassa seca em cultivares de beterraba com a substituição de até 50 % do teor de K no solo de cultivo, apresentando resultados melhores que no tratamento apenas com adubação potássica.

Avaliando os efeitos da alta concentração de Na no crescimento de arroz em diferentes níveis de suprimento de K, Yoshida; Castaneda (1969) observaram que a aplicação de KCl converteu o hábito das folhas, em plantas deficientes em K, evitando o acamamento. Esse resultado sugere que o Na pode substituir o K no sistema de células vegetais e que é considerado parcialmente responsável pela turgência dos tecidos vegetais.

Essa substituição pode ocorrer, até certo ponto, especialmente em funções osmóticas no vacúolo. Deste modo, sob deficiência de K, a adição de Na ou a sua presença em solução promove efeito positivo para a planta (MASER et al., 2002). Kronzucker et al. (2008) concluíram em experimentos onde K foi limitante que espécies tolerantes à salinidade poderiam substituir parcialmente o K por Na.

Besford (1978), ao avaliar a substituição de K por Na e a redistribuição destes íons em plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*), observou que na solução com alta relação K/Na, a maior parte do Na absorvido foi acumulado nas raízes. Com a progressiva substituição de K por Na, um aumento crescente da proporção total de Na absorvido foi transportado para as folhas.

No tomate, o Na esteve presente em até 2,4 % da biomassa seca, sem que houvesse aparentes sintomas visuais de danos ou a redução da taxa de crescimento nas plantas. A maior parte de Na transportado para as folhas foi excluído do tecido do limbo e acumulado nos pecíolos adjacentes, e a capacidade das raízes e pecíolos de reter grande quantidade de Na dependeu de um fornecimento adequado de K (BESFORD, 1978).

Muitos estudos têm evidenciado o papel do K em atenuar os efeitos causados pelo excesso de Na em plantas. Contudo os mecanismos de interação entre estes dois íons em nível de planta inteira ainda não estão bem compreendidos. No entanto, diferenças nas propriedades caotrópicas e liotrópicas dos dois íons em termos de seus efeitos sobre a água e estrutura molecular são controverso (MANCINELLI et al., 2007; GALAMBA, 2012), assim sendo, a compreensão dos processos e interações existentes entre a disponibilidade potássica e sódica necessitam de estudos mais aprofundados.

Algumas plantas da família Amaranthaceae, subfamília Chenopodiaceae, como a beterraba (*Beta vulgaris* L.), revelaram satisfatoriamente efeitos benéficos do Na, ao contar com níveis adequados de K (CARVALHO, 2008). Contudo, as funções desempenhadas pelo Na nos tecidos vegetais carecem de estudos e não estão bem esclarecidas. Sabe-se para algumas culturas que o Na pode substituir parcialmente o K (GATTWARD et al., 2012). Nessa substituição, possivelmente, cabem as funções osmóticas (MALAVOLTA, 2006). Diversos estudos relatam também a influência do cátion Na na absorção de alguns nutrientes, inclusive o K (CARVALHO, 2008; JESCHKE et al., 1992; KAWASAKI et al., 1983).

Shabala; Mackay (2011) em pesquisa com *Arabidopsis thaliana*, espécie herbácea da mesma família da mostarda, e Gattward et al. (2012) no seu trabalho com *Theobroma cacao* L., concluíram que uma substituição completa ou quase completa de K por Na, na sua função osmótica é possível. Por outro lado, a partir da perspectiva de funções bioquímicas, há ainda necessidade de estudos adicionais (CHEESEMAN, 2013; BRITO; KRONZUCKER, 2008). A interação entre Na e K ocorre no transporte da membrana plasmática, envolvendo transportadores e canais de K (BUSCHMANN et al., 2000; VOIGT et al., 2009). A base molecular e fisiológica das interações K vs. Na sob condições de excesso de NaCl é complexa e ainda pouco compreendida (BUSCHMANN et al., 2000; RUBIO et al., 2003).

## 2.5. Relações hídricas

A água é o líquido mais abundante na Terra, tendo uma função muito importante nas plantas como responsável pela dissolução e transporte de íons e moléculas e influenciando também a estrutura de proteínas, ácidos nucléicos, polissacarídeos e outros constituintes da membrana celular. Ela é responsável por formar o ambiente no qual ocorre a maioria das reações celulares e participa diretamente em muitas reações bioquímicas. Dentre os diversos fatores abióticos limitantes ao desenvolvimento das culturas, a água é considerada como o fator mais restritivo (TAIZ; ZEIGER, 2013).

As plantas retiram a água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças com que a água é retida no solo. A presença de sais na solução do solo faz com que aumentem as forças de retenção por seu efeito osmótico e, portanto, a magnitude do problema de escassez de água na planta. O

aumento da pressão osmótica (PO) causado pelo excesso de sais solúveis pode atingir um nível em que as plantas não tem forças de sucção suficiente para superar esse PO, em consequência, a planta não absorve água, mesmo de um solo aparentemente úmido (seca fisiológica). Dependendo do grau de salinidade, a planta, em vez de absorver, poderá até perder a água que se encontra no seu interior (DIAS; BLANCO, 2010).

A água, além de ser necessária ao crescimento das células, é um elemento essencial para a manutenção da turgescência das mesmas (SANTOS; CARLESSO, 1998). À medida que o potencial da água na planta diminui, a divisão celular e a atividade enzimática diminuem. Após este desencadeamento do déficit hídrico na planta, a transpiração começa a reduzir devido ao fechamento dos estômatos (GOMES; PRADO, 2007). O déficit hídrico e salinidade são questões globais que afetam a sobrevivência das culturas agrícolas e a produção sustentável de alimentos (JALEEL et al., 2007).

Estima-se que, grande parte da água consumida pelas culturas, cerca de 78 %, vem diretamente de chuva que se infiltra no solo para gerar sua umidade. Os outros 22 % (1570 km<sup>3</sup>) é de águas da superfície e de fontes subterrâneas (DE FRAITURE et al., 2008).

A chuva incidente é uma fonte adicional de K. Além disso, ela remove uma quantidade expressiva do nutriente nos diversos compartimentos vegetais que compõem uma plantação de cacau. A presença do K, portanto, na água escorrida superficialmente do dossel, do tronco e através do folheto aumentaria substancialmente a disponibilidade do elemento no solo e poderia, então, ser reabsorvido pelas raízes do cacaueiro desde que não haja perdas consideráveis por lixiviação decorrente de um manejo inadequado, que venha a impossibilitar o desenvolvimento dos mecanismos de conservação de nutrientes, tais como o sistema radicular e a produção de folheto (RODRIGUES; MIRANDA, 1991).

O cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) é uma planta típica de clima tropical e subtropical onde o consumo de água geralmente é muito elevado. Poucas plantas cultivadas são tão sensíveis quanto o cacaueiro com relação à deficiência hídrica e, praticamente, todos os seus processos fisiológicos são afetados pela falta de umidade no solo (AMORIM; VALLE, 1992).

Na medida em que o solo seca, torna-se mais difícil às plantas absorver água, porque aumenta a força de retenção e diminui a disponibilidade de água no solo às

plantas. Entretanto, quanto maior for a demanda evaporativa da atmosfera mais elevada será a necessidade de fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera (SANTOS; CARLESSO, 1998).

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIBUS 2013: Anuário estatístico da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2013.

ALI, L.; RAHMATULLAH, M. A.; KANWAL, S.; ASHRAF, M. e HANNAN, A. Potassium substitution by sodium in root medium influencing growth behavior and potassium efficiency in cotton genotypes. **J. Plant Nutr.** 32: 1657–1673. 2008.

AMORIM, S. M. C.; VALLE, R. R. Efeito da temperatura radicular na resistência ao movimento de água no cacauzeiro (*Theobroma cacao* L.). **Acta Botânica Brasílica** – Vol. 6. nº 1 (1992) – Rio de Janeiro: Expressão e Cultura, pp 55-64. 1992.

ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology** v. 14, p. 371–375, 1939.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 59, n.2, p. 206-216, 2007.

BAJJI, M.; KINET, J-M.; LUTTS, S. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. **Plant Growth Regulation**. p. 1-10, 2001.

BAON, J.B.; S. ABDOELLAH; NURKHOLIS; SUGIYONO; SRI WINARSIH. Produksi tanaman kakao dan status hara tanaman maupun tanah akibat penggantian sebagai pupuk kalium klorida. **Pelita Perkebunan** 19, 67–77. 2003

BAON, J. B. Use of Plant Derived Ash as Potassium Fertilizer and Its Effects on Soil Nutrient Status and Cocoa Growth. **Jurnal Tanah Tropika**, Bandar Lampung, v. 14, n. 3, p. 185-193, 2009.

BASTOS, E. Cacau, a riqueza agrícola da América . São Paulo: **Ícone**, 103p. 1987.

BAZHIZINA, N.; BARRETT, E. G.; COLMER, T. D. Plant growth and physiology under heterogeneous salinity. **Plant Soil**. 354, 1-19. 2012.

BESFORD, R.T. Effect of replacing nutrient potassium by sodium on uptake and distribution of sodium in tomato plants. **Plant Soil** 50:399–409. 1978.

BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, v. 112, p. 119-123, 2009.

BROWNELL, P. F.; NICHOLAS, J. G. Sodium as an essential micronutrient element for *Atriplex vesicaria* Heward. **Nature** 179:365–366. 1966.

BUSCHMANN, P. H.; RAMA V.G.; SCHROEDER, J. I. Enhancement of Na<sup>+</sup> uptake currents, time-dependent inward-rectifying K<sup>+</sup> channel currents, and K<sup>+</sup> channel transcripts by K<sup>+</sup> starvation in wheat root cells. **Plant Physiol**. 122:1387–1397.2000.



- CABALA ROSAND, P.; SANTANA, C.J.L.; MIRANDA, E.R.; Repostas de cacauero "catongo" a doses de fertilizante no sul da Bahia, Brasil. **Revista Theobroma**, v.12, n.4, p.203-216. 1982.
- CARR, M. K. V.; LOCKWOOD, G. The water relations and irrigation requirements of cacao (*Theobroma cacao* L.): a review. **Experimental Agriculture** 47:653–676. 2011.
- CARVALHO, K. F. Produção e composição mineral da beterraba sob doses de sódio e potássio, em solução nutritiva. 2008. 52 p. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- CHEESMAN, E. E. Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cacao populations. **Tropical Agriculture** , n.21, p.144-159. 1944.
- CHEESEMAN, J.M. Mechanisms of salinity tolerance in plants. **Plant Physiol.** 87:547–550. 2013.
- CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. L.; VALLE, R. R. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauero no Sul da Bahia – Boletim nº 203. 44p. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2013.
- CICHOTA, R.; JONG van LIER, Q. Análise da variabilidade espacial de pontos amostrais da curva de retenção de água no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:585-596, 2004.
- CHIMENTI, C.A.; MARCANTONIO, M.; HALL, A.J. Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. **Field Crop Research.** 95, 305-315, 2006.
- CRONQUIST, A.. An integrated system of classification of flowering plants . N. York, Columbia Univ. **Press.** 1262 p, 1981.
- DE FRAITURE, C.; GIORDANO, M.; LIAO, Y. Biofuels and implications for agricultural water uses: blue impacts of green energy. **Water Policy** 10 (S1), 67–81, 2008.
- DRAYCOTT, A. P.; DURRANT, M. J. Response by sugar beet to potassium and sodium fertilizers, particularly in relation to soils containing little exchangeable potassium. **J. Agric. Sci. (Camb)** 87:105–112.1976.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas.** Londrina: Editora Planta, 2006.
- FLOWERS, T. J.; COLMER, T. D. Salinity tolerance in halophytes. **New Phytol.** 2008.
- GALAMBA, N. Mapping structural perturbations of water in ionic solutions. **J. Phys. B.** 2012.
- GALEEV, R.R. Application of sodium humate to potatoes. **Kartofel' i Ovoshchi** No. 2:12–13.1990.
- GATTWARD, J. N. Trocas gasosas e composição mineral em folhas de mudas clonais de *Theobroma cacao* L. submetidas à substituição parcial de potássio por sódio no solo. **Dissertação** mestrado. UESC/ Ilhéus-BA. 2010.

- GATTWARD, J. N.; ALMEIDA, A. A. F.; SOUZA JÚNIOR, J. O.; GOMES, F. P.; KRONZUCKER, H. Sodium–potassium synergism in *Theobroma cacao*: stimulation of photosynthesis, water-use efficiency and mineral nutrition. **Physiologia Plantarum**, 2012.
- GIANNAKOULA, A. et al. Aluminum tolerance in maize is correlated with increased levels of mineral nutrients, carbohydrates and proline, and decreased levels of lipid peroxidation and Al accumulation. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, p. 385-396, 2008.
- GIERTH, M.; MASER, P. Plant Potassium transporters – Involvement in K<sup>+</sup> acquisition redistribution and homeostasis. **FEBS Letters**, v. 581, p. 2348-2356, 2007.
- GOMES, F.P.; PRADO, C.H.B.A. Ecophysiology of coconut palm under water stress. Brazilian. **Journal of Plant Physiology** v. 19, p. 377-391, 2007.
- GRAMACHO, I.C.P.; MAGNO, A.E.S.; MANDARINO, E.P.; MATOS, A. Cultivo e beneficiamento do cacau na Bahia . **Revista Theobroma**. Ilhéus, CEPLAC, 1992.
- HOEKSTRA, F.A; GOLOVINA, E.A.; BUITNIK, J. Mechanisms of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, n. 9, p. 431-438. 2001.
- ICCO - International Cocoa Organization. **Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics**, Vol. XXXV - No. 3 - Cocoa year 2008/09; 43, 2013.
- JESCHKE, W. D.; WOLF, W.; HARTUNG, W. Effect of NaCl salinity on flows and partitioning of C, N, and mineral ions in whole plants of white lupin, *Lupinus albus*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 43, n. 6, p. 777-788, 1992.
- JOHNSTON, M.; GROF, C. P. L.; BROWNELL, P. F. Effect of sodium nutrition on chlorophyll a/b ratios in C4 plants. Aust. **J. Plant Physiol.** 11: 325–332. 1984.
- KAWASAKI, T.; AKIBA, T.; MORITSUGU, M. Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants: I., water culture experiments in a greenhouse. **Plant and Soil**. Netherlands, v. 75, n. 1, p. 75-85, 1983.
- KOZLOWSKI, T.T.; KRAMER, P.L.; PALLARDY, S.G. The physiological ecology of wood plants. **Academic Press**, San Diego, p. 656, 1991.
- KRONZUCKER, J.H.; SZCZERBA, M.W.; SCHULZE, L.M.; BRITTO, D.T.; Non- reciprocal interactions between K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> ions in barley (*Hordeum vulgare* L.) Herbert. **Journal of Experimental Botany**. v. 59, p. 2973–2981, 2008.
- LAUCHI, A.; EPSTEIN, E. Mechanisms of salt tolerance in plants. **California Agriculture**, v. 38, n.10,p.18-21. 1984.
- LEBAUDY, A.; VÉRY, A-A.; SENTENAC, H. K<sup>+</sup> channel activity in plants: Genes, regulations and functions. **FEBS Letters** 581, 2357 – 2366. 2007.
- LEITE, J. B. V.; SODRÉ, G. A. Cultivo Intensivo do Cacaueiro no Brasil. In: CD-ROM III Congresso Brasileiro do Cacau (Palestra). Ilhéus, Bahia, Brasil. CEPLAC, 2012.
- LIMA, L. A. Efeitos de sais no solo e na planta. In: Simp.sio “Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada”. XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Campina Grande - PB. pp.113-136. 1997

LORENZI, H. Árvores Brasileiras - Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. **Ed. Plantarum LTDA**, Nova Odessa, 1992.

LORENZI, H., MATOS, F.J.A. Plantas Medicinais no Brasil - Nativas e Exóticas. Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, p. 528, 2002.

LOBÃO, D.; SETENTA, W. C.; VALLE, R. R. Ecosistemas e Agroecossistemas do Sudeste da Bahia - Bioma Mata Atlântica. Revista dos Mestrados em Direito Econômico da UFBA, Especial nº 5 - Direito Ambiental, 55-84. 1997.

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.

LUCAS, J. F. R.; TAVARES, M. H. F.; CARDOSO, D. L.; CÁSSARO, F. A. M. Curva de retenção de água no solo pelo método do papel-filtro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 35, nº 6. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 2011.

LUDLOW, M. M.; MUCHOW, R. C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. **Advances in Agronomy**, v. 43, p. 107-153, 1990.

LUTGENS, F. K.; TARBUCK, E. J. Foundations of Earth Science. Pearson, New Jersey. 2003.

MAATHUIS, F. J. M. Mechanisms of potassium absorption by higher plant roots. **Physiol. Plant**. 96:158–168. 2007.

MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. Current Opinion in Plant Biology, **Elsevier**, v.12, p. 250-258, 2009.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 2006. 631 p.

MANCINELLI, R.; BOTTI, A.; BRUNI, F.; RICCI, M. A.; SOPER, A. K. Hydration of sodium, potassium, and chloride ions in solution and the concept of structure maker/breaker. **J Phys Chem B** 111:13570–13577. 2007.

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.

MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2ed, **Academic Press**, London. 1995.

MARSCHNER, H., KYLIN, A.; KUIPER, P. J. C. Differences in salt tolerance of three sugar beet genotypes. **Physiol. Plant**. 51:234–238. 1981.

MÄSER, P.; GIERTH, M.; SCHROEDER, J. I. Molecular mechanisms of potassium and sodium uptake in plants. **Plant and Soil**, v.247, p.43–54, 2002.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI. Eficiência do uso da água do feijoeiro irrigado: influência da densidade de plantio. **Revista Ecosistema**, v. 28, n. 1,2, p. 83-90, 2003.

- METCALFE, C.R.; CHALK, L. Anatomy of the Dicotyledons . **Clarendon Press**, Oxford, 2ª edição, v. 1, p. 724, 1979.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annu Rev Plant Biol** 59: 651–681. 2008.
- NAKAYAMA, L. H. I.; SOARES, M. K. M.; APPEZZATO-DA- GLÓRIA, B.. 1996. Contribuição ao estudo anatômico da folha e do caule do cacauieiro (*Theobroma cacao* L.). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 1, jan/abr.1996.
- N'GORAN, J.A.K.; LAURENT, V.; RISTERUCCI, A.M.; LANAUD, C. Comparative genetic diversity studies of *Theobroma cacao* L. using RFLP and RAPD markers. **Heredity**. V. 73, p. 589-597, 1994.
- OHNISHI, J.; FLUGGE, U. I.; HELDT, H. W.; KANAI, R. Involvement of Na<sup>+</sup> in active uptake of pyruvate in mesophyll chloroplasts of some C4 plants. **Plant Physiology**. v.94, p.950-959, 1990.
- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, D.C.: **United States Salinity Laboratory**, 1954. 160p. (United States Department of Agriculture - Handbook, 60).
- RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB, 117 p. Estudos FAO Irrigação e Drenagem. 2000.
- RUBIO, F., GASSMANN, W.; SCHROEDER, J. I. Sodium-driven potassium uptake by the plant potassium transporter HKT1 and mutations conferring salt tolerance. **Science** 270: 1660–1663. 2003.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** , 2, n.3, p. 287-294. 1998.
- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants. **Science**. v. 148, p. 339–46, 1965.
- SHABALA, S.; CUIN, T.A. Potassium transport and plant salt tolerance. **Physiol. Plant**. 133, 651–669, 2007.
- SHABALA, S.; MACKAY, A. S. Ion transport in halophytes, **Adv. Bot. Res.** 57: 151-199. 2011.
- SHARMA, S.S.; DIETZ, K.J. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 57, n.4, p. 711-726, 2006.
- SHARMA, P.; DUBEY, R.S. Modulation of nitrate reductase activity in rice seedlings under aluminium toxicity and water stress: role of osmolytes as enzyme protectant. **Journal of Plant Physiology**. Stuttgart, v. 162, n. 8, p. 854-862, 2005.
- SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; SANTOS, V. F. Comportamento estomático e potencial da água na folha em três espécies lenhosas

cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botânica Brasilica**. São Paulo, v.17, p. 231-246, 2003.

SILVEIRA, J. A. G.; ROCHA, I. M. A.; VIÉGAS, R. A. Metabolic responses of cowpea and cashew plants exposed to salt and water stress: new aspects on proline accumulation. Disponível em: [bbq.iq.usp.br/arquivos/regional/2002/cdresumo/Palestras/016.pdf](http://bbq.iq.usp.br/arquivos/regional/2002/cdresumo/Palestras/016.pdf). 2002.

SODRÉ G. A. A espécie *Theobroma cacao*: novas perspectivas para multiplicação de cacaueteiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 2, 2007.

SOUNIGO, O.; LACHENAUD, P.; BASTIDE, P.; CILAS, C.; N'GORAN, J.; LANAUD, C. Assessment of the value doubled haploids as progenitors in cocoa *Theobroma cacao* L.) breeding. **J.I Appl. Gen.**v. 44, n. 3, 2003.

SOUZA JÚNIOR, J.O. Fatores edafoclimáticos que influenciam a produtividade do cacaueteiro cultivado no sul da Bahia, Brasil. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

SRINIVAS, V.; BALASUBRAMANIAN, D. Proline is a protein-compatible hydrotrope. **Langmuir**, Washington, v. 11, n. 7, p. 2830-2833. 1995.

SUBBARAO, G. V.; ITO, O.; BERRY, W. L.; WHEELER, R. M. Sodium-a functional plant nutrient. **Crit. Rev. Plant Sci.** 22: 391–416.2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 719p. 2013.

TAKAHASHI, E.; MAEJIMA, K. Comparative research on sodium as a beneficial element for crop plants. **Mem Fac Agr Kinki Univ** 31:57–72. 1998.

THONG, K. C.; NG, W. L. Growth and nutrients composition of monocrop cocoa plants on Island Malaysian soils. **Proc. Conf. Cocoa Cocanuts**, Kuala Lumpur, p.262-286, 1980.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**, 3.ed. New York, Macmillan, 694p. 1975.

VIDAL J.; PEREZ- SIRVENT C.; MARTINEZ-SANCHEZ M.J; NAVARRO M.C. Origin and behavior of heavy metals in agricultural calcareous fluvisols in semi arid conditions. **Geoderma**. 121, 257–270. 2004.

YOSHIDA, S., CASTANEDA, L. Partial replacement of potassium by sodium in the rice plant under weakly saline conditions. **Soil Science and Plant Nutrition**. v.15, n.4, p.183-186, 1969.

ZHANG, X. et al. Hydrogen peroxide is involved in abscisic acid-induced stomatal closure in *Vicia faba*. **Plant Physiology**. Vol. 126, pp. 1438–1448. 2001.

## CAPÍTULO 1 – ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM SUBSTRATO SUBMETIDO À SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE POTÁSSIO POR SÓDIO E A DISPONIBILIDADE HÍDRICA

### RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar os atributos físicos e químicos de um substrato composto de Argissolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico, submetido à substituição parcial de K por Na, sob diferentes teores de água no substrato e doses de adubação potássica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no *Campus* da Universidade Estadual de Santa Cruz, em delineamento em blocos casualizados, em fatorial 3x2x2 onde se utilizou três níveis de substituição de K por Na (0 % - controle, 20 e 40 %); dois teores de água do substrato (75 e 90 % da capacidade de campo) e duas doses de adubação potássica (2,5 e 4,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), em quatro blocos. A unidade experimental foi composta de duas mudas do clone PH16 de *Theobroma cacao* L., plantadas em vasos de 45 dm<sup>3</sup> com substrato feito da mistura de sete partes de Argissolo Vermelho-Amarelo e três partes de Neossolo Quartzarênico. Os dados obtidos no estudo foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e adotou-se a probabilidade de erro (p<0,05) com teste de Tukey. Para cada tratamento avaliaram-se: atributos físicos do substrato (classes de agregados, diâmetro médio ponderado e índice de estabilidade de agregados, textura, argila dispersa em água e grau de flocculação), bem como seu estado nutricional (macro e micronutrientes). Os resultados indicam que a substituição do potássio pelo sódio até o nível de 40 % não provocou alteração nos agregados nem na flocculação das argilas do substrato; os teores de sódio no substrato aumentaram e os de potássio diminuíram com o incremento da substituição de K por Na; os demais nutrientes não apresentaram resultados significativos; a condutividade elétrica na pasta de saturação do substrato e o índice de saturação por sódio aumentaram com a elevação da substituição de K por Na, em ambos os teores de água do substrato, os valores encontrados ainda estão dentro da normalidade.

**Palavras-chave:** estabilidade de agregados, grau de flocculação, macronutrientes.

## CHAPTER 1 - ATTRIBUTES OF A PHYSICAL AND CHEMICAL SUBSTRATE SUBMITTED TO PARTIAL REPLACEMENT OF SODIUM AND POTASSIUM IN A WATER AVAILABILITY

### ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the physical and chemical properties of a substrate composed of Red-Yellow Podzolic and Quartzipsament undergone partial replacement of K by Na under different levels of soil moisture and potassium fertilizer levels. The experiment was conducted in a greenhouse on the campus of the Universidade Estadual de Santa Cruz, in a randomized complete block design in a factorial 3x2x2 where we used three levels of substitution of K by Na (0 % - control, 20 and 40 %); Two levels of soil moisture (75 and 90 % of field capacity) and two doses of potassium fertilization (2.5 and 4.0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) in four blocks. The experimental unit consisted of two plants of clone PH16 *Theobroma cacao* L., planted in pots of 45 dm<sup>3</sup> with substrate made of blend of seven pieces of red-yellow Podzolic and three parts PSAMENT. The data obtained in the study were subjected to analysis of variance (ANOVA) and adopted the probability of error ( $p < 0.05$ ) with Tukey's test. For each treatment were evaluated: soil physical properties (aggregate classes, mean weight diameter and index of aggregate stability, texture, and water dispersible clay flocculation) and nutritional status (macro and micronutrients). The results indicate that replacement of sodium by potassium to the level of 40 % resulted in no change in the aggregate or flocculation of clay soil ; the sodium concentration in the soil increased and decreased with increasing potassium substituting K for Na; other nutrients were not significant; the electrical conductivity of the saturated soil paste and sodium saturation index increased with increasing substitution of K by Na in both levels of soil moisture, the values found are still within the normal range .

**Keywords:** aggregate stability, flocculation, macronutrients.

## 1. INTRODUÇÃO

Da área total de 91.819,60 km<sup>2</sup> da região sudeste da Bahia, a faixa de solos com poucas restrições morfológicas, físico-químicas e mineralógicas para o cultivo do cacau é de 7.447,10 km<sup>2</sup>, o que representa 8,11 % da região (SANTANA et al., 2002). Segundo Chepote et al. (2007), a região sul da Bahia possui cerca de 92 % dos seus solos cultivados com cacau, tendo como principal desafio adotar efetivamente o uso de técnicas para a correção nutricional da grande maioria deles.

A adubação inadequada ou sua ausência têm sido uma das principais causas da baixa produtividade dos cacauais brasileiros. Não só há falta de adubação, como também adubações desequilibradas, com negligência no uso de calcário, cálcio, magnésio e enxofre e omissão ou mal uso de micronutrientes (SOUZA et al., 2006). A disponibilidade de nutrientes às plantas é fator primordial e o meio mais rápido de se elevar a produtividade dos cacauzeiros (ALMEIDA et al., 2003).

Diante da importância do uso de corretivos e de fertilizantes, para sua adequada recomendação faz-se necessário conhecer o nível de fertilidade do solo por meio da análise química. Porém, para que a interpretação e a 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; GIANELLO, 2008).

As recomendações de adubação praticadas no Brasil baseiam-se, essencialmente, em curvas de resposta, em que nutrientes são aplicados em doses crescentes e seus efeitos observados no incremento da produção, sendo tais calibrações regionalizadas e para determinados tipos de solo. Tais métodos de pesquisa geraram tabelas de recomendação que, possuem indicações corretas, porém apresentam algum empirismo ou subjetivismo em sua constituição. Assim, uma simples comparação entre tabelas de diferentes estados brasileiros mostram diferentes recomendações para condições semelhantes de solo e de cultivo, e a mesma recomendação para diferentes solos (NOVAIS; SMYTH, 1999; FREIRE, 2001).

Para a cultura do cacauzeiro as recomendações de adubação são baseadas em tabelas, que constam do Boletim de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes



para a Cultura do Cacaueiro no Sul da Bahia (BRCFSB), referendado pelo Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC) (CHEPOTE et al., 2013).

A preocupação com a fertilização dos cacaueiros deve-se ao fato de o cultivo do cacau ser recomendado para áreas que apresentam elevada profundidade efetiva, boa drenagem e alta capacidade de retenção de umidade (AHENKORAH, 1981; GARCIA et al., 1985), características essas muitas vezes antagônicas às características químicas relacionadas à fertilidade natural dos solos (RESENDE et al., 1988).

Dentre os fatores que afetam a produção, a fertilidade do solo é aquele mais facilmente manipulável pela ação humana. O conhecimento do efeito de práticas como a correção da acidez do solo, o aporte de nutrientes, principalmente aqueles que apresentam maior frequência de casos de deficiência, e as interações entre esses fatores são fundamentais para o desenvolvimento de técnicas que incrementem a produtividade em campo (CRUZ NETO, 2012).

A região cacaueira da Bahia apresenta uma produtividade média regional da cultura de 244 kg ha<sup>-1</sup>, com uma rentabilidade desfavorável à atividade (C&P, 2008). Para tornar viável a manutenção da cultura do cacau no estado da Bahia, é necessário o investimento em novas tecnologias, melhoramento genético com a finalidade de geração de clones mais produtivos e mais resistentes a doenças e pesquisas com novos fertilizantes.

Em estudos de ciclagem de nutrientes com cacaueiro, foi demonstrado que o K é o nutriente de maior mobilidade no perfil, constituindo-se no principal fator limitante para o cultivo da cultura (FASSBENDER et al., 1985). No entanto, o Na pode substituir algumas funções do K e os fertilizantes de Na são muito mais baratos do que os fertilizantes potássicos. Além disso, uma menor quantidade é requerida, uma vez que o Na não é fixado pelos minerais de argila, o que reduz os custos de produção.

Marschner (1988) apontou que o cacau é classificado como planta tolerante ao alto teor de Na no solo. Em contrapartida, há uma grande preocupação com a utilização de Na em solos, uma vez que ele é dispersante de argilas (DIAS; BLANCO, 2010). Tisdale et al. (1990) indicaram que o elevado teor de Na pode arruinar as características físicas dos solos.

Diante do exposto, o objetivo desse estudo foi avaliar alguns atributos físicos e químicos de um substrato composto da mistura de Argissolo Vermelho-Amarelo e

Neossolo Quartzarênico, submetido à substituição parcial de K por Na, sob diferentes teores de água do substrato e doses de adubação potássica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização do Experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no *Campus* da Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, localizada no município de Ilhéus, BA com coordenadas geográficas de referência 14°47' 47" S e 39° 10' 23" O. O clima local é do tipo Af, segundo a classificação de Köppen-Geiger, com precipitação média anual em torno de 1.800 mm e distribuição irregular, temperaturas médias anuais variam entre 22,1 °C (mínima) a 26 °C (máxima), sendo maiores e com menor amplitude térmica na faixa costeira (DODSON; MARKS, 1997).

### 2.2. Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições (blocos), em arranjo fatorial 3x2x2 sendo três percentuais de substituição de K por Na (0, 20 e 40 %), duas doses de adubação potássica (2,5 e 4,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e dois teores de água do substrato (75 e 90 % da capacidade de campo - CC). A unidade experimental foi formada por duas mudas de *Theobroma cacao* L. do clone PH16, transplantadas para vaso, contendo 45 dm<sup>3</sup> de substrato. As mudas foram oriundas de enraizamento de estacas, produzidas no Instituto Biofábrica de Cacau e tinham aproximadamente 90 dias. O agrupamento para a composição dos blocos foi realizado observando-se a uniformidade das mudas quanto ao diâmetro do caule, altura e ausência de lançamentos foliares.

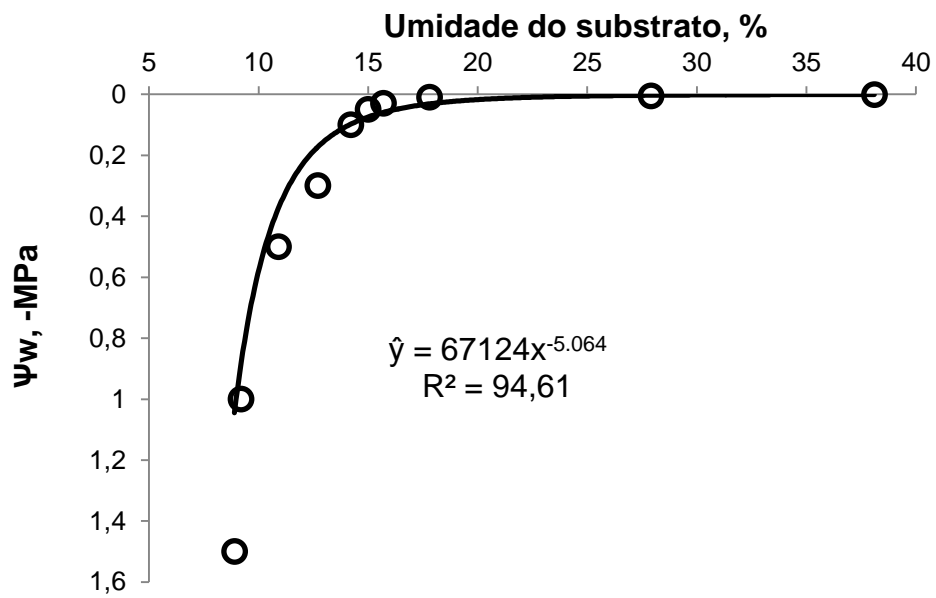
### 2.3. Substrato

Foram utilizados vasos plásticos não perfurados, com capacidade para 50 dm<sup>3</sup> preenchidos com 45 dm<sup>3</sup> de substrato, composto da mistura de sete partes do horizonte B de um Argissolo Vermelho-Amarelo e de três partes do horizonte B de um Neossolo Quartzarênico.

Amostras do substrato foram utilizadas para determinar a granulometria (Tabela 1), curva característica de água no substrato (Figura 1) e a composição química (Tabela 2).

**Tabela 1** – Análise granulométrica do substrato utilizado no experimento

AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA
----- g kg <sup>-1</sup> -----			
252	335	273	140

**Figura 1**- Curva de retenção do substrato utilizado no experimento

**Tabela 2** – Análise química do substrato utilizado no experimento

pH (H <sub>2</sub> O)		5,32
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,31
Mg		2,27
Na		71,9
P		0,30
K		11,0
S		14,6
B	mg dm <sup>-3</sup>	0,17
Cu		1,21
Fe		254,80
Mn		9,00
Zn		3,53
Al <sup>+3</sup>		4,20
H + Al		7,40
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,92
t		7,12
T		10,32
V		28,30
m	%	59,00
ISNa		4,39
MO	dag kg <sup>-1</sup>	0,52
P-rem	mg L <sup>-1</sup>	10,40

Valores de pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5; P - Na - K - Fe - Zn -Mn - Cu – Extrator Mehlich 1; Ca -Mg -Al - Extrator: KCl - 1mol L<sup>-1</sup>; H + Al – Extrator acetato de cálcio 0,5mol L<sup>-1</sup> - pH 7,0; B - Extrator água quente; S - Extrator - fosfato monocálcico em ácido acético; Matéria orgânica (MO) = Carbono orgânico x 1,724 -Walkley-Black; ISNa - Índice de saturação de sódio; SB = Soma de bases trocáveis; t - Capacidade de troca catiônica efetiva; T - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V= Saturação por bases; m= Saturação por alumínio; e P-rem= Fósforo remanescente.

#### 2.4. Condução do experimento

A partir dos resultados da análise química foi realizada a calagem, com finalidade de elevar a saturação por bases a 80 %, pela adição de 84,11 g de calcário dolomítico em cada vaso. Foi realizada uma adubação no plantio com P, B, Cu, Zn e Mo em solução (Tabela 3) e adubação potássica-sódica com cloreto de

potássio e cloreto de sódio, respectivamente, nas proporções de substituição dos teores de K+Na (Tabela 4).

**Tabela 3** – Recomendação de adubação para plantio de mudas do clone PH16 de *Theobroma cacao* L. no sul da Bahia

Nutriente	Dose (mg dm <sup>-3</sup> )	Fonte
P	400	Superfosfato Triplo
B	0,4	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (PA)
Cu	1,0	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O (PA)
Zn	3,0	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O (PA)
Mo	0,15	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O

**Tabela 4** – Recomendação de adubação para mudas de *Theobroma cacao* L. submetidas à substituição parcial de potássio por sódio no sul da Bahia

Nutriente	K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Substituição (%)	KCl (g vaso <sup>-1</sup> )	NaCl (g vaso <sup>-1</sup> )
K+Na	2,5	0	8,387	0
	2,5	20	6,710	1,315
	2,5	40	5,032	2,630
	4,0	0	13,419	0
	4,0	20	10,735	2,104
	4,0	40	8,051	4,208

A adubação de cobertura (Tabela 5) foi iniciada aos 30 dias após o transplante (DAT), sendo realizadas apenas com N, tendo como fonte o nitrato de amônio comercial (33 % de N), em dose inicial de 10 mg dm<sup>-3</sup> e repetidas a cada 15 dias. Após 60 dias aumentou-se a dose para 20 mg dm<sup>-3</sup> e manteve-se esta dosagem em intervalos regulares a cada 15 dias até os 255 DAT.

**Tabela 5** - Recomendação de adubação para cobertura de mudas do clone PH16 de *Theobroma cacao* L. no sul da Bahia

Nutriente	Dose (mg dm <sup>-3</sup> )	Fonte	Quantidade/vaso
N	10	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1.285,7
N	20	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	2.571,4

A irrigação foi feita com água de chuva (contendo teores médios de K e Na de 0,239614 e 0,035942 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente) e a reposição da água transpirada pelas plantas foi calculada de acordo com a curva característica de água no substrato (Figura 1), conforme técnica descrita por Richards (1949). Para isso, foram utilizadas amostras deformadas do substrato, saturadas lentamente por um período de 24 horas, as quais foram submetidas às potenciais de -6, -10, -33, -100, -300 e -1.500 kPa, com três repetições, de modo a manter os tratamentos definidos (75 e 90 % da CC). O controle da umidade foi feito utilizando o potencial -30 kPa em cada tratamento foi definido com base em dois métodos: avaliação da umidade gravimétrica, onde retiraram-se amostras semanais para a determinação da umidade, e da utilização de sonda para umidade do solo de rápido desempenho da Soil Moisture Equipment Corp. modelo 2900FI.

Quando necessário, o controle de pragas foi feito através da aplicação do inseticida sistêmico Tamaron (1 mL L<sup>-1</sup>) com o princípio ativo Metamidofós e o inseticida Agritoato (0,8 mL L<sup>-1</sup>) com o princípio ativo Dimethoate. Duas aplicações mensais foram executadas, sempre quando houve ocorrência de danos às folhas.

O experimento teve duração de 270 DAT e, após este período, foram feitas as coletas de amostras de substrato e material vegetal (raízes, caules e folhas) para as análises.

## 2.5. Análises físicas do substrato

As amostras de substrato coletadas ao final do experimento foram analisadas para determinação da granulometria, argila dispersa em água, distribuição de classes de agregados por via seca, segundo método preconizado por Embrapa (2011).

A análise granulométrica foi realizada com três repetições, pelo método do hidrômetro de Bouyoucos, utilizando-se 50 g de TFSA e 25 ml de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> para a dispersão química, com agitação em coqueteleira durante 15 minutos, a 12.000 rpm.

Para a argila dispersa em água foram utilizadas 50 g de TFSA e 125 ml de água, empregando-se o hidrômetro de Bouyoucos, com três repetições.

O índice de dispersão de argila (GD) foi calculado pela seguinte fórmula:

$$GD (\%) = 100 \times (\text{argila dispersa em água} / \text{argila total}).$$

Para a análise de agregados, as amostras de substrato foram coletadas de forma a evitar o destorroamento, sendo posteriormente colocadas para secar ao ar e destorroados cuidadosamente com as mãos para quebrar os agregados maiores. As análises foram feitas em amostras que foram passadas em peneira com abertura de malha de 4,76 mm e ficaram retidas em 2 mm, com três repetições.

Na distribuição de classes de agregados (DCA) foi utilizada a agitação em água da amostra de material dos substratos em um conjunto de peneiras que permitiu separar as frações de 4,76 a 2,00 mm; 2,00 a 1,00 mm; 1,00 a 0,50 mm; 0,50 a 0,25 mm e menor que 0,25 mm. O cálculo foi efetuado pela seguinte fórmula:

$$DCA (\%) = 100 \times \frac{\text{peso da classe de agregados seco a } 105^{\circ}\text{C}}{\text{peso da amostra total seca a } 105^{\circ}\text{C}}$$

$$DCA < 0,25 \text{ mm } (\%) = 100 - \text{soma das classes de agregados (4,76 a 0,25mm)}.$$

O índice de estabilidade de agregados em água (IEA) foi calculado pela seguinte fórmula:

$$IEA (\%) = 100 \times \frac{\% \text{ total de agregados } > 0,5 \text{ mm} - \% \text{ total de areia } > 0,5 \text{ mm}}{\% \text{ total de agregados } > 0,5 \text{ mm}}.$$



Conceitualmente, os agregados foram distribuídos em agregados grandes (4,76 mm a 1,00 mm), agregados médios (1,00 mm a 0,50 mm) e agregados pequenos (< 0,50 mm).

O diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) foi calculado pela seguinte fórmula (YOUKER; MCGUINNESS, 1957):

$$DMP = \sum (C \times P),$$

sendo:

C = centro das classes de agregados (mm);

P = proporção do peso de cada fração de agregados em relação ao total da amostra.

A condutividade elétrica de amostras de substrato foi determinada pelo procedimento da pasta saturada de substrato, de acordo com Richards (1954) e as leituras feitas com auxílio de um condutivímetro digital.

## 2.6. Análises químicas do substrato

Após a coleta das raízes das plantas, o substrato de cada vaso foi homogeneizado e retiraram-se amostras dos mesmos.

As análises químicas do substrato foram realizadas em amostras de TFSA, para a determinação de: pH em água na proporção substrato:água de 1:2,5; carbono orgânico (CO) pelo método Walkley-Black;  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Al^{3+}$  extraídos com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>;  $K^+$ ,  $Na^+$ , P e os micronutrientes catiônicos (Cu, Fe, Zn e Mn) extraídos pelo Mehlich-1; H+Al extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7, sendo os elementos assim dosados:  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e os micronutrientes por espectrofotometria de absorção atômica,  $K^+$  e  $Na^+$  por fotometria de chama, P por espectrofotometria de absorção molecular;  $Al^{3+}$  e H+Al por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup> e CO por titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,05 mol L<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 2011).

## 2.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de média de Tukey ( $p < 0,05$ ).

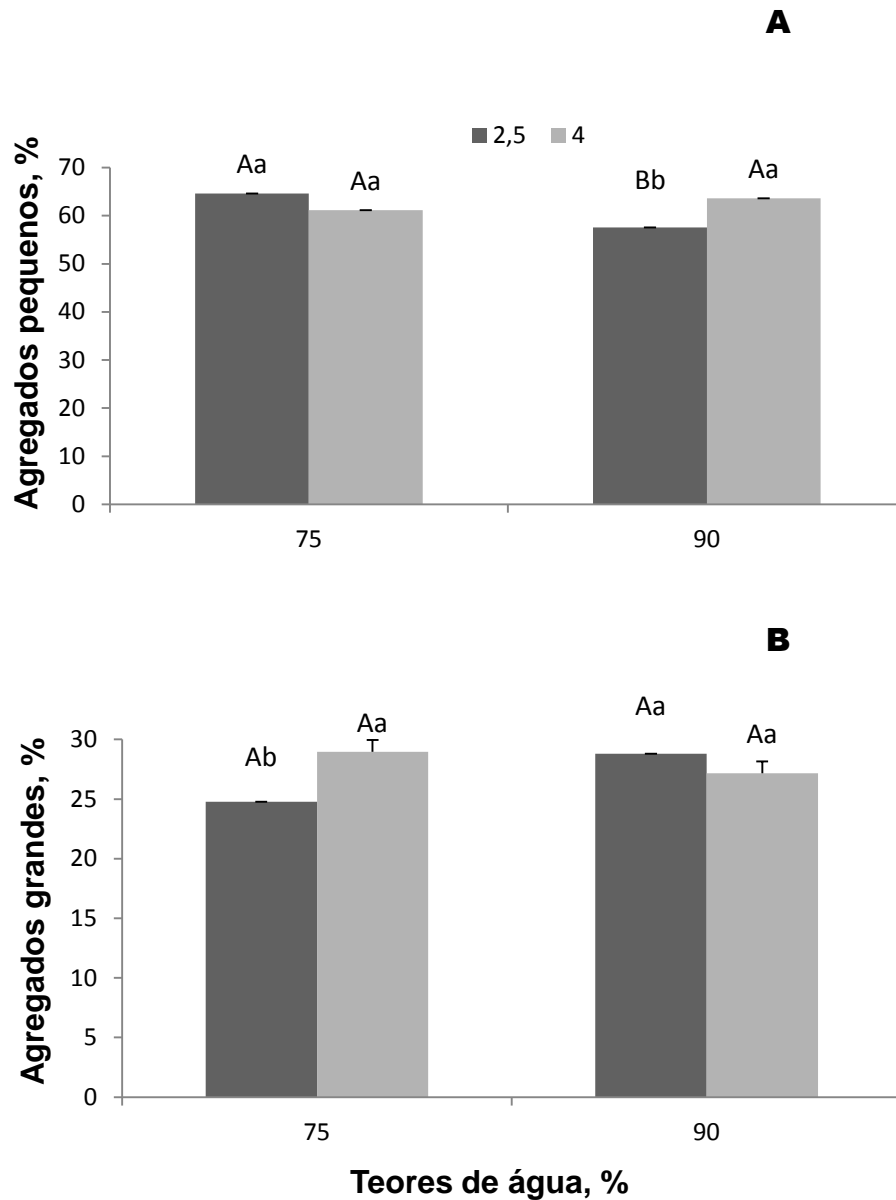
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Atributos físicos do substrato

A substituição de K por Na não alterou a distribuição de agregados em classes (Figura 2). Menor proporção de agregados pequenos (diâmetro < 0,50 mm) foi observada na menor dose de adubação potássica quando submetido somente à umidade de 90 % da capacidade de campo. Na classe de agregados grandes (diâmetro de 4,76 – 1,00 mm), não se verificaram diferenças em função das diferentes umidades avaliadas. Na umidade de 75 % da capacidade de campo, por sua vez, um maior percentual desses agregados grandes foi verificado no maior nível de adubação potássica ( $4,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ).

A adubação potássica de  $2,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  associada com teor de água de 90% da CC, independentemente da substituição de K por Na, proporcionou a obtenção de maiores índices de estabilidade de agregados em água do que os demais tratamentos (Tabela 6). O diâmetro médio poderado de agregados (DMP) não foi afetado pelos tratamentos impostos como todos os valores de DMP obtidos em torno de 1,0 mm.

À medida que se elevaram os níveis de substituição de K por Na constatou-se decréscimo no grau de floculação da argila em todas as doses de adubação potássica (Figura 3). Estes dados sugerem que o aumento da substituição do KCl por NaCl pode provocar a dispersão de argila do substrato, já que o Na provoca a expansão da dupla camada difusa de íons (WAKEEL et al.; 2011). No entanto, mesmo no maior nível de substituição, os valores de floculação ainda permanecem elevados (acima de 90 %). Por sua vez, o maior valor de GF foi observado com a maior dose de adubação potássica e sem substituição do K por Na, demonstrando que o K não atua como agente dispersante (DIAS; BLANCO, 2010).

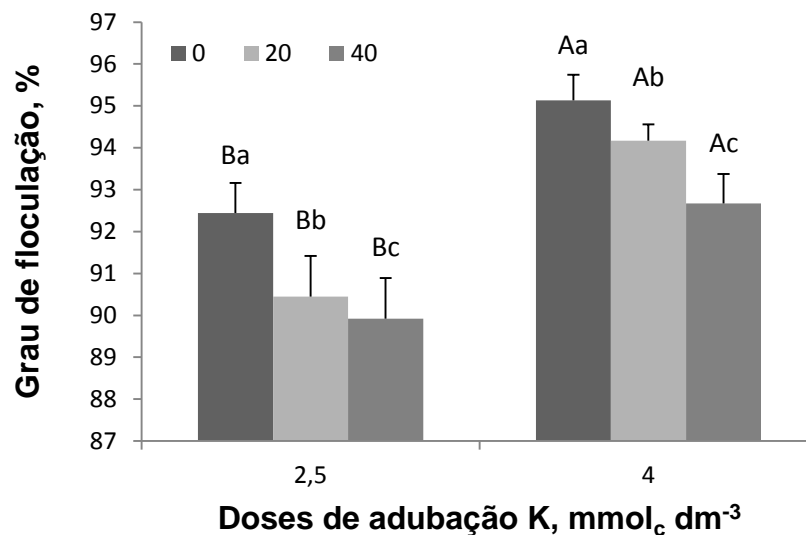


**Figura 2** - Diâmetro médio de agregados (A = agregados pequenos e B = agregados grandes) em função da interação entre doses de K e teores de água no substrato cultivado com clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia. Letras maiúsculas indicam comparação entre os teores de água para uma mesma dose de K, e as minúsculas entre as doses de K dentro de uma mesma umidade, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 6** - Índice de estabilidade de agregados em água (IEA) e diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) em função da interação entre substituição de K por Na, adubação potássica (AP) e teores de água em substrato cultivado com clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia

UMIDADE (%)	AP (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	SUBSTITUIÇÃO (%)	IEA (%)	DMP (mm)
75	2,5	0	34,49 b	1,10 a
		20	37,30 b	0,92 a
		40	39,17 b	0,93 a
	4	0	38,14 b	1,09 a
		20	33,08 b	1,15 a
		40	36,37 b	1,11 a
90	2,5	0	50,66 a	1,09 a
		20	48,98 a	0,96 a
		40	54,76 a	1,03 a
	4	0	31,13 b	0,98 a
		20	34,16 b	1,05 a
		40	31,20 b	1,09 a

OBS: Letras minúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

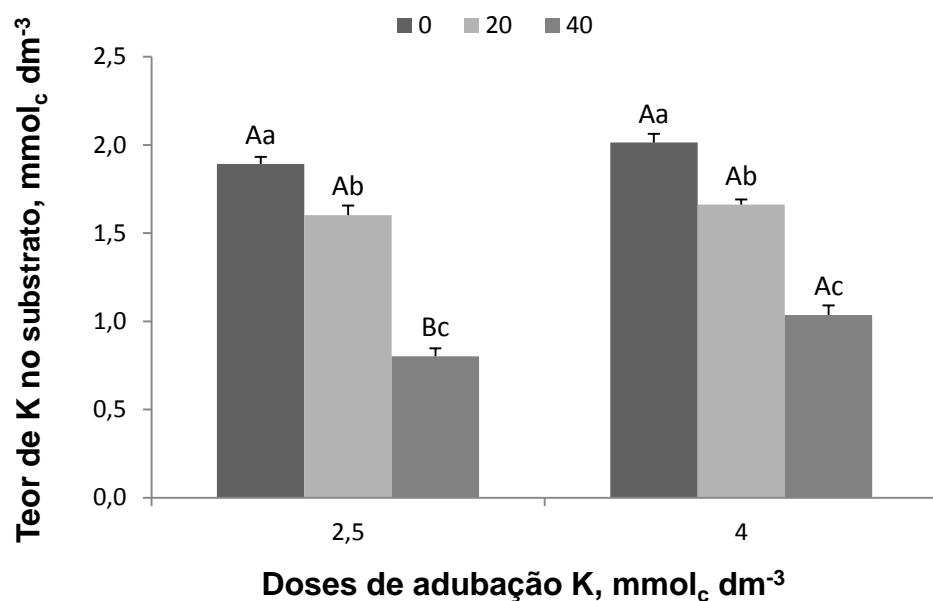


**Figura 3** – Grau de floculação das argilas em substrato cultivado com clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função da interação entre as doses de adubação potássica e os níveis de substituição de K por Na. Letras maiúsculas indicam comparação entre as doses de K para todas as percentagens de substituição e as minúsculas entre os níveis de substituição de K por Na para cada dose de adubação potássica pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

### 3.2. Atributos químicos do substrato

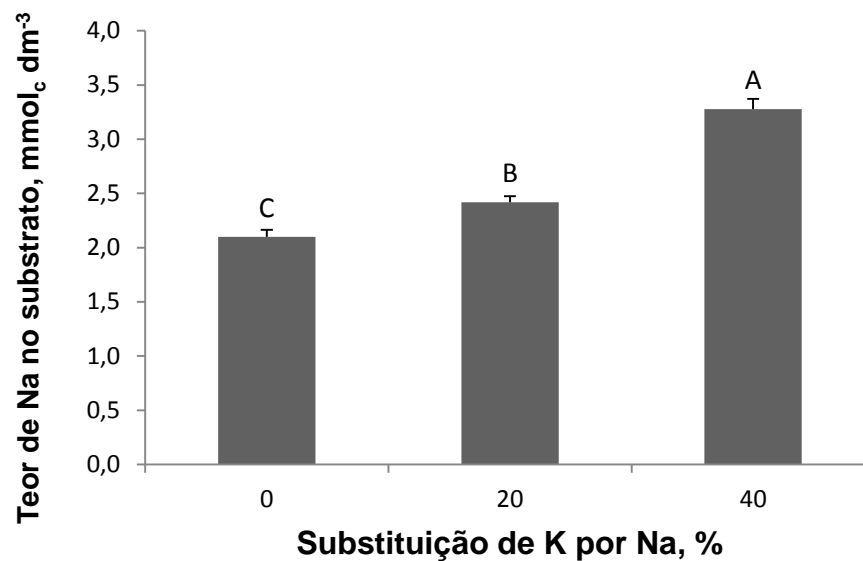
Os tratamentos impostos não proporcionaram alterações nos valores de pH e dos teores dos nutrientes P, Ca, Mg, Cu, Zn e Mn. Diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) foram verificadas apenas para os teores de Na, K, Al e Fe.

De acordo com a Figura 5, o menor teor de K no substrato foi observado na menor dose de potássio ( $2,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) e com maior nível de substituição do K por Na. O teor de K no substrato, independente da dose aplicada, diminuiu com o aumento da substituição, sendo a redução de 58 % e 48 % entre o tratamento controle e o maior nível de substituição, na dose de adubação potássica de 2,5 e 4,0  $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , respectivamente. Esses resultados são correspondente a estudos feitos com café (BALIZA et al., 2010), tamboril (INOCÊNCIO; CARVALHO, 2010), eucalipto (ROMERO, 2008) e pinhão-manso (SILVA et al., 2014).



**Figura 4** – Teor de K no substrato cultivado com clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função da interação entre as doses de adubação potássica e os níveis de substituição de K por Na. Letras maiúsculas indicam comparação entre as doses de K para todas as percentagens de substituição e as minúsculas entre os níveis de substituição de K por Na para cada dose de adubação potássica pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Para o teor de Na no substrato (Figura 5), observa-se que, quanto maior a porcentagem de substituição, maiores também os teores verificados no substrato. Rodrigues et al. (2012) também obtiveram esse mesmo resultado, com base nos fluxos dos dois íons. Isso ocorre devido à seletividade de K-Na, que por possuírem mesmo número de cargas, conseguem substituir um ao outro.

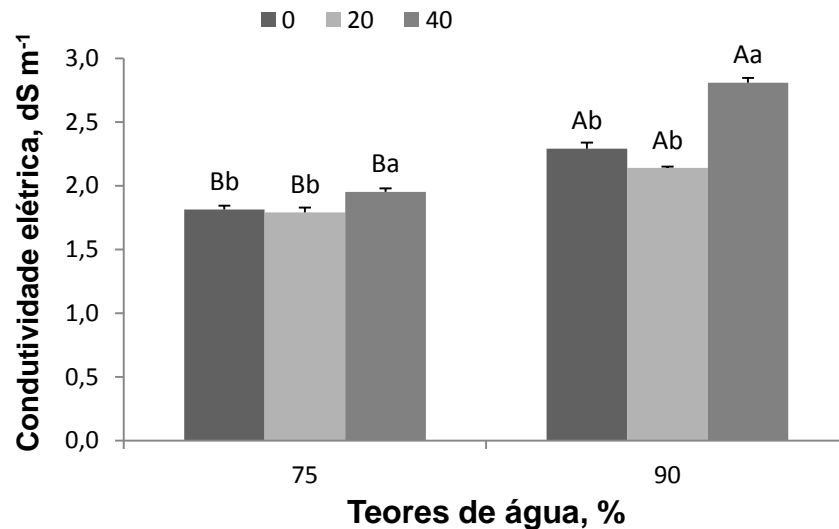


**Figura 5** – Teor de Na no substrato cultivado com clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função dos níveis de substituição de K por Na. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os valores de condutividade elétrica determinada na pasta de saturação foram influenciados pela interação entre os teores de água no substrato e os níveis de substituição de K por Na (Figura 6). Maiores valores de CE no substrato estiveram associados à maior disponibilidade hídrica nos vasos em todos os níveis de substituição do K pelo Na, o que pode ser relacionado ao maior volume de água da chuva adicionado no substrato na umidade de 90 % da CC, que contribuiu para o maior aporte de Na. Considerando a substituição do K pelo Na, os maiores valores de CE ocorreram na maior taxa de substituição (40 %), nos dois teores de água do substrato.

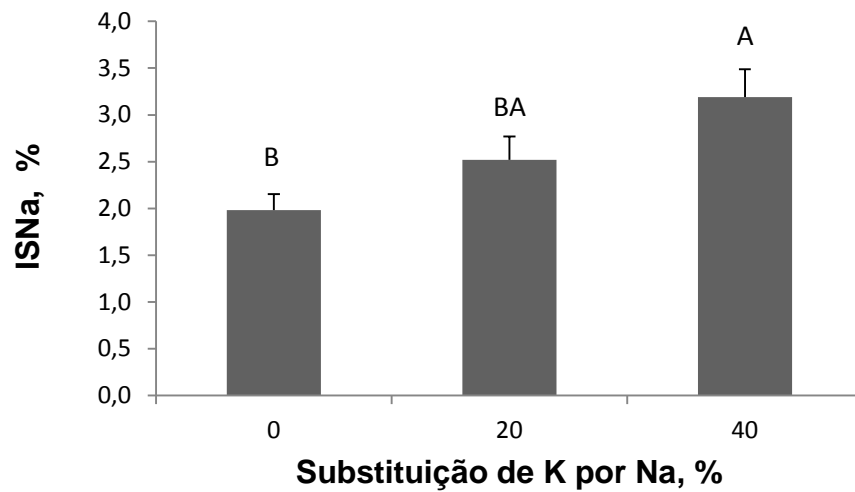
O índice de saturação por sódio (ISNa) (Figura 7) foi influenciado apenas pela substituição do K por Na, sendo que a porcentagem de 20 % não apresentou diferença estatística, porém ambos foram superiores ao tratamento controle.

Embora os valores de CE e ISNa tenham incrementado com os níveis de substituição de K pelo Na, pode-se afirmar que até 40 % de taxa de substituição o Na não causa problemas de salinidade no substrato, uma vez que esta dose encontra-se abaixo dos limites para um solo ser considerado salino, o qual deve possuir uma CE maior que  $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ . Adicionalmente, Marschner (1988) apontou o cacau como uma planta tolerante a altos teores de sódio no substrato.



**Figura 6** – Condutividade elétrica do extrato de saturação de substrato cultivado com clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função da interação entre os teores de água do substrato e os níveis de substituição de K por Na. Letras maiúsculas indicam comparação entre os teores de água e as minúsculas entre os níveis de substituição de K por Na pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).





**Figura 7** – Índice de saturação por Na no substrato cultivado com clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função dos níveis de substituição de K por Na. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

O aporte de Na pela água da chuva utilizada no experimento deve ser ressaltado. Uma vez que a região onde se realizou o estudo está próximo do litoral, a contribuição de Na com a adição dessa água foi em média de  $0,04 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Os vasos utilizados na pesquisa não possuíam aberturas para a saída da água, portanto, os valores de Na encontrados poderiam ser menores em virtude da drenagem livre.

A chuva pode desempenhar uma função importante para ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais e litorâneos. Silva Filho et al. (1995) quantificou incrementos de 36, 58 e  $12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de K, Ca e Mg, respectivamente, via deposição úmida em áreas costeiras no Brasil.

#### **4. CONCLUSÕES**

A substituição do potássio pelo sódio até 40 % não provocou nenhuma alteração na agregação nem na floculação das argilas do substrato, indicando que é viável a substituição.

A condutividade elétrica na pasta de saturação do substrato encontrou-se dentro da normalidade.

Os teores de sódio aumentaram e os de potássio diminuíram, no substrato, com o incremento da substituição de K por Na; os demais nutrientes não foram afetados.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHENKORAH, Y. The influence of environment on growth and production of the cacao tree: soils and nutrition. In: 7ª CONFERENCE INTERNACIONALE SUR LA RECHERCHE CACAOTERO. Douala, 1979. Actes. Lagos, Cocoa Producers' Alliance, p.167-176. 1981.
- ALMEIDA, A-A. F., MAESTRI, M. Characteristics of slow chlorophyll fluorescence emission in four *Coffea arabica* genotypes submitted to water stress. **Photosynthetica**, 32, n.2, p. 161-169. 1996.
- CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L.; (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS. p. 65-90. 2007.
- CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; REIS, E. L.; PACHECO, R. G.; MARROCOS, P. C. L.; VALLE, R. R. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauero no Sul da Bahia – Boletim nº 203. 44p. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2013.
- CHEPOTE, R. E.; SODRÉ, G. A.; PACHECO, R. G.; REIS, E. L.; MARROCOS, P. C. L.; SERÔDIO, M. H. C. F.; VALLE, R. R. Recomendações de corretivos e fertilizantes na cultura do cacauero no Sul da Bahia – 2ª aproximação . Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. p.36, 2005.
- CUARTERO, J.; MUÑOZ, R.F. Tomato and salinity. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.78, n.1/4, p.83-125, 1999.
- DIAS, N. D.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade**. p. 129-140, 2010.
- DODSON, R.; MARKS, D. Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region. **Climate Research**, Oldendorf/Luhe, v. 8, n. 1, p. 1-20, mar./abr. 1997.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agro- pecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 370p. 2011.
- FASSBENDER, H.W.; ALPIZAR, L.; HEUVELDOP, J.; ENRIQUEZ, G.; FOSTER, H. Ciclos da matéria orgânica e dos nutrientes em agrossistemas com cacaueros. In: CABALA-ROSAND, P. (Ed.). Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos Trópicos . Ilhéus: CEPLAC, p.231-257, 1985.
- FREIRE, F. J. Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar . 144 p. **Tese** (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.
- GARCIA, J.J.; MORAIS, F.I.O.; ALMEIDA, L.C.; DIAS, J.C. Sistema de produção do cacauero na Amazônia Brasileira. Belém, CEPLAC, 1985.
- MANCINO, C. F.; PEPPER, I. L. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: soil quality. **Agronomy Journal**. v.84, p.650-654, 1992.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. **Academic Press Inc LTD**, London, p.674, 1986.

MIRANDA, R. A. C. Observações iniciais da perda de água por interceptação de chuva em cacauzeiro. Centro de Pesquisas do Cacau, Ilhéus, Bahia, Brasil. **Revista Theobroma** 15(2): pp 73-78. 1985.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais . Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos, 1999.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 2.ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1990.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D.P. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. Piracicaba, Ministério da Educação/ESAL/POTAFOS, 1988.

RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, D.C.: **United States Salinity Laboratory**. 160p. (United States Department of Agriculture - Handbook, 60). 1954.

RODRIGUES C. R. F.; SILVEIRA J. A. G.; SILVA E. N.; DUTRA A. T. B.; VIEGAS R. A. Transporte e distribuição de potássio atenuam os efeitos tóxicos do sódio em plantas jovens de pinhão-manso. **r. bras. ci. solo**, 36:223-232, 2012.

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). 2002.

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

SILVA FILHO, E. V.; MOUTELLA, A. C. C.; DIAS, A. M. M.; BOAVENTURA, G. R.; LACERDA, L. D. Composição química de água de chuva na região costeira do Rio de Janeiro Anais do V Congresso Brasileiro de Geoquímica e III Congresso de Geoquímica dos países de Língua Portuguesa, Niterói/RJ, 1995.

SOUZA, C. A. S.; CORRÊA, F. L. O.; MENDOÇA, V.; VICHATO, M.; CARVALHO, J. G. Doses de fósforo e zinco no acúmulo de macro e micronutrientes em mudas de cacauzeiro. **Revista Agrotrópica**. Ilhéus, v. 18, n.1, p. 25-38. 2006.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers**, 3.ed. New York, Macmillan, 694p. 1975.

YOUKER, R.E.; MCGUINNESS, J.L. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregate analyses of soils. **Soil Sci**. 83:291-294, 1957.

ZHU, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Review of Plant Biology**. Palo Alto, v. 53, p. 247-273, 2001.

## **CAPÍTULO 2 – CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE MUDAS CLONAIS DE *Theobroma cacao* L. SUBMETIDAS À SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE POTÁSSIO POR SÓDIO E A TEORES DE ÁGUA NO SUBSTRATO**

### **RESUMO**

O presente estudo teve como objetivo avaliar a nutrição mineral e o incremento na biomassa das mudas de cacau submetidas à substituição parcial de potássio por sódio, diferentes teores de água no substrato e doses de adubação potássica. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no *Campus* da Universidade Estadual de Santa Cruz, em delineamento em blocos casualizados, em fatorial 3x2x2 onde, utilizaram-se três níveis de substituição de K por Na (0 % - controle, 20 e 40 %); dois teores de água do substrato (75 e 90 % da capacidade de campo) e duas doses de adubação potássica (2,5 e 4,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), em quatro blocos. A unidade experimental foi composta de duas mudas do clone PH16 de *Theobroma cacao* L., plantadas em vasos com 45 dm<sup>3</sup> de substrato feito da mistura de sete partes de Argissolo Vermelho-Amarelo e três partes de Neossolo Quartzarênico. Os dados morfológicos e nutricionais foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e adotou-se a probabilidade de erro (p<0,05) com teste de Tukey. Para cada tratamento avaliaram-se: parâmetros morfológicos (altura da planta, diâmetro do caule, área foliar e biomassas seca das folhas, do caule, das raízes) e a nutrição mineral da planta (teor foliar e conteúdo da parte aérea dos macro e micronutrientes). A substituição do potássio pelo sódio até o nível de 40 % não interferiu na altura da planta, nem na produção de biomassa seca, no entanto, provocou diminuição do diâmetro do caule; apenas os teores dos macronutrientes K, Na e N na folha foram influenciados pelos níveis de substituição do K por Na, os demais macronutrientes (Ca, Mg e P) e os micronutrientes (Fe, Cu, Mn e Zn) não apresentaram resultados significativos.

**Palavras-chave:** biomassa, nutrientes, produtividade.

## CHAPTER 2 - GROWTH AND NUTRITION OF PLANTS CLONAL *Theobroma cacao* L. SUBMITTED TO PARTIAL REPLACEMENT FOR SODIUM AND POTASSIUM LEVELS OF WATER ON A SUBSTRATE

### ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the mineral nutrition and biomass increment of cocoa seedlings subjected to partial substitution of potassium for sodium, different levels of soil moisture and potassium fertilizer levels. The experiment was conducted in a greenhouse on the campus of the Universidade Estadual de Santa Cruz, in a randomized complete block design in a factorial 3x2x2 where we used three levels of substitution of K by Na (0 % - control, 20 and 40 %); Two levels of soil moisture (75 and 90 % of field capacity) and two doses of potassium fertilization (2.5 and 4.0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) in four blocks. The experimental unit consisted of two plants of clone PH16 *Theobroma cacao* L., planted in pots with 45 dm<sup>3</sup> of substrate made of blend of seven pieces of red-yellow Podzolic and three parts PSAMENT. The morphological and nutritional data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and adopted the probability of error ( $p < 0.05$ ) with Tukey's test. For each treatment were evaluated: morphological parameters (plant height, stem diameter, leaf area and dry biomass of leaves, stem, roots) and mineral nutrition of the plant (leaf form and content of the aerial part of the macro and micronutrients). Replacement of potassium by sodium until the 40 % level did not affect the plant height, or in the production of dry biomass, however, caused a reduction of the diameter of the stem; only the contents of macronutrients K, Na, and N in the leaf were influenced by the levels of substitution of K by Na, the other macronutrients (Ca, Mg and P) and micronutrients (Fe, Cu, Mn and Zn) were not significant.

**Keywords:** biomass, nutrients, productivity.

## 1. INTRODUÇÃO

Alguns elementos químicos são considerados essenciais para o crescimento e desenvolvimento vegetal, sendo por isto indicado como nutrientes para as plantas. Um elemento é considerado essencial quando na sua ausência ou deficiência a planta não consegue completar seu ciclo vegetativo ou a fase reprodutiva; quando na sua deficiência não existam meios de trocá-lo por outro elemento mineral; ou quando somente ele exerce uma função específica (ARNON; STOUT, 1939).

Por sua vez, a simples ocorrência de um elemento em uma planta não é indicação de sua essencialidade. Assim as plantas podem acumular muitos elementos que estão na solução do solo, sem que esses tenham papel essencial no seu metabolismo. Os critérios de essencialidade foram baseados em bases fisiológicas que incluem sobrevivência e a reprodução e, entanto, a produção de alto rendimento e de biomassa não foi considerada.

Outros elementos afetam o crescimento das plantas mesmo sem serem consideradas como essenciais. Neste caso podem ser importantes ou úteis para o crescimento e o aumento da biomassa. Estes aspectos têm sido considerados em uma definição modificada do que é um nutriente essencial para as plantas. Assim, Epstein; Bloom (2005) afirmam que um nutriente pode ser considerado essencial para uma determinada cultura, mesmo quando não o é para outra, como é o caso, por exemplo, do Na que é considerado elemento essencial para a *Atriplex vesicaria*.

Diversos estudos relatam também a influência do cátion Na na absorção de alguns nutrientes, inclusive o  $K^+$  (CARVALHO, 2008; JESCHKE et al., 1992; KAWASAKI et al., 1983). O K, dentre suas inúmeras funções na planta, atua no processo de abertura e fechamento dos estômatos que, por sua vez, regula o processo de assimilação de carbono e perda de água, afetando a turgescência e a expansão foliar, o que propicia melhor aproveitamento da radiação solar (MALAVOLTA, 2006; SUBBARAO et al., 2003).

Tendo em vista que as fontes de K devem se tornar escassa nas próximas décadas (ZHANG et al., 2006), o que pode contribuir para elevar os preços dos formulados NPK, faz-se necessário intensificar pesquisas no âmbito de substituir e/ou elevar a eficiência de uso de outras fontes que possam substituir o elemento.

O conceito de nível crítico fisiológico-econômico foi inicialmente definido por Malavolta; Cruz (1971), como sendo o teor de um dado nutriente na folha, abaixo do qual a produção é limitada e acima do qual o uso de fertilizantes não é mais econômico. Como se trata de um critério econômico, o nível crítico pode variar de acordo com a relação entre o preço do produto colhido e o custo da adubação (MALAVOLTA, 1999). Porém o fator econômico coloca em risco a definição de nível crítico, uma vez que ele pode limitar sua aplicabilidade quando o produto à venda representa grande valor de mercado e a adubação tem um custo relativamente baixo, o que resultaria em consumo de luxo do nutriente utilizado na adubação. Por outro lado, a situação oposta poderia também ocorrer, quando o produto colhido viesse a ter um preço de venda muito reduzido e o custo da adubação altíssima, não haveria como conciliar a resposta em produção e a economicidade do uso do insumo.

Os primeiros registros de experimentação com adubação da cultura cacauero datam das décadas de 20 e 30 do século XX. Essas investigações, no entanto, somente tomaram impulso depois de 1953, a partir dos resultados obtidos por Evans e Murray, que aplicavam fertilizantes associados a diferentes níveis de intensidade luminosa (MORAIS et al., 1981; NICOLELLA et al., 1983). Porém, para que a interpretação e recomendação tenham validade, é preciso que haja correlação entre os valores obtidos nas análises e algum indicador da planta, como a produção ou teor/conteúdo do nutriente na planta (CANTARUTTI et al., 2007; SCHLINDWEIN; GIANELLO, 2008).

A fertilização do cacauero na Bahia foi iniciada em 1964 obtendo-se, em condições experimentais, acréscimos nas colheitas da ordem de 39 a 80 %, em resposta à aplicação de uma mistura de fertilizante NPK associada com remoção da sombra (CABALA-ROSAND et al., 1970). A partir da safra de cacau 1963/64 se inicia a modernização da lavoura no Estado, processo este caracterizado pela expansão da área, abundância de crédito rural subsidiado e melhorias nos serviços comerciais, assistência técnica, pesquisa agrônômica, fomento e infraestrutura física.

As primeiras definições de doses de N, P, K, Ca e Mg para o cacauero foram feitas por Cabala-Rosand et al. (1971) que incrementaram a produtividade de 21 plantações comerciais, em diferentes tipos de solos e sem sombreamento, com a aplicação de 105 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N, 146 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 64 de K<sub>2</sub>O, 46 de CaO e 34 de



MgO. Na década de 1970, a cacauicultura brasileira foi considerada a mais tecnificada no mundo, quando apresentou produtividade média de 740 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de amêndoas secas (ALMEIDA et al., 2003), sendo a Bahia principal região produtora do país.

Entretanto, na década de 80 é observado um novo processo de estagnação da cacauicultura baiana, atribuído a baixos preços do produto, elevação dos custos de produção e excessiva tributação. Contribuíram também para esse processo, o enfraquecimento das empresas nacionais de exportação e de industrialização do cacau e a elevada ociosidade do parque de processamento com perda de mercados, assim como, a falência do cooperativismo, entre outras variáveis, induzindo ao abandono de práticas agrícolas e demissão de trabalhadores (CASTRO NETO et al., 1987; CAZORLA, 1992; MENEZES; CARMO-NETO, 1993).

Em 1989, manifesta-se um novo desafio interposto pelo surgimento de uma das mais prejudiciais enfermidades do cacaueteiro, a Vassoura-de-Bruxa (PEREIRA et al. 1989), cujo agente causal é o fungo *Moniliophthora perniciosa* (ex *Crinipellis*) (AIME; PHILLIPS-MORA, 2005). A partir deste momento tornou-se usual a afirmação de que com a introdução da Vassoura-de-Bruxa, a produção regional teria passado de 397 mil toneladas para 96 mil toneladas. Apesar deste problema, durante décadas a economia baiana foi liderada pela cultura do cacau, que era o principal produto agrícola estadual e seu maior gerador de divisas (LEITE, 2010). Atualmente o Brasil possui cerca de 560 mil hectares cultivados com cacaueteiros em diferentes estados da Federação, como Bahia, Espírito Santo, Pará, Amazonas, Mato Grosso e Rondônia (LEITE; SODRÉ, 2012).

Com o objetivo de avaliar a resposta de mudas do clone PH16 de cacau à substituição parcial de potássio por sódio na adubação em duas condições de disponibilidade de água.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização do Experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no *Campus* da Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, localizada no município de Ilhéus, BA com coordenadas geográficas de referência 14°47' 47" S e 39° 10' 23" O. O clima local é do tipo Af, segundo a classificação de Köppen-Geiger, com precipitação média anual em torno de 1.800 mm e distribuição irregular, temperaturas médias anuais variam entre 22,1 °C (mínima) a 26 °C (máxima), sendo maiores e com menor amplitude térmica na faixa costeira (DODSON; MARKS, 1997).

### 2.2. Delineamento Experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições (blocos), em arranjo fatorial 3x2x2 sendo três percentuais de substituição de K por Na (0, 20 e 40 %), duas doses de adubação potássica (2,5 e 4,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e dois teores de água no substrato (75 e 90 % da capacidade de campo - CC). A unidade experimental foi formada por duas mudas de *Theobroma cacao* L. do clone PH16, transplantadas para vaso, contendo 45 dm<sup>3</sup> de substrato. As mudas foram oriundas de enraizamento de estacas, produzidas no Instituto Biofábrica de Cacau e tinham aproximadamente 90 dias. O agrupamento para a composição dos blocos foi realizado observando-se a uniformidade das mudas quanto ao diâmetro do caule, altura e ausência de lançamentos foliares.

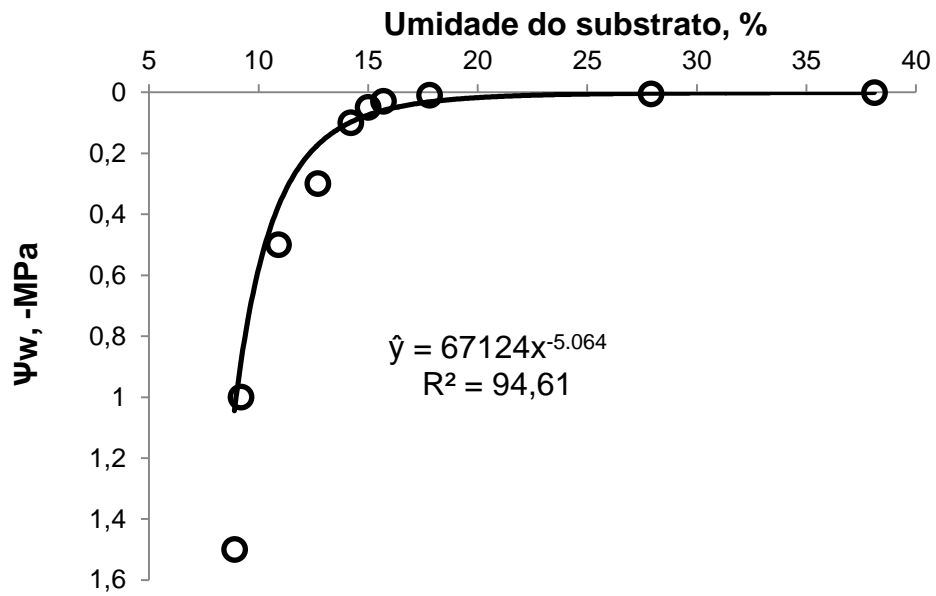
### 2.3. Substrato

Foram utilizados vasos plásticos não perfurados, com capacidade para 50 dm<sup>3</sup> preenchidos com 45 dm<sup>3</sup> de substrato, composto da mistura de sete partes do horizonte B de um Argissolo Vermelho-Amarelo e de três partes do horizonte B de um Neossolo Quartzarênico.

Amostras do substrato foram utilizadas para determinar a granulometria (Tabela 1), curva característica de água no substrato (Figura 1) e a composição química (Tabela 2).

**Tabela 1** – Análise granulométrica do substrato utilizado no experimento

AREIA GROSSA	AREIA FINA	SILTE	ARGILA
----- g kg <sup>-1</sup> -----			
252	335	273	140

**Figura 1-** Curva de retenção do substrato utilizado no experimento

**Tabela 2** – Análise química do substrato utilizado no experimento

pH (H <sub>2</sub> O)		5,32
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,31
Mg		2,27
Na		71,9
P		0,30
K		11,0
S		14,6
B	mg dm <sup>-3</sup>	0,17
Cu		1,21
Fe		254,80
Mn		9,00
Zn		3,53
Al <sup>+3</sup>		4,20
H + Al		7,40
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,92
t		7,12
T		10,32
V		28,30
m	%	59,00
ISNa		4,39
MO	dag kg <sup>-1</sup>	0,52
P-rem	mg L <sup>-1</sup>	10,40

Valores de pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5; P - Na - K - Fe - Zn -Mn - Cu – Extrator Mehlich 1; Ca -Mg -Al - Extrator: KCl - 1mol L<sup>-1</sup>; H + Al – Extrator acetato de cálcio 0,5mol L<sup>-1</sup> - pH 7,0; B - Extrator água quente; S - Extrator - fosfato monocálcico em ácido acético; Matéria orgânica (MO) = Carbono orgânico x 1,724 -Walkley-Black; ISNa - Índice de saturação de sódio; SB = Soma de bases trocáveis; t - Capacidade de troca catiônica efetiva; T - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V= Saturação por bases; m= Saturação por alumínio; e P-rem= Fósforo remanescente.

#### 2.4. Condução do experimento

A partir dos resultados da análise química foi realizada a calagem, com finalidade de elevar a saturação por bases a 80 %, pela adição de 84,11 g de calcário dolomítico em cada vaso. Foi realizada uma adubação no plantio com P, B, Cu, Zn e Mo em solução (Tabela 3) e adubação potássica-sódica com cloreto de

potássio e cloreto de sódio, respectivamente, nas proporções de substituição dos teores de K+Na (Tabela 4).

**Tabela 3** – Recomendação de adubação para plantio de mudas do clone PH16 de *Theobroma cacao* L. no sul da Bahia

Nutriente	Dose (mg dm <sup>-3</sup> )	Fonte
P	400	Superfosfato Triplo
B	0,4	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (PA)
Cu	1,0	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O (PA)
Zn	3,0	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O (PA)
Mo	0,15	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O

**Tabela 4** – Recomendação de adubação para mudas de *Theobroma cacao* L. submetidas à substituição parcial de potássio por sódio no sul da Bahia

Nutriente	K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	Substituição (%)	KCl (g vaso <sup>-1</sup> )	NaCl (g vaso <sup>-1</sup> )
K+Na	2,5	0	8,387	0
	2,5	20	6,710	1,315
	2,5	40	5,032	2,630
	4,0	0	13,419	0
	4,0	20	10,735	2,104
	4,0	40	8,051	4,208

A adubação de cobertura (Tabela 5) foi iniciada aos 30 dias após o transplântio (DAT), sendo realizadas apenas com N, tendo como fonte o nitrato de amônio comercial (33 % de N), em dose inicial de 10 mg dm<sup>-3</sup> e repetidas a cada 15 dias. Após 60 dias aumentou-se a dose para 20 mg dm<sup>-3</sup> e manteve-se esta dosagem em intervalos regulares a cada 15 dias até os 255 DAT.

**Tabela 5** - Recomendação de adubação para cobertura de mudas do clone PH16 de *Theobroma cacao* L. no sul da Bahia

Nutriente	Dose (mg dm <sup>-3</sup> )	Fonte	Quantidade/vaso
N	10	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1.285,7
N	20	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	2.571,4

A irrigação foi feita com água de chuva (contendo teores médios de K e Na de 0,239614 e 0,035942 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente) e a reposição da água transpirada pelas plantas foi calculada de acordo com a curva característica de água no substrato (Figura 1), conforme técnica descrita por Richards (1949). Para isso, foram utilizadas amostras deformadas do substrato, saturadas lentamente por um período de 24 horas, as quais foram submetidas às potenciais de -6, -10, -33, -100, -300 e -1.500 kPa, com três repetições, de modo a manter os tratamentos definidos (75 e 90 % da CC). O controle da umidade foi feita utilizando o potencial -30 kPa em cada tratamento foi definido com base em dois métodos: avaliação da umidade gravimétrica, onde retiraram-se amostras semanais para a determinação da umidade, e da utilização de sonda para umidade do solo de rápido desempenho da Soil Moisture Equipment Corp. modelo 2900FI.

Quando necessário, o controle de pragas foi feito através da aplicação do inseticida sistêmico Tamaron (1 mL L<sup>-1</sup>) com o princípio ativo Metamidofós e o inseticida Agritoato (0,8 mL L<sup>-1</sup>) com o princípio ativo Dimethoate. Duas aplicações mensais foram executadas, sempre quando houve ocorrência de danos às folhas.

O experimento teve duração de 270 DAT e, após este período, foram feitas as coletas de amostras de substrato e material vegetal (raízes, caules e folhas) para as análises.

## 2.5. Avaliações biométricas

As variáveis de crescimento das plantas de cacau foram avaliadas ao final do tempo de cultivo (270 DAT). As mudas foram coletadas, seguindo-se da mensuração das seguintes variáveis: diâmetro do caule (DC), com um paquímetro digital, na região do terceiro nó contado a partir da extremidade superior; altura da planta (AP), com uma régua graduada; área foliar total (AFT) por unidade experimental, com um medidor de área foliar modelo LI-3100 (Li-Cor, inc. Lincoln, Nebraska, USA).

Em seguida, as mudas foram divididas em raiz, caule, folha diagnóstico (terceira folha em um ramo totalmente maduro sem lançamentos foliares recentes) e demais folhas. Todos esses materiais foram armazenados isoladamente em sacos de papel e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante, para obtenção da biomassa seca das raízes (BSR), dos caules (BSC), das folhas (BSF), da parte aérea (BSPA = BSC + BSF) e total (BST = BSPA + BSR), além da relação entre as biomassas da parte aérea e das raízes (RPAR = BSPA / BSR).

## 2.6. Nutrição mineral

As análises químicas do tecido vegetal foram efetuadas nas amostras da folha diagnóstico, das demais folhas e do caule. Essa avaliação teve por objetivo avaliar o teor dos nutrientes na folha diagnóstico e o conteúdo dos nutrientes na parte aérea, sendo este último obtido pelo somatório dos conteúdos obtidos em cada componente (caule, folhas diagnóstico e demais folhas).

Após a pesagem do material vegetal para a análise da biomassa, os mesmos foram moídos e submetidos à digestão úmida, conforme descrição sucinta a seguir: tomou-se 0,50 g de matéria seca, adicionou-se 9,0 mL de mistura nítrico-perclórica, na proporção 3,5:1 (v/v) e procedeu-se a digestão de acordo com EMBRAPA (2011). No extrato obtido foram dosados P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, por espectrometria de emissão ótica em plasma induzido (ICP - OES). O N foi determinado pelo método semi-micro-Kjeldahl, para o qual se pesou 0,20 g da matéria seca, adicionou-se 5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado e cerca de 2,3 g de mistura digestora. Na sequência procedeu-se a digestão e, após a destilação, a amônia produzida foi capturada em

solução de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  2 % e posteriormente titulada com  $\text{HCl}$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (EMBRAPA, 2011).

## 2.7. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de média de Tukey ( $p < 0,05$ )



### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Avaliações biométricas

Não se verificou efeito dos tratamentos impostos sobre a altura de planta. No entanto, Freire et al. (2010) e Silva et al. (2014) observaram redução na altura da planta de *Jatropha curcas* em resposta à substituição total de K por Na.

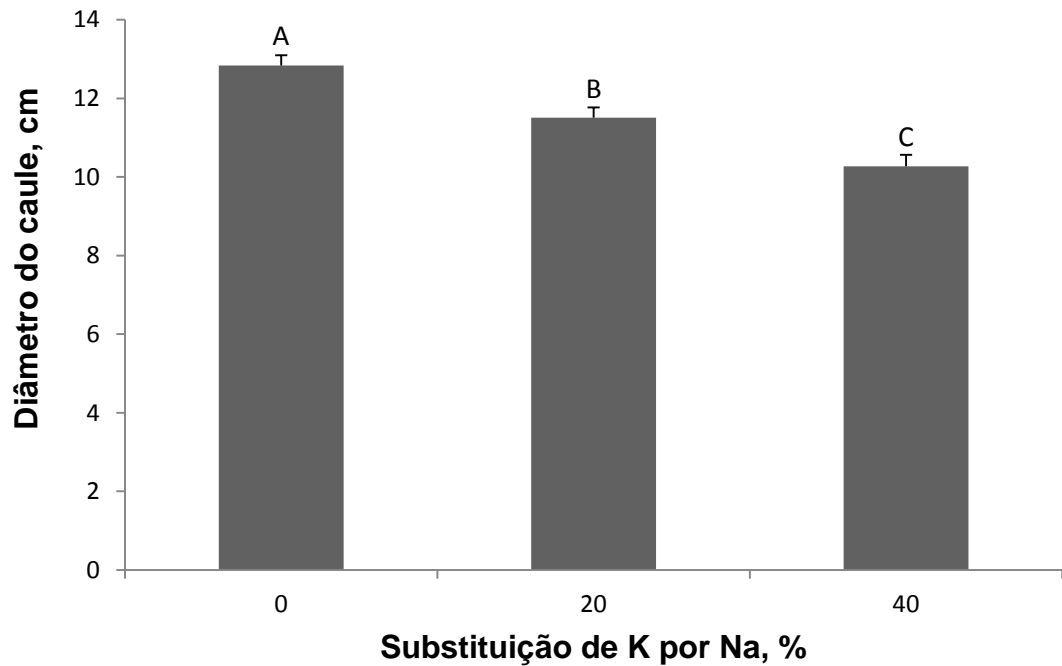
Em estudo com as espécies florestais *Enterolobium contortisiliquum* e *Sesbania virgata*, Inocêncio; Carvalho (2010) concluíram que a substituição de 25 % do K pelo Na não afetou as variáveis biométricas e morfológicas das plantas.

O diâmetro do caule foi reduzido em 10,35 % e 20,01 % quando comparado ao tratamento controle, para as taxas de substituição parcial do K pelo Na de 20 % e 40 %, respectivamente (Figura 2). Comportamento semelhante foi observado por Romero (2008) em *Eucalyptus grandis*. Por outro lado, para a cultura do café Baliza et al. (2010) relatam ter havido incremento do diâmetro do caule com a substituição, o que também se refletiu na obtenção de maior biomassa seca de caule. Por sua vez, Silva et al. (2014) não observaram efeito para pinhão-manso quando substituíram 50 % de K por Na, relatando que acima de taxa, verificaram redução no diâmetro do caule.

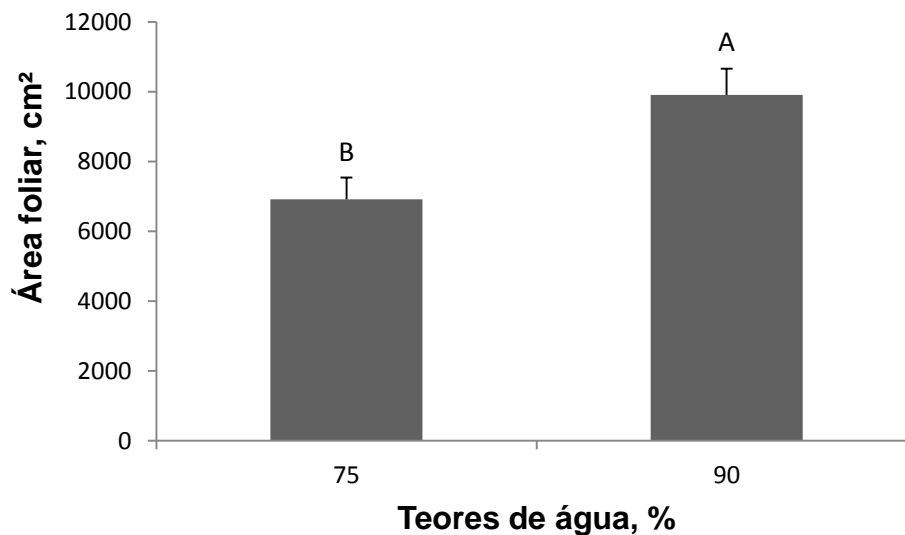
A área foliar também não foi afetada pela substituição parcial do K pelo Na. Essa variável somente sofreu influência dos teores de água presentes no substrato (Figura 3). Com o incremento da disponibilidade de água de 75 para 90 % da CC, observou-se incremento da área foliar de 43,10 %, evidenciando a importância da água para a expansão celular (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Da mesma forma que com a área foliar, os valores de biomassa seca das folhas (BSF), do caule (BSC), da parte aérea (BSPA) e da raiz (BSR) somente foram influenciados pela disponibilidade de água no substrato (Tabela 6).

A maior umidade no substrato (90 % da CC) proporcionou incremento médio de 42,12; 36,24; 54,00 e 40,08 % nos valores das variáveis BSF, BSC, BSR e BSPA, respectivamente, em relação ao tratamento com menor umidade (75 % da CC). Esse incremento pode ser explicado pelo fato da maioria dos nutrientes serem absorvidos por fluxo de massa e pela maior disponibilidade de água no sistema (NOVAIS et al., 2007).



**Figura 2** – Diâmetro do caule em clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função dos níveis de substituição de K por Na. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 3** – Área foliar de clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função dos teores de água no substrato. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Embora não se tenha se observado resposta nas variáveis associadas às biomassas avaliadas em resposta à substituição de K por Na, aumento significativo para essas variáveis tem sido verificados na literatura com maiores níveis de substituição de K por Na. Resultados assim foram obtidos por BALIZA et al. (2010) para a cultura do café e BAON et al. (2003) e ERWIYONO et al. (2002), para a cultura do cacau. Em pesquisa com *Eucalyptus grandis*, Romero (2008) obteve resposta negativa com a substituição de metade do K pelo Na para biomassa seca, com redução de 39 % no compartimento folha, 28 % no caule e 13 % na raiz.

**Tabela 6** – Biomassa seca: das folhas (BSF), do caule (BSC), das raízes (BSR) e da parte aérea (BSPA) e razão parte aérea/raiz (RPAR), em função dos diferentes teores de água do substrato, das doses de adubação potássica e dos níveis de substituição parcial de K por Na em clones PH16 de *Theobroma cacao* L. cultivados na região sul da Bahia

UMIDADE (%)	K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	SUBST. K/Na (%)	BSF (g)	BSC (g)	BSR (g)	BSPA (g)	RPAR
75	2,5	0	40,35 b	21,63 b	24,39 b	61,98 b	2,54 a
		20	41,98 b	21,84 b	25,15 b	63,82 b	2,54 a
		40	42,22 b	23,05 b	25,86 b	65,27 b	2,52 a
	4,0	0	39,30 b	21,19 b	24,45 b	60,49 b	2,47 a
		20	40,95 b	21,41 b	24,79 b	62,36 b	2,51 a
		40	42,10 b	22,66 b	26,43 b	64,76 b	2,45 a
90	2,5	0	52,49 a	26,54 a	37,60 a	79,03 a	2,10 a
		20	56,76 a	29,08 a	37,12 a	85,84 a	2,31 a
		40	59,38 a	29,42 a	38,65 a	88,80 a	2,30 a
	4,0	0	57,93 a	30,01 a	38,16 a	87,94 a	2,30 a
		20	60,69 a	31,14 a	38,26 a	91,83 a	2,40 a
		40	63,66 a	33,36 a	42,86 a	97,02 a	2,26 a

OBS: Letras minúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

A relação parte aérea:raiz (Tabela 6) não foi afetada pelos tratamentos impostos. Mesmo havendo efeito da disponibilidade de água sobre as variáveis BSPA e BSR, a relação dessas variáveis não foi alterada, uma vez que o aumento da disponibilidade de água aumentou a produção na parte aérea e raiz, mas manteve a relação praticamente estável.

### 3.2. Nutrição mineral

Os teores de micronutrientes na folha diagnóstico e os conteúdos obtidos na parte aérea não foram afetados pelos tratamentos impostos (Tabela 7) .

Com relação aos macronutrientes na folha diagnóstico e conteúdo na parte aérea, apenas para o P não se verificou influência dos tratamentos. O teor foliar de K (Figura 4) foi alterado ( $p < 0,05$ ) pelos diferentes níveis de substituição de K por Na e pela umidade. O teor do elemento reduziu em 10,12 % e 15,92 % em comparação ao controle, em resposta à redução da adição de K pelo aumento da substituição de 20 para 40 %, respectivamente.

**Tabela 7** – Teores foliares mínimo, médio e máximo de macro e micronutriente na folha diagnóstico, e conteúdos na parte aérea mínimo, médio e máximo de mudas clonais PH16 de *Theobroma cacao* L. cultivada no sul da Bahia

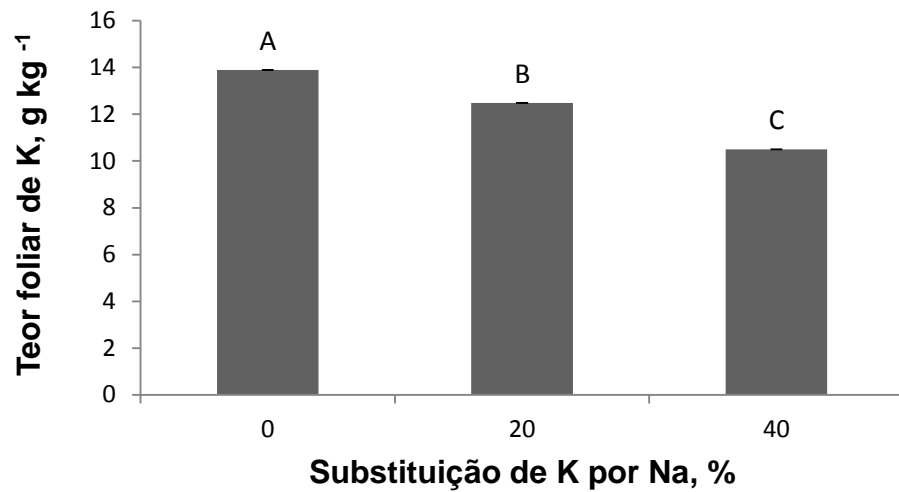
NUTRIENTES	TEOR <sup>1</sup>				CONTEÚDO <sup>2</sup>			
	mínimo	médio	máximo	CV <sup>3</sup>	mínimo	médio	máximo	CV <sup>3</sup>
N	17,12	32,95	49,57	6,71	0,91	2,09	3,94	21,19
P	1,04	1,34	1,73	13,70	0,06	0,10	0,16	25,80
K	9,00	12,29	14,90	8,47	0,49	0,87	1,47	22,30
Na	0,50	1,11	1,90	19,95	0,04	0,08	0,18	25,50
Ca	3,98	6,55	8,98	12,46	0,25	0,54	0,97	20,15
Mg	1,98	3,49	5,01	19,40	0,14	0,28	0,46	18,82
Fe	32,55	62,62	97,48	11,03	3,09	5,41	8,40	20,12
Zn	17,25	23,91	42,90	20,77	1,30	2,00	3,66	24,74
Mn	133,40	237,53	392,40	27,70	6,07	15,80	28,72	27,54

1- Teores foliares de macronutrientes expressos em  $\text{g kg}^{-1}$  e micronutrientes em  $\text{mg kg}^{-1}$ .

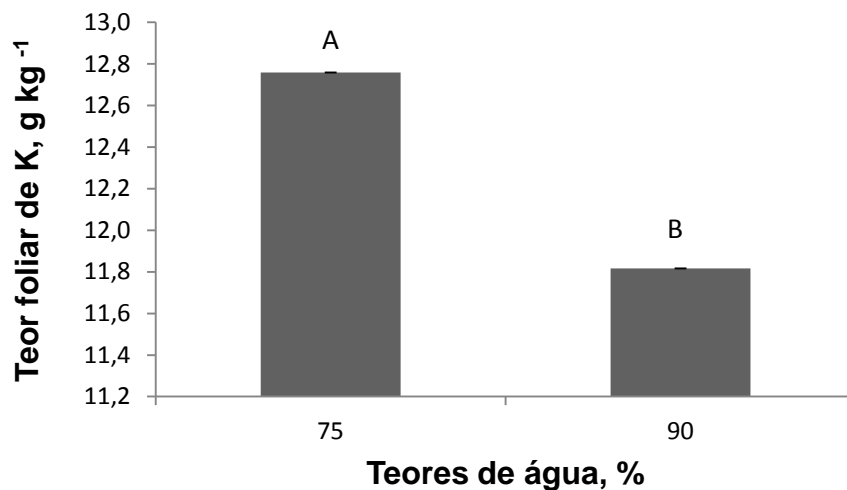
2- Conteúdos na parte aérea de macronutrientes expressos em  $\text{g vaso}^{-1}$  e micronutrientes em  $\text{mg vaso}^{-1}$ .

3- Coeficiente de variação (CV) expresso em %.

O aumento da disponibilidade de água no substrato reduziu os teores de K na folha (Figura 5). Essa diminuição no teor pode ser associada ao efeito de diluição, dado o aumento de matéria seca promovida pela maior umidade no substrato (Tabela 6).



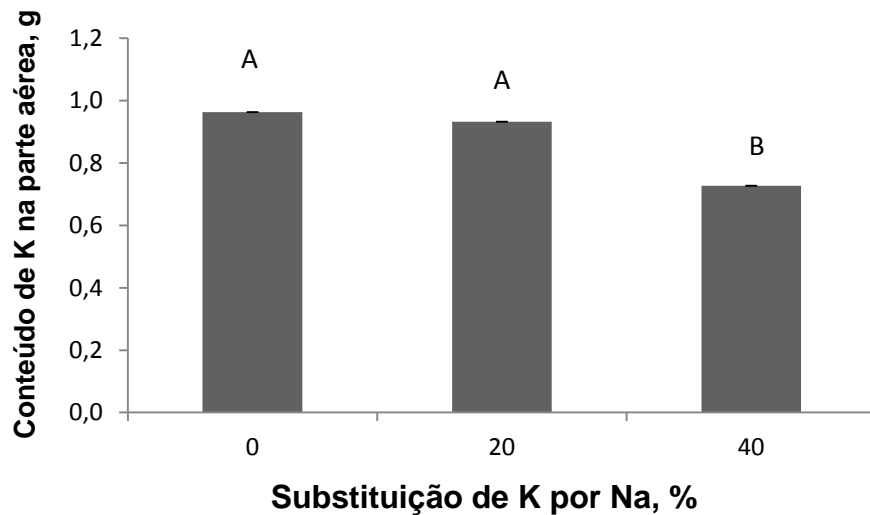
**Figura 4** – Teor foliar de K em clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função dos níveis de substituição de K por Na. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 5** – Teor foliar de K em clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função dos teores de água no substrato. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

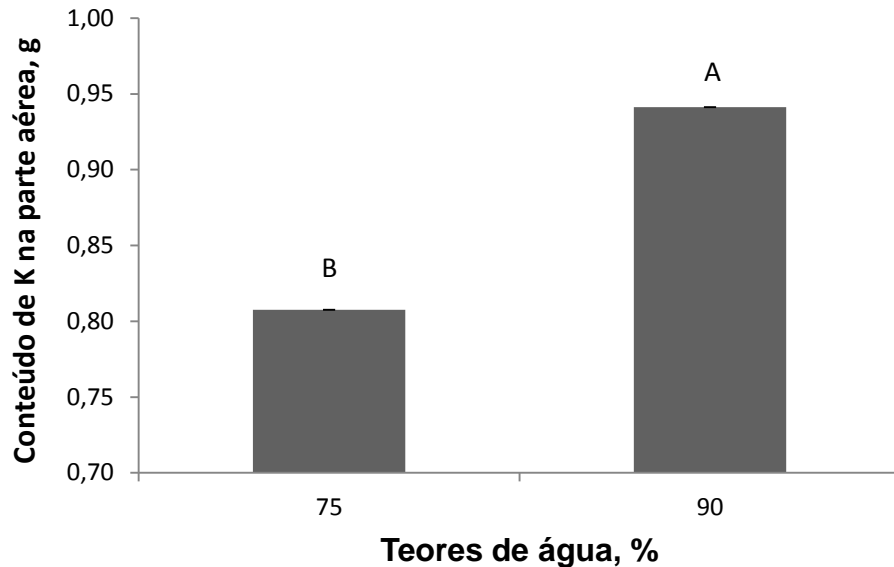
A substituição de 20 % de K por Na na adubação não afetou o conteúdo de K na parte aérea (Figura 6). Por sua vez, quando a substituição foi de 40 %, os conteúdos de K foram reduzidos em 22 %.

O conteúdo de K na parte aérea foi incrementado de 0,81 para 0,94 g com o aumento da disponibilidade de água de 75 para 90 % da CC, respectivamente (Figura 7). Esse aumento é relacionado à maior produção de matéria seca na parte aérea quando mais água foi disponibilizada para as plantas (Tabela 6).



**Figura 6** – Conteúdo de K na parte aérea de clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função dos níveis de substituição de K por Na. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Normalmente considera-se que, com o aumento da absorção de K e consequente redução da absorção de Na, o K contribua para manter a relação K/Na alta na planta, como constatado em plantas de pimentão (RUBIO et al., 2003) e espinafre (CHOW et al., 1990). Na maioria dos casos, genótipos tolerantes à salinidade são capazes de manter altas relações K/Na nos tecidos (MANSOUR, 2003; ZENG et al., 2003). Resultados apresentados por Tabatabaei; Fakhrzad, (2008) indicam haver aumento na relação K/Na em folhas de azevém somente quando compararam plantas que receberam nitrato de potássio com plantas que não receberam (condição de deficiência em K); já na presença de doses crescentes desse fertilizante, não houve aumento da K/Na nas folhas do azevém, corroborando com a afirmação de Rhoades et al. (2000).



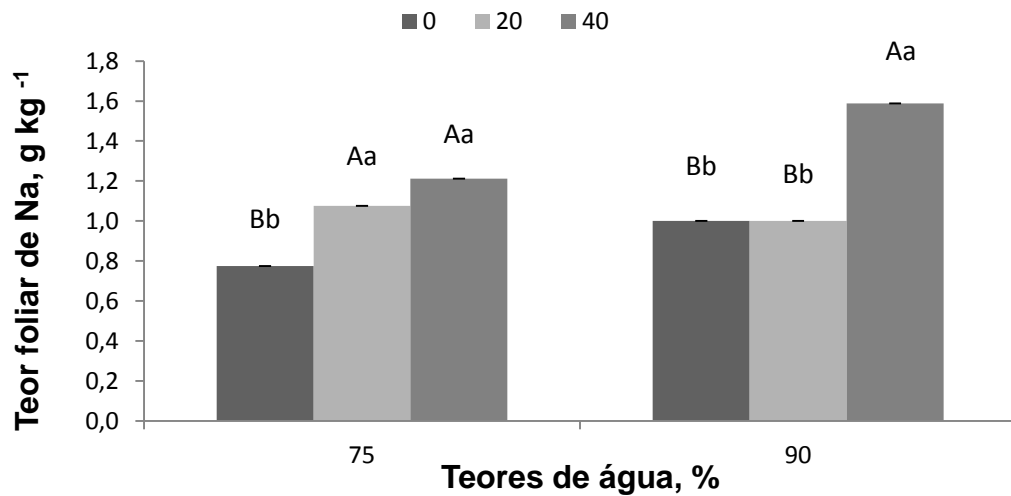
**Figura 7** – Conteúdo de K na parte aérea de clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função dos teores de água no substrato. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

O cacau é uma espécie pertencente ao grupo I da classificação de Korndorffer (2006), que corresponde a culturas que, na presença de Na, apresentam aumento de produtividade e, conseqüentemente, no conteúdo.

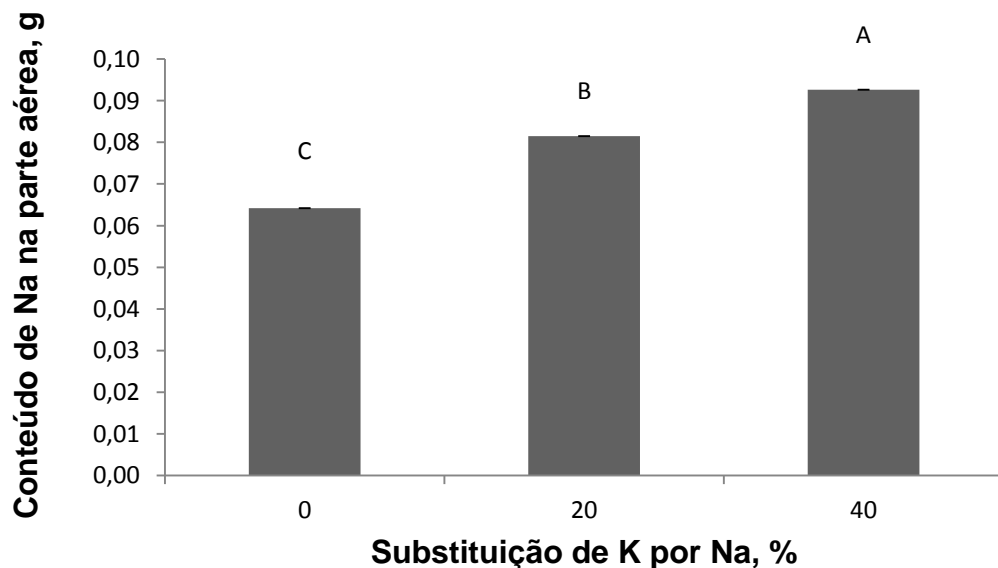
Os teores foliares de Na foram afetados pelos teores de água no substrato e pela substituição do K pelo Na (Figura 8). Nos dois conteúdos de água no substrato, verificou-se incremento do teor de Na nas folhas em resposta ao aumento da substituição.

Como esperado, o aumento da substituição do K por Na também promoveu o incremento do conteúdo de Na na parte aérea (Figura 9), em contraste ao que ocorreu com o K (Figura 6). O efeito antagônico do Na sobre o K é um processo bastante evidenciado nos estudos com salinidade, sugerindo competição entre esses dois íons (FREIRE et al., 2010). Gattward et al. (2012), Identificaram aumento linear do teor foliar de Na em *T. cacao*, clone PH-16, na dose correspondente a  $4,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de K quando a substituição de K por Na foi até 50 %, ao passo que, na dose  $2,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$  de K, o teor de Na aumentou a até a substituição de 40 %. No entanto, Baon et al. (2003), em pesquisa com cacau, e Baliza et al. (2010), em

experimento com café, observaram que a elevação nos teores de Na na folha somente ocorreu quando se substituiu 100 % do K pelo Na.



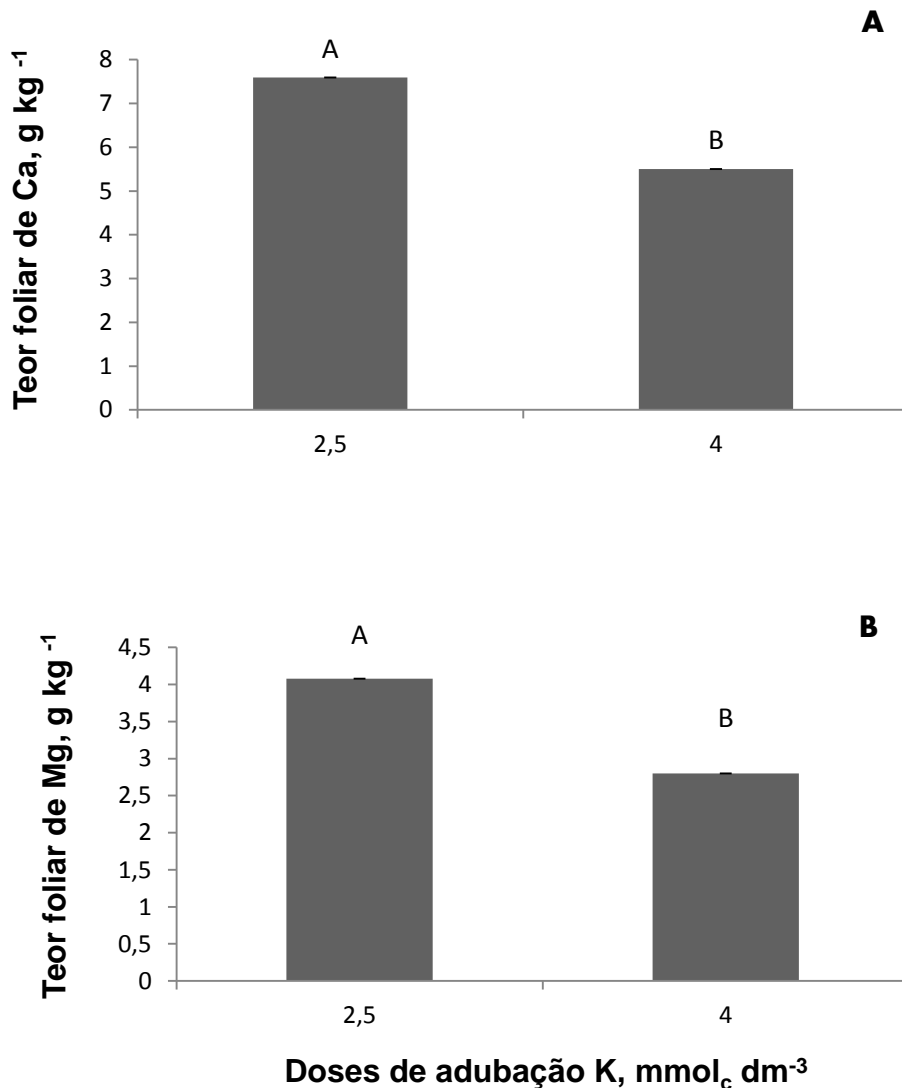
**Figura 8** – Teor foliar de Na em clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função da interação entre teores de água no substrato e os níveis de substituição de K por Na. Letras maiúsculas indicam comparação entre os teores de água e as minúsculas entre os níveis de substituição de K por Na pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



**Figura 9** – Conteúdo de Na na parte aérea de clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função dos níveis de substituição de K por Na. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).



A substituição de K por Na de até 40 % não alterou os teores de Ca e Mg na folha diagnóstico. Esses teores apenas foram alterados com as doses de adubação potássica (Figura 10). A menor dose de adubação com K proporcionou maiores teores foliares de Ca e Mg. Resultados semelhantes foram encontrados por Gattward et al. (2012). Esse resultado pode ser associado ao fato de o excesso de K prejudicar a absorção de Ca e Mg.



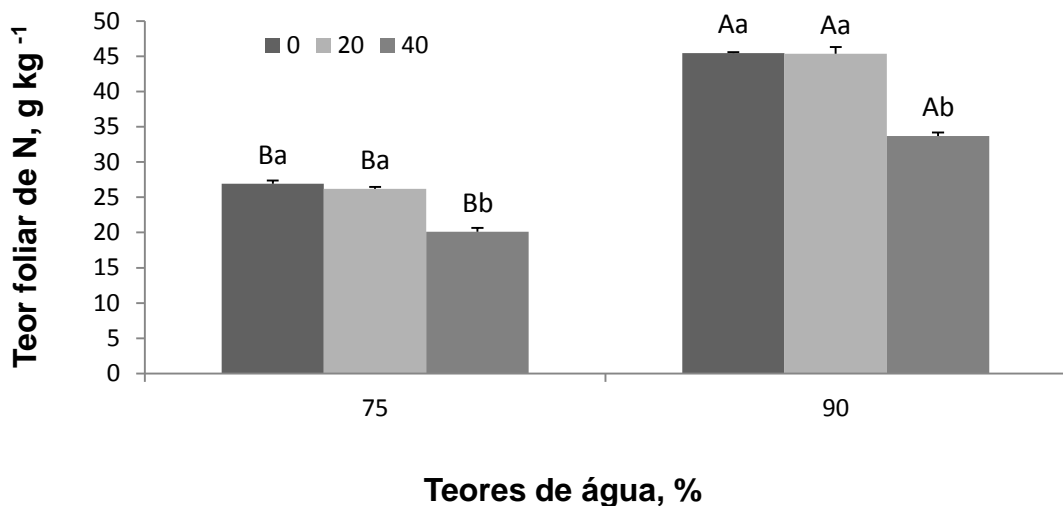
**Figura 10** – Teor foliar de Ca (A) e Mg (B) de clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função das doses de adubação potássica. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

Embora a análise química inicial do substrato tenha apresentado uma relação Ca:Mg muito baixa, a correção feita quando da implantação do experimento proporcionou uma relação de 2:1 desses teores foliares (Figura 10). Desta forma,

considera-se estar dentro da faixa de suficiência para estes nutrientes, como proposto por Souza Júnior et al. (2012) para a cultura do cacau.

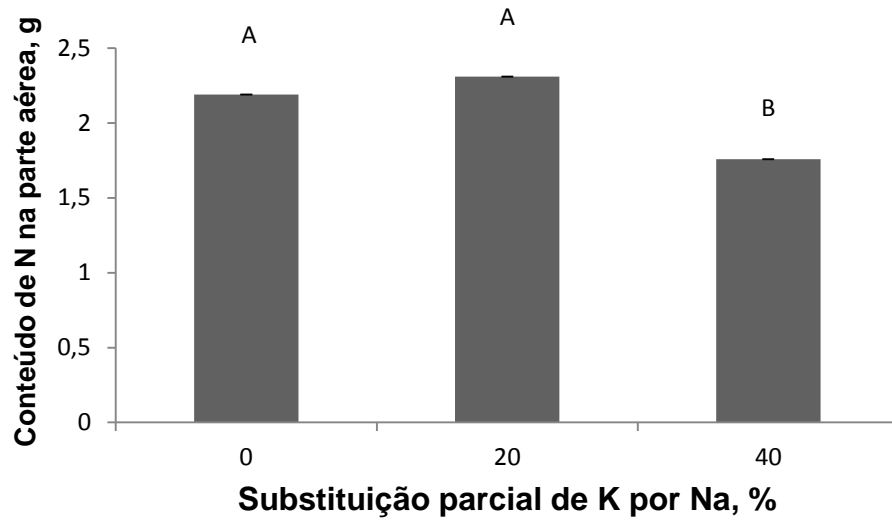
Os teores foliares de N no cacau foram influenciados pelos teores de água no substrato e pelos níveis de substituição de K por Na (Figura 11). Maiores teores do elemento foram verificados na maior disponibilidade de água no substrato (90 % da CC), o que pode ser associado ao fato de o N ser absorvido por fluxo de massa.

Independente do teor de umidade, a substituição parcial de 40 % do K pelo Na provocou a redução dos teores foliares de N. Pessarakli; Tucker (1988) verificaram não haver efeito sobre a absorção de N pelo tomateiro sob baixas concentrações de NaCl em solução nutritiva, no entanto, é reduzida em 70 % sob altos níveis de salinidade. No presente estudo, a redução dos teores de N foi, em média, 24 % com a maior taxa avaliada de substituição do K pelo Na. Phills et al. (1979), ao estudar a relação  $\text{NO}_3/\text{Cl}$ , registraram que o aumento na concentração de NaCl na solução nutritiva promove redução nos teores foliares de  $\text{NO}_3$  em plantas de tomate, não observando efeito sobre os teores de K, apesar do aumento dos teores de Na nas folhas.



**Figura 11** – Teor foliar de N de clones PH16 de *Theobroma cacao* L., na região sul da Bahia em função da interação entre teores de água no substrato e os níveis de substituição de K por Na. Letras maiúsculas indicam comparação entre os teores de água e as minúsculas entre os níveis de substituição de K por Na pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O conteúdo de N na parte aérea somente foi afetado com a maior taxa substituição de K por Na (Figura 12). A substituição de 20 % não proporcionou alteração no conteúdo do elemento em comparação com o tratamento controle.



**Figura 12** – Conteúdo de N na parte aérea de clones PH16 de *Theobroma cacao* L. na região sul da Bahia em função dos níveis de substituição de K por Na. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4. CONCLUSÕES

O Na substitui, parcialmente, o K na nutrição de mudas de cacau, e constitui uma estratégia para diminuir as doses dos fertilizantes potássicos aplicados, portanto, a espécie *T. cacao*, clone PH-16, pode ser integrada ao grupo de plantas que utilizam parcialmente o Na em substituição ao K.

A substituição parcial do K pelo Na até o nível de 40 % não interferiu nas variáveis biométricas, exceto pela redução do diâmetro do caule.

As proporções de substituição do potássio pelo sódio pouco interferem nos teores foliares de nutrientes em mudas de cacau, à exceção do K, Na e N.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIME, M.C.; PHILLIPS-MORA, W. The causal agents of witches' broom and frosty pod rot of cacao (chocolate, *Theobroma cacao*) form a new lineage of Marasmiaceae. **Mycologia**. v.97, p.1012-1022, 2005.
- ALMEIDA, A-A. F.; BRITO, R. C. T.; AGUILAR, M. A. G.; VALLE, R. R. Water relations aspects of *Theobroma cacao* L. clones. **Agrotrópica**. v. 14, n. 2, p. 35-44, 2003.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology** v. 14, p. 371–375, 1939.
- BALIZA, D. P.; ÁVILA, F. W.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, R. J.; PASSOS, A. M. A.; PEREIRA, V. A. Crescimento e nutrição de mudas de cafeeiro influenciadas pela substituição do potássio pelo sódio. **Coffee Science**, [S.l.], v. 5, n. 3, p. 272-282, mar. 2011.
- BAON, J.B.; S. ABDOELLAH; NURKHOLIS; SUGIYONO and SRI WINARSIH. Produksi tanaman kakao dan status hara tanaman maupun tanah akibat penggantian sebagai pupuk kalium klorida. **Pelita Perkebunan** 19, 67–77. 2003.
- CABALA-ROSAND, F. P; PRADO, E. P.; MIRANDA, E. R.; SANTANA, C. J. L. Efeito da remoção de sombra e da aplicação de fertilizantes sobre a produção do cacau na Bahia. Centro de Pesquisa do Cacau. **Revista Theobroma** , v.1, n.4, p.43-57, 1971.
- CABALA-ROSAND, F. P; MIRANDA, E. R.; PRADO, E. P. Efeito da remoção da sombra e da aplicação de fertilizantes sobre a produção do cacau na Bahia. **Cacao** , v.15, p.43-57, 1970.
- CANTARUTTI, R.B.; DECHEN, A.R.; NACHTIGAL, G.R. Elementos requeridos a nutrição de plantas In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; NEVES, J.C.L.; (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007.
- CHOW, W.S.; BALL, M.C.; ANDERSON, J.M. Growth and photosynthetic responses of spinach to salinity: implications of K<sup>+</sup> nutrition for salt tolerance. **Australian Journal of Plant Physiology**. v. 17. p. 563-578, 1990.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agro-pecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 370p. 2011.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas**: Princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, 2005.
- ERWIYONO, R.; U. KASPANI; N. SULISTYANINGSIH; G. SUKARNO and J.B. BAON. Dampak jangka panjang pemupukan NaCl sebagai pengganti KCl pada kakao terhadap sifat fisik tanah dan perakaran. **Pelita Perkebunan** 18, 22–30. 2002.
- FREIRE L. M. S., BICUDO T. C., ROSENHAIM R., SINFONIO F. S. M., BOTELHO J. R., FILHO J. R. C., SANTOS I. M. G., FERNANDES V. J., FILHO N. R. A., SOUZA A. G. Thermal Investigation of Oil and Biodiesel from *Jatropha Curcas* L. **J thermo Anal Calorim**. DOI 10.1007/s10973-009-0055-y. 2010.

INOCÊNCIO M. F.; CARVALHO J. G. conteúdo de macronutrientes em mudas de enterolobium contortisiliquum e sesbania virgata em diferentes soluções nutritivas. XIX Congresso de pós-graduação da ufla. 2010.

KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES, V. A.; CORRÊA, G. F.; SNYDER, G. H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira Ciência Solo**. v. 23, p. 635-41, 2006.

LEITE, M. S. B. Análise-diagnóstico do manejo e da percepção de produtores rurais sobre o uso da cal hidratada no cacauero. **Monografia** do curso de Engenharia Agrônômica. Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC, Ilhéus, Bahia, 2010.

LEITE, J. B. V., SODRÉ, G. A. Cultivo Intensivo do Cacauero no Brasil. In: CD-ROM III Congresso Brasileiro do Cacau (Palestra). Ilhéus, Bahia, Brasil. CEPLAC, 2012.

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

MALAVOLTA, E.; CRUZ, V. F. A meaning for foliar diagnosis. In: SAMISH, R. M. (Ed.). Recent advances in plant nutrition. **New York: Gordon & Breach Science**. 1971.

MANSOUR, M.M.F. Transport proteins and salt tolerance in plants. **Plant Science**. v.164, p.891–900, 2003.

MARSCHNER, H.; KYLIN, A.; KUIPER, P. J. C. Differences in salt tolerance of three sugar beet genotypes. **Physiol. Plant**. 51:234–238. 1988.

MENEZES, S.; CARMO NETO, D. A Modernização do agribusiness do cacau. Salvador: CARGILL, p. 180, 1993 p.

MORAIS, F.I.; SANTANA, M.B.M e SANTANA, C.J.L. Nutrição mineral e adubação do cacauero. Ilhéus, CEPLAC, **Boletim técnico**. 1981.

NICOLELLA, G; CAMPOS, H. & CABALA-ROSAND P. O emprego da superfície de resposta na interpretação de experimentos de adubação na cultura do cacau na Bahia. **Revista Theobroma**. Itabuna, v.13, n.1, p. 1-13, 1983.

PEREIRA, J. L.; RAM A.; FIGUEIREDO, J.M.; ALMEIDA, L.C. Primeira ocorrência da vassoura-de-bruxa na principal região produtora de cacau do Brasil. **Agrotrópica**, Ilhéus, Bahia, 1:70-81. 1989.

PESSARAKLI, M.; TUCKER, T.C. Uptake of Nitrogen-15 by cotton under salt stress. **Soil Sci Soc Am J** 49:149–152 1985.

PHILLS, B.R.; PECK, N.H.; MACDONALD, G.E.; ROBINSON, R.W. Differential response of Lycopersicon and Solanum species to salinity. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. v.104, n.3, p.349-352, 1979.

PY, C.; LACOEUILHE. J. J.; TEISON, C. The pine- apple, cultivation and uses. Paris:GP **Maisonneuve et Larose**, 1987.

RADFORD, R. J. Growth analysis formula their use and abuse. **Crop Scien**. V. 7, p. 171-175, 1967.

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB, 117 p. Estudos FAO Irrigação e Drenagem. 2000.

ROMERO, R. R. Respostas fisiológicas de plantas de *Eucalyptus grandis* à adubação com potássio ou sódio. 56 f. **Dissertação** (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008.

RUBIO, F., GASSMANN, W.; SCHROEDER, J. I. Sodium-driven potassium uptake by the plant potassium transporter HKT1 and mutations conferring salt tolerance. **Science** 270: 1660–1663. 2003.

SOUZA JÚNIOR, J.O.; MENEZES, A.A.; SODRÉ, G.A.; GATTWARD, J.N.; DANTAS, P.A.; CRUZ NETO, R.O. Diagnóstico foliar da cultura do cacau. In: PRADO, R.M. Nutrição de plantas: Diagnóstico foliar em frutíferas. Jaboticabal: FCVA, p. 443-476. 2012.

TABATABAEI, S.J.; FAKHRZAD, F. Foliar and soil application of potassium nitrate affects the tolerance of salinity and canopy growth of perennial ryegrass (*Lolium perenne* var Boulevard). **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v.3, n.3, p.544-550, 2008.

ZENG, L., POSS, J., WILSON, C., DRAZ, A. S. E., GRIEVE, C.M. Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by physiological characters. **Euphytica**. v.129, p.281-292, 2003.

**APÊNDICE A**



**Tabela 1A** – Distribuição de agregados de um substrato cultivado com mudas de *T. cacao* clone PH16 no sul da Bahia

UMIDADE (%)	K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	SUBST. K/Na (%)	DISTRIBUIÇÃO DE AGREGADOS (%)					
			4,76-2,00 mm	2,00-1,00 mm	1,00-0,50 mm	0,50-0,25 mm	< 0,25 mm	
75	2,5	0	24,67	5,48	13,91	21,32	34,62	
		20	24,54	4,48	6,15	18,22	46,61	
		40	24,02	4,32	15,14	17,79	38,73	
	4	0	17,88	4,57	14,42	23,44	39,69	
		20	25,77	3,88	6,20	18,75	45,39	
		40	21,43	6,96	17,44	14,04	40,13	
	90	2,5	0	20,23	4,90	10,02	20,28	44,57
			20	22,45	3,52	11,58	23,47	38,97
			40	23,72	3,78	6,15	17,52	48,83
4		0	21,65	4,63	9,87	16,88	46,96	
		20	23,74	6,66	12,15	19,79	37,66	
		40	22,34	3,46	7,07	21,86	45,27	

**Tabela 2A** – Teores foliares de nutrientes em mudas de *T. cacao* clone PH16 cultivadas em substrato no sul da Bahia

UMIDADE (%)	K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	SUBST. K/Na (%)	TEOR								
			N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn
75	2,5	0	35,39	1,42	14,57	6,56	3,28	0,82	60,81	20,61	183,42
		20	35,72	1,31	14,21	6,84	3,49	0,77	59,09	24,91	283,82
		40	36,33	1,36	13,62	6,45	3,50	0,92	63,73	29,08	246,97
	4	0	33,29	1,42	12,77	6,15	3,03	1,07	60,75	20,96	225,25
		20	36,61	1,45	12,25	5,89	3,41	0,91	60,36	28,46	273,01
		40	25,93	1,27	10,27	7,36	4,03	1,32	63,20	21,91	191,71
90	2,5	0	37,23	1,45	13,15	6,60	3,76	1,02	62,82	26,63	209,16
		20	36,99	1,10	12,52	6,47	3,19	1,11	69,70	22,11	254,86
		40	36,19	1,29	12,37	6,54	3,31	1,07	58,59	22,91	251,28
	4	0	27,13	1,35	10,95	6,71	3,57	1,42	68,41	21,31	198,25
		20	26,80	1,36	10,65	6,43	3,49	1,41	60,51	22,46	285,07
		40	27,76	1,32	10,11	6,50	3,16	1,45	63,50	25,58	247,53

OBS: Macronutrientes expressos em g kg<sup>-1</sup> e micronutrientes expressos em mg kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 3A** – Conteúdo de nutrientes na parte aérea de mudas de *T. cacao* cultivadas em substrato no sul da Bahia

UMIDADE (%)	K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	SUBST. K/Na (%)	CONTEÚDO								
			N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Zn	Mn
75	2,5	0	2,42	0,09	1,05	0,59	0,29	0,06	5,02	2,06	17,72
		20	1,90	0,09	0,82	0,48	0,24	0,05	4,98	1,82	16,44
		40	2,06	0,09	0,94	0,49	0,28	0,07	5,40	1,87	13,32
	4	0	2,03	0,09	0,88	0,52	0,28	0,08	5,35	1,75	16,62
		20	2,59	0,11	1,02	0,61	0,32	0,09	5,68	2,56	18,72
		40	1,44	0,08	0,63	0,45	0,26	0,07	4,41	1,75	13,62
90	2,5	0	2,38	0,12	1,04	0,59	0,30	0,08	5,75	2,50	15,07
		20	2,54	0,11	0,96	0,57	0,29	0,08	5,72	1,95	15,61
		40	2,08	0,09	0,86	0,50	0,26	0,08	5,85	1,85	14,12
	4	0	1,76	0,10	0,70	0,53	0,26	0,09	5,47	1,73	14,96
		20	1,76	0,08	0,73	0,51	0,27	0,10	5,08	1,83	15,28
		40	2,09	0,14	0,85	0,66	0,33	0,11	6,21	2,36	18,17

OBS: Macronutrientes expressos em g e micronutrientes expressos em mg.