

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM
FITOTECNIA

DISSERTAÇÃO

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO INFLUENCIADO
PELA APLICAÇÃO DE MAGNÉSIO**

Marcos de Castro Pena

2014



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO INFLUENCIADO
PELA APLICAÇÃO DE MAGNÉSIO**

MARCOS DE CASTRO PENA

Sob a orientação da Professora

Claudia Antonia Vieira Rossetto

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Produção Vegetal

Seropédica, RJ

Julho de 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE AGRONOMIA

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

MARCOS DE CASTRO PENA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, área de Concentração em Produção Vegetal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23/07/ 2014

Claudia Antonia Vieira Rossetto Dr.^a. UFRRJ
(Orientadora)

Adelson Paulo de Araújo Dr. UFRRJ

Ednaldo da Silva Araújo Dr. EMBRAPA

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à minha mulher Adrinês Freitas e Pena, companheira em todos os caminhos e trilhas desta vida.
Dedico, da mesma forma, à minha filha Ana Luísa Freitas e Pena, herança do Senhor para mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, meu Senhor e Salvador, pela vida e redenção em Cristo.

Agradeço à minha orientadora professora Claudia Rossetto por apontar a direção a seguir.

Ao professor Pedro Corrêa Damasceno Júnior pelo estímulo para prosseguir.

Agradeço aos alunos bolsistas do Campus Nilo Peçanha - Pinheiral do IFRJ, em especial, ao Pedro Henrique da Cunha Miranda, sobrinho de meu amigo Antônio Camilo da Cunha, pela incansável ajuda e dedicação.

Agradeço ao pesquisador da Embrapa Agroindústria de Alimentos José Luiz Viana de Carvalho pelo apoio e estímulo.

Agradeço ao Campus Nilo Peçanha - Pinheiral do IFRJ pelo apoio operacional na instalação e condução do experimento de campo.

Agradeço ao amigo José Arimathea Oliveira pelo apoio em toda a caminhada.

Agradeço ao amigo Carlos Eduardo Gabriel Menezes pelo incentivo e contribuições.

RESUMO

PENA, Marcos de Castro. **Desempenho de cultivares de feijoeiro influenciado pela aplicação de magnésio**. 2014. 40 p Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

O objetivo foi o de avaliar o desempenho de cultivares de feijoeiro influenciado pela aplicação de magnésio via aplicação de calcário no solo e adubação foliar, buscando alcançar altos rendimentos de grãos de feijão com qualidade nutricional. Para isto, foram instalados dois experimentos em solos classificados como Neossolo Flúvico e Cambissolo Háplico, em 2013. Para ambos os experimentos, o delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2x2x4 sendo dois níveis de calcário: zero e 0,528 Mg a⁻¹ para o experimento 1 bem como zero e 1,45 Mg ha⁻¹ para o experimento 2, dois níveis de adubação foliar de magnésio: zero e 300 L ha⁻¹, a 2% de sulfato de magnésio e quatro cultivares: BRSPontal, BRSCometa, BRSAgrete e BRSEsteio, com quatro repetições. Foram avaliados os componentes da produção do feijoeiro, a produção de grãos por planta (g planta⁻¹), a massa de matéria seca dos grãos, o rendimento de grãos (kg ha⁻¹) e os teores de magnésio nos grãos de feijão. Pelos resultados pode-se concluir que a aplicação de calcário e de adubação foliar com magnésio para as cultivares de feijoeiro BRSEsteio, BRSAgrete, BRSPontal e BRSCometa, em neossolo flúvico com suprimento natural de 3,0 cmol_c dm⁻³ de Ca²⁺ e de 2,5 cmol_c dm⁻³ de Mg²⁺, Al = 0,0 e V=65% não influenciaram significativamente os componentes da produção, o teor de magnésio no grão, bem como o rendimento da cultura, durante os meses de novembro de 2013 a janeiro de 2014 sob temperatura de 31,45° C, e população final de 74.125 plantas ha⁻¹.

Palavras chave: Adubação foliar. Calcário. Rendimento.

ABSTRACT

PENA, Marcos de Castro. **Yield of cultivars of common bean influenced by magnesium application**. 2014. 40 p. Dissertation (Master of Science in Phytotechnic). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

The goal was to evaluate the yield of the cultivar of common bean influenced by applying magnesium through limestone application to the soil and foliar fertilization, aiming to achieve high yields of common bean with nutritional quality. For that purpose, two experiments were settled in soils classified as Neossolo Flúvico and Cambissolo Háplico, in 2013. For both experiments, the experimental design chosen was the randomized blocks, in factorial arrangement 2x2x4 being two levels of limestone application: zero and $0.528 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ for the experiment one and zero and $1.45 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ for the experiment two, two levels of foliar fertilization with magnesium: zero and $300 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$, at 2% of magnesium sulfate and four cultivars: BRSPontal, BRSCometa, BRSAgrete and BRSEsteio, with four replications. Were evaluated the production components of the common bean, the grain production per plant (g plant^{-1}), the mass of dry matter of the grains, the grain productivity (kg ha^{-1}) and the nutrient concentration found in the grains. Results made it possible to conclude that, based on only one experiment, the limestone application and foliar fertilization with magnesium for the cultivars of common bean BRSEsteio, BRSAgrete, BRSPontal and BRSCometa, in neossolo flúvico with natural supplement of $3.0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ of Ca^{2+} and of $2.5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ of Mg^{2+} , $\text{Al} = 0,0$ and $\text{V}=65\%$ did not influence significantly the production components, the magnesium concentration in the grains, as well the culture yield, for the climate conditions registered through the months of november of 2013 to january of 2014 under air temperatures of $31,45^\circ \text{C}$ and with final population of $74.125 \text{ plants ha}^{-1}$.

Key words: Foliar fertilization. Limestone. Yield.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	2
2.1 A espécie	2
2.2 Cultivares	2
2.3 Importância do magnésio	3
2.4 Aplicação do magnésio	4
2.4.1 Via aplicação de calcário	4
2.4.2 Via adubação foliar	5
2.5 Variabilidade genética e teor de nutrientes no grão do feijoeiro	6
3 MATERIAL E MÉTODOS	7
3.1 Amostragem, análise química e preparo do solo	7
3.2 Semeadura	7
3.3 Calagem, adubação de solo e de cobertura	8
3.4 Irrigação, capina e controle de pragas e doenças	8
3.5 Adubação foliar	8
3.6 Colheita	9
3.7 Coleta de Dados	9
3.7.1 Avaliação da população de planta	9
3.7.2 Avaliação dos componentes da produção de grãos	9
3.7.3 Avaliação do rendimento de grãos	9
3.7.4 Avaliação da massa seca e de magnésio e preparo para análise química	9
3.7.5 Avaliação do teor de magnésio	10
3.8 Procedimento estatístico	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1 Experimento 1	11
4.1.1 Condições climáticas e de solo	11
4.2 Experimento 2	22
4.2.1 Condições climáticas e de solo	22
5. CONCLUSÕES	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais e o maior consumidor mundial de grãos de feijão comum, *Phaseolus vulgaris* L. (CONAB, 2013), de tal forma que estes grãos são considerados alimento básico em nosso país, com relevância alimentar por seu consumo diário e amplo nas diferentes classes socioeconômicas do Brasil, de algumas cultivares classificadas em grupos tais como Carioca, Mulatinho e Preto (BURATTO, 2012)

O grão de feijão é importante fonte de proteínas, carboidratos e minerais, apresentando 16 a 36,28% de proteínas, 66,3 a 76,79% de carboidratos e 0,66 a 1,43% de lipídios (BURATTO, 2012). Além disto, apresenta teores médios de 2,11 a 2,78 g de Mg kg⁻¹ de grão (BURATTO et al., 2012), com importância na prevenção de diversas doenças humanas, como cardiopatias, diabetes, enxaqueca e osteoporose (KISHIMOTO et al., 2010).

Na planta, o magnésio é um nutriente essencial para a produção, pois atua nas reações de fotofosforilação, na fixação fotossintética do CO₂, na síntese proteica e na formação da clorofila (BRANDENBURG & KLEIER, 2011). Também apresenta benefícios específicos na proteção da planta contra a toxicidade de alumínio (BOSE et al., 2011).

A obtenção de grãos com maiores teores deste nutriente é vantajosa para o combate da desnutrição qualitativa humana. Broadley & White (2010) indicaram que mesmo entre populações com consumo adequado energético de alimentos, muitos são deficientes em magnésio. No Brasil, existem vários projetos com esta finalidade, tal como o BioFORT (BIOFORT, 2014), sob a liderança da EMBRAPA.

A aplicação de magnésio para as plantas pode ser feita via aplicação de calcário calcítico, magnesiano ou dolomítico no solo e via adubação foliar, com uso de sulfato de magnésio. O uso da adubação foliar de magnésio apresenta a vantagem de disponibilizar o nutriente para absorção mais rápida para a planta (FANCELLI & DOURADO NETO, 2007).

Diante da necessidade de alcançar elevados rendimentos de grãos de feijão com qualidade nutricional, o objetivo foi o de avaliar o desempenho de cultivares de feijoeiro influenciado pela aplicação do magnésio via aplicação de calcário e via adubação foliar em Pinheiral, RJ.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A espécie

O feijoeiro comum é uma angiosperma, dicotiledônea, fabácea do gênero *Phaseolus* L. e da espécie *Phaseolus vulgaris* L.. Esta planta tem metabolismo C₃, com menor capacidade fotossintética e baixa eficiência no aproveitamento de água, apresenta sistema radicular reduzido e ampla variabilidade de caracteres agrônômicos, tais como, hábito de crescimento, tamanho e cor de grãos e ciclo de vida (VIEIRA et al., 2006). Assim, pode ser classificado em seis raças ou doze grupos gênicos, o que é uma evidência de sua variabilidade genética, necessária para a seleção de cultivares adaptadas a diferentes regiões (SINGH, 1993).

Esta espécie é cultivada em grande diversidade ambiental, ou seja, em cerca de 100 países, entre estes, Índia, Brasil, China, Estados Unidos e México, contribuindo com 95% da produção mundial de grãos (SILVA et al., 2011). O Brasil é um dos maiores produtores, sendo que se considerar as três safras de cultivo, estima-se que a área total de cultivo poderá chegar, em 2014, a 3,36 milhões de hectares, 9,4% maior que a safra passada (CONAB, 2014).

Ressalte-se que a maioria dos grãos de feijão das cultivares utilizadas contém de 20 a 25 % de proteína (VIEIRA et al., 2006). No entanto, apesar de sua importância alimentar, não tem produção de grãos que acompanhe a demanda (BRASIL, 2014).

A produtividade, a não ser nas culturas irrigadas, é muito baixa no país, sendo a média nacional de aproximadamente 1.088 kg ha⁻¹ (CONAB, 2014), 15,9% acima da safra passada e, a produção nacional deverá alcançar 3,56 milhões de toneladas, 26,8% maior que a última safra (CONAB, 2014). No Estado do Rio de Janeiro, a produtividade média é de 963 kg ha⁻¹, com produção de 2,6 mil toneladas (CONAB, 2014).

Quanto ao consumo, tem-se que este vem decrescendo na dieta da população Brasileira, sendo a média em 2003 de 16 kg ano⁻¹ (VIEIRA et al., 2006), provavelmente devido ao êxodo rural, a alteração de padrões alimentícios e a redução do preço de outras fontes proteicas. No entanto, em 2014, os dados mostram crescimento no consumo futuro, cerca de 1,22% ao ano, passando de 3,7 milhões de toneladas para 4,31 milhões de toneladas se considerar de 2009/2010 a 2019/2020 (BRASIL, 2014).

2.2 Cultivares

Existem várias cultivares do feijoeiro, tais como o grupo Carioca (BRSCometa e BRSPontal), do grupo Mulatinho (BRSAgreste) e do grupo Preto (BRSEsteio). A cultivar BRSCometa originou-se do cruzamento A 769 /4/ EMP 250///A 429/ XAN 252// C 8025 / G 4449 /// WAF 2 / A 55 // GN 31 / XAN 170, realizado em 1991, no Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colômbia. Apresenta porte de planta ereto com boa resistência ao acamamento e ciclo reduzido (média de 78 dias, da emergência à maturação fisiológica), (EMBRAPA, 2007).

A cultivar BRSPontal originou-se do cruzamento BZ 3836 // FEB 166 / NA 910523, realizado pela Embrapa Arroz e Feijão. O porte das plantas é semiprostrado na maioria dos sistemas de produção, nas diferentes condições de solo e clima onde foi avaliada. O ciclo da emergência à maturação final é de aproximadamente 87 dias e tem baixa resistência ao acamamento (EMBRAPA, 2006).

A cultivar BRSAgreste, do grupo Mulatinho, originou-se do cruzamento biparental entre os genitores CB 912052 e NA 9022180, realizado na Embrapa Arroz e Feijão em 1993.

Apresenta ciclo semi precoce com 75 a 85 dias da emergência à completa maturação, tem porte de planta ereto com boa resistência ao acamamento (EMBRAPA, 2008).

Em relação à cultivar BRSEsteio, do grupo Preto, pode-se dizer que se originou do cruzamento entre as linhagens FT85-113 / POT 51, realizado em 1992, na Embrapa Arroz e Feijão. As plantas são arbustivas, com hábito de crescimento indeterminado tipo II, com arquitetura ereta e com boa resistência ao acamamento. (EMBRAPA, 2013).

Para Vieira et al. (2006), no Brasil, o tipo Carioca e o tipo Mulatinho se desenvolvem adequadamente em temperaturas médias do ar entre 18 a 24 °C. Já quanto a água, a espécie requer disponibilidade de água no solo durante todo o ciclo, principalmente nas fases de germinação e emergência, floração e maturação do grão. Além disto, estes cultivares podem ser cultivados em solos com textura arenosa leve a argilosa, cuja faixa ideal de pH está entre 5,5 a 6,5 e com alta fertilidade, em função do pequeno volume de sua rizosfera, 85% das raízes se concentram nos primeiros 20 cm, bem como seu ciclo curto, no máximo 100 dias.

Quanto à fenologia do feijoeiro, o seu conhecimento é fundamental para a interpretação do comportamento da planta durante todo seu ciclo vital. De acordo com Gepts & Fernandes (1982) na escala fenológica proposta, o ciclo biológico do feijoeiro é dividido em 10 etapas de desenvolvimento, sendo cada etapa identificada por um código composto por uma letra (fase dentro do ciclo, sendo V para fase vegetativa e R para fase reprodutiva) e um número (indica a ordem cronológica da etapa de desenvolvimento). Assim, na fase vegetativa, o estágio V0 é a germinação e emergência, o estágio V1 é a emissão de cotilédones ao nível do solo, o estágio V2 é a expansão das folhas primárias, o estágio V3 é o surgimento da primeira folha trifoliada e o estágio V4 é o surgimento da terceira folha trifoliada. Já na fase reprodutiva, o estágio R5 está relacionado à emissão dos botões florais, o estágio R6 se refere à abertura da primeira flor, o estágio R7 é o aparecimento das primeiras vagens, o estágio R8 se refere às primeiras vagens cheias e o estágio R9 ocorre com a modificação da cor das vagens (maturidade fisiológica).

2.3 Importância do magnésio

Para a alimentação humana, Komiya et al. (2014) apontam que o mg é o quarto cátion mais abundante no corpo humano e o segundo mais abundante no meio intracelular. Além disto, inúmeros estudos nutricionais mostram que o magnésio é essencial para a nutrição preventiva na saúde humana (HERCBERG et al., 1998 e OURY et al., 2006). Abad et al. (2005) concluíram que a deficiência de Mg na dieta pode ser o principal fator no desenvolvimento de cardiopatias, diabetes, asma, enxaqueca e osteoporose. Para estes autores, o uso de mg na clínica humana vem ocorrendo desde 1618 com o uso de uma fonte de água rica em sulfato de Mg, na cidade de Epsom, Inglaterra utilizada para curar feridas.

Castiglioni & Maier (2011) indicam que vários estudos epidemiológicos evidenciam que existe correlação entre a dieta de magnésio e vários tipos de câncer. Apontam ainda que altos níveis de magnésio na água potável protegem contra câncer de esôfago e de fígado. Além disso, afirmam que a concentração de magnésio na água potável é inversamente correlacionada com morte de câncer de ovário, próstata e mama. Além disto, importante revelação foi obtida por Kishimoto et al. (2010) ao comprovar que a suplementação de Mg pode inibir a absorção de gordura e melhorar a hiperlipidemia em indivíduos saudáveis.

Elin (2011) ao estudar a dieta humana, estabeleceu o conceito de deficiência crônica latente de Mg devido à ingestão insuficiente, diminuição da absorção gastrointestinal e aumento da excreção pelo rins. Para Broadley & White (2010), 9% da população adulta do Reino Unido e dos Estados Unidos consomem quantidades de Mg abaixo da recomendável, estando sob risco de deficiência, o que demonstra a amplitude e a gravidade da deficiência nutricional na saúde humana, estimando que 25% ou mais da população mundial pode estar

em risco de deficiência de Mg. Já Oury et al. (2006) comentam que a deficiência deste nutriente prejudica uma parcela considerável da população mundial, pois mais de 70% da população francesa ingere menos magnésio do que o consumo diário recomendado, que é de 270 mg/dia para mulheres e 300 mg/dia para homens.

Já para a nutrição da planta, a importância do mg está relacionada ao papel mais conhecido deste nutriente na planta que é sua ocorrência no centro da molécula de clorofila, mas a porção de Mg associada à clorofila é apenas de 15 a 20% do total da planta (KIRKBY & MENGEL, 1976). Também tem como principal papel ser cofator em quase todas as enzimas ativas no processo de fosforilação, pois o Mg forma uma ponte entre a estrutura do pirofosfato do ATP ou ADP e a molécula da enzima (KIRKBY & MENGEL, 1976). E ainda, outro importante papel do Mg na planta, está relacionado a redução do sintoma de toxicidade de alumínio (Al^{3+}), pois de acordo com Bose et al. (2011), estes mecanismos de ação do Mg^{2+} ligados à atenuação da toxidez do Al^{3+} estariam relacionados ao aumento da força iônica da solução do solo devido a presença do Mg^{2+} , a redução da saturação de Al^{3+} nos sítios de troca no apoplasto e, ao decréscimo da atividade do Al^{3+} na superfície da membrana plasmática da célula da raiz.

Também é amplamente aceito que o magnésio tem efeito protetor ao impedir a absorção de Al^{3+} pela planta, pela ação de antagonismo iônico (PORTELA & LOUZADA, 2007).

Em experimentos para mostrar o efeito do magnésio, Brandenburg & Kleier (2011) observaram que a aplicação de solução nutritiva com 0,01 M $MgCl_2$ mostrou aumento na taxa de germinação, altura e peso de rabanete (*Raphanus sativus* L. cv. Cherry Belle), quando comparado com a testemunha. Desta forma, concentrações moderadas de $MgCl_2$ podem beneficiar o desenvolvimento desta espécie.

Quanto à via de absorção pela planta, o mg é absorvido principalmente pela via simplástica e está presente em alta concentração na maioria dos tecidos vegetais, como por exemplo no grão o teor médio de magnésio é de 2,11 a 2,78 g kg^{-1} de grão (BURATTO et al., 2012). Importante indicar que cerca de 75% do Mg da folha parece estar ligada à síntese de proteína e entre 15 a 20% com a clorofila (BROADLEY & WHITE, 2010).

2.4 Aplicação do magnésio

O feijoeiro é uma planta de ciclo curto, necessitando que os nutrientes estejam prontamente disponíveis nos estádios fenológicos de maior demanda, a fim de não ocorrer limitação da produtividade (FERNANDES et al., 2007). Assim, a aplicação de magnésio à planta pode ser realizada principalmente, de duas maneiras: aplicação de calcário no solo e aplicação via pulverização na folha.

2.4.1 Via aplicação de calcário

Uma das formas de fornecimento de magnésio ao feijoeiro é por meio da aplicação de calcário. Assim, a calagem na cultura do feijão promove modificação no sistema radicular, além de fornecer Ca e Mg, e aumentar o pH, que por sua vez, aumenta a disponibilidade de nutrientes (ROSOLEM, 1996).

Silva et al. (2004), visando estudar o efeito da calagem em feijoeiro, cultivares do grupo Carioca (Campeão 1, Carioca, FT-Bonito e Pérola), aplicaram distintas doses de calcário (0; 1,59; 3,18; e 4,48 $Mg\ ha^{-1}$), elevando a saturação por bases (V%) para 3%, 18%, 33% e 45% respectivamente e, comprovaram que o aumento das doses de calcário proporcionou no solo a elevação do pH, dos teores de Ca e Mg trocáveis e a redução nos teores de Al trocável e H+Al. Além disto, a resposta favorável ao crescimento radicular do

feijoeiro devido ao aumento dos teores de Ca e Mg no solo, está relacionada à síntese da parede celular, uma vez que estes nutrientes participam da formação dos compostos de pectatos de Ca e Mg. Desta forma, a calagem proporcionou aumentos significativos de em relação à massa de matéria seca do sistema radicular, massa de matéria seca da parte aérea e massa de matéria seca total, atingindo valores máximos nas doses de 3,0 a 4,4 t.ha⁻¹ de calcário.

Schultz et al. (2011) comprovaram que para o feijoeiro, cultivar Carioca, em organossolo, o aumento das doses de calcário, elevou à elevação da saturação por bases e aumentou no solo, os valores de pH (4,53 a 7,12), de teor de Ca (2,26 a 13,70 cmol_c dm⁻³) e de teor de Mg (1,24 a 10,16 cmol_c dm⁻³). Verificaram, ainda, que em relação ao teor de Mg no solo, os valores foram crescentes em função das doses de calcário aplicadas, sendo o maior valor verificado para a saturação por bases a 90%. Já em relação à produção de matéria seca, concluíram que o maior incremento ocorreu na saturação por bases a 43%.

Cherubin et al. (2012), avaliando a cultivar foi a IPR Tiziu, grupo Preto, concluíram que o rendimento de grãos do feijoeiro apresenta correlação positiva com pH em H₂O próximo ou superior a 6,0, saturação por bases com valores entre 65 e 80%, cálcio e magnésio. Assim, a concentração de Mg no solo apresentou correlação positiva de 0,474 com o rendimento de grãos.

Em sistema de plantio direto, Silva et al. (2011) ao estudar a produtividade de cultivares de feijão em resposta à calagem superficial em plantio direto, verificaram que a aplicação de doses crescentes de calcário (0; 1,8; 3,6; e 5,4 Mg ha⁻¹) resultou em aumento linear na produção da cultivar IAPAR 81, apontando com um dos fatores desse aumento, a elevação do teor de Mg no solo de 11,4 para 21,6 mmol_c dm³.

Também em sistema irrigado, Barbosa Filho & Silva (2000), estudando o feijoeiro em solo de cerrado, observaram que a aplicação de 15 Mg ha⁻¹ de calcário aumentou a porcentagem de saturação por bases (V%) a 60%, devido, principalmente, ao aumento nas concentrações de Ca e Mg. A calagem efetuada com 3, 6, 9, 12 e 15 Mg ha⁻¹ de calcário respondeu, respectivamente, por um aumento de 19%, 19%, 29%, 29% e 37% no rendimento do feijoeiro.

Além disto, Kirkby & Mengel (1976) registram que quando o fertilizante contendo Mg é aplicado no solo, a presença dos cátions H⁺, K⁺ e Ca²⁺ na rizosfera pode influenciar consideravelmente a absorção de Mg²⁺, reduzindo sua absorção por competição iônica.

2.4.2 Via adubação foliar

Sabe-se que uma das finalidades da adubação foliar é fornecer nutrientes à planta na fase reprodutiva, quando há necessidade de rápida disponibilidade do nutriente (COBUCCI et al., 2012).

Fancelli & Dourado Neto (2007) recomendam a aplicação foliar de sulfato de magnésio (MgSO₄.7H₂O) para o feijoeiro no início de florescimento, a 2%, na base de 300 L ha⁻¹.

Em relação ao efeito da adubação foliar de magnésio no rendimento e nos componentes da produção, Conte e Castro & Boaretto (2001) estudando feijão, cultivar Carioca 80 SH empregando três pulverizações foliares aos 30, 45 e 60 dias após a emergência (totalizando 200 L ha⁻¹ de calda), fornecendo Mg = 150 g ha⁻¹, S = 120 g ha⁻¹, P = 200 g ha⁻¹, Ca = 300 g ha⁻¹, observaram que os teores de macronutrientes nos grãos não diferiram significativamente entre os tratamentos, inclusive de Mg.

Assim, existe reduzido número de publicação científica acerca da adubação foliar com magnésio para a cultura do feijoeiro. De outro lado, pode se observar que existem inúmeras publicações científicas sobre adubação foliar com micronutrientes, aplicados em baixas

dosagens por hectare, para a cultura do feijoeiro, como por exemplo, o uso de manganês por Fernandes et al. (2007), boro por Vescovi et al. (2012) e molibdênio por Andrade et al. (1998). Desta forma, Alexander & Schroeder (1987) apontaram que há dificuldade técnica para aplicar a adubação foliar com macronutriente, tal como o magnésio, pois de acordo com os autores a dosagem necessária à planta por hectare é alta e isso leva a toxicidade nas plantas, o que ocasionaria o parcelamento da dose em várias aplicações.

2.5 Variabilidade genética e teor de nutrientes no grão do feijoeiro

Há uma variabilidade genética do feijoeiro também relacionada quanto ao acúmulo de nutrientes nos grãos. Já Pereira et al. (2011) comprovaram a variabilidade genética quanto ao teor de nutrientes (ferro, zinco, cálcio, magnésio, potássio) em grãos de feijão avaliando genótipos crioulos no Estado de Santa Catarina. Já Moraghan et al. (2004) concluíram que o genótipo prejudicou a concentração de Mg no grão do feijão comum e apontaram que a porcentagem do Mg total no tegumento do grão variou de 16% a 28%, de acordo com o genótipo.

Buratto et al. (2012) apontam que é possível o fornecimento de magnésio à população por meio do melhoramento vegetal do feijão, visando cultivares mais eficientes no acúmulo de Mg no grão. Assim, os autores estudaram a herdabilidade e o ganho de seleção para os teores de cálcio e magnésio em grãos de feijão e concluíram que é possível a obtenção de linhagens de feijão com maiores teores de cálcio e magnésio por meio de métodos de melhoramento clássico, com teor de magnésio de $0,388 \text{ g kg}^{-1}$ grão, correspondendo a 18,3% de aumento em relação à testemunha.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados dois experimentos em área do Campus Pinheiral do Instituto Federal do Rio de Janeiro (CANP/IFRJ), todos com as coordenadas: latitude: 22° 30' 46", longitude: 44° 00' 02" e altitude 345 metros, em solos classificados como neossolo flúvico e cambissolo háplico (IBGE, 2007), em 2013.

Para ambos os experimentos, o delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 sendo dois níveis de aplicação de calcário: zero e 0,528 Mg ha⁻¹ para o experimento 1 e zero e 1,45 Mg ha⁻¹ para o experimento 2, dois níveis de adubação foliar: zero e 300 L. ha⁻¹, a 2% de sulfato de magnésio e quatro cultivares: BRSPontal, BRSCometa, BRSAgreste e BRSEsteio, com quatro repetições. Cada unidade experimental ocupou a área total de 10 m², sendo considerada como área útil 4 m², ou seja, quatro linhas de 5,00 m, espaçadas de 0,50 m. Foram desprezados 0,50 m de cada extremidade da linha (bordadura) e colhidas as plantas apenas das duas linhas centrais. As sementes foram doadas pela EMBRAPA Agroindústria de Alimentos e EMBRAPA Arroz e Feijão, mediante celebração de Termo de Cooperação entre a Embrapa e o Município de Pinheiral, em agosto de 2013.

3.1 Amostragem, análise química e preparo do solo

Antes da implantação dos dois experimentos, foram retiradas amostras do solo a 0,20 m de profundidade. A análise química do solo foi efetuada no Laboratório de Solos da PESAGRO (Unidade Seropédica) e foi parâmetro para indicação da necessidade de adubação e de calagem. Abaixo são apresentados os resultados das análises de solo do experimento 1 (inicial e final) e do experimento 2 (inicial).

Em relação ao experimento 1, a análise inicial do solo apresentou os seguintes valores: pH em água: 5,5; Al: 0,0 cmol_c dm⁻³; H+Al: 3,1 cmol_c dm⁻³; Ca: 3,0 cmol_c dm⁻³; Mg: 2,5 cmol_c dm⁻³; Na: 0,02 cmol_c dm⁻³; P: 28 mg dm⁻³; K: 73 mg dm⁻³ e V de 65%. Já a análise final do solo apresentou os valores: pH em água: 5,4; Al: 0,0 cmol_c dm⁻³; H+Al: 4,8 cmol_c dm⁻³; Ca: 3,7 cmol_c dm⁻³; Mg: 1,8 cmol_c dm⁻³; Na: 0,04 cmol_c dm⁻³; P: 5,8 mg dm⁻³; K: 94 mg dm⁻³ e V de 55 %.

Quanto à análise de solo Experimento 2, na inicial foram encontrados os valores: pH em água: 5,3; Al: 0,1 cmol_c dm⁻³; H+Al: 4,0 cmol_c dm⁻³; Ca: 2,8 cmol_c dm⁻³; Mg: 2,2 cmol_c dm⁻³; Na: 0,05 cmol_c dm⁻³; P: 11 mg dm⁻³; K: 88 mg dm⁻³ e V de 57%.

Os dados climáticos foram coletados em estação meteorológica instalada no CANP/IFRJ.

O preparo do solo foi efetuado com uso de arado e grade tracionados por trator convencional.

3.2 Semeadura

No experimento 1, a semeadura foi efetuada no dia 11 de novembro de 2013, época de semeadura "das águas", em função da data de obtenção das sementes, em um neossolo flúvico. A distribuição de sementes foi realizada manualmente com 13 a 20 sementes por metro (cultivar: BRSEsteio 20 sementes metro⁻¹, BRSAgreste 14 sementes metro⁻¹, BRSPontal 15 sementes metro⁻¹ e BRSCometa 13 sementes metro⁻¹), em sulcos de 0,50 m entre linhas e profundidade de 3 a 5 cm (PESAGRO, 2008). Assim, foram gastos: 68,4 kg ha⁻¹ de sementes da cultivar BRSEsteio; 78 kg ha⁻¹ de sementes da cultivar BRSAgreste; 76,7 kg ha⁻¹ de sementes da cultivar BRSPontal e 74,3 kg ha⁻¹ de sementes da cultivar BRSCometa.

No experimento 2, a semeadura foi efetuada no dia 17 de dezembro de 2013, época de semeadura “das águas”, em função da data de obtenção das sementes, em um cambissolo háplico. Foram adotados os mesmos procedimentos de semeadura daqueles adotados no experimento 1, bem como foram utilizadas as mesmas quantidades de sementes do experimento 1.

3.3 Calagem, adubação no solo e de cobertura

No experimento 1, a calagem e a adubação de semeadura foram efetuadas a partir da análise química das amostras do solo e nas recomendações previstas em Pesagro (2008), Vieira et al. (2006) e Freire et al. (2013) com calcário e com N, P₂O₅, K₂O.

A calagem foi realizada no dia 27/09/2013, utilizando 0,528 Mg. ha⁻¹ de calcário calcítico (45% CaCO₃ e 4,9% MgCO₃), PRNT igual a 83,1%, ou seja, foram colocados 25,87 kg de Magnésio.

Para a adubação no solo, junto a semeadura, a dosagem foi de 214,28 kg ha⁻¹, na forma de NPK 4:14:8., representando 8,57 kg de N, 29,99 kg de P₂O₅ e 17,14 kg de K₂O, conforme recomendações Pesagro (2008), Vieira et al. (2006) e Freire et al. (2013). Aos 20 dias após a emergência, foi realizada a adubação em cobertura com 60 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, aplicou-se 133g de uréia por parcela, conforme Pesagro (2008), Vieira et al. (2006) e Freire et al. (2013).

No experimento 2, com base na análise química do solo, foi aplicado 285 Kg ha⁻¹ de NPK 4:14:8, junto à semeadura, segundo as recomendações de Pesagro (2008), Vieira et al. (2006) e Freire et al. (2013).

A calagem foi aplicada colocando 1,45 Mg. ha⁻¹ de calcário no dia 01/11/2013, ou seja com 71,05 kg de magnésio.

A adubação em cobertura foi realizada aos 20 dias após a emergência, com 60 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, aplicou-se 133g de uréia por parcela, conforme Pesagro (2008), Vieira et al. (2006) e Freire et al. (2013).

O cálculo da necessidade de calcário foi efetuado pelo Método de Saturação por Bases no Solo, com V=70%, de acordo com Mattiello et al. (2006), que observaram aumentos significativos no conteúdo de nitrogênio total e potássio na matéria seca do feijoeiro em função do incremento da saturação por bases até 80%, bem como de acordo com Fageria et al. (2005).

3.4 Irrigação, capina e controle de pragas e doenças

No experimento 1, a irrigação foi realizada com sistema de aspersão, com turno de rega de três dias até o início de maturação de 50% das vagens e, as capinas foram efetuadas manualmente com uso de enxada, até a fase de enchimento de grãos. Não foram aplicados agrotóxicos pela não-ocorrência expressiva de doenças e pragas.

No experimento 2, a irrigação foi efetuada com sistema de aspersão, com turno de rega de três dias até 45 dias após a semeadura, e, as capinas foram efetuadas manualmente com uso de enxada até 45 dias após a semeadura. Não foram aplicados agrotóxicos pela não-ocorrência de doenças e pragas na parte aérea.

3.5 Adubação foliar

A aplicação foliar de sulfato de magnésio (MgSO₄.7H₂O) foi efetuada com as cultivares no início de florescimento, a 2%, na base de 300 L ha⁻¹ (FANCELLI & DOURADO NETO, 2007), aplicou-se 6 g de sulfato de magnésio por parcela, ou seja, 6 kg

ha⁻¹. Em duas aplicações, aos 30 e 37 dias após a emergência (DAE), com pulverizador costal, que ocorreu no dia 18 e no dia 26 de dezembro de 2013 para o experimento 1.

A adubação foliar com sulfato de magnésio para o experimento 2 ocorreu na mesma fase fenológica, 30 e 37 dias após a emergência (DAE), e na mesma quantidade, com pulverizador costal, que ocorreu no dia 23 e no dia 30 de janeiro de 2014.

3.6 Colheita

No experimento 1, a colheita foi realizada em 24 de janeiro de 2014, ou seja 74 dias após o semeadura, quando cerca de 90% das vagens de todas as cultivares, estavam na coloração palha com base em PESAGRO (2008). No experimento 2, não foi realizada a colheita, em função da morte de cerca de 70% das plantas devido a altas temperaturas registradas nos meses de janeiro e fevereiro de 2014, que se observou em 12 de março de 2014.

3.7 Coleta dos dados

3.7.1 Avaliação da população de plantas

No experimento 1, foi avaliada a população de plantas (inicial e final), respectivamente aos 21 dias após a semeadura e na colheita. Os resultados foram obtidos em 10 m² e transformados em hectare. No experimento 2, foi avaliada somente a população inicial de plântulas.

Os resultados foram obtidos em 10 m² e expressos em hectare.

3.7.2 Avaliação dos componentes da produção de grãos

Em cada unidade experimental, na área útil, foram coletadas as plantas contínuas em um metro para avaliação dos componentes da produção: número de vagens por plantas, número de grãos por vagem, produção por planta, massa de cem sementes.

No momento da colheita, também foram colhidas algumas plantas para avaliação do teor de água inicial dos grãos.

3.7.3 Avaliação do rendimento de grãos

As demais plantas (duas linhas de dois metros) foram contadas e levadas para trilha e secagem, e posteriormente para cálculo da produção de grãos por kg ha⁻¹. Depois considerando o teor de água após a secagem, foi feito o cálculo da produção dos grãos com 13% de água.

3.7.4 Avaliação da massa seca e de magnésio e preparo para análise química

As plantas de outro um metro foram colocadas em sacos de papel, em separado (parte aérea e grãos) e mantidas em estufa com circulação forçada de ar a 70°C, até atingirem a massa constante. As amostras foram pesadas com precisão de 0,01g, obtendo-se a massa média de matéria seca dos grãos.

Após a secagem, as amostras dos grãos foram moídas e submetidas à análise química.

3.7.5 Avaliação do teor de magnésio nos grãos

Essa avaliação foi realizada no Centro de Análises da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em Campos dos Goytacazes, utilizando-se a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). A quantidade de magnésio acumulada, em 50 g da amostra obtida na análise, foi multiplicada pela massa seca dos grãos e expressa em g kg^{-1} de grão.

3.8 Procedimento estatístico

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste F, esquema fatorial $2 \times 2 \times 4$, sendo que primeiramente foram realizados os testes de normalidade dos dados (Teste de Lilliefors) e homogeneidade das variâncias (Testes de Cochran e Barlett). Com base nos resultados, os dados não foram transformados. Para comparação das médias, foi usado o teste de Tukey a 5% de probabilidade (GOMES, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1

4.1.1 Condições climáticas e solo

Todos as cultivares de feijoeiro foram colhidas aos 74 dias após a semeadura. Este ciclo é menor que aqueles citados na literatura: BRSEsteio (85 a 94 dias), BRSAgrete (75 a 85 dias), BRSCometa (75 a 78 dias) e BRSPontal (85 a 95 dias) (EMBRAPA, 2008; EMBRAPA, 2013; EMBRAPA, 2014b; EMBRAPA, 2014c). Entretanto, devido ao estresse térmico ocorreu provavelmente encurtamento do ciclo da cultura, o que confirma os dados de Segundo White & Izquierdo (1989) que apontam altas temperaturas do ar como promotoras do encurtamento do ciclo de vida do feijoeiro.

Durante a implantação e a condução do Experimento 1, foram registrados os dados climáticos (Figura 1). Assim, pode-se observar que a temperatura máxima média do ar durante todo o ciclo das cultivares de feijoeiro foi de 31,45 °C, alcançando muitas vezes, 35 °C, valores considerados altos quando comparado à temperatura máxima ideal para esta espécie que é de 29 °C (FANCELLI et al., 2013). Em relação a média da temperatura média do ar, esta foi de 24,18 °C, também valor considerado acima da temperatura média ideal para esta espécie, que é de 21 °C (FANCELLI et al., 2013). Já, em relação à precipitação pluvial, durante todo o ciclo do feijoeiro foi registrada a ocorrência de 364,30 mm, que está dentro da faixa ideal de 300 a 400 mm para a cultura (LOIOLA, 2013).

Na semeadura, o solo apresentava teor de cálcio equivalente a 3,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e de magnésio, a 2,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, o que representa a disponibilidade de 1.200 kg ha^{-1} de Ca^{2+} e 607,80 kg ha^{-1} de Mg^{2+} , respectivamente para uma profundidade de 0,20 m, com o valor de V em 65%, pH em água: 5,5 e Al: 0,0. Assim, o pH do solo do experimento 1 estava dentro da faixa ideal para a cultura e o nível de alumínio era zero e, portanto, adequado à cultura como salientaram Vieira et al. (2006), que o feijoeiro apresenta máxima produtividade numa faixa de pH de 5,5 a 6,5. Além disto, em relação à concentração do solo de Ca^{2+} e de Mg^{2+} nota-se que a concentração destes representava a disponibilidade de 1.200 kg ha^{-1} de Ca^{2+} e 607,80 kg ha^{-1} de Mg^{2+} , respectivamente para uma profundidade de 0,20 m, e V de 65%.

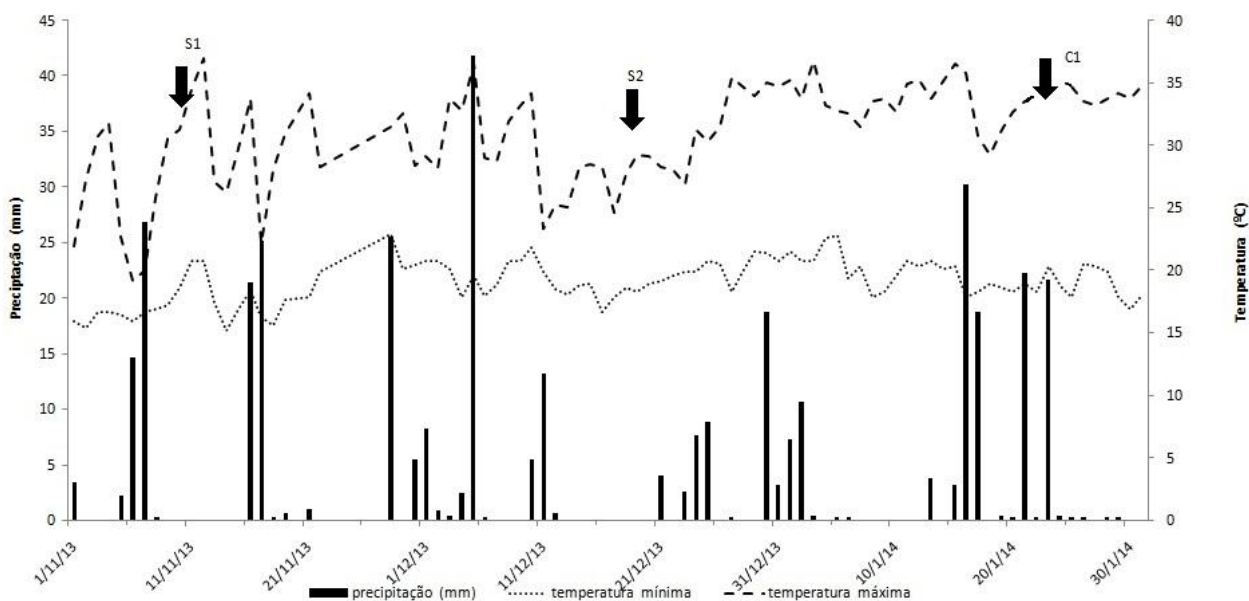


Figura 1. Precipitação pluvial (mm), e temperatura mínima e máxima (°C), registradas durante o ciclo do feijoeiro nos meses de novembro de 2013 a janeiro de 2014, Pinheiral, RJ. S1= semeadura do Experimento 1, S2= semeadura do Experimento 2 e C1=colheita do Experimento 1.

Os resultados da análise de variância dos dados de população (inicial e final de plantas) de feijão estão apresentados no Quadro 1. Pode-se constatar que não foi constatada interação tripla significativa entre os fatores analisados: cultivares, dose de calcário e dose de adubação foliar de Mg para número de plantas (inicial e final). Além disto, também não houve interação significativa dupla e nem efeito significativo dos fatores individualmente para número de plantas final.

Porém, houve interação dupla entre cultivar e aplicação de calcário. Assim, desdobrando a interação observa-se que o tratamento sem a aplicação de calcário na cultivar BRSPontal (3) foi superior ao tratamento com aplicação de calagem. Para cultivar 1 o tratamento com calagem foi superior ao tratamento sem calagem.

Estes resultados provavelmente, também, se devem à diferença na qualidade fisiológica inicial entre as diferentes cultivares de feijão. Ludwig et al. (2008) encontraram resultados semelhantes utilizando a cultivar de feijão Uirapuru e, comprovaram que a diferença na qualidade fisiológica das sementes promove diferentes valores de emergência de plântulas, tendo um lote alcançado 50% e outro lote, 23% de emergência, em campo.

O número de plantas inicial obtido variou de 71.250 a 122.750 plantas ha^{-1} , com média geral de 82.990 plantas ha^{-1} (tabela 1). Estes valores são considerados baixos com base na população inicial mínima ideal de 240.000 plantas ha^{-1} (PESAGRO, 2008). Desta forma, esta baixa população inicial provavelmente foi ocasionada pela morte de plantas, devido à ocorrência de praga ou doença de solo, não detectadas na ocasião ou ainda, em função das condições de temperatura máxima do ar com média de 30,67 °C e média de temperatura média de 23,79 °C na fase de germinação e emergência (Figura 1). Essas temperaturas são muito acima das ideais para a cultura nessa fase (VIEIRA, et al, 2006), pois o número de sementes utilizadas por metro na semeadura foi corrigido de acordo com as porcentagens de germinação.

Na Tabela 2 foi constatado que não houve também efeito significativo de tratamentos (doses de calcário, doses de adubação foliar e de cultivares) no número de plantas na colheita

(população final), assim como também observado para população inicial. Este número de plantas no final do ciclo variou de 50.500 a 121.500 plantas ha⁻¹, com média geral de 74.125 plantas ha⁻¹, valor considerado abaixo do ideal por Vieira et al. (2006), que relatam o número final de 200 mil plantas.ha⁻¹. Além disto, pode-se constatar baixa sobrevivência das plantas provavelmente devido ao estresse térmico, uma vez que dos 74 dias do cultivo 49 dias apresentaram temperaturas acima de 30°C (Figura 1). Esses dados parecem concordar com a literatura citada por Hoffmann Júnior et al (2007). Os autores afirmam que temperaturas superiores a 30-32°C durante o transcorrer do dia resultam em prejuízos ao estabelecimento das plantas, bem como também no crescimento e desenvolvimento da cultura do feijoeiro.

QUADRO 1. Resumo da análise de variância para número de plantas aos 21 dias após a semeadura (NP21D), número final de plantas (NFP), número de vagem por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), produção por planta (PRODPL), massa de cem sementes (MCS), produtividade em Kg ha⁻¹ (PROD) e matéria seca de grãos em Kg.ha⁻¹ (MS kg ha⁻¹).

FV	GL	QM NP21D	QM NFP	QM NVP	QM NGV	QM PRODPL	QM MCS	QM PROD	QM MS kg ha ⁻¹
BLOCO	3	638,18	961,33	50,39	2,21	5392,62	57,87	1.474.108,00	320.715,58
CV	3	983,05 ^{ns}	324,75 ^{ns}	18,89 ^{ns}	1,25 ^{ns}	502,04 ^{ns}	3,28 ^{ns}	49.491,10 ^{ns}	30.385,39 ^{ns}
CAL	1	19,14 ^{ns}	39,06 ^{ns}	19,14 ^{ns}	0,46 ^{ns}	441,00 ^{ns}	5,48 ^{ns}	450.701,30 ^{ns}	77.415,51 ^{ns}
MG	1	284,76 ^{ns}	25,00 ^{ns}	21,39 ^{ns}	3,03 ^{ns}	3937,56 ^{ns}	0,0003 ^{ns}	90.947,85 ^{ns}	28.872,52 ^{ns}
CV*CAL	3	763,18 ^{**}	78,72 ^{ns}	38,39 ^{ns}	0,67 ^{ns}	2539,37 ^{ns}	1,83 ^{ns}	71.878,61 ^{ns}	5.056,96 ^{ns}
CV*MG	3	1287,80 ^{ns}	84,91 ^{ns}	88,47 ^{ns}	1,19 ^{ns}	1346,52 ^{ns}	12,64 ^{ns}	276.639,90 ^{ns}	53.823,41 ^{ns}
CAL*MG	1	2364,39 ^{ns}	280,56 ^{ns}	102,51 ^{ns}	1,91 ^{ns}	4935,06 ^{ns}	3,03 ^{ns}	158.708,90 ^{ns}	30.930,94 ^{ns}
CV*CAL*MG	3	195,01 ^{ns}	95,56 ^{ns}	10,93 ^{ns}	1,53 ^{ns}	906,85 ^{ns}	1,29 ^{ns}	131.339,20 ^{ns}	11.427,55 ^{ns}
ERRO	45	154,40	172,23	30,62	1,18	1225,62	9,68	201.610,10	52.870,36
C.V. (%)		14,10	15,84	51,25	21,95	47,23	50,57	90,30	65,53

** = significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. CV = cultivar; CAL = aplicação de calcário; MG = adubação foliar de magnésio

TABELA 1. Número de plantas aos 21 dias após a semeadura (plantas ha⁻¹), em área com e sem aplicação de calcário (cal), com e sem adubação foliar de magnésio (mag) nas cultivares (cv) BRSEsteio (1), BRSAgreste (2), BRSPontal (3) e BRSCometa (4) em experimento realizado em Pinheiral, RJ, 2013.

Calagem	Aplicação foliar	Cultivares				Média (cal/mag/cv)	Média Calagem	Média Aplicação foliar
		1	2	3	4			
Sem	Sem	122.750	88.500	89.250	82.750	95.810	87,600	
	Com	85.250	71.250	87.250	73.750	79.380		90,250
Com	Sem	90.250	89.000	81.000	78.500	84.690	88.660	
	Com	80.500	86.000	121.750	82.250	92.630		86,010
Média cultivar		94.690	83.690	94.810	79.310			
Média (cv/cal)		104.00Aa	79.880Ba	88.250ABb	78.250Ba			
		85.380ABb	87.500ABa	101.400Aa	80.380Ba			
Média (cv/mag)		106.500Aa	88.750Ba	85.130Bb	80.630Ba			
		82.880Bb	78.630Ba	104.500Aa	78.000Ba			

C.V.(%) 14,10

Médias com letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 2. Número final de plantas (plantas ha⁻¹), em área com e sem aplicação de calcário (cal), com e sem adubação foliar de magnésio (mag) nas cultivares (cv) BRSEsteio (1), BRSAgreste (2), BRSPontal (3) e BRSCometa (4) em experimento realizado em Pinheiral, RJ, 2013.

Calagem	Aplicação Foliar	Cultivares				Média (cv/cal/mag)	Média calagem	Média Aplicação foliar
		1	2	3	4			
Sem	Sem	121.500	85.000	73.250	72.750	88.130	71.500	81.970
	Com	55.750	61.250	52.000	50.500	54.880		
Com	Sem	66.250	83.000	79.750	74.250	75.810	76.750	66.280
	Com	62.250	59.000	117.000	72.500	77.690		
Média cultivar		76.440	72.060	80.500	67.500			
Média (cv/cal)		88.630	73.130	62.630	61.630			
		64.250	71.000	98.380	73.380			
Média (cv/mag)		91.880	72.000	95.130	72.630			
		59.000	60.130	84.500	61.500			

C. V. (%) 15,84

Analisando os demais resultados da análise de variância apresentados no Quadro 1, pode-se verificar que não foi constatada interação tripla significativa entre os fatores analisados: cultivares, dose de calcário e dose de adubação foliar de Mg para produção por planta, produtividade de grãos de feijão e para os componentes da produção (número de vagens por planta, número de sementes por planta, massa de cem sementes). Além disto, também não houve interação significativa e nem efeito significativo dos fatores individualmente para produção por planta, produtividade de grãos de feijão e para os componentes da produção (número de vagens por planta, número de sementes por planta, peso de cem sementes),

Assim, em relação aos componentes da produção, não houve efeito significativo de tratamentos no número de vagens de feijão por planta (NVP) (Tabela 3). Obteve-se a média de 8,46 vagens por planta, sendo que este valor, quando comparado com os da literatura, está de acordo com os obtidos por Gomes et al. (2000), que avaliaram em Seropédica as cultivares Xodó, Carioca, Negro Argel e A320 encontraram um número médio de 10,90 vagens por planta e uma produtividade que variou de 1.002,00 a 1.757,70 kg ha⁻¹. Num outro estudo, em Seropédica, com as cultivares Kaboon, Manteigão e Carioca, Perin et al. (2002) encontraram o valor de 5,2 vagens por planta e a produtividade de 1.985,00 kg ha⁻¹. Já Fernandes et al. (2007) estudando a produtividade e a qualidade fisiológica de semente de feijão em consequência da aplicação foliar do manganês encontraram um valor de 15,97 vagens por planta e a produtividade de 2.580 kg ha⁻¹. Assim, o nvp no presente estudo que foi de 8,46, quando a produtividade foi obtida em um dos tratamentos de 1142 kg (cultivar 3 via solo e via pulverização) está de acordo com o obtido na literatura.

Em relação ao outro componente da produção do feijoeiro, tal como, o número de grão por vagem (NGV), também foi constatado que não houve efeito significativo de tratamentos no número de grãos por vagem (NGV) (Tabela 4). No presente estudo, obteve-se a média geral de 4,97 grãos por vagem. Quando se compara o valor obtido com o da literatura, Andrade et al. (1998) encontram 4,40 grãos por vagem, para a cultivar BRS Pérola, na avaliação da aplicação foliar porém de molibdênio e das adubações nitrogenadas de semeadura e cobertura. Além disto, estes autores concluíram que o número de grão por vagem é uma característica de alta herdabilidade genética, que sofre reduzida influência do ambiente, tendo encontrado valores não significativos dos tratamentos para o número de grão por vagem.

E, quanto ao último componente da produção avaliado, tal como, a massa de cem sementes, também foi constatado que não houve efeito significativo de tratamentos na massa de cem sementes (MCS) (Tabela 5). Brandão et al. (2012) encontraram para a cultivar IAC – Alvorada, a média geral de MCS de 19,56 g, avaliando, no entanto, doses de nitrogênio e duas doses de molibdênio. Já, Vescovi et al. (2012) obtiveram para a cultivar BRS Pérola a média geral para MCS de 27,70g em ensaio testando adubação foliar com boro e manganês, bem como adubação em cobertura de potássio. E, Zucarelli et al. (2006) encontraram para a cultivar IAC Carioca a média geral para MCS de 27,04 g em estudo de doses de adubação com fósforo. Nos trabalhos realizados em Seropédica, Gomes et al. (2000) encontraram a MCS de 22,65 g e Perin et al. (2002) encontraram a MCS de 38,5 g.

Em relação a produção de grãos de feijão por planta, foi verificado que não houve efeito significativo de tratamentos na produção por planta (Tabela 6). Assim, como também não foi observado para número de vagens por planta (Tabela 3) e para número de grãos por vagens (Tabela 4) e para massa de cem sementes (Tabela 5). Desta forma, fica claro que a produção por planta (PRODPL) é resultado direto dos componentes da produção (número de vagem por planta e do número de grão por vagem e massa de cem sementes).

Para a produtividade de grãos de feijão (PROD), que depende da produção de grãos por planta e da população final, foi constatado que esta não variou entre os tratamentos

(Tabela 1 e 2). Assim, não houve efeito significativo de tratamentos (aplicação de calcário, adubação foliar de magnésio e cultivares) na produtividade de grãos de feijão (Tabela 7). No presente ensaio a média geral para a variável PROD foi de 410,83 kg ha⁻¹, para uma população final de 74.125 plantas ha⁻¹, sendo obtida 1.142 kg em um dos tratamentos (cultivar 3 via solo e via pulverização). Assim, a PROD obtida no presente tratamento (1142 kg) está de acordo com a literatura, quando se compara aos trabalhos realizados em Seropédica por Gomes et al. (2000) que encontraram 1.002,00 a 1.757,70 kg ha⁻¹ e Perin et al. (2002) que encontraram 1.985,00 kg ha⁻¹. Além disso, no Estado do Rio de Janeiro, a produtividade média do feijoeiro é de 963 kg ha⁻¹ (CONAB, 2014), já a produtividade média nacional, para 2014, está estimada em 1.088 kg ha⁻¹ (CONAB, 2014). Assim, como se pode ser observado, a produtividade verificada no experimento 1 para apenas um tratamento (cultivar 3 via solo e via pulverização) foi compatível com a média estadual, bem como com a média nacional, considerando-se o baixo número final de plantas, as demais estão abaixo.

Além disso, a ausência de significância dos tratamentos para a produtividade de grãos sob influência dos tratamentos de aplicação de magnésio pode, também, estar relacionada a análise química do solo. O solo apresentava teor de cálcio equivalente a 3,0 cmol_c dm⁻³ e de magnésio, a 2,5 cmol_c dm⁻³, o que representa a disponibilidade de 1.200 kg ha⁻¹ de Ca²⁺ e 607,80 kg ha⁻¹ de Mg²⁺, respectivamente para uma profundidade de 0,20 m, e V de 65%. Em avaliação da aplicação de calcário no feijoeiro, Cherubin et al. (2012) verificaram que o rendimento de grãos do feijoeiro, cultivar IPR Tiziu, grupo Preto, apresentava correlação positiva com pH em H₂O próximo ou superior a 6,0, saturação por bases com valores entre 65 e 80%, cálcio e magnésio. Assim a concentração de Mg no solo apresentou correlação positiva de 0,474 com o rendimento de grãos, que foi de 2000 a 3000 kg ha⁻¹.

Silva et al. (2011) observaram que a aplicação de calcário (0; 1,8; 3,6; e 5,4 Mg ha⁻¹) em semeadura direta resultou em aumento linear na produção da cultivar IAPAR 81, de 2.025 para 2.655 kg ha⁻¹, provavelmente devido a elevação do teor de Mg no solo de 11,4 para 21,6 mmol_c dm⁻³. Também Barbosa Filho & Silva (2000) observaram que a aplicação de 15 Mg ha⁻¹ de calcário aumentou a porcentagem de saturação por bases (V%) a 60%, devido, principalmente, ao aumento nas concentrações de Ca e Mg. A calagem efetuada com 3, 6, 9, 12 e 15 Mg ha⁻¹ de calcário respondeu, respectivamente, por um aumento de 19%, 19%, 29%, 29% e 37% no rendimento do feijoeiro, que foi de 2.423; 2.414; 2.616; 2.616; 2.767 kg ha⁻¹. Já, para Vieira et al. (2006), o suprimento natural do solo de Ca²⁺ e Mg²⁺ (1.200 kg ha⁻¹ de Ca²⁺ e 607,80 kg ha⁻¹ de Mg²⁺) pode ser suficiente para atender a necessidade da cultura, visando uma produtividade superior a 3.000 kg.ha⁻¹.

Também uma causa para a obtenção deste valor reduzido de produtividade de grãos em função da aplicação de magnésio pode ter sido o estresse térmico ao qual a cultura foi submetida durante todo seu desenvolvimento, conforme já apontado, dos 74 dias do cultivo, cerca de 49 dias apresentaram temperaturas acima de 30°C (Figura 1), ou seja mais de 66% do ciclo da cultura no experimento 1. O estresse térmico, por temperaturas do ar elevadas, causa abortamento de flores e vagens, redução do número de grãos por vagem, crescimento vegetativo exagerado (que altera a partição de fotoassimilados, beneficiando a parte vegetativa em detrimento dos órgãos reprodutivos) e grãos com menor massa seca, o que prejudica diretamente a produtividade (EMBRAPA, 2003). Além disso, Sauter & Gepts (1990) indicam que os danos do estresse térmico são causados pela elevada produção de etileno (hormônio que regula o processo de senescência) na planta e, Weaver & Timm (1985) apontam como consequência do estresse térmico a esterilização do grão de pólen.

A fim de se avaliar a severidade dos danos do estresse térmico à produtividade do feijoeiro é preciso considerar que se trata de planta de metabolismo C₃, que se caracteriza por elevada taxa respiratória e baixa tolerância ao calor (FANCELLI et al., 2013). As plantas C₃ tendem a chegar a máxima taxa fotossintética sob intensidade luminosa e temperatura

moderada e sofrem inibição desta por altas temperaturas e à plena luz do sol (TAIZ & ZEIGER, 2006). Para estes autores, é que no metabolismo das plantas C3, a fotossíntese é acompanhada da fotorrespiração (processo que consome O_2 e libera CO_2 na presença de luz e não há a síntese direta de ATP). Assim, a fotorrespiração se dá pela dupla afinidade da enzima ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco), à adição de CO_2 e à adição de O_2 e quando ocorrem altas temperatura do ar a planta fecha os estômatos visando diminuir a perda de água, e com isto ocorre diminuição da entrada de CO_2 no estroma foliar. Ainda, as altas temperaturas do ar causam aumento do metabolismo no interior da folha, liberando mais O_2 no estroma, de tal forma que nessa condição de reduzida absorção de CO_2 e aumentada concentração do O_2 no estroma, sendo que a Rubisco opera como oxigenase e há menor síntese de fotoassimilados. Também, o estresse térmico diminui a reserva de fotoassimilados, uma vez que a fotossíntese não repõe o carbono usado como substrato da respiração (que se encontra aumentada), resultando no declínio da reserva de carboidratos e consequentemente na redução da produção de grãos.

Ainda, na análise da Tabela 7 pode se ver que o coeficiente de variação (C.V.) para os dados de produtividade de grãos foi muito alto (90,30%). Esse alto valor de C. V. deve-se a existência da média ($1.142,00 \text{ kg ha}^{-1}$) no tratamento com aplicação de calcário e com adubação foliar de magnésio na cultivar BRSPontal (3).

Assim, reforçando, o dado importante a ser analisado é que a produtividade obtida no experimento foi baixa ($410,83 \text{ kg ha}^{-1}$), bem como a população final de plantas ($74.125 \text{ plantas ha}^{-1}$) muito abaixo do número mínimo final que é de 200.000 plantas por hectare (Vieira et al., 2006). Caso se tivesse obtido uma população final adequada, ou seja, no mínimo 200.000 plantas por hectare, a produtividade alcançada seria de 1.108 kg ha^{-1} , o que seria um valor apropriado para o local, para a época de semeadura e de acordo com as médias estadual e nacional (CONAB, 2014) e também possível de ser atingido com base em um dos tratamentos (cultivar 3 via solo e via pulverização), que foi obtido 1142 kg .

Em relação à produção de matéria seca de grãos em kg ha^{-1} , (MS kg ha^{-1}) (Tabela 8) nota-se que não houve efeito significativo dos tratamentos para a variável analisada. Assim, não ocorreu efeito da interação tripla entre aplicação de calcário, adubação foliar com magnésio e cultivares. Além disso, não se verificou efeito significativo estatisticamente entre as interações duplas dos fatores aplicados, bem como não se verificou efeito significativo para cada fator individualmente.

Em relação às médias, essas variam de 93,76 a 508,31, com média geral de $299,83 \text{ kg ha}^{-1}$. A maior média, numericamente comparando, foi obtida com o tratamento com aplicação de calcário e com adubação foliar de magnésio na cultivar Agreste (2) e a menor média verificou-se no tratamento com aplicação de calcário e sem aplicação de adubação foliar para a cultivar BRSAgreste (2). Andrade et al. (2009) avaliando as cultivares Ouro Negro e BRS MG Talismã encontraram resultados de matéria seca por kg.ha^{-1} com valores respectivamente de 2.151 kg ha^{-1} e 1.668 kg ha^{-1} . Assim, vê-se claramente que o valor de matéria seca de grãos em kg ha^{-1} obtido no presente ensaio (média geral de 299,83) foi muito baixo quando comparado com os da literatura, uma vez que o estande final de plantas foi muito baixo (Vieira et al., 2006). Como já apontado, a cultura foi submetida a condições de altas temperaturas durante todo seu ciclo, o que provavelmente acarretou a ocorrência de estresse térmico. Tal condição fisiológica, estresse térmico, altera a partição de fotoassimilados, beneficiando a parte vegetativa em detrimento dos órgãos reprodutivos e se obtém grãos com menor massa seca (EMBRAPA, 2003).

No Quadro 2, foi constatado que, houve interação tripla entre os fatores cultivar, calagem e aplicação de magnésio.

Dentre os tratamentos, o único que apresentou diferença estatística foi o tratamento sem aplicação de calcário e com aplicação de magnésio via adubação foliar para cultivar 3

(BRSPontal), em que o tratamento sem aplicação de calcário e sem aplicação de magnésio via aplicação foliar (Tabela 9) foi menor.

Essa diferença, provavelmente, se deve a variação genética normalmente verificada entre os cultivares de feijão, conforme Buratto (2012), e possivelmente não esta relacionada ao fornecimento de magnésio via aplicação de calcário e adubação foliar.

TABELA 3. Número médio de vagem de feijão por planta em área com e sem aplicação de calcário (cal), com e sem adubação foliar de magnésio (mag) nas cultivares (cv) BRSEsteio (1), BRSAgreste (2), BRSPontal (3) e BRSCometa (4) em experimento realizado em Pinheiral, RJ, 2013.

Calagem	Aplicação foliar	Cultivares				Média (cal/mag/cv)	Média Calagem	Média Aplicação foliar
		1	2	3	4			
Sem	Sem	8,30	8,70	7,13	8,33	8,12	8,50	8,18
	Com	10,10	6,75	10,93	7,75	8,88		
Com	Sem	7,08	9,43	8,55	7,95	8,25	8,42	8,73
	Com	8,73	9,85	9,70	6,03	8,58		
Média cultivar		8,55	8,68	9,08	7,52			
Média (cv/cal)		9,20	7,73	9,03	8,04			
		7,91	9,64	9,13	6,99			
Média (cv/mag)		8,52	9,28	8,42	7,18			
		9,42	8,30	10,32	6,89			
C.V. (%)		51,25						

TABELA 4. Número médio de grão de feijão por vagem, em área com e sem aplicação de calcário (cal), com e sem adubação foliar de magnésio (mag) nas cultivares (cv) BRSEsteio (1), BRSAgreste (2), BRSPontal (3) e BRSCometa (4) em experimento realizado em Pinheiral, RJ, 2013.

Calagem	Aplicação foliar	Cultivares				Média (cal/mag/cv)	Média Calagem	Média Aplicação foliar
		1	2	3	4			
Sem	Sem	4,24	5,08	5,53	4,85	4,93	4,88	5,19
	Com	4,43	5,48	4,60	4,85	4,84		
Com	Sem	5,22	5,95	5,47	5,15	5,45	5,05	4,75
	Com	4,34	4,09	4,48	5,73	4,66		
Média (cultivar)		4,56	5,15	5,02	5,15			
Média (cv/cal)		4,34	5,28	5,07	4,85			
		4,78	5,02	4,98	5,44			
Média (cv/mag)		4,29	4,59	5,01	5,29			
		4,39	4,79	4,54	5,29			
C. V. (%)		21,95						

TABELA 5. Massa de cem sementes em gramas (g) em área com e sem aplicação de calcário (cal), com e sem adubação foliar de magnésio (mag) nas cultivares (cv) BRSEsteio (1), BRSAgreste (2), BRSPontal (3) e BRSCometa (4) em experimento realizado em Pinheiral, RJ, 2013.

Calagem	Aplicação foliar	Cultivares				Média (cal/mag/cv)	Média Calagem	Média Aplicação foliar
		1	2	3	4			
Sem	Sem	17,46	16,99	18,50	18,55	17,88	17,91	17,72
	Com	17,58	17,59	18,87	17,75	17,95		
Com	Sem	17,65	16,93	17,15	18,50	17,56	17,64	17,84
	Com	17,20	18,20	18,77	16,74	17,73		
Média cultivar		17,47	17,43	18,32	17,89			
Média (cv/cal)		17,52	17,29	18,69	18,15			
		17,43	17,57	17,96	17,62			
Média (cv/mag)		17,33	17,60	18,64	17,65			
		17,39	17,90	18,82	17,25			
C.V. (%)	50,57							

TABELA 6. Produção de grãos por planta, em gramas, em área com e sem aplicação de calcário (cal), com e sem adubação foliar de magnésio (mag) nas cultivares (cv) BRSEsteio (1), BRSAgreste (2), BRSPontal (3) e BRSCometa (4) em experimento realizado em Pinheiral, RJ, 2013.

Calagem	Aplicação foliar	Cultivar				Média (cv/cal/mag)	Média calagem	Média aplicação foliar
		1	2	3	4			
Sem	Sem	4,86	5,92	6,04	5,77	5,65	5,86	6,16
	Com	7,33	4,48	7,23	5,27	6,08		
Com	Sem	5,70	7,82	6,07	7,07	6,67	6,45	6,15
	Com	6,22	5,55	7,96	5,18	6,23		
Média cultivar		6,03	5,94	6,83	5,82			
Média (cv/cal)		6,10	5,20	6,64	5,52			
		5,96	6,69	7,02	6,13			
Média (cv/mag)		5,54	5,74	7,00	5,48			
		6,78	5,02	7,60	5,23			
C.V. (%)	47,23							

TABELA 7. Produtividade de grãos de feijão, em kg ha⁻¹, em área com e sem aplicação de calcário (cal), com e sem adubação foliar de magnésio (mag) nas cultivares (cv) BRSEsteio (1), BRSAgreste (2), BRSPontal (3) e BRSCometa (4) em experimento realizado em Pinheiral, RJ, 2013.

Calagem	Aplicação foliar	Cultivar				Média (cv/cal/mag)	Média calagem	Média aplicação foliar
		1	2	3	4			
Sem	Sem	532,60	508,40	408,50	448,00	474,36	413,04	524,77
	Com	449,80	295,20	388,90	273,10	351,73		
Com	Sem	441,10	717,80	498,60	643,20	575,18	580,88	469,16
	Com	414,50	355,20	1,142,00	434,80	586,59		
Média cultivar		459,49	469,15	609,43	449,78			
Média (cv/cal)		491,17	401,82	398,66	360,53			
Média (cv/mag)		427,82	536,47	820,21	539,03			
		473,56	431,80	775,13	441,42			
		432,15	325,20	765,34	353,94			
C.V. (%)	90,30							

TABELA 8. Matéria Seca de grãos de feijão, em kg ha⁻¹, (MS kg ha⁻¹) em área com e sem aplicação de calcário (cal), com e sem adubação foliar de magnésio (mag) nas cultivares (cv) BRSEsteio (1), BRSAgreste (2), BRSPontal (3) e BRSCometa (4) em experimento realizado em Pinheiral, RJ, 2013.

Calagem	Aplicação foliar	Cultivar				Média (cv/cal/mag)	Média calagem	Média aplicação foliar
		1	2	3	4			
Sem	Sem	463,36	442,31	355,39	389,76	412,69	359,34	456,55
	Com	391,33	256,83	338,34	237,59	306,00		
Com	Sem	383,76	624,49	433,78	559,84	500,41	505,36	408,17
	Com	360,62	309,02	993,54	378,28	510,33		
Média cultivar		399,75	408,16	530,20	356,51			
Média (cv/cal)		427,32	349,58	346,83	313,66			
Média (cv/mag)		372,20	466,73	713,58	468,96			
		412,00	375,67	674,36	384,03			
		375,97	282,92	665,84	307,93			
C.V. (%)	65,53							

QUADRO 2. Resumo da análise de variância para teor de magnésio no grão do feijão (TMg) em área com e sem aplicação de calcário (cal), com e sem adubação foliar de magnésio (mag) nas cultivares (cv) BRSEsteio (1), BRSAgreste (2), BRSPontal (3) e BRSCometa (4) em experimento realizado em Pinheiral, RJ, 2013.

FV	GL	QM Mg
BLOCO	3	0,095685
CV	3	0,005869 ^{ns}
CAL	1	0,000225 ^{ns}
MG	1	0,000056 ^{ns}
CV*CAL	3	0,002529 ^{ns}
CV*MG	3	0,003169 ^{ns}
CAL*MG	1	0,000400 ^{ns}
CV*CAL*MG	3	0,016237 [*]
ERRO	45	0,004982
C.V. (%) 4,33		

* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. CV = cultivar; CAL = aplicação de calcário; MG = adubação foliar de magnésio

Tabela 9. Teor de magnésio em grão g kg⁻¹ (Mg g kg⁻¹) em área com e sem aplicação de calcário (cal), com e sem adubação foliar de magnésio (mag) nas cultivares (cv) BRSEsteio (1), BRSAgreste (2), BRSPontal (3) e BRSCometa (4) em experimento realizado em Pinheiral, RJ, 2013.

Calagem	Aplicação foliar	Cultivar			
		1	2	3	4
Sem	Sem	1,63 XAa	1,60 XAa	1,67 XAa	1,65 XAa
	Com	1,69 XAa	1,61 XAa	1,56 YAb	1,67 XAa
Com	Sem	1,68 XAa	1,65 XAa	1,59 XAa	1,59 XAa
	Com	1,63 XAa	1,60 XAa	1,65 XAa	1,65 XAa
C.V. (%) 4,33					

Médias seguidas da mesma letra maiúscula (A e B) na linha (para cultivar) e minúscula (a e b) na coluna (para calagem) e maiúscula (X e Y) na coluna (para adubação de magnésio) não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

4.2 Experimento 2

4.2.1. Condições climáticas e de solo

Durante a implantação e a condução do Experimento 2, conduzido no solo Cambissolo Háplico, as condições climáticas nos primeiros 21 dias após a semeadura foram ainda mais severas do que as registradas no experimento 1 (Figura 1).

A temperatura máxima média foi de 31,68°C e a média da temperatura média foi de 24,46 °C. De acordo com Fancelli et al. (2013), a temperatura máxima ideal para o feijoeiro é de 29 °C e a temperatura média ideal é de 21 °C. Já, em relação à precipitação pluvial, durante os primeiros 21 dias do feijoeiro foi registrada a ocorrência de 63,8 mm de precipitação pluvial, que é abaixo do necessário para essa fase que é em torno de 78,75 mm (LOIOLA, 2013).

Na semeadura, o solo apresentava teor de cálcio equivalente a 2,8 cmol_c/dm³ e de magnésio, a 2,2 cmol_c/dm³, o que representa a disponibilidade de 1.120 Kg.ha⁻¹ de Ca²⁺ e 534,86 Kg.ha⁻¹ de Mg²⁺, respectivamente para uma profundidade de 0,20 m, com o valor de V em 57 %, pH em água: 5,3 e Al: 0,1. Além disto, o nível de alumínio era muito próximo de zero e, portanto, adequado à cultura com base em Vieira et al. (2006). Em relação à concentração natural do solo de Ca²⁺ e de Mg²⁺ o suprimento natural do solo de Ca²⁺ e Mg²⁺ (1.120 Kg.ha⁻¹ de Ca²⁺ e Kg.ha⁻¹ e 534,86 Kg.ha⁻¹ de Mg²⁺) parece ter sido suficiente para atender a necessidade da cultura (VIEIRA et al., 2006).

Quando foi realizada a análise de variância, foi constatado no Quadro 3 que não houve efeito significativo da interação entre os três fatores no número de plantas inicial, assim como também de efeitos individuais.

Na Tabela 10, pode-se observar que não houve efeito de tratamentos (adubação com calcário, aplicação foliar de magnésio e cultivares) no número de plantas inicial. Além disto, a média geral foi de 113.750 plantas, ha⁻¹. De acordo com Vieira et al (2006), a população final ideal para o feijoeiro está situado entre 200 e 375 mil plantas.ha⁻¹ e populações menores que 200 mil ocasionam redução do rendimento. Assim, estes baixos números de plantas se devem provavelmente devido a ocorrência de altas temperaturas nos primeiros 21 dias após a semeadura (Figura 1) ou à ocorrência de doença ou praga de solo não detectadas na ocasião. Além disto, na fase de desenvolvimento da cultura, foi constatado altas temperaturas (Figura 1) após 60 dias da semeadura, que promoveram a morte das plantas. Desta forma, não foi realizada a colheita dos grãos, bem como a análise estatística dos dados obtidos.

Assim, considerando as condições de semeadura, temperatura do ar e de condução dos experimentos (Figura 2), pode-se verificar que houve interferência destes na coleta de dados.

QUADRO 3. Resumo da análise de variância para número de plantas aos 21 dias após a semeadura (NP21D) do experimento 2.

FV	GL	QM NP21D
BLOCO	3	5329,12
CV	3	3,06 ^{ns}
CAL	1	5184,00 ^{ns}
MG	1	3701,41 ^{ns}
CV*CAL	3	14,06 ^{ns}
CV*MG	3	8556,89 ^{ns}
CAL*MG	1	3152,41 ^{ns}
CV*CAL*MG	3	5804,72 ^{ns}
ERRO	45	6051,35
C.V. (%) 68,38		

ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

TABELA 10. Número de plantas aos 21 dias após a semeadura (plantas.ha⁻¹) do experimento 2, em área com e sem aplicação de calcário (cal), com e sem adubação foliar de magnésio (mag) nas cultivares (cv) BRSEsteio (1), BRSAgreste (2), BRSPontal (3) e BRSCometa (4) em experimento realizado em Pinheiral, RJ, 2013.

Calagem	Aplicação foliar	Cultivar				Média (cv/cal/mag)	Média calagem	Média aplicação foliar
		1	2	3	4			
Sem	Sem	150.250	130.500	104.250	103.250	122.060	122.750	113.530
	Com	151.500	43.500	139.250	159.500	123.440		
Com	Sem	74.000	114.750	129.250	102.000	105.000	104.750	113.970
	Com	125.500	90.000	60.500	142.000	104.500		
Média cultivar		125.310	94.690	108.310	126.690			
Média (cv/cal)		150.880	87.000	121.750	131.380			
		99.750	102.380	94.880	122.000			
Média (cv/mag)		112.130	122.630	116.750	102.630			
		138.500	66.750	99.880	150.750			
C.V (%) 68,39								

5 CONCLUSÕES

A aplicação de calcário e de adubação foliar com magnésio para as cultivares de feijoeiro BRSEsteio, BRSAgrete, BRSPontal e BRSCometa, em neossolo flúvico com suprimento natural de $3,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca^{2+} e de $2,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg^{2+} , $\text{Al} = 0,0$ e $\text{V} = 65\%$ não influenciaram significativamente os componentes da produção, o teor de magnésio no grão, bem como o rendimento da cultura, durante os meses de novembro de 2013 a janeiro de 2014 sob temperatura de $31,45^\circ \text{ C}$ e população final de $74.125 \text{ plantas ha}^{-1}$.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 2: Instalação do experimento em solo Neossolo Flúvico (a) e em solo Cambissolo Háplico (b) e colheita das plantas conduzidas em solo Neossolo Flúvico (c) e plantas aos 50 dias de desenvolvimento em solo Cambissolo Háplico (d)

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, C.; PIÑERO, S.; PROVERBIO, T.; PROVERBIO, F.; MARÍR, R. Sulfato de Magnésio: ¿Uma Panacea? **Terciencia**, Caracas, v. 30, n. 9, 2005.

ALEXANDER, A.; SCHROEDER, M. Modern trends in foliar fertilization, **Journal of Plant Nutrition**, New York, n. 10, p. 1391-1399, 1987.

ANDRADE, M.J.B. de; DINIZ, A.R.; CARVALHO, J.G.de; LIMA, S.F. de. Resposta da cultura do feijoeiro à aplicação foliar de molibdênio e às adubações nitrogenadas de plantio e cobertura. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.I.], v. 22, p.499-508, 1998.

ANDRADE, C.A. de B.; SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L. e; MARTORELLI, D.T. Produtividade, crescimento e partição de matéria seca em duas cultivares de feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 683-688, 2009.

BARBOSA FILHO, M.; SILVA, O.F.da. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo cerrado, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1317-1324, 2000.

BIOFORT. Projeto de Biofortificação de Alimentos. Disponível em:< <http://www.biofort.com.br>>. Acesso em: 29 maio 2014.

BOSE, J.; BABOURINA, O.; RENGEL, Z., Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n.7, p. 2251-2264, 2011.

BRANDÃO, D.R.; SANTOS, M.M.; FIDELIS, R.R.; BARROS, H.B.; PRATES, R.G. Adubação nitrogenada e molíbdica na cultura do feijoeiro no Tocantins. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2012.

BRANDENBURG, W.; KLEIER, C. Effect of MgCl₂ on germination, growth and biomass allocation of the Radish CV. “Cherry Belle”. **American Journal of Environmental Sciences**, Denver, v. 7, n. 2, p. 132-135, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Culturas**. Disponível em: < <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/feijao>>. Acesso em: 29 maio 2014.

BROADLEY, M.R.; WHITE, P.J. Eats roots and leaves, Can edible horticultural crops address dietary calcium, magnesium and potassium deficiencies? Symposium on “Food supply and quality in a climate-changed world”, **Nutrition Society**, Berkshire, n. 69, p. 601-612, 2010.

BURATTO, J. S.; REIS, R. B. O.; MODA-CIRINO, V.; Estimativa dos parâmetros genéticos para os teores de cálcio e magnésio em grãos de feijão. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2012. p. 486-487.

BURATTO, J. S. **Teores de Minerais e proteínas em grãos de feijão e estimativas de parâmetros genéticos**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

CASTIGLIONI, S.; MAIER, J.A.M. Magnesium and cancer: a dangerous liason, **Magnesium Research**, Bologna, v.24, n. 3, 2011. European Magnesium Meeting – EUROMAG

CHERUBIN, M, R.; SANTI, A. L.; VIAN, A. L.; BONA, S. D.; BOEZZINI, L. Correlação espacial do rendimento de grãos de feijoeiro com os atributos químicos do solo em área irrigada no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2012. P. 1116- 1119.

COBUCCI, T.; LIMA, D.A.P.; KLUTHCOUSKI, J.; OLIVEIRA, P.; NASCENTE, A.S. Produtividade do feijoeiro em razão da adubação de cálcio e magnésio no sulco de semeadura In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_11_08_09_29_24_boletim_graos_novembro_2013.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_05_08_10_11_00_boletim_graos_maio_2014.pdf>. Acesso em: 29 maio 2014.

CONTE E CASTRO, A.M.; BOARETTO, A.E. Adubação foliar do feijoeiro com nutrientes, vitamina B1 e metionina. **Scientia agrarian**, Curitiba, v. 2, n. 1-2, 2001.

DIDONET, A.D. Importância do período de pré-floração na produção do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 505-512, 2010.

ELIN, R. J., Re-evaluation of the concept of chronic, latent, magnesium deficiency, **Magnesium Research**, Montrouge, v. 24, n. 4, p. 225-227, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, 2003. 203 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (Arroz e Feijão). **Comunicado Técnico 125**. Planaltina, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (Arroz e Feijão). **Comunicado Técnico 139**. Planaltina, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (Arroz e Feijão). **Comunicado Técnico 155**. Santo Antônio de Goiás, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (Arroz e Feijão). **Comunicado Técnico 213**. Santo Antônio de Goiás, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (Arroz e Feijão) a. **Cultivo do Feijoeiro Comum**. Santo Antônio de Goiás, 2014. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/clima.htm>>. Acesso em: 19 jun. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Arroz e Feijão) b. **Página de Negócios de Cultivares**. Santo Antônio de Goiás, 2014. Disponível em: <http://www.snt.embrapa.br/produtos/mostrar_produto/50/>. Acesso em: 27 jun. 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Arroz e Feijão) c. **Cultivares de Feijão da Embrapa**. Santo Antônio de Goiás, 2014. Disponível em: <http://www.spm.embrapa.br/noticias/noticia_completa/156/>. Acesso em: 27 jun. 2014.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Feijão: Informações Básicas**. Informe Técnico 37, 2008, 10 p.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B. **Saturação por bases e pH adequados para o feijão em solo de cerrado**. Santo Antônio de Goiás, 2005.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. Feijão: ecofisiologia e fenologia, In: _____. **Produção de feijão**. Piracicaba: ESALQ, 2007. p. 23-48.

FANCELLI, A.L. (Ed.). **Feijão: produção e sustentabilidade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2013.

FERNANDES, D.S.; SORATTO, R.P.; KULCZYNSKI, S.M.; BISCARO, G.A.; REIS, D.J.de. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão em consequência da aplicação foliar de manganês, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 419-426, 2007.

FREIRE, L. R. (Coord.) **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**, Seropédica: Editora Universidade Rural, 2013.

GEPTS, P.; FERNÁNDEZ, F. **Etapas de desarrollo de La planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*)**. Cali: CIAT, 1982. 10 p.

GOMES, A. A.; ARAÚJO, A. P.; ROSSIELLO, R.O.P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, 2000.

GOMES, F. P. **Curso de Estatística Experimental**. 14. ed. Piracicaba, 2000.

HERCBERG, S.; PREZIOSI, P.; BRIANCON, S.; GALAN, P.; TRIOL, L.; MALVY, D.; ROUSSEL, A. M.; FAVIER, A. A primary prevention trial using nutritional doses of antioxidant vitamins and minerals in cardiovascular diseases and cancers in a general population, **Control Clinic**, v.19, p. 336-351, 1998.

HOFFMANN JÚNIOR, L.; RIBEIRO, N.D.; ROSA, S.S.; JOST, E.; POERSCH, N.L.; MEDEIROS, S.L.P. Resposta de cultivares de feijão à alta temperatura do ar no período reprodutivo, **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1543-1548, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_2013comentarios.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/sistematizacao/manual_pedologia.shtm>. Acesso em: 15 jun. 2014.

KIRKBY, E.A.; MENGEL, K. **The role of magnesium in plant nutrition**. In: Z. Pflanzenem. Bodenk, v. 2, p. 209-222, 1976.

KISHIMOTO, Y.; TANI, M.; UTO-KONDO, H.; SAITA, E.; LIZUKA, M.; SONE, H.; YOKOTA, K.; KONDO, K. Effects of magnesium on postprandial serum lipid responses in healthy human subjects, **British Journal of Nutrition**, London, v.103, p. 469-472, 2010.

KOMIYA, Y.; SU, L.; CHEN, H.; HABAS, R.; RUNNELS, L.W. Magnesium and embryonic development, **John Libbey Eurotext**. Disponível em: <http://www.jle.com/fr/revues/bio_rech/mrh/e-docs/00/04/99/E3/article.phtml>. Acesso em: 20 out. 2013.

LOIOLA, T.A. Principais Problemas e Estratégias de Manejo de Lavouras de Feijão em Condições de Sequeiro. In: FANCELLI, A.L. (Ed.). **Feijão: Produção e Sustentabilidade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2013.

LUDWIG, M. P.; SCHUCH, L. O. B.; LUCCA FILHO, O. A.; AVELAR, S. A. G.; MIELEZRSKI, F.; PANOZZO, L. E.; OLIVO, M.; SEUS, R. Desempenho de plantas de feijão originadas de lotes de sementes com diferentes níveis de qualidade fisiológica, **Revista da FZVA**, Uruguaiana, v. 15, n. 2, p. 44-52, 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. ; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas** (princípios e aplicações). 2 ed. Potafso. Piracicaba. 1997. 319p.

MARIOT, E.J. Ecofisiologia do feijoeiro. In: **O Feijão no Paraná**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 1989. p. 25 – 41. (Circular Iapar 63).

MATTIELLO, E.M; PEREIRA, M.G.; ZONTA, E. Efeito da calagem nas propriedades químicas de um Organossolo e no conteúdo de nutrientes da Fitomassa do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. Cv.carioca), **Revista Universidade Rural**, v. 26, n. 1, p. 51-56, 2006. (Série Ciências da Vida).

MORAGHAN, J.T.; ETCHEVERS, J.D.; PADILLA, J. Contrasting accumulations of calcium and magnesium in seed coats embryos of common bean and soybean, **Food chemistry**, [S.I.], v. 95, p. 554-561, 2006.

OURY, F.X.; LEENHARDT, F.; RÉMÉSY, C.; CHANLIAUD, E.; DUPERRIER, B.; BALFOURIER, F.; CHARMET, G. Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat, **European Journal of Agronomy**, Elsevier, Bonn, v. 25, p 177-185, 2006.

PEREIRA, T; COELHO, C.M.M.; SANTOS, J.C.P dos; BOGO, A.; MIQUELUTTI, D.J. Diversidade no teor de nutrientes em grãos de feijão crioulo no Estado de Santa Catarina, **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 477-485, 2011.

PERIN, A; ARAÚJO; A.P.; TEIXEIRA, M.G. Efeito do tamanho da semente na acumulação de biomassa e nutrientes e na produtividade do feijoeiro, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, 2002.

PETRILLI, L.R.T.C. **Doses e modos de aplicação de fósforo na nutrição e produção do feijoeiro cultivar Pérola**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2007.

PORTELA, E.; LOUZADA, J. Deficiências de magnésio em solos e culturas do Norte de Portugal, **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.30, n.2, p. 67-86, 2007.

ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Ed.) **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p.353-385. cap.4.

SAUTER, K.J.; GEPTS, P. Leaf ethylene evolution level following high temperature stress in common bean, **Horticulture Science**, Alexandria, v. 25, n. 10, p.1282-1284, 1990.

SCHULTZ, N.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; BEUTLER, S.J; ZONTA, E. Desenvolvimento de feijoeiro comum cultivado em amostras de organossolo com diferentes níveis de calagem, **Revista ciência agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n. 2, p. 285-291, 2011.

SILVA, L.M.da; LEMOS, L.B.; CRUSCIOL, C.A.C.; FELTRAN, J.C. Sistema radicular de cultivares de feijão em resposta à calagem, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 701-707, 2004.

SILVA, T.R.B.; LEMOS, L.B.; CRUSCIOL, C.A.C. Produtividade e características tecnológicas de cultivares de feijão em resposta à calagem superficial em plantio direto, **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, 2011.

SINGH, G.; AVASTHI, G.; KHURANA, D.; WHIG, J.; MAHAJAN, R. Neurophysiological monitoring of pharmacological manipulation in acute organophosphate (OP) poisoning, the effects of pralidoxime magnesium sulphate and pancuronium, **Clinic Neurophysiology**, [S.I.], v.107, p. 140-148, 1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**.4. ed. Sunderland, 2006. 705p.

VESCOVI, L.B.; BONILHA, M.A.F.; TEIXEIRA, C.M.; FERREIRA, J.O. Relação cobertura potássica vs. aplicação foliar de boro e manganês na cultura do feijoeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2012.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.de; BORÉM, A. **Feijão**, 2. ed, Viçosa, UFV, 2006. 600 p.

WEAVER, M.L.; TIMM, H. Influence of temperature and plant water status on pollen viability in beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. Alexandria, v.110, n. 6, p.797-799, 1985.

WHITE, J. W.; IZQUIERDO, J. **Dry Bean**: physiology of yield potential and stress tolerance. Santiago: FAO, 1989.

ZUCARELI, C.; RAMOS JÚNIOR, E.U.; BARREIRO, A.P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão, **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 28, n.1, 2006.