

## Produção de biomassa seca e teor de nutrientes do milho em resposta a doses e localização de osmocote em amostras de latossolo vermelho-escuro e areia quartzosa

Maria do Carmo Lana Braccini<sup>1</sup>, Alessandro de Lucca e Braccini<sup>2\*</sup>, José Marcos Foloni<sup>1</sup> e José Ribamar Torres da Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H. Rolfs, s.n., 36571-000, Viçosa-Minas Gerais, Brazil.

<sup>2</sup>Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá-Paraná, Brazil.

<sup>3</sup>Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H. Rolfs, s.n., 36571-000. Viçosa-Minas Gerais, Brazil.

\*Author for correspondence. E-mail: albraccini@uol.com.br

**RESUMO.** Foi conduzido um experimento, em casa de vegetação, com o objetivo de avaliar o efeito de três fontes de NPK: osmocote (18-6-12), NPK sólido e NPK líquido, bem como comparar o comportamento do osmocote quanto à liberação de nutrientes em dois solos de texturas diferentes e avaliar a produção de biomassa seca e teores de nutrientes em resposta a diferentes doses e localizações de osmocote. O arranjo dos tratamentos foi obtido pela matriz baconiana e consistiu das combinações de doses, fontes e localizações dos adubos nos solos latossolo vermelho-escuro e areia quartzosa. Após quarenta dias de cultivo avaliaram-se a produção de biomassa seca de plantas de milho, teores e conteúdos de N, P e K e os teores de P e K no solo. Observaram-se maiores teores de P e de K disponíveis no solo arenoso, enquanto a maior produção de biomassa seca foi obtida no solo argiloso. Com o uso do osmocote foi necessária a aplicação de uma dose adicional de P, uma vez que a concentração deste nutriente era baixa ou a liberação não foi rápida o suficiente para atender ao requerimento da planta, durante o período de cultivo avaliado.

**Palavras-chave:** milho, osmocote, fertilizante, solos.

**ABSTRACT.** Dry biomass production and nutrient content in maize in response to dose and localization of osmocote in samples of dark-red latosol and quartz-sand.

An experiment was carried out in green house with the purpose to evaluate the effect of three NPK sources: osmocote (18-6-12), solid NPK and liquid NPK, as well as to compare the behaviour of osmocote in relation to nutrient release in two soils with different texture and to evaluate the dry biomass production and nutrient content in response to different doses and localizations of osmocote. The treatment arrangements were obtained by Baconian matrix and consisted of the combination of doses, sources and localization of fertilizers in red-dark latosol and quartz-sand. After forty days of sowing maize dry biomass production and NPK content of plants, as well as P and K content in soil were evaluated. A greater P and K tenor available in the sand soil was observed, while a larger dry biomass production was obtained in the clay soil. With osmocote use P additional dose was necessary, since this nutrient concentration is small or the release was not so fast to attend the requirement of maize plants during the evaluated sowing period.

**Key words:** maize, osmocote, fertilizer, soil.

A produção agrícola depende, dentre outros fatores, da disponibilidade de nutrientes de forma equilibrada durante o ciclo das culturas. Este é um dos problemas enfrentados pela ciência agrônoma, já que grande parte dos nutrientes é aplicada no momento do plantio. Tal fato se agrava, principalmente, em solos tropicais, que têm como

mineralogia dominante os óxidos de ferro e alumínio, o que leva a uma baixa CTC e elevada adsorção de fósforo.

Tem sido estimada que a porcentagem dos fertilizantes aplicados recuperada pelas plantas, quando aplicada de forma convencional, corresponde somente a 30-50%, enquanto a

lixiviação de nutrientes pode contribuir significativamente para poluição dos afluentes (Prasad *et al.*, 1971). Trabalho realizado por Peer (1995), em viveiro comercial, mostra o potencial dos fertilizantes de liberação controlada em reduzir a poluição do meio ambiente. A utilização de osmocote plus (10-11-18 + micronutrientes) representou redução de 66% na quantidade total de fertilizante utilizada, em relação ao sistema de fertilização convencional, ou seja, adubação do substrato mais NPK dissolvido na água de irrigação.

A adubação nitrogenada constitui-se num desafio à pesquisa, dada a dinâmica deste nutriente no sistema solo-planta, o que leva a inúmeras perdas dificultando uma avaliação mais precisa de sua disponibilidade durante o ciclo da cultura. A eficiência de recuperação do N aplicado nem sempre atinge 20-30% (Oertli e Lunt, 1962). Várias tentativas têm sido desenvolvidas para melhorar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados. O uso de revestimentos com vários materiais pode reduzir a taxa de liberação de N da uréia e do sulfato de amônio. Suri e Datta (1995) obtiveram acréscimo de 47% na produção de biomassa seca de milho com a utilização de uréia revestida com óleo de linhaça, em relação ao controle.

Fertilizantes de liberação lenta podem ser divididos em: compostos orgânicos biodegradáveis, compostos de baixa solubilidade que liberam nutrientes pela baixa dissolução e/ou hidrólise e fertilizantes solúveis revestidos com membrana de resina orgânica semipermeável (Sharma e Patel, 1978). Uréia coberta com enxofre, uréia revestida com polietileno, superfosfato revestido, agriform e osmocote são alguns exemplos de fertilizantes de liberação controlada.

O osmocote é um fertilizante NPK, disponível em várias formulações, que apresenta taxa de liberação de nutrientes variando de 3 a 18 meses, dependendo da espessura da resina. A água do solo penetra na resina e dissolve os nutrientes que são gradualmente liberados no solo. De acordo com Oertli e Lunt (1962) e Boon (1981) a taxa de transferência de nutrientes do grânulo para o meio externo é influenciada pela espessura da membrana de revestimento e pela temperatura, mas não é

significativamente influenciada pelo pH e pela atividade microbiológica.

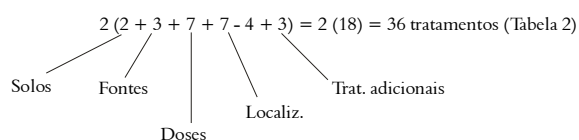
Fertilizantes revestidos podem aumentar a eficiência de recuperação dos nutrientes pelas plantas e reduzir a possibilidade de que o excesso de sais solúveis causem danos às sementes (Oertli e Lunt, 1962; Lunt e Oertli, 1962; Penningsfeld, 1975). Possuem, também, a propriedade de regular a disponibilidade de nutrientes, reduzir perdas por lixiviação, fornecer um equilíbrio no suprimento de nutrientes e possível redução na extensão ou velocidade de fixação de nutrientes como K e P (Boon, 1981; Chatzoudis e Valkanas, 1995).

Objetivou-se, neste trabalho, estudar o efeito do osmocote como fonte de N, P e K para plantas de milho, em comparação com os fertilizantes aplicados nas formas sólida e líquida em dois solos com diferentes texturas.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando amostras de um latossolo vermelho-escuro argiloso (LE) e de uma areia quartzosa (AQ), cujas características físicas e químicas se encontram na Tabela 1: análise textural (método da pipeta; Embrapa, 1979); pH; fósforo, potássio (extrator Mehlich-1); cálcio, magnésio e alumínio (extrator KCl 1 mol/L; EMBRAPA, 1979); acidez potencial (extrator  $\text{Ca}(\text{OAc})_2$  0,5 mol/L pH 7,0). As unidades experimentais consistiram de vasos com capacidade de 1,8dm<sup>3</sup> de solo, contendo três plantas de milho, dispostos em um delineamento de blocos casualizados com três repetições.

Após correção da acidez do solo foram aplicados os tratamentos que consistiram de quatro fatores em estudo, cujo arranjo foi obtido pela Matriz Baconiana 2 (n - k + 3), sendo n o somatório dos níveis e k o número de fatores em estudo (Alvarez V., 1994). De modo esquemático temos o arranjo dos tratamentos na matriz assim representado:



**Tabela 1.** Caracterização física e química dos solos estudados

| Solo | Argila | pH (H <sub>2</sub> O) | P                        | K  | Al  | Ca  | Mg  | (H+Al)               | SB   | CTC         | V  | m  |
|------|--------|-----------------------|--------------------------|----|-----|-----|-----|----------------------|------|-------------|----|----|
|      | %      |                       | -- mg/dm <sup>3</sup> -- |    |     |     |     | cmol/dm <sup>3</sup> |      | Efet. Total |    |    |
| AQ   | 1,3    | 4,7                   | 2,1                      | 18 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 3,6                  | 0,36 | 0,66        | 9  | 45 |
| LE   | 76     | 4,6                   | 3,0                      | 28 | 0,9 | 1,8 | 0,2 | 11,1                 | 2,06 | 2,96        | 16 | 30 |

O primeiro fator em estudo foi a fonte de NPK (18-6-12), utilizando-se osmocote, NPK sólido e NPK líquido. As formulações sólida e líquida foram aplicadas como  $K_2HPO_4$ , KCl e  $NH_4NO_3$ . A formulação de osmocote testada contém 18% de N, 6% de  $P_2O_5$  e 12% de  $K_2O$ , com liberação prevista de 3-6 meses. O segundo fator foi constituído pelas doses de osmocote (0; 0,5; 1; 2; 3; 4 e 6g/dm<sup>3</sup>). Na montagem da matriz, tomou-se como referência a dose 4g/dm<sup>3</sup> de osmocote aplicada em 100% do volume do solo, combinação esta que representou o tratamento de referência. Nesta dose, foi adicionado em cada vaso o equivalente a 720mg/dm<sup>3</sup> de N, 400mg/dm<sup>3</sup> de K e 105mg/dm<sup>3</sup> de P.

As localizações de osmocote consistiram na aplicação superficial no vaso; localizado em 10% do volume do vaso no terço superior, no terço médio e no terço inferior; localizado em 50% do volume do vaso na metade superior e na metade inferior e em 100% do volume do solo contido em cada vaso. Constituiu-se em tratamento adicional a combinação dos fatores osmocote, na dose de referência aplicado em 100% do volume do solo, acrescido da dose de 1g/dm<sup>3</sup> de  $P_2O_5$  como superfosfato simples (Tabela 2).

**Tabela 2.** Arranjo dos tratamentos pela Matriz Baconiana

| Tratamento | Fonte        | Dose (g/dm <sup>3</sup> ) | Localização (%)   |
|------------|--------------|---------------------------|-------------------|
| 1 e 19     | Osmocote     | 4                         | 100               |
| 2 e 20     | NPKsólido    | 4                         | 100               |
| 3 e 21     | NPKlíquido   | 4                         | 100               |
| 4 e 22     | Osmocote     | 0                         | 100               |
| 5 e 23     | Osmocote     | 0,5                       | 100               |
| 6 e 24     | Osmocote     | 1                         | 100               |
| 7 e 25     | Osmocote     | 2                         | 100               |
| 8 e 26     | Osmocote     | 3                         | 100               |
| 9 e 27     | Osmocote     | 6                         | 100               |
| 10 e 28    | Osmocote     | 4                         | Superficial       |
| 11 e 29    | Osmocote     | 4                         | 10 - 1/3 superior |
| 12 e 30    | Osmocote     | 4                         | 10 - 1/3 Médio    |
| 13 e 31    | Osmocote     | 4                         | 10 - 1/3 Inferior |
| 14 e 32    | Osmocote     | 4                         | 50 - Superior     |
| 15 e 33    | Osmocote     | 4                         | 50 - Inferior     |
| 16 e 34    | NPKsólido    | 4                         | 10 - 1/3 superior |
| 17 e 35    | NPKlíquido   | 4                         | 10 - 1/3 superior |
| 18 e 36    | Osmocote + P | 4 + 1                     | 100               |

<sup>1</sup> Tratamentos 1 a 18 - AQ; <sup>2</sup> Tratamentos 19 a 36 - LV

Todos os vasos receberam 40mg/dm<sup>3</sup> de enxofre, na forma de  $MgSO_4$ , aplicado em solução no momento do plantio e, posteriormente, em cobertura, duas aplicações quinzenais juntamente com micronutrientes. Os vasos foram irrigados diariamente com água destilada, procurando-se manter a umidade do solo próximo da capacidade de campo. Quarenta dias após o início do cultivo, a parte aérea das plantas foi cortada a aproximadamente 0,5cm do solo. O material vegetal foi secado em estufa de circulação de ar na temperatura de 70°C, por 72 horas.

Posteriormente, procedeu-se à mineralização do material vegetal pela digestão nítrico-perclórica. Nos extratos foram determinados os teores de P por colorimetria pelo método do ácido ascórbico, e de K por fotometria de chama. N foi determinado pelo método de Kjeldahl

As amostras de solo foram retiradas no centro do vaso, da superfície para a parte inferior do mesmo, com auxílio de um trado. Posteriormente, procedem-se às análises dos teores de K e P disponíveis pelo extrator Mehlich-1.

Os dados de produção de biomassa seca, teores e conteúdos de N, P e K na parte aérea das plantas e teores de P e K no solo foram submetidos à análise de variância. Nesta, a soma de quadrados para tratamentos foi desdobrada, dentro de cada solo, em 6 graus de liberdade para a regressão e 11 para os contrastes, além daquele para comparação entre solos, totalizando 35 graus de liberdade para tratamentos.

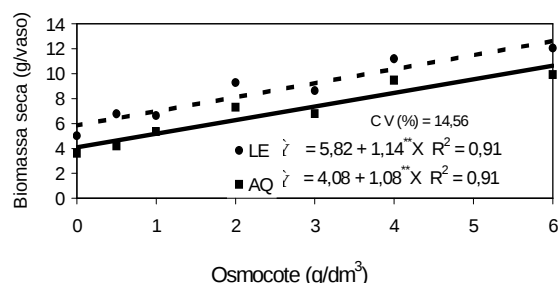
**Tabela 3.** Médias dos dados de biomassa seca (MS) da parte aérea (g/planta), teores (mg/dm<sup>3</sup>) de P (Ps) e K (Ks) no solo, teores (dag/kg) de P (Pp), K (Kp) e N (Np), e conteúdos (mg/planta) de P (CPp), K (CKp) e N (CNp) na parte aérea de plantas de milho, para o solo latossolo vermelho-escuro

| Trat.                    | MS   | Ps     | Ks     | Pp    | Kp   | Np   | CPp   | CKp   | CNp   |
|--------------------------|------|--------|--------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| Arcia Quartzosa          |      |        |        |       |      |      |       |       |       |
| 1                        | 3,16 | 18,43  | 114,36 | 0,191 | 4,60 | 4,02 | 4,97  | 145,0 | 125,6 |
| 2                        | 2,48 | 36,79  | 280,77 | 0,215 | 5,15 | 4,66 | 5,43  | 128,9 | 120,7 |
| 3                        | 1,66 | 35,65  | 305,76 | 0,195 | 5,22 | 4,63 | 3,11  | 85,4  | 76,8  |
| 4                        | 1,20 | 3,59   | 18,37  | 0,109 | 3,36 | 2,83 | 1,32  | 40,4  | 34,0  |
| 5                        | 1,40 | 3,68   | 33,10  | 0,113 | 3,87 | 2,89 | 1,57  | 54,1  | 40,3  |
| 6                        | 1,78 | 5,92   | 42,99  | 0,146 | 4,00 | 3,16 | 2,62  | 71,5  | 56,3  |
| 7                        | 2,43 | 8,67   | 60,79  | 0,151 | 4,54 | 3,52 | 3,71  | 111,7 | 85,9  |
| 8                        | 2,26 | 15,92  | 94,39  | 0,191 | 4,57 | 3,57 | 4,26  | 102,4 | 79,9  |
| 9                        | 3,30 | 35,54  | 184,27 | 0,245 | 5,13 | 4,08 | 8,02  | 166,7 | 135,6 |
| 10                       | 1,45 | 4,72   | 47,22  | 0,139 | 4,88 | 3,62 | 2,10  | 70,9  | 53,2  |
| 11                       | 4,35 | 23,90  | 148,84 | 0,212 | 3,89 | 3,81 | 9,09  | 168,3 | 165,5 |
| 12                       | 2,26 | 44,20  | 217,55 | 0,146 | 4,27 | 3,38 | 3,21  | 95,6  | 75,9  |
| 13                       | 1,50 | 39,90  | 187,60 | 0,106 | 4,19 | 3,68 | 1,62  | 63,6  | 55,3  |
| 14                       | 3,35 | 11,98  | 60,12  | 0,242 | 4,96 | 3,88 | 8,07  | 166,6 | 130,7 |
| 15                       | 2,43 | 17,08  | 104,78 | 0,174 | 4,54 | 3,58 | 4,26  | 111,6 | 87,0  |
| 16                       | 1,08 | 195,33 | 438,73 | 0,320 | 4,96 | 4,60 | 3,64  | 53,6  | 48,5  |
| 17                       | 0,74 | 339,72 | 302,99 | 0,240 | 4,39 | 4,11 | 1,60  | 32,1  | 31,4  |
| 18                       | 6,96 | 654,12 | 195,92 | 1,115 | 3,20 | 4,05 | 77,67 | 222,5 | 281,6 |
| Latosolo Vermelho-Escuro |      |        |        |       |      |      |       |       |       |
| 19                       | 3,73 | 10,86  | 80,57  | 0,173 | 3,49 | 4,03 | 6,44  | 130,9 | 149,4 |
| 20                       | 4,75 | 23,95  | 148,23 | 0,205 | 4,60 | 3,82 | 9,71  | 218,1 | 182,2 |
| 21                       | 3,75 | 15,99  | 179,68 | 0,132 | 4,54 | 3,84 | 4,96  | 170,9 | 143,1 |
| 22                       | 1,67 | 2,16   | 13,76  | 0,084 | 2,34 | 2,86 | 1,39  | 39,1  | 70,9  |
| 23                       | 2,26 | 2,88   | 15,74  | 0,096 | 2,55 | 3,16 | 2,17  | 57,2  | 71,1  |
| 24                       | 2,21 | 5,36   | 28,99  | 0,123 | 3,06 | 3,21 | 2,71  | 67,5  | 70,5  |
| 25                       | 3,09 | 6,12   | 60,23  | 0,132 | 3,24 | 3,41 | 4,07  | 99,9  | 105,6 |
| 26                       | 2,87 | 10,07  | 40,24  | 0,150 | 4,19 | 3,79 | 4,32  | 120,3 | 109,0 |
| 27                       | 4,02 | 14,53  | 130,03 | 0,184 | 4,45 | 4,00 | 7,41  | 178,9 | 160,7 |
| 28                       | 1,97 | 3,25   | 34,61  | 0,108 | 3,30 | 3,57 | 2,13  | 66,0  | 70,5  |
| 29                       | 4,57 | 27,77  | 144,92 | 0,168 | 3,66 | 3,46 | 7,65  | 167,1 | 157,5 |
| 30                       | 4,76 | 33,17  | 202,84 | 0,183 | 3,49 | 3,43 | 8,70  | 165,8 | 163,1 |
| 31                       | 2,19 | 17,73  | 226,01 | 0,153 | 3,26 | 3,51 | 3,73  | 71,7  | 76,9  |
| 32                       | 4,23 | 15,22  | 51,16  | 0,175 | 4,01 | 3,73 | 7,39  | 168,9 | 157,5 |
| 33                       | 3,12 | 14,01  | 64,07  | 0,164 | 3,70 | 3,42 | 5,15  | 115,2 | 107,5 |
| 34                       | 5,76 | 105,74 | 176,37 | 0,269 | 5,22 | 3,97 | 15,42 | 300,0 | 227,6 |
| 35                       | 6,23 | 65,53  | 178,02 | 0,260 | 5,09 | 4,24 | 16,10 | 316,5 | 265,9 |
| 36                       | 6,90 | 226,57 | 47,85  | 0,766 | 3,05 | 3,82 | 52,29 | 206,9 | 263,3 |

## Resultados e discussão

Os valores médios de produção de biomassa seca (MS), teores de P e K no solo (Ps, Ks), teores de N, P e K na parte aérea (Np, Pp e Kp) e conteúdos (CNp, CPp e CKp) são apresentados na Tabela 3.

A resposta a doses de osmocote na produção de biomassa seca, observada na Figura 1, foi linear e significativa dentro dos solos estudados. Isto se deve, provavelmente, à baixa concentração de P na formulação do osmocote ( $105\text{mg/dm}^3$ ), ou liberação lenta (difusão do nutriente do grânulo para o solo), que não foi suficiente para atender a demanda da planta, não permitindo que se atingisse o plateau no espaço de resposta. Barros *et al.* (1996) compararam a eficiência de recuperação do fósforo pelas mudas de Pinus, quando este elemento foi fornecido na mesma quantidade ( $0,3\text{kg/m}^3$ ) por duas fontes diferentes, o superfosfato simples e o osmocote (17-9-13). A porcentagem de recuperação do fósforo pelas plantas foi superior ao se utilizar o osmocote em qualquer um dos quatro substratos testados, sendo que o substrato duraflores foi aquele que apresentou os melhores resultados. Com uso do osmocote a porcentagem de recuperação foi de 75,15%, em relação a 23,46% para o superfosfato simples.

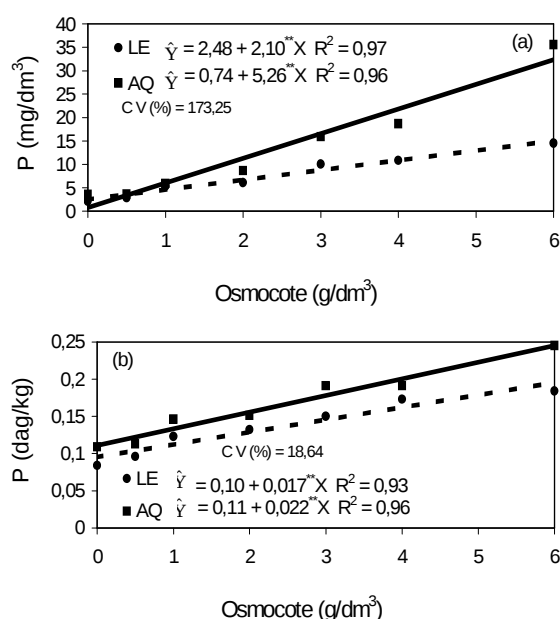


**Figura 1.** Produção de biomassa seca da parte aérea de plantas de milho em função de doses de osmocote para os solos AQ e LE

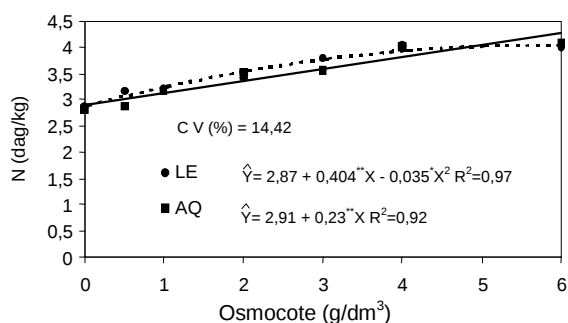
Na Figura 2, são apresentadas as curvas de resposta de P disponível no solo e teor de P na planta em função das doses de osmocote aplicadas em todo o volume de solo do vaso. O teor de P na parte aérea em ambos os solos apresentaram uma resposta linear e significativa às adições de doses crescentes de osmocote. O maior teor de P observado para o solo arenoso (AQ) está relacionado como a menor produção de biomassa seca (contraste 1, Tabela 3).

As curvas de resposta do teor de nitrogênio em função das doses de osmocote são apresentadas na Figura 3. Verificou-se resposta quadrática e

significativa à adição de doses do osmocote para o solo argiloso (LE). Este comportamento pode ser explicado pelo fato deste solo possuir maior capacidade tampão de fósforo e, também, maior retenção de umidade, propiciando maior disponibilidade de P para a planta, favorecendo, assim, a absorção de nitrogênio. Esta evidência pode ser confirmada pelo contraste 16 (Tabela 4), no qual a presença de uma dose adicional de P proporcionou aumento significativo na absorção de nitrogênio pelas plantas. O conteúdo de N na planta foi maior no solo argiloso (LE), em função da maior produção de biomassa seca (contraste 1, Tabela 4).



**Figura 2.** Teor de fósforo disponível no solo (a) e concentração de fósforo na parte aérea de plantas de milho (b) em função de doses de osmocote para os solos AQ e LE



**Figura 3.** Teor de nitrogênio na parte aérea de plantas de milho em função de doses de osmocote para os solos AQ e LE

**Tabela 4.** Valores dos contrastes para biomassa seca (MS) da parte aérea (g/planta), teores (mg/dm<sup>3</sup>) de P (Ps) e K (Ks) no solo, teores (dag/kg) de P (Pp), K (Kp) e N (Np), e conteúdos (mg/planta) de P (CPp), K (CKp) e N (CNp) na parte aérea de plantas de milho, para os dois solos

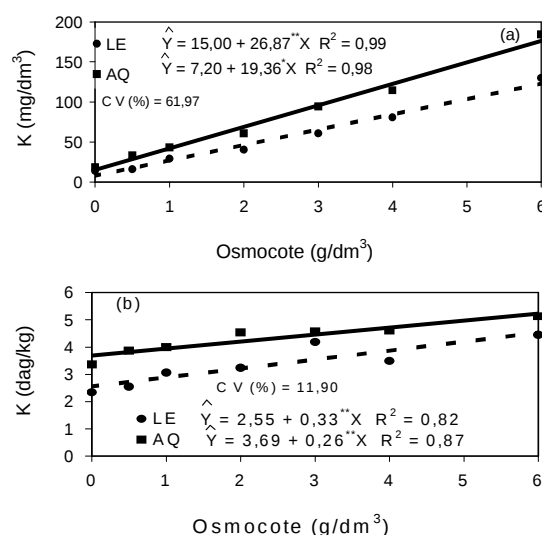
| Contraste                                                                                                                         | MS                  | Ps                | Ks                 | Pp                  | Kp                  | Np                  | CPp                 | CKp               | CNp               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| comparação entre solos                                                                                                            |                     |                   |                    |                     |                     |                     |                     |                   |                   |
| C <sub>1</sub> : (T <sub>1</sub> + ... + T <sub>18</sub> ) - (T <sub>19</sub> + ... + T <sub>36</sub> )                           | -1,35**             | 50*               | 56**               | 0,04**              | 0,69**              | 0,08 <sup>ns</sup>  | -0,78*              | -43**             | -48**             |
| comparação entre fontes dentro do solo AQ                                                                                         |                     |                   |                    |                     |                     |                     |                     |                   |                   |
| C <sub>2</sub> : (T <sub>1</sub> + T <sub>11</sub> ) - (T <sub>2</sub> + T <sub>16</sub> )                                        | 1,98**              | -95 <sup>ns</sup> | -228**             | -0,07**             | -0,81**             | -0,72 <sup>ns</sup> | 3,00**              | 65**              | 61**              |
| C <sub>3</sub> : (T <sub>1</sub> + T <sub>11</sub> ) - (T <sub>3</sub> + T <sub>17</sub> )                                        | 2,56**              | -167**            | -173**             | -0,02 <sup>ns</sup> | -0,56*              | -0,46 <sup>ns</sup> | 5,18**              | 98**              | 91**              |
| C <sub>4</sub> : (T <sub>2</sub> + T <sub>16</sub> ) - (T <sub>3</sub> + T <sub>17</sub> )                                        | 0,58*               | -72 <sup>ns</sup> | 55 <sup>ns</sup>   | 0,05*               | 0,25 <sup>ns</sup>  | 0,26 <sup>ns</sup>  | 2,18 <sup>ns</sup>  | 32*               | 31 <sup>ns</sup>  |
| C <sub>5</sub> : (T <sub>1</sub> ) - (T <sub>18</sub> )                                                                           | -3,80**             | -635**            | -81 <sup>ns</sup>  | -0,92**             | 1,40 <sup>ns</sup>  | 0,03 <sup>ns</sup>  | -72,7**             | -77**             | -156**            |
| comparação entre localizações dentro do solo AQ                                                                                   |                     |                   |                    |                     |                     |                     |                     |                   |                   |
| C <sub>6</sub> : (T <sub>1</sub> + T <sub>2</sub> + T <sub>3</sub> ) - (T <sub>11</sub> + T <sub>16</sub> + T <sub>17</sub> )     | 0,37 <sup>ns</sup>  | -156**            | -63 <sup>ns</sup>  | -0,06**             | 0,58*               | 0,26 <sup>ns</sup>  | 0,06 <sup>ns</sup>  | 35**              | 26 <sup>ns</sup>  |
| C <sub>7</sub> : (T <sub>11</sub> ) - (T <sub>12</sub> )                                                                          | 2,09**              | -20 <sup>ns</sup> | -69 <sup>ns</sup>  | 0,07*               | -0,38 <sup>ns</sup> | 0,43 <sup>ns</sup>  | 5,88**              | 73**              | 90**              |
| C <sub>8</sub> : (T <sub>11</sub> ) - (T <sub>13</sub> )                                                                          | 2,85**              | -16 <sup>ns</sup> | -39 <sup>ns</sup>  | 0,11**              | -0,30 <sup>ns</sup> | 0,14 <sup>ns</sup>  | 7,47**              | 105**             | 110**             |
| C <sub>9</sub> : (T <sub>12</sub> ) - (T <sub>13</sub> )                                                                          | 0,75*               | 4 <sup>ns</sup>   | 30 <sup>ns</sup>   | 0,04 <sup>ns</sup>  | 0,08 <sup>ns</sup>  | -0,30 <sup>ns</sup> | 1,59 <sup>ns</sup>  | 32 <sup>ns</sup>  | 21 <sup>ns</sup>  |
| C <sub>10</sub> : (T <sub>14</sub> ) - (T <sub>15</sub> )                                                                         | 0,92*               | -5 <sup>ns</sup>  | -44 <sup>ns</sup>  | 0,07*               | 0,42 <sup>ns</sup>  | 0,30 <sup>ns</sup>  | 3,81*               | 55**              | 44 <sup>ns</sup>  |
| C <sub>11</sub> : (2T <sub>11</sub> + 2T <sub>12</sub> + 2T <sub>13</sub> ) - (3T <sub>14</sub> + 3T <sub>15</sub> )              | -0,19 <sup>ns</sup> | 21 <sup>ns</sup>  | 102*               | -0,05*              | -0,64*              | -0,11 <sup>ns</sup> | -1,52 <sup>ns</sup> | -30*              | -10 <sup>ns</sup> |
| C <sub>12</sub> : (T <sub>10</sub> ) - (T <sub>11</sub> )                                                                         | -2,90**             | -19 <sup>ns</sup> | -102 <sup>ns</sup> | -0,07*              | 0,99*               | -0,19 <sup>ns</sup> | -6,99**             | -97**             | -112**            |
| comparação entre fontes dentro do solo LE                                                                                         |                     |                   |                    |                     |                     |                     |                     |                   |                   |
| C <sub>13</sub> : (T <sub>19</sub> + T <sub>29</sub> ) - (T <sub>20</sub> + T <sub>34</sub> )                                     | -1,11**             | -46 <sup>ns</sup> | -50 <sup>ns</sup>  | -0,07**             | -1,33**             | -0,15 <sup>ns</sup> | -5,52**             | -110**            | -51**             |
| C <sub>14</sub> : (T <sub>19</sub> + T <sub>29</sub> ) - (T <sub>21</sub> + T <sub>35</sub> )                                     | -0,87**             | -21 <sup>ns</sup> | -66 <sup>ns</sup>  | -0,03 <sup>ns</sup> | -1,24**             | -0,30 <sup>ns</sup> | -3,48**             | -95**             | -51**             |
| C <sub>15</sub> : (T <sub>20</sub> + T <sub>34</sub> ) - (T <sub>3</sub> + T <sub>35</sub> )                                      | 0,26 <sup>ns</sup>  | 24 <sup>ns</sup>  | -17 <sup>ns</sup>  | 0,04*               | 0,09 <sup>ns</sup>  | -0,14 <sup>ns</sup> | 2,04 <sup>ns</sup>  | 15 <sup>ns</sup>  | 0 <sup>ns</sup>   |
| C <sub>16</sub> : (T <sub>19</sub> ) - (T <sub>36</sub> )                                                                         | -3,17**             | -216*             | 33 <sup>ns</sup>   | -0,59**             | 0,44 <sup>ns</sup>  | 0,21 <sup>ns</sup>  | -45,8**             | -76 <sup>ns</sup> | -114**            |
| comparação entre localizações dentro do solo LE                                                                                   |                     |                   |                    |                     |                     |                     |                     |                   |                   |
| C <sub>17</sub> : (T <sub>19</sub> + T <sub>20</sub> + T <sub>21</sub> ) - (T <sub>29</sub> + T <sub>34</sub> + T <sub>35</sub> ) | -1,44**             | -49 <sup>ns</sup> | -30 <sup>ns</sup>  | -0,06**             | -0,44 <sup>ns</sup> | 0,01 <sup>ns</sup>  | -6,02**             | -88**             | -59**             |
| C <sub>18</sub> : (T <sub>29</sub> ) - (T <sub>30</sub> )                                                                         | -0,19 <sup>ns</sup> | -5 <sup>ns</sup>  | -58 <sup>ns</sup>  | -0,01 <sup>ns</sup> | 0,17 <sup>ns</sup>  | 0,03 <sup>ns</sup>  | -1,06 <sup>ns</sup> | 1 <sup>ns</sup>   | -6 <sup>ns</sup>  |
| C <sub>19</sub> : (T <sub>29</sub> ) - (T <sub>31</sub> )                                                                         | 2,38**              | 10 <sup>ns</sup>  | -81 <sup>ns</sup>  | 0,01 <sup>ns</sup>  | 0,40 <sup>ns</sup>  | -0,05 <sup>ns</sup> | 4,27**              | 95**              | 81**              |
| C <sub>20</sub> : (T <sub>30</sub> ) - (T <sub>31</sub> )                                                                         | 2,57**              | 15 <sup>ns</sup>  | -23 <sup>ns</sup>  | 0,03 <sup>ns</sup>  | 0,23 <sup>ns</sup>  | -0,08 <sup>ns</sup> | 5,33**              | 94**              | 86**              |
| C <sub>21</sub> : (T <sub>32</sub> ) - (T <sub>33</sub> )                                                                         | 1,11**              | 1 <sup>ns</sup>   | -13 <sup>ns</sup>  | 0,01 <sup>ns</sup>  | 0,31 <sup>ns</sup>  | 0,31 <sup>ns</sup>  | 2,24 <sup>ns</sup>  | 54**              | 50*               |
| C <sub>22</sub> : (T <sub>29</sub> + T <sub>30</sub> + T <sub>31</sub> ) - (T <sub>32</sub> + T <sub>33</sub> )                   | 0,16 <sup>ns</sup>  | 12 <sup>ns</sup>  | 134**              | 0,00 <sup>ns</sup>  | -0,39 <sup>ns</sup> | -0,11 <sup>ns</sup> | 0,30 <sup>ns</sup>  | -7 <sup>ns</sup>  | 0 <sup>ns</sup>   |
| C <sub>23</sub> : (T <sub>28</sub> ) - (T <sub>29</sub> )                                                                         | -2,60**             | -25 <sup>ns</sup> | -110 <sup>ns</sup> | -0,06 <sup>ns</sup> | -0,36 <sup>ns</sup> | 0,11 <sup>ns</sup>  | -5,52**             | -101**            | -87**             |

\*\* e \* : significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; <sup>ns</sup> : não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Na Figura 4, encontram-se as curvas de resposta à adição de doses crescentes de osmocote para K disponível no solo e teor de potássio na planta. Evidenciou-se maior concentração de K disponível no solo arenoso (AQ), devido sua menor CTC (Tabela 1). Nesta condição, o K liberado pelo osmocote permaneceu mais prontamente disponível para as plantas, implicando, assim, maiores concentrações no tecido vegetal. Além disso, o maior teor de K na planta observado neste solo está relacionado ao efeito de concentração, uma vez que se obteve menor produção de biomassa seca (Tabela 3). Chatzoudis e Valkanas (1995) avaliaram a lixiviação de K em colunas de solo, utilizando como fonte K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> convencional e K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> revestido com parafina. Observou-se maior produção de biomassa seca de plantas de tomate, maior concentração de nutriente nas folhas e menor lixiviação de K com a utilização de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> revestido com parafina, em comparação com a forma convencional.

Os valores altos de coeficiente de variação para Ps e Ks, (Figuras 2 e 4) podem ser atribuídos à grande variabilidade entre repetições, resultante da natureza do adubo utilizado (osmocote) e do processo de amostragem, pelo fato da presença de alguns grânulos que ainda persistiram na amostra de solo, mesmo após ter sido peneirado, conferindo altas concentrações de K e P no solo, quando na realidade

tais teores não se encontravam disponíveis para as plantas no período de cultivo estudado.

**Figura 4.** Teor de potássio disponível no solo (a) e concentração de potássio na parte área de plantas de milho (b) em função de doses de osmocote para os solos AQ e LE

Pelo contraste 1 foram obtidas as diferenças entre médias de todos os tratamentos dentro de cada solo estudado (solo arenoso vs solo argiloso). Observa-se que o solo argiloso (LE) foi superior ao arenoso

(AQ), no que se refere à produção de biomassa seca e conteúdos de N, P e K. Os teores de P e K disponíveis no solo e na planta foram superiores para o solo areia quartzosa.

A comparação estabelecida entre osmocote e NPK na forma sólida, na dose de referência, foi avaliada pelo contraste 2 (AQ) e 13 (LE). No solo arenoso, a fonte osmocote foi superior em relação à forma sólida para produção de biomassa seca e conteúdos de P, K e N. Para o LE foi observado efeito contrário, ou seja, a fonte NPK sólida foi superior ao osmocote. Este comportamento provavelmente, se deve ao efeito de salinidade que seria mais acentuado no solo AQ em função de sua baixa capacidade-tampão. Observa-se pelos contrastes  $C_3$  (AQ) e  $C_{14}$  (LE) a superioridade da fonte osmocote em relação à forma líquida no solo AQ, quanto à produção de biomassa seca e conteúdos de N, P e K, enquanto para o solo LE se observa efeito contrário. Portanto, existe comportamento diferente das fontes em relação à textura do solo. Boon (1981) comparou a utilização de osmocote 18-6-12 com período de liberação de 8-9 meses em mistura com o substrato e uma fonte solúvel de NPK (18-6-18) aplicada semanalmente na superfície das mudas de duas espécies florestais. Entre esses dois métodos de fertilização ocorreram pequenas diferenças no crescimento, de forma que esses métodos podem ser considerados equivalentes. Maior efeito sobre o crescimento das plantas foi obtido com a combinação da menor dose de osmocote em mistura com o substrato e contínua adubação com uma fonte solúvel aplicada em cobertura.

Nos primeiros 20 dias de condução do experimento, observou-se a presença de queima das folhas mais velhas, tanto para a fonte osmocote quanto para as formas sólida e líquida, para ambos os solos, sendo mais evidente no solo AQ. Este sintoma pode estar relacionado com alta liberação inicial de N e K, uma vez que a fonte osmocote possui altas concentrações desses nutrientes. Resultados semelhantes foram obtidos por Sharma e Patel (1978). Estes autores estudaram a aplicação de nove fertilizantes de liberação controlada em três doses de N (20, 40 e 60g/35L de substrato) e fertilização líquida na dose de 200mg/L de N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$ . O efeito do osmocote (14-6,1-11,6) sobre a produção de biomassa seca de plantas de crisântemo, classificação visual e tamanho das plantas não foi significativamente diferente do fertilizante líquido. Os demais fertilizantes produziram plantas de qualidade ligeiramente inferior daquelas obtidas com fertilizante líquido. A justificativa, segundo os

autores, estava relacionada ao baixo conteúdo de P em alguns fertilizantes, enquanto alto conteúdo de P em outros, P induzindo deficiência de Mn e queima das folhas mais velhas devido à alta liberação inicial de N de alguns fertilizantes, indicando toxidez de amônio.

A comparação entre a dose de referência de osmocote ( $4g/dm^3$ ) e tratamento adicional (osmocote  $4g/dm^3 + P$ ) avaliados pelos contrastes 5 (AQ) e 16 (LE) (Tabela 4) mostram diferenças significativas principalmente para a produção de biomassa seca, teor de P disponível no solo e na planta e conteúdo de N na planta, a favor do tratamento adicional. Esta evidência sugere a necessidade de uma aplicação adicional de uma fonte solúvel de P para atender o requerimento inicial da planta.

É evidente que fertilizantes de liberação controlada como osmocote podem ser utilizados em vez de um programa de fertilização líquida. Entretanto, há necessidade de adição de P, uma vez que a concentração de fósforo nesta formulação é muito baixa e/ou a liberação é muito lenta. De acordo com Sharma e Patel (1978) o problema do desbalanço de nutrientes dos fertilizantes de liberação controlada parece ser o ponto crítico e a suplementação com formulações de nutrientes solúveis em água parece ser a melhor prática alternativa para esses fertilizantes.

Pelos contrastes 8 (AQ) e 19 (LE), quando a dose de referência foi localizada em 10% no terço superior do vaso e localizado em 50% superior pelos contrastes 8 (AQ) e 19 (LE), observou-se melhor resposta ao efeito de localização para os tratamentos superiores. Este fato ocorreu devido ao pequeno volume do vaso aliado às condições de elevadas temperatura e evapotranspiração necessitando de regas frequentes, resultando em maior concentração de raízes na parte superior do vaso. Por outro lado, Kovacic e Holcomb (1981) não observaram diferenças na biomassa seca de plantas de *Kalanchoe blossfeldiana*, quando osmocote foi aplicado na superfície ou incorporado ao solo. De acordo com os autores, mesmo que os nutrientes tenham sido liberados mais lentamente, quando o fertilizante foi aplicado na superfície, a taxa de liberação de nutrientes foi rápida o suficiente para produzir biomassa seca similar àquela produzida quando o fertilizante foi incorporado ao solo.

## Referências bibliográficas

- Alvarez V., V.H. Avaliação da fertilidade do solo (superfície de resposta - modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta). Viçosa: Imprensa Universitária, 1994. 75p.

- Barros, N.F.; Silva, L.F.; Paiva, H.N. *Casca de Pinus e adubação na produção de mudas de Pinus caribaea*. Viçosa: Imprensa Universitária, 1996.
- Boon, J. van der. A slow-release fertilizer for nursery plants in container. *Acta Hort.*, 126:321-348, 1981.
- Chatzoudis, G.K.; Valkanas, G.N. Monitoring the combined action of controlled-release fertilizers and a soil conditioner in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 26:3099-3111, 1995.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.
- Lunt, O.R.; Oertli, J.J. Controlled release of fertilizer minerals by encapsulating membranes: II Efficiency of recovery, influence of soil moisture, mode of application, and other considerations related to use. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 26:584-587, 1962.
- Kovacic, M.T.; Holcomb, E.J. Effects of controlled-release fertilizers and application methods on growth and leaf elemental concentration of *Kalanchoe blossfeldiana* 'Pixie'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 106:549-552, 1981.
- Oertli, J.J.; Lunt, O.R. Controlled release of fertilizer minerals by encapsulating membranes: I. Factors influencing the rate of release. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 26:579-583, 1962.
- Peer, A. van. The use of combined nutrient systems to control nutrient losses. *Acta Hort.*, 401:347-350, 1995.
- Penningsfeld, F. Use of slow-release fertilizer in peat substrates. *Acta Hort.*, 50:125-129, 1975.
- Prasad, R.; Rajale, G.B.; Lakhdive, B.A. Nitrification retarders and slow-release nitrogen fertilizers. *Adv. Agron.*, 23:337-349, 1971.
- Sharma, G.C.; Patel, A.J. Effect of nine controlled-release fertilizers on chrysanthemum growth and foliar analysis. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 103:148-150, 1978.
- Suri, V.K.; Datta, B. Linseed oil coated urea and ammeline as slow release nitrogenous fertilizers. *J. Ind. Soc. Soil Sci.*, 43:615-618, 1995.

Received on September 25, 1998.

Accepted on July 01, 1999.