

Análises biométricas da alface sob doses crescentes de fósforo em solo com umidade e compactação distintas

Jaqueline Orlandi Paris¹; Raquel Cristina Ramos¹; Daiane Favero¹; Ivoney Gontijo²

Resumo: A alface é uma das hortaliças folhosas mais cultivadas e consumidas no Brasil e o correto manejo do nutriente fósforo (P) tem sido fundamental para aumentar sua produtividade. Objetivou-se avaliar o desenvolvimento da alface do tipo lisa submetida a diferentes doses de fósforo e duas situações de compactação e umidade do solo. O trabalho foi desenvolvido em casa-de-vegetação, em delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x2x4 com três repetições e conduzido em um Argissolo Amarelo de textura média. Os tratamentos foram gerados pela combinação de doses crescentes de P (0; 150; 300 e 600 mg dm⁻³), compactação e não compactação do solo e umidade ajustada de acordo com o volume total de poros (VTP), com 0,40 m³ m⁻³ e 0,60 m³ m⁻³ do VTP ocupados com água. Ao fim do experimento realizou-se as análises biométricas: massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), número de folhas maiores que 1,5 cm (NF), diâmetro de caule (DC), comprimento do caule (CC); e diâmetro da planta (DP) e altura da planta (AP). Os dados foram submetidos a análises de variância, teste de Tukey e regressão. Nessas condições do experimento, concluiu-se que as doses de P entre 300 a 400 mg dm⁻³ proporcionaram os melhores resultados para o desenvolvimento da alface, afetando significativamente características como AP, NF, DC, CC, DP, MFPA e MSPA das plantas. Assim como a compactação para as características NF, DC, MFPA e MSPA na condição de maior umidade.

Palavras-chaves - *Latuca sativa* L; adubação fosfatada; volume total de poros.

Biometric analyzes of lettuce under phosphorus increasing doses in soil with different moisture and compaction

Abstract: Lettuce is one of vegetable more cultivated and consumed in Brazil and the correct management of phosphorus in the soil has been fundamental to increase its productivity. The objective this work was to evaluate the development of lettuce of the smooth type submitted to different doses of phosphorus and two situations of compaction and soil moisture. The work was developed in a greenhouse, in a randomized block design, in a 2x2x4 factorial scheme with three replications and conducted in a dystrophic Yellow Argisol of medium texture. The treatments were generated by the combination of increasing doses of phosphorus (0, 150, 300 and 600 mg dm⁻³), soil compaction and non-compaction and humidity adjusted according to the total pore volume (VTP), with 0,40 m³ m⁻³ and 0,60 m³ m⁻³ of VTP occupied with water. Biometric analyzes were performed: fresh root mass (MFR), dry root mass (MSR), fresh shoot mass (MFPA), dry shoot mass (MSPA), number of leaves larger than 1.5 cm (NF), stem diameter (DC), stem length (CC); And plant diameter (DP) and plant height (AP). The data were submitted to analysis of variance, Tukey test and regression. It was concluded that phosphorus doses between 300 and 400 mg dm⁻³ provided the better results for lettuce development, significantly affecting characteristics such as AP, NF, DC, CC, DP,

¹ Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, Universidade Federal do Espírito Santo (PPGAT-UFES). São Mateus, ES. jack_orlandi@hotmail.com; crisraquelramos@gmail.com; daianefavero20102010@hotmail.com

² Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo (DCAB-UFES). São Mateus, ES.; ivoneygontijo@yahoo.com.br

MFPA and MSPA of the plants . As well as compaction for the NF, DC, MFPA and MSPA characteristics in the condition of higher humidity.

Keywords - *Lactuca sativa* L. Phosphate fertilizer. Total pore volume.

Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) originária de espécies silvestres, no sul da Europa e na Ásia Ocidental, é uma hortaliça folhosa de grande importância no Brasil, sendo os tipos lisa e crespa as mais cultivadas, conhecidas e consumidas mundialmente *in natura* (SALA; COSTA 2012). Cultura de fácil manejo e ciclo curto, praticado em geral por agricultores familiares. (VIEIRA *et al.*, 2012; ALENCAR *et al.*, 2012). Na Central Estadual de Abastecimento S.A. (CEASA) da grande Vitória-ES, foram comercializadas 1,1 mil toneladas de alface no ano de 2010, ficando o destaque dos últimos cinco anos para o ano de 2006 com a comercialização de 1,47 mil toneladas (FERNANDES *et al.*, 2011).

Em resposta a grande procura por esta hortaliça e pretendendo aumentar a produtividade e reduzir custos de produção, assim como produzir com maior qualidade e menor preço, os produtores vem implementando novas técnicas de cultivo, utilizando insumos que proporcionam melhorias nas condições do solo permitindo assim maiores produções (SILVA, 2013).

A adubação fosfatada para o cultivo da alface assegura uma produção de qualidade, sendo que o manejo deve ser conhecido e planejado para esse fim. A alface pode ser considerada como bastante exigente em fósforo (P), principalmente na fase final de seu ciclo, já que este macronutriente participa de vários compostos e reações metabólicas. Na ausência de P, observa-se redução na produção de matéria fresca da parte aérea e raízes e diminuição do diâmetro de plantas (FONSECA *et al.*, 2013). Portanto, a correta utilização de fertilizantes fosfatados promove o rendimento das culturas, principalmente por fatores que afetam a assimilação de P pelas plantas como a sua concentração na solução do solo, o que influencia na absorção dos nutrientes em geral, e daqueles cujo contato íon-raiz se faz predominantemente por difusão (MAUAD *et al.*, 2012).

Segundo Costa *et al.* (2006), os maiores valores obtidos para o fluxo difusivo de P foram encontrados nos conteúdos de água mais elevados e nos solos em que o fator capacidade foi menor. O autor observou que em solos mais arenosos, as taxas de difusão foram maiores em comparação com os solos mais argilosos, que apresentam elevada adsorção de P, e mesmo assim, com alto teor de umidade reduz ou anula o fluxo difusivo; mesmo

quando não se adicionou P ao solo, ainda se observou fluxo difusivo crescente com os níveis de umidade.

A compactação altera a estrutura física do solo, onde o crescimento superficial das raízes dificulta o abastecimento hídrico e nutricional das plantas (CALONEGO *et al.*, 2011), altera o mecanismo de fluxo de massa e difusão responsáveis pelo transporte de nutrientes até as raízes, restringido o crescimento radicular e da parte aérea (SILVA *et al.*, 2014). A compactação do solo pode interferir na absorção e alocação de nutrientes nas plantas, que são diretamente afetadas pelas condições do solo, sendo indispensável a presença de determinada porção de água no sistema, para tornar possível a transferência de substâncias pelas raízes, dentre elas, há os elementos essenciais para que a planta conclua seu ciclo de vida, e um deles é o P (RAIJ, 2011).

Altas produtividades são alcançadas com adubação fosfatada, o que tem ocasionado estudos para definir doses mais adequadas para as culturas. Assim, o efeito da adubação fosfatada no solo auxilia em um melhor manejo deste nutriente, sendo seu modo de transporte por difusão afetado por compactação e umidade do solo. Portanto, tem-se como hipótese que maior compactação diminui a umidade do solo afetando o fluxo difusivo e a disponibilidade de P para a planta; e resposta da planta a doses mais elevadas de P em diferentes condições de compactação e umidade do solo. Diante desse contexto, objetivou-se com o trabalho avaliar o desenvolvimento de uma cultivar de alface do tipo lisa submetida a diferentes doses de fósforo e duas situações de compactação e umidade do solo.

Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no período de março a maio de 2016 em casa de vegetação da Fazenda Experimental da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), campus São Mateus, localizada em São Mateus-ES, coordenadas 18°40'18" S e 39°51'24" W, apresentando uma altitude de cerca de 35 metros. O clima do município de São Mateus é Aw, segundo classificação de Köppen, caracterizado por clima tropical úmido, com inverno seco e chuvas máximas no verão, e com precipitação pluvial anual média de 1.200 mm concentrada entre os meses de novembro e janeiro (ALVARES *et al.*, 2013).

O solo utilizado no experimento foi coletado na área da Fazenda Experimental da UFES, sob vegetação nativa de Mata Atlântica, na camada superficial, profundidade de 0,00-0,20 m, peneirado em malha de 4 mm para separação de torrões, raízes e serapilheira, sendo classificado como Argissolo Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013) textura areia franca, com

teores de 884 g kg⁻¹ de areia, 10 g kg⁻¹ de silte e 106 g kg⁻¹ de areia. A análise química do solo (Tabela 1) foi realizada com base nos métodos da Embrapa (2009).

Tabela 1 - Análise química do Argissolo Amarelo distrófico.

pH	P	K	Na	MOS	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m
	---- mg dm ⁻³ ---			dag dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----								---- % ----
4,7	1,2	16	7	2,1	0,4	0,2	1	5,8	0,7	1,7	6,5	10,3	60

MOS - matéria orgânica do solo; H+Al - acidez potencial; SB - soma de bases; t - CTC efetiva; T - CTC potencial; V - saturação por bases; m - saturação por alumínio.

O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 2x2x4, com três repetições, consistindo em dois estados de compactação do solo (solo compactado e não compactado), duas condições de umidade do solo (0,40 e 60 m³ m⁻³ do VTP) e quatro doses de P (0; 150; 300 e 600 mg dm⁻³).

Para a compactação do solo, adicionou-se aproximadamente um terço do volume de solo ao cano de PVC, aplicando-se dois golpes sucessivos de um êmbolo com massa de 6,278 kg e altura de queda de 50,9 cm no centro geométrico de uma superfície rígida de madeira com diâmetro ligeiramente inferior ao do vaso, repetiu-se essa ação por mais duas vezes até completar o volume total do vaso, que foi de 5,0 dm³.

A incubação do solo com calcário e composto orgânico, foi conduzida por um período de 30 dias antes do transplante das mudas em definitivo, adicionando-se 2,5 g dm⁻³ de calcário (PRNT 92%), calculada para elevar a saturação por bases a 70%, 150 g vaso⁻¹ de 5 litros de composto orgânico, e mantendo a umidade próxima à capacidade de campo. Após este período foi realizado a adubação de plantio com fertilizantes NPK e micronutrientes de acordo com Novais *et al.* (1991), variando doses de P (0; 150; 300 e 600 mg dm⁻³) - utilizando o fertilizante Superfosfato Triplo (46% P₂O₅) - e o nível de compactação do solo (solo compactado e não compactado). Todos os vasos receberam adubações de acordo com (OLIVEIRA *et al.*, 1991), utilizando os fertilizantes: Sulfato de Amônio (21% de N e 23% de S) e Cloreto de Potássio (58% de K₂O) nas doses 2,72 e 1,70 mg dm⁻³; e reagentes P.A. nas quantidades de 0,81; 1,33; 1,55; 3,66; 0,15 e 4,00 mg dm⁻³, correspondendo a B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, sob as formas de H₃BO₃, CuSO₄.5H₂O, FeCl₃.6H₂O, MnSO₄.H₂O, NH₄MoO₄.4H₂O e ZnSO₄.7H₂O, respectivamente.

O solo em estudo apresentou propriedades físicas descritas na Tabela 2. Reichert *et al.* (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais: 1,30 a 1,40 Mg m⁻³ para solos argilosos, 1,40 a 1,50 Mg m⁻³ para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 Mg m⁻³ para os franco-arenosos.

Tabela 2 - Propriedades físicas do solo antes e depois do processo de compactação realizado.

Atributos	Ds	VTP	Microp.	Macrop.
	Mg m ⁻³	-----	m ³ m ⁻³	-----
Antes	1,06	0,60	0,17	0,43
Depois	1,39	0,48	0,30	0,18

Ds - Densidade do solo; VTP - Volume Total de Poros; Microp. - Microporosidade; Macrop. - Macroporosidade.

Os dois níveis de umidade do solo foram definidos com base no Volume Total de Poros do solo. Trabalhou-se com 0,40 m³ m⁻³ e com 0,60 m³ m⁻³ do VTP ocupado com água. A umidade do solo para todos os vasos foram monitoradas por pesagens diárias.

Como local definitivo de plantio foi utilizado canos de PVC 150 mm com 30 cm de altura com o fundo coberto com lona plástica, contendo o solo com adição das doses crescentes de P adicionados nas doses de: 0; 150; 300 e 600 mg dm⁻³. As mudas da cultivar de alface do tipo lisa Vitória de Santo Antão foram obtidas em viveiro comercial e transplantadas para os canos de PVC após prévia adubação e compactação, sendo cultivadas por 45 dias.

Ao fim do experimento foram realizadas análises biométricas da massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) utilizando balança de precisão; número de folhas maiores que 1,5 cm (NF), diâmetro de caule (DC), comprimento do caule (CC) utilizando paquímetro; e diâmetro da planta (DP) e altura da planta (AP) utilizando trena. A massa seca da parte aérea e da raiz foram obtidas em estufa de circulação forçada até peso constante.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 1998) e quando significativo foi utilizado o teste de Tukey (P<0,05) para os fatores qualitativos e análise de regressão para os fatores quantitativos. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste de t de Student ao nível de 5% de probabilidade e pelo coeficiente de determinação (R²).

Resultados e Discussão

Na Tabela 3 encontram-se os valores das análises de variância, coeficientes de variação e médias para altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC), comprimento de caule (CC), diâmetro de planta (DP), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca raiz (MFR), massa seca parte aérea (MSPA) e massa seca raiz (MSR).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância, coeficiente de variação e médias para altura de planta (AP), número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC), comprimento de caule (CC), diâmetro de planta (DP), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca raiz (MFR), massa seca parte aérea (MSPA) e massa seca raiz (MSR).

FV ^{/1}	GL	Quadrados médios								
		AP	NF	DC	CC	DP	MFPA	MFR	MSPA	MSR
D	3	214,4*	1870,3*	339,0*	15466,2*	624,5*	46938,6*	853,7	240,6*	76,5
U	1	70,0*	374,1*	72,3*	12397,4*	79,5	9834,4**	9327,0**	28,1	853,7*
C	1	35,1	3,5	0,3	85,4	26,5	2,5	335,7	21,2	59,5
DxU	3	4,7	21,5	2,1	1156,7	74,0*	455,1	385,8	4,3	45,0
DxC	3	2,9	32,8	10,3	335,5	31,3	750,7	518,4	5,8	95,2
UxC	1	39,5	363,0	50,9*	3,7	1,6	14124,7**	335,4	72,3	40,9
DxUxC	3	10,0	41,4	20,0	283,4	49,8	3112,8	378,8	11,7	87,7
R	32	10,0	59,1	9,9	1694,3	23,8	1271,6	615,6	17,6	90,9
CV (%)		16,4	19,0	18,0	47,4	14,1	28,5	89,9	48,8	146,1
Média		19,4	40,5	17,5	86,9	34,6	124,5	27,6	8,6	6,5

^{/1} FV - Fonte de Variação; GL - Graus de Liberdade; C.V. - Coeficiente de Variação; * - Significativo a 5% de probabilidade; ** - Significativo a 1% de probabilidade. D - densidade; C - compactação; U - umidade; R - Resíduo.

A adubação fosfatada (D) afetou significativamente a AP, NF, DC, CC, DP, MFPA e MSPA. Resultados semelhantes obtidos por Kano *et al.* (2012) e Mantovani *et al.* (2014), também detectaram aumento acentuado no crescimento de plantas de alface com a adubação fosfatada. Segundo Souto *et al.* (2009), a análise da altura tem importância na avaliação da qualidade de plantas, pois fornece um bom indicador de desenvolvimento da cultura. O crescimento da planta, influenciado pelo P, promoveu maior emissão de folhas e maior área foliar da cultura, conseqüentemente, maior captação da radiação solar e incremento na produção de fotoassimilados (BONFIM-SILVA *et al.*, 2011), permitindo a maior altura de planta. Por serem variáveis quantitativas procedeu-se a análise de regressão das mesmas (Figura 1).

Quanto à variável umidade (U), a mesma influenciou significativamente todos os dados biométricos estudados, com exceção do DP e MSPA. A compactação (C) não interferiu nos fatores avaliados (Tabela 3). Oliveira *et al.* (2011) observaram a influência do P no diâmetro do caule, e no aumento da resistência da planta ao acamamento. A deficiência de P em alface americana retarda o crescimento e desenvolvimento das plantas, refletindo no equilíbrio nutricional e induz à má formação de folhas externas e cabeças comerciais, variando em os tons verde-opaco a vermelho-bronze (KATAYAMA, 1993).

As plantas obtiveram MFPA e MFR médias de 124,5 e 27,6 g planta⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Entretanto as massas secas referentes demonstram que não houve um incremento de biomassa significativa devido os seus baixos valores de 8,6 e 6,5 g planta⁻¹. A deficiência de fósforo é relatada como limitante na produção de matéria seca das plantas, uma vez que plantas sob deficiência deste nutriente promovem maior translocação de fotoassimilados para as raízes, o que reduz a relação matéria seca da parte aérea e da raiz (COUTINHO *et al.*, 2014).

Culturas de hortaliças, pelo fato de apresentarem pequeno volume de raízes e alta produção de biomassa em curto espaço de tempo, têm baixa eficiência de absorção de P e exigem elevados teores deste nutriente no solo. A eficiência de absorção pelas plantas será mais elevado quanto maior for a exploração do solo pelo sistema radicular (PREZOTTI *et al.*, 2007).

Quanto às interações duplas, houve significância somente para os atributos DP na interação entre doses e umidade e para DC e MFPA na interação entre umidade e compactação (Tabela 2). Portanto, nesses casos, procedeu-se o desdobramento dos fatores.

O atributo NF não foi influenciado pela compactação do solo, independente da umidade. Quanto à baixa umidade do solo, esta foi limitante apenas quando do solo estava compactado.

Para DC apenas houve diferença para os estados de compactação para a menor umidade do solo, apresentando maior valor para o solo sem compactação. Enquanto para MFPA e MSPA houve diferença entre os dois estados de compactação para os dois níveis de umidade do solo. A MSPA diferiu para duas situações de umidade. Das diferenças obtidas, a mais expressiva foi para o atributo MSPA, tendo para $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ do VTP preenchido por água, o incremento de 38,8% no solo sem compactação. Quando a umidade foi limitante, a compactação influenciou negativamente os parâmetros DC, MFPA e MSPA. Contudo, com umidade adequada, a compactação não foi um problema, inclusive proporcionou um incremento em produtividade da parte aérea.

Raízes apresentam limitações na penetração vertical em camadas de solo compactadas, podendo influenciar negativamente no seu crescimento, tanto em vasos, quanto na natureza. Essa demasiada resistência à penetração pode limitar o crescimento das raízes sob condições mais secas. O risco de compactação do solo, principalmente em situações de solo úmido, implica em consequências ecológicas e econômicas de cunho negativo (STONE *et al.* 2006).

Ao analisar os níveis de umidade dentro de cada estado de compactação do solo notou-se que nos tratamentos de solo compactado apresentou-se diferença significativa para $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $60 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ do VTP para todas as variáveis (NF, DC, MFPA e MSPA), o que não foi observado para os mesmos fatores quando analisados os tratamentos sem compactação (Tabela 3).

As variáveis NF, DC, MFPA e MSPA apresentaram acréscimo de 24,2; 22,9; 40,2 e 40,1% no solo compactado (C) em relação ao solo sem compactação (SC) para a maior umidade do solo estudada. Observa-se claramente que, quando há compactação do solo, os

parâmetros relacionados à produtividade (NF, DC, MFPA e MSPA) são prejudicados pela queda de umidade do solo. Portanto a associação de compactação e umidade baixa gera um prejuízo em termos de produção da alface lisa.

A compactação, ao interferir com a movimentação da água, pode reduzir a transpiração das plantas e, conseqüentemente, o fluxo de massa. Acima de certo nível ela reduz também a difusão de nutrientes. O fluxo difusivo (FD) é o processo de maior importância para o transporte de P, dada a baixa concentração desses nutrientes no solo (SILVA *et al.*, 2008).

Tabela 3 - Desdobramentos das interações entre dois estados de compactação do solo: sem compactação (SC) e compactado (C) e dois níveis de umidade: 0,40 m³ m⁻³ e 0,60 m³ m⁻³ do VTP, para as variáveis: número de folhas (NF), diâmetro de caule (DC), massa fresca parte aérea (MFPA) e massa seca parte aérea (MSPA).

Dados biométricos	0,40		0,60		SC		C	
	SC	C	SC	C	0,40	0,60	0,40	0,60
NF	40,71 a	34,67 a	40,79 a	45,75 a	40,71 a	40,79 a	34,67 b	45,75 a
DC	17,37 a	15,16 b	17,77 a	19,67 a	17,37 a	17,77 a	15,16 b	19,67 a
MFPA	127,55 a	93,70 b	121,87 b	156,64 a	127,55 a	121,87 a	93,70 b	156,64 a
MSPA	9,73 a	5,95 b	8,81 b	9,93 a	9,73 a	8,81 a	5,95 b	9,93 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise de regressão para as variáveis significativas referentes ao fator doses de P encontra-se na Figura 1. Na literatura, são encontradas referências propondo aumentar a dose de P para compensar um teor de água menor ou vice-versa (COSTA *et al.*, 2009).

O modelo polinomial que melhor se ajustou ao comportamento das variáveis em estudo foi o quadrático, em exceção do diâmetro de caule, que obteve função linear em relação às doses de P para 0,60 m³ m⁻³ do VTP (Figura 1A).

Costa *et al.* (2006), explicam o modelo quadrático observado no fluxo difusivo de P, aumentando a dose de P aplicada ao solo, se elevou o coeficiente de difusão do elemento, em virtude da saturação progressiva da superfície de adsorção, o que resultou no aumento da concentração de P na solução do solo. Mantovani *et al.* (2014), também alcançaram efeito quadrático na adubação fosfatada, apresentando produção máxima de matéria fresca da parte aérea de alface de 344 g planta⁻¹, obtida sob dose de P estipulada em 506 mg dm⁻³, valores superiores ao encontrado no presente estudo.

O valor máximo para diâmetro da planta (DP) foi de 45,73 cm obtida com dose de 359,55 mg dm⁻³ de P₂O₅. Enquanto para AP, NF, DC, CC, MFPA e MSPA as máximas foram 23,25 cm; 46 folhas; 21,92 mm; 113 cm; 180 g e 11,96 g obtidas com as doses de 401; 322; 422; 383; 409 e 384 mg dm⁻³ de P₂O₅, respectivamente. Como era esperado os menores

valores foram observados nas doses de 0 mg dm^{-3} de P_2O_5 , evidenciando que a ausência de P é um fator limitante ao crescimento da alface. Por meio das informações apresentadas na Figura 1, verifica-se que doses superiores de P_2O_5 em comparação com os de máxima eficiência acarretaram em menor altura de plantas, demonstrando o efeito negativo da disponibilidade excessiva do P à cultura da alface.

Na ausência de P, observou-se significativa redução no peso da matéria fresca da parte aérea e matéria seca da parte aérea, marcante diminuição do diâmetro de plantas, evidenciando a elevada exigência da alface em P. Como observado com esses resultados, o P implica diretamente no crescimento e produção da alface, que responde a grandes dosagens desse nutriente. Bonela (2010) observou um aumento linear nas produções dos grupos de alface americana crespa e lisa com a aplicação de até 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 , para matéria fresca e seca, mesmo em solo com alto teor de nutriente (136 mg dm^{-3} de P-resina) e textura muito argilosa. A massa fresca da parte aérea das plantas obtida foi considerada comercial ($\geq 100 \text{ g}$) e com valor superior ao obtido em alface crespa por Viana e Vasconcelos (2008) de $123,8 \text{ g planta}^{-1}$ e menor ao maior valor obtido por Kano *et al.* (2012), com máxima de $166 \text{ g planta}^{-1}$ para a cultivar americana.

Nos tratamentos com menor nível de umidade aplicada no solo a ocorrência de menor massa fresca foliar se justifica por meio da análise das relações hídricas na planta. Segundo PAIVA *et al.* (2005), a redução do teor de água no solo restringe o potencial de água na folha e sua condutância estomática, resultando o fechamento dos estômatos, bloqueando assim o fluxo de CO_2 para as folhas, comprometendo o acúmulo de fotoassimilados. No entanto, há resposta positiva das plantas quando são mais favoráveis as condições de água no solo, assim taxas fotossintéticas mais altas são mantidas, promovendo uma maior produção de fotoassimilados, e conseqüentemente em maiores produções de matéria fresca (DOURADO *et al.*, 2014).

Apesar de trabalhos estudando efeitos da adubação fosfatada na produção de alface serem frequentes, na avaliação de produtividade e desenvolvimento da cultura, percebe-se que a quantidade recomendada apresenta variações. Confirma-se com este trabalho que houve resposta da planta a doses mais elevadas de P nas condições de umidade, existindo um ponto de máxima, cuja dose acima desta a planta teve resposta negativa aos atributos. Assim como em solo sem compactação para menor umidade de solo. Não era esperado que a compactação tivesse influência positiva nos atributos em umidade de solo, mesmo que em condições adequadas.

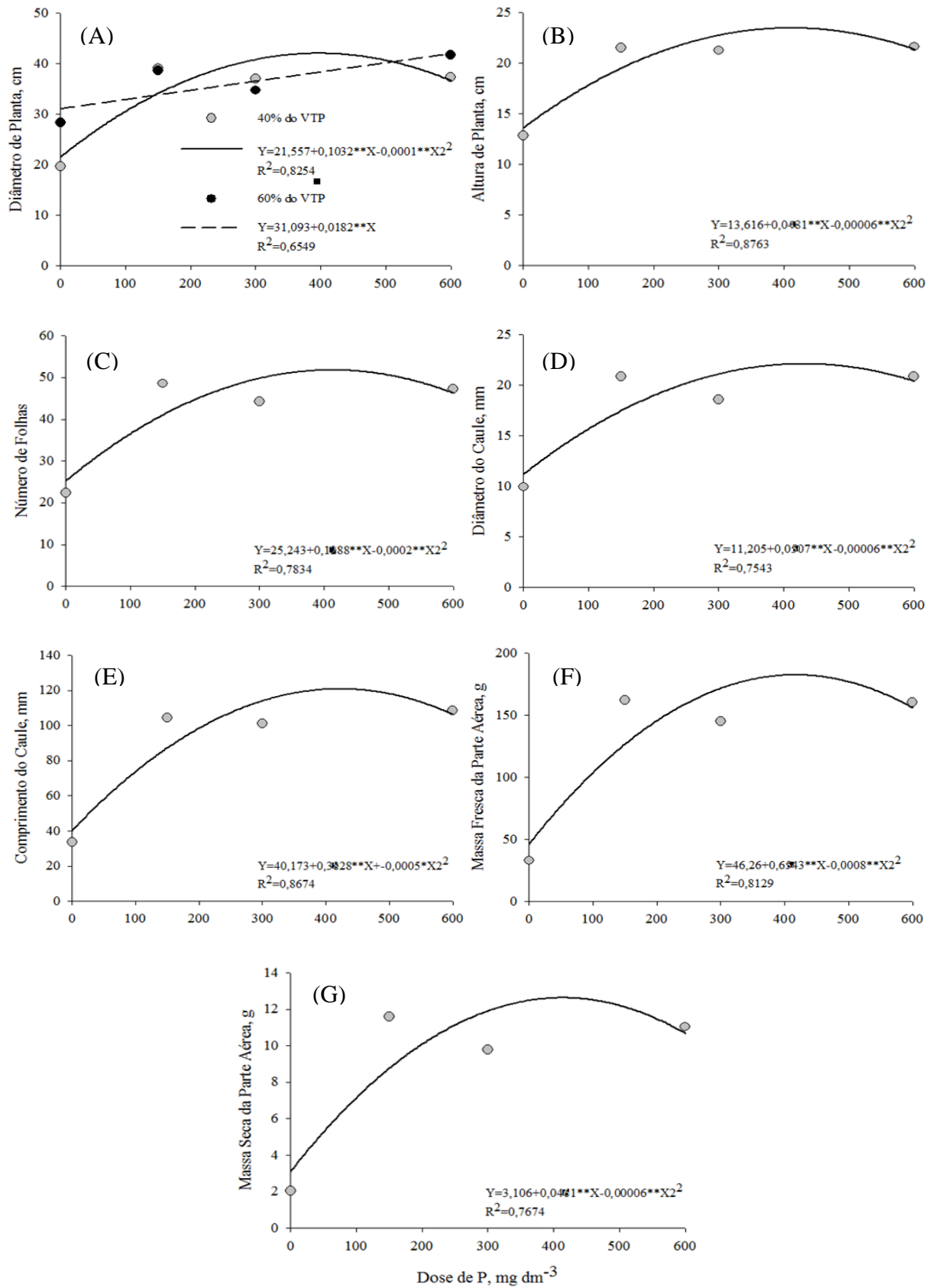


Figura 1 – Dados biométricos de alface em função da dose de fósforo. ** significativo a 1% e * significativo a 5% pelo teste de F.

Conclusões

O P proporcionou aumento no crescimento e na produção de alface lisa, e a cultura respondeu positivamente à aplicação das doses de 300 e 400 mg dm⁻³.

As doses variando de 300 a 400 mg dm⁻³, foram as mais adequadas para o cultivo de alface lisa em solo de textura média.

Quando a umidade do solo é adequada, a densidade do solo de 1,39 Mg m⁻³, proporcionada pelo processo de compactação do solo, não apresenta-se como um problema para o desenvolvimento da alface.

Referências

ALENCAR, T.A.; TAVARES, A.T.; CHAVES, P.P.N.; FERREIRA, T.A.; NASCIMENTO, I.R. Efeito de intervalos de aplicação de urina bovina na produção de alface em cultivo protegido. **Revista Verde**, Pombal, v. 7, n. 3, p. 53-67, 2012.

ALVARES, C.A., STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Johannesstr, v. 22, p. 711-728, 2013.

BONELA, G. D. **Adubação fosfatada e potássica para alface em latossolo com teores altos de P e K disponíveis**. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

BONFIM-SILVA, E.M.; SILVA, T.J.A.; CABRAL, C.E.A.; GONÇALVES, J.M.; PEREIRA, M.T.J. Produção e morfologia da leguminosa java submetida a adubação fosfatada. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-10, 2011.

CALONEGO, J.C.; GOMES, T .C.; SANTOS, C.H. dos.; TIRITAN, C.S. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 289-296, 2011.

COSTA, J.P.V. da; BARROS, N.F de F.; ALBUQUERQUE, A.W. de; MOURA FILHO, G.; SANTOS J.R. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 828-835, 2006.

COSTA, J.P.V da; BASTOS, A.L.; REIS, L.S.; MARTINS, G. de O.; ALBERTO FELIPE DOS SANTOS, A.F. dos. Difusão de fósforo em solos de alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. **Revista caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 229-235, 2009.

COUTINHO, P.W.R.; SILVA,D.M.S. da; SALDANHA, E.C.M.; OKUMURA, R.S.; SILVA JÚNIOR, M.L. da. Doses de fósforo na cultura do feijão-caupi na região nordeste do Estado do Pará. **Revista Agroambiente**, Roraima, v. 8, n. 1, p. 66-73, 2014.

DOURADO, L.G.A.; KOETZ, M.; BONFIM-SILVA, E.M.; SILVA, T.J.A da; GUIMARÃES, S.L. reposição de água na cultura da alface lisa com a utilização do irrigas em ambiente protegido. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n.18, p. 2633-2646, 2014.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa; 2009. 627p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

FERNANDES, A.A.; SCHMILDT, E.R.; FALQUETO, A.R.; REZENDE, M.A.S.; OLIVEIRA, G.S. Desempenho de cultivares de alface no norte capixaba. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, 2011.

FERREIRA, D.F. **Sisvar - Sistema de análise de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 1998. 19 p.

FONSECA, A.S. da; THOMAZINI, A.; BERTOSSI, A.P.A.; AMARAL, J.F.T. do. Análise de crescimento e absorção de fósforo em alface. **Nucleus**, Ituverava, v.10, n.2, 2013.

KANO, C.; CARDOSO, A.I.I.; VILLAS BÔAS, R.L. Acúmulo de nutrientes e resposta da alface à adubação fosfatada. **Biotemas**, Florianópolis, v. 25, n. 3, p. 39-47, 2012.

KATAYAMA, M. **Nutrição e adubação de alface, chicória e almeirão**. In: FERREIRA, M.E.; CASTELLANE, P.D.; CRUZ, M.C.P. Nutrição e adubação de hortaliças. Piracicaba: POTAFOS, 1993. Cap. 4, p. 141-148.

MANTOVANI, J.R.; OLIVEIRA, I.A da C.; MARQUES, D.J.; SILVA, A.B. da; LANDGRAF, P.R.C. Teores de fósforo no solo e produção de alface crespa em função de adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 2369-2380, 2014.

MAUAD, M; FELTRAN, J. C.; CRUSCIOL, C.A.C.; ALVAREZ, A.C.C. Matéria seca e morfologia radicular de cultivares de arroz de terras altas em função da adubação com zinco. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 35, n. 1, p. 251-260, 2012.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. **Ensaio em ambiente controlado**. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Coord.) Método de pesquisa em fertilidade de solos. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p.189-253.

OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAUJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991, 392p.

OLIVEIRA, G.A.; ARAÚJO, W.F.; CRUZ, P.L.S.; SILVA, W.L.M.; FERREIRA, G.B. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 872-882, 2011.

PAIVA, A.S.; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T.J.D.; TURCO, J.E.P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, p. 161-169. 2005.

PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. **Manual de recomendação de Calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo - 5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciências Ambientais**, Canoas, v. 27, p. 29-48, 2003.

SALA, F.C.; COSTA, C.P. Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012.

SILVA, F.R. da.; ALBUQUERQUE, J.A.; COSTA, A. da. Crescimento inicial da cultura da soja em Latossolo Bruno com diferentes graus de compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1731-1739, 2014.

SILVA, L.B. da; NODARI, I.D.E.; SEABRA JÚNIOR, S.; DIAS, L.D.E.; NEVES, J.F. Produção de Alface sob Diferentes Sistemas de Cultivo. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 1742-1749, 2013.

SILVA, S.R.; BARROS, N.F. de; SOUZA, C.M. de. Fluxo difusivo de fósforo e zinco influenciado pela compactação de dois latossolos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 6, p. 619-624, 2008.

SOUTO, J.S.; OLIVEIRA, F.T.; GOMES, M.M.S.; NASCIMENTO, J.P.; SOUTO, P.C. Efeito da aplicação de fósforo no desenvolvimento de plantas de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L) Millsp). **Revista Verde**, Pombal, v. 4, n. 1, p. 135-140, 2009.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A. **Atributos Físico-hídricos do solo sob plantio direto**. Documentos 191, Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2006. 39 p.

VIANA, E.M.; VASCONCELOS, A.C.F. Produção de alface adubada com termofosfato e adubos orgânicos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 2, p. 217-224, 2008.

VIEIRA, M.C.; CARLESSO, A.; HEREDIA ZÁRATE, N.A.; GONÇALVES, W.L.F.; TABALDI, L. A.; MELGAREJO, E. Consórcio de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) e alface sob dois arranjos de plantas. **Revista Brasileira Plantas Medicinai**s, Botucatu, v. 14, p. 169-174, 2012.