

EFEITOS DE CHUVA ÁCIDA SIMULADA SOBRE PARÂMETROS MORFOLÓGICOS, DE CRESCIMENTO, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E FENOLOGIA DA CULTURA DO FEIJÃO EM PONTA GROSSA – PR

EFFECTS OF SIMULATED ACID RAIN ON MORPHOLOGICAL AND GROWTH PARAMETERS, COMPONENTS OF PRODUCTION AND PHENOLOGY OF BEANS IN PONTA GROSSA, PR, BRAZIL

André Vicente de Oliveira¹, Maysa de Lima Leite², Paulo Vitor Farago³, Gustavo Castilho Beruski¹, Bruna Borba Dias¹.

¹ Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, Departamento de Biologia Geral, Campus em Uvaranas, Ponta Grossa, PR.

² Autor para contato: Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, Campus de Uvaranas, Departamento de Biologia Geral, Ponta Grossa, PR, Brasil.
e-mail: mleite@uepg.br <mailto:mleite@uepg.br> ; (42) 3220-3126

³ Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, Departamento de Farmácia, Campus em Uvaranas, Ponta Grossa, PR.

Recebido para publicação em 14/09/2007

Aceito para publicação em 16/06/2008

RESUMO

Plantas de Feijão (*Phaseolus vulgaris* (L.), cv. IPR88 Uirapuru, cultivadas em casa de vegetação, foram expostas à chuva ácida simulada (pH 3,0), obtida pela utilização de ácido sulfúrico, por dez dias consecutivos, vinte minutos por dia, com o objetivo de avaliar seus efeitos sobre os parâmetros morfológicos, de crescimento, a fenologia e os componentes de produção. As plantas foram comparadas ao tratamento controle (pH 6,0), durante os estádios V3 (primeira folha trifoliada), R6 (abertura da primeira flor) e R7 (início da formação das vagens). Nas coletas parciais, foram avaliados a altura de planta, o diâmetro do caule, a matéria seca de parte aérea e raízes, a razão raiz/parte aérea. Ao final do ciclo, analisou-se o número de vagens por planta, a altura da inserção da primeira vagem, o número de grãos por vagem o comprimento de vagem, e o peso de mil grãos. As plantas, sob condições de chuvas mais ácidas, sofreram mais a diminuição na sua altura da planta e revelaram leve aumento no diâmetro do caule, no estágio R7. Tiveram, também, menor produção da matéria seca da parte aérea e raízes no estágio R7, e uma redução significativa da razão raiz/parte aérea, no estágio V3. No estágio R9, as plantas expostas à chuva ácida apresentaram redução do número de vagens por planta e aumento na altura de inserção de primeira vagem.

As simulações ácidas ocasionaram encurtamento do ciclo fenológico, ficando evidenciado o caráter cumulativo da precipitação ácida.

Palavras-chave: Chuva ácida. Feijão comum. Fenologia. Morfologia. Componentes de produção.

ABSTRACT

Plants of *Phaseolus vulgaris* (L.), cv. IPR88 Uirapuru cultivated in pots in a green house were exposed to simulated acid rain (pH 3,0) obtained by the use of sulfuric acid, for twenty minutes for ten consecutive days, to evaluate the effects of acid rain on morphologic and growth parameters, phenology and production components. The plants were compared to the control treatment sample (pH 6,0) during the V3 stage (first trifoliolate leaf), R6 (opening of the first flower) and R7 (beginning of the formation of the pods). In these partial evaluations the height of the plant, the diameter of the stem, the dry matter of the aerial part and roots and the reason root-aerial part were observed. At the end of the cycle the following variables were analyzed: the number of pods, the height of the insert of the first pods, the number of grains per pod, the size of pods, and the weight per thousand grains. The plants under more acidic conditions (T2) suffered a decrease in the height of the plants and revealed a light increase in the diameter of the stem, at the R7 stage. They also showed smaller production of the dry matter of the aerial part and roots at the R7 stage and a significant reduction of the reason root-aerial part, at the V3 stage. At the R9 stage the plants exposed to acid rain presented a reduction in the number of pods per plant and increase in the height of insert of first pod. The acid simulations caused a shortening of the phenological cycle which demonstrates the cumulative character of the acid precipitation.

Keywords: Acid rain. Common bean. Phenology. Morphology. Production components.

1 Introdução

A chuva é um agente atmosférico que é constituído essencialmente da composição química presente nas gotículas de água e também pelos gases emitidos na superfície, que são incorporados por essas gotículas nas nuvens. De certa forma, a chuva retrata as características da massa de ar, no que diz respeito ao conteúdo de partículas e gases solúveis em água. O fato de as gotículas de água incorporarem essas moléculas presentes nos gases é que faz com que as chuvas alterem seu pH, deixando-as mais ácidas ou básicas. Por natureza, as chuvas são levemente ácidas, pH em torno de 5,5 (FERENBAUGH, 1976), devido à presença de íons liberados por processos biogeoquímicos

normais, como o dióxido de carbono, o nitrogênio e o enxofre (MIGLIAVACCA et al. 2005).

No entanto, o aumento da atividade urbano-industrial tem levado à crescente emissão de compostos químicos na atmosfera (ALVES et al. 1990), devido ao maior consumo de combustíveis fósseis, que, através de processos de combustão, emitem óxidos nítricos e sulfúricos, influenciando diretamente a característica da precipitação atmosférica (TRESMONDI et al. 2005).

Em geral, em países desenvolvidos, as chuvas ácidas são mais frequentes, devido à grande concentração de indústrias emissoras de poluentes (ALVES et al. 1993). Porém, esse acontecimento já está se tornando frequente em países em desenvolvimento, como é o caso da China e do Brasil, mais

precisamente em cidades como Piracicaba, São Paulo, Rio de Janeiro e Cubatão (SANT'ANNA-SANTOS et al. 2006).

No sul do Brasil, a queima de combustíveis fósseis, principalmente carvão, está entre as fontes industriais que têm provocado alterações da qualidade ambiental em determinadas áreas nesta região (MIGLIVACCA et al. 2005). Mas fenômenos naturais também podem ter participação na formação da chuva ácida, como, por exemplo, os vulcões, que, quando entram em erupção, liberam dióxido de enxofre. Contudo, os fenômenos naturais correspondem a apenas 10% da poluição atmosférica mundial (BRENA, 2002).

Embora alguns autores como Furtini Neto et al. (2000) citem que o enxofre é essencial para o desenvolvimento de espécies vegetais cultivadas, podendo afetar a produtividade de várias culturas, sabe-se que o excesso dessa molécula pode afetar drasticamente a resposta biológica dos vegetais, podendo ser prejudicial à folha, ao caule, as raízes e ao solo, causando a redução da razão clorofila a/clorofila b, a perda de biomassa de troncos e de raízes, como também prejudicar o transporte de água dentro da planta, além de tornar alguns nutrientes indisponíveis no solo, comprometendo o desenvolvimento da planta (BRENA, 2002). Podem ocorrer ainda injúrias, tanto na superfície abaxial quanto adaxial da folha, havendo, em alguns casos, necrose de tecidos do vegetal (EVANS et al. 1979).

A intensidade dos danos varia de acordo com o cultivar, o estágio de desenvolvimento da cultura, das condições fisiológicas da planta, a área foliar e a taxa de absorção de constituintes da chuva por unidade de área. O dano depende ainda da frequência, intensidade e composição da chuva (ALVES et al. 1990).

Sendo assim, este estudo objetivou analisar os efeitos da chuva ácida simulada, por meio de solução contendo enxofre, sobre os parâmetros morfológicos, de crescimento, os componentes de produção e a fenologia em plantas de *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae) cv. IPR88 Uirapuru, no município de Ponta Grossa, PR, Brasil.

2 Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Colégio Estadual Agrícola Augusto Ribas, situado no campus da Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Ponta Grossa - PR, instalado em 30/01/07. A temperatura média do ar, dentro da casa de vegetação, durante o período avaliado, foi de 26,1°C, oscilando entre a máxima absoluta de 38,0°C e a mínima absoluta de 14,0°C.

Foram utilizadas plantas de feijão, *Phaseolus vulgaris* (L) cv. IPR88 Uirapuru, selecionadas pelo Instituto Agrônomo do Paraná e cultivadas em vasos plásticos pretos, com capacidade de aproximadamente 3,5 Kg, preenchidos com Latossolo Vermelho Distrófico. Em cada vaso foram colocadas para germinar quatro sementes de feijão, previamente selecionadas. Decorridos seis dias após a semeadura, quando as plântulas apresentavam as folhas primárias totalmente expandidas (estádio V1) (FERNÁNDEZ et al. 1982), realizou-se o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso.

A irrigação do solo dos vasos foi efetuada por meio de um turno de rega de quatro dias e quantificada através do uso dos valores médios mensais da evapotranspiração potencial (CARAMORI et al. 1987) e dos valores dos coeficientes de cultura (DOOREMBOS; KASSAM, 1979), para a cultura do feijoeiro em Ponta Grossa, PR.

Foram utilizados dois tratamentos, sendo o primeiro o controle (T1) para simulação da chuva com um pH próximo à chuva comum (pH 6,0) enquanto o outro constitui um tratamento (T2) com chuva ácida simulada com enxofre (pH 3,0). A solução de chuva ácida foi preparada por meio da mistura de ácido sulfúrico 0,5 mol.L⁻¹ e água destilada para reduzir o pH a um valor igual a 3,0, conforme metodologia utilizada por Sant' Anna-Santos et al. (2006).

Durante todo o ciclo da cultura, foram feitas observações de fenologia, diariamente, caracterizando-a segundo o método descrito por Fernandez et al. (1982), para a cultura do feijão.

Nesta escala, o ciclo biológico do feijoeiro é constituído de dez etapas de desenvolvimento, sendo que a designação de cada etapa é baseada em

um código que consta de uma letra e um número. A letra significa a fase dentro do ciclo, ou seja, a letra V refere-se à fase vegetativa e a letra R, à fase reprodutiva, ao passo que os números indicam a posição da etapa de desenvolvimento da planta dentro da escala, conforme mostrado a seguir:

Código	Caracterização do estágio
V0.....	Germinação
V1.....	Cotilédones ao nível do solo
V2.....	Folhas primárias expandidas
V3.....	Primeira folha trifoliada
V4.....	Terceira folha trifoliada
R5.....	Botões florais (Pré-floração)
R6.....	Abertura da primeira flor (Floração)
R7.....	Início da formação das vagens
R8.....	Enchimento das vagens
R9.....	Maturidade fisiológica

A caracterização da mudança do estágio fenológico era realizada quando 50% das plantas da população de cada tratamento apresentavam as características referentes ao novo estágio.

Aos catorze dias após a semeadura, quando as plantas encontravam-se no estágio V3, deu-se início aos episódios de chuvas simuladas dos dois tratamentos, utilizando-se pulverizadores manuais. Estas simulações foram realizadas durante dez dias consecutivos, por um período de 20 min, às 9:00 horas da manhã.

A determinação das variáveis-resposta do experimento foram obtidas através de três coletas nos estádios V3, R6 e R7, respectivamente, sempre após o décimo dia consecutivo dos episódios de chuva simulada. Em cada coleta, foram descartados cinco vasos de cada tratamento, num total de dez plantas por tratamento, por coleta, onde foram realizadas as análises morfológicas (altura de planta (AP) e diâmetro do caule (DC) e biométricas (matéria seca de parte aérea (MSPA), matéria seca de raízes (MSR) e razão raiz-parte aérea (RPA)).

Após a finalização do ciclo da cultura, foram feitas as seguintes determinações, para a avaliação dos parâmetros de produção:

_ Número de vagens por planta (NVP): contagem do número de vagens viáveis produzidas por planta. Entende-se por viável aquela vagem

que produziu pelo menos 1 grão em condições satisfatórias.

_ Número de grãos por vagem (NGV): contagem do número de grãos bem formados produzidos por planta, utilizadas na contagem do item anterior.

_ Comprimento de vagem (CV): determinado, em centímetros, através da média aritmética entre os tamanhos de todas as vagens viáveis da planta.

_ Massa de 1000 grãos (M1000): para a determinação da massa de grãos, estes foram separados ao acaso do total de sementes colhidas por planta e, em seguida, pesados em balança de precisão.

_ Altura de inserção da primeira vagem (AI): determinado, em centímetros, através da média aritmética entre as alturas tomadas desde a superfície do solo até a inserção da primeira vagem viável da planta.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com dois tratamentos, num total de 52 unidades experimentais (vasos). Para a avaliação das variáveis morfológicas e biométricas efetuadas nos estádios V3, R6 e R7, respectivamente, foram descartados dez vasos em cada estágio fenológico, correspondentes a cinco repetições de cada tratamento. Para o acompanhamento da fenologia da cultura durante todo o ciclo e a avaliação dos parâmetros de produção, o experimento constou de 22 vasos, sendo 11 repetições para cada tratamento. Os vasos destinados a essa finalidade possuíam identificação diferenciada para não serem confundidos com os demais e garantir um acompanhamento fenológico correto.

Para análise estatística de todas as variáveis, exceto a fenologia, após a verificação da normalidade dos dados empregando-se o teste de Shapiro-Wilk, utilizou-se o teste *t* de *student* para comparação dos tratamentos dentro de cada coleta e para os parâmetros de produção da cultura.

3 Resultados e discussão

A aplicação da chuva ácida simulada reduziu a altura das plantas no decorrer da pesquisa, mos-

trando-se estatisticamente significativa ($p=0,0049$), no estágio fenológico R7, o qual se caracteriza pela formação das vagens (Tabela 1). Ferenbaugh (1976) atribuiu essa redução no crescimento a uma possível interação entre o ácido sulfúrico e a auxina, pois a biossíntese da auxina possui algumas reações sensíveis à acidificação do tecido da planta. A perda de altura da planta também foi observada por Porter et al. (1989), no qual testou-se o efeito da chuva ácida em dois cultivares de soja, sendo que apenas em um deles, Amsoy 71, houve a redução da altura. O diâmetro do caule, apesar de ter evidenciado visualmente um leve aumento ao longo do ciclo, revelando plantas mais baixas e com caules ligeiramente mais grossos, não apresentou diferenças estatísticas significativas (Tabela 1).

Tabela 1 - Médias do Diâmetro do Caule (DC) e Altura das Plantas (AP) de *Phaseolus vulgaris* L., expostas a episódios de chuva normal com pH 6,0 (T1) e ácida com pH 3,0 (T2), em diferentes estádios fenológicos.

Coletas	Estádio fenológico	Altura da planta (cm)			Diâmetro de caule (cm)		
		T1	T2	p-value	T1	T2	p-value
C1	V3	20,000	18,650	0,1293	4,080	4,300	0,2632
C2	R6	33,550	32,289	0,3205	4,915	4,966	0,4327
C3	R7	44,200	33,450	0,0049	4,855	5,010	0,3250

Quanto ao crescimento, houve menor produção de MSPA nos estádios R6 e R7 sob T2, quando comparado ao T1 (Figura 1). A produção de MSR também foi menor no estágio R6, aumentando ainda mais essa diferença entre tratamentos no estágio R7 (Figura 2), sendo estatisticamente significativo, nos dois parâmetros observados, apenas no estágio R7 (MSPA $p=0,0148$ e MSR $p=0,0291$).

Tal comportamento também foi observado por Ferenbaugh (1976), o qual associou a redução de biomassa com uma possível diminuição da capacidade de a planta de produzir carboidrato, devido à diminuição na concentração de açúcares redutores e de carboidratos, nas plantas submetidas aos episódios de chuva ácida.

Adaros et al. (1988), em um experimento com *Vicia Faba* L. (cv. Con Amore), verificaram que as plantas mostraram redução significativa de biomassa aérea e subterrânea apenas durante o estágio de enchimento de vagens (R7), eviden-

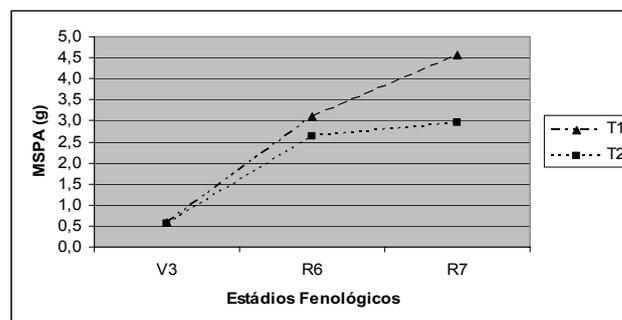


Figura 1 - Matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de feijão expostas à chuva normal (T1) e à chuva ácida simulada (T2), nos estádios fenológicos V3 (expansão do primeiro trifólio), R6 (abertura da primeira flor) e R7 (formação de vagens).

ciando que a chuva ácida pode ocasionar um efeito cumulativo sobre a planta.

A redução de biomassa na parte aérea e raízes também foi observada por Cohen et al. (1981), ao analisar os efeitos da chuva ácida em plantas de cenoura e em beterraba, bem como por Singh et al. (1996), que testaram dois cultivares de trigo. Em ambos estudos, observou-se redução significativa de biomassa, tanto aérea quanto subterrânea, quando submetidos à chuva ácida.

Furtini Neto et al. (2000) atribuíram essa redução à absorção excessiva de enxofre pelas raízes. Norby et al. (1983), em um experimento com soja, associaram a redução no crescimento das plantas com a redução da área foliar e consequentemente à redução da fotossíntese, causada pela exposição das plantas à chuva ácida.

A variável RPA revelou diferença estatisticamente significativa ($p=0,0376$) entre tratamentos somente no estágio V3 (Figura 3), provavelmente,

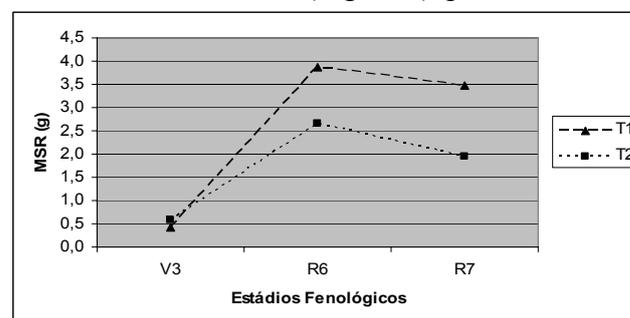


Figura 2 - Matéria seca de raízes (MSR) de plantas de feijão expostas à chuva normal (T1) e à chuva ácida simulada (T2), nos estádios fenológicos V3 (expansão do primeiro trifólio), R6 (abertura da primeira flor) e R7 (formação de vagens).

como resultado das alterações de seus componentes parciais (MSPA e MSR), no decorrer do ciclo. O mesmo efeito também foi observado por Norby et al. (1983), em plantas de soja.

Este resultado pode ser atribuído às diferentes respostas da parte aérea e das raízes ao acúmulo excessivo de enxofre, no decorrer dos episódios de chuva simulada. Este acúmulo em plantas de feijão pode ser tóxico, uma vez que a parte aérea possui mais mecanismos para diminuir o efeito desse acúmulo do que as raízes (FURTINI NETO et al. 2000).

O estudo da relação alométrica entre a raiz e a parte aérea é importante porque define, em função da espécie vegetal, dos níveis nutricionais, da idade da planta e dos fatores ambientais, quais são os órgãos que se desenvolvem mais rapidamente, em função do maior acúmulo de diferentes substâncias no tecido vegetal (RODRIGUES, 1990).

Analisando a duração dos estádios fenológicos (Tabela 2), percebeu-se que houve um encurtamento no ciclo total em ambos os tratamentos,

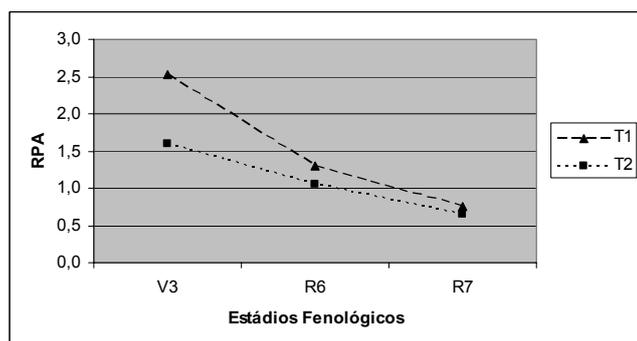


Figura 3 - Razão raiz-parte aérea (RPA) em plantas de feijão expostas à chuva normal (T1) e à chuva ácida simulada (T2), nos estádios fenológicos V3 (expansão do primeiro trifólio), R6 (abertura da primeira flor) e no R7 (formação de vagens).

possivelmente devido às elevadas temperaturas no interior da casa de vegetação. No campo, este cultivar apresenta um ciclo médio de 86 dias, enquanto que, neste experimento, o tratamento controle (T1) apresentou um ciclo de 78 dias, ao passo que o tratamento com chuva ácida simulada (T2) apresentou um ciclo de apenas 70 dias.

Entretanto, a análise dos estádios fenológicos separadamente permite observar que, tanto na fase vegetativa (estádios V1 a V4) quanto na fase

reprodutiva (R5 a R8), as plantas de ambos tratamentos mantiveram praticamente um mesmo ritmo na escala de desenvolvimento vegetal.

Alterações na duração dos estádios foram observadas somente no final do ciclo (R9), sendo este caracterizado pelo preenchimento e desenvolvimento das vagens. No tratamento controle (T1), as vagens demoraram dezessete dias para alcançar a maturidade, enquanto, no tratamento ácido (T2), as vagens conseguiram atingir a maturidade em apenas doze dias. Segundo Furtini Neto et al. (2000), tal encurtamento, nesse estágio fenológico, pode ter ocorrido em consequência da elevação do nível de enxofre no solo, que faz com que a planta acelere o amadurecimento das sementes, evidenciando mais uma vez a tendência de acúmulo dos íons, provenientes da chuva ácida. Neste caso, originado pelo enxofre.

Quanto aos componentes de produção, avaliados ao final do ciclo da cultura, observaram-se diferenças estatisticamente significativas somente para a variável altura de inserção da primeira vagem (AIPV) ($p=0,0036$), quando comparados os dois tratamentos estudados (Tabela 2).

Avaliando-se inicialmente o NVP, no tratamento controle obteve-se uma média de 3,09 vagens por planta, enquanto que, no tratamento com chuva ácida, o resultado obtido foi de 2,17 vagens por planta. Tal resultado deveu-se, principalmente, à aplicação de chuva ácida durante o estágio R6, quando as plantas emitiram suas flores. Nesta fase, o ácido presente na chuva pode ter afetado diretamente a estrutura das flores e conseqüentemente sua fecundação, levando as plantas a elevados índices de abortamento e, conseqüentemente, à menor produção de vagens.

Em experimento realizado por Adaros et al. (1987), no qual analisou-se o efeito do dióxido de enxofre isolado e juntamente com a chuva ácida em plantas de *Vicia faba* L. cv. Con Amore, constatou-se que a baixa concentração de dióxido de enxofre no substrato aumentou o número de flores nas plantas, causando assim um aumento na produção de vagens.

Tabela 2 - Duração total do ciclo e dos estádios fenológicos (dias) de plantas de *Phaseolus vulgaris* L., sob diferentes condições de acidez de chuva simulada.

Estádio fenológico	Sem chuva ácida (T1)	Com chuva ácida (T2)
V1	4	5
V2	2	2
V3	7	7
V4	15	15
R5	3	3
R6	12	11
R7	5	4
R8	7	7
R9	17	12
Colheita	78	70

Por outro lado, no mesmo experimento, analisando-se os efeitos da chuva ácida simulada, observou-se que os seus efeitos foram se acumulando na planta, tornando-se mais perceptíveis nas fases de desenvolvimento e maturação das vagens, ou seja, com a diminuição do pH das chuvas simuladas e, conseqüentemente, com um maior acúmulo de enxofre no substrato, ocorreu uma redução no número de vagens e sementes das plantas analisadas.

Tabela 3 - Efeitos de tratamentos sobre o número de vagens/planta (NVP), a altura de inserção da primeira vagem (AIPV), o comprimento de vagens (CV), a massa de 1000 grãos (M1000) e o número de grãos/vagem (NGV) em plantas de feijão .

Componentes de produção	Sem chuva ácida (T1)	Com chuva ácida (T2)	p-value
Número de vagens/planta	3,09	2,17	0,0760
Altura inserção da primeira vagem (cm)	18,05	24,42	0,0036
Comprimento de vagens (cm)	75,93	77,34	0,3674
Massa de 1000 grãos (g)	124,73	140,48	0,4910
Número de grãos/vagem	2,82	2,59	0,3278

Para a altura da inserção da primeira vagem (AIPV), observou-se uma grande diferença entre as médias dos dois tratamentos (Tabela 3). No tratamento controle, obteve-se uma altura média de 18,05cm, enquanto que, com a presença de chuva ácida, a inserção apresentou uma altura média de 24,42cm.

A diferença na AIPV deveu-se ao fato de que as flores presentes na parte inferior da planta surgiram primeiro e, conseqüentemente, foram mais

afetadas pelos episódios de chuva ácida (Figura 4), pois receberam maiores quantidades da solução ácida do que as flores que surgiram nos estádios posteriores, ocorrendo assim um número maior de abortos na parte inferior da planta originando, conseqüentemente, uma maior AIPV e um menor NVP no T2.



Figura 4 - Plantas de feijão no estágio R6, após 10 dias consecutivos de simulação de chuva ácida (esquerda: controle (T1); direita: tratamento ácido (T2)).

Para o componente de produção comprimento de vagem (CV) não foram observadas diferenças significativas entre os dois tratamentos.

Comparando-se o número de grãos por vagem (NGV), constatou-se que o T1 apresentou um valor médio um pouco mais elevado (2,82) do que o T2 (2,59), porém essa diferença também não foi estatisticamente significativa. Em experimento realizado por Crusciol et al. (2006), em que se analisou o efeito do enxofre na produtividade de feijoeiros, a variação dos níveis de enxofre não alterou o número de grãos por vagem, pois, segundo os autores, tal característica sofre pouca influência do meio externo, sendo determinada pelos caracteres genéticos da cultivar.

Apesar de o T1 apresentar um número médio de grãos por vagem ligeiramente maior do que o T2, verificou-se que os grãos presentes nas vagens do T1 eram menos desenvolvidos do que do T2, pois a massa de mil grãos no tratamento com chuva ácida foi maior (140,48g) do que no tratamento controle (124,3g). Isto deve-se ao fato de o enxofre

ser um nutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Simulações de chuvas ácidas podem promover um acúmulo de enxofre no solo e, conseqüentemente, induzir maior absorção de enxofre pela planta (FURTINI NETO et al. 2000). Como se trata de um nutriente presente nos processos enzimáticos e na composição de determinadas proteínas fundamentais à formação das vagens, a sua maior absorção teria proporcionado um maior desenvolvimento das vagens do feijoeiro sob as condições de chuva ácida.

4 Conclusões

A partir do estudo realizado com plantas de feijoeiro, foi possível concluir que a acidificação das chuvas ocasionou:

- Uma gradual redução na altura da planta, sendo estatisticamente significativa no estágio R7, e um ligeiro espessamento no diâmetro do caule, obtendo-se, ao final do experimento, plantas ligeiramente mais baixas e com caules mais grossos.

- Menor produção de biomassa, tanto de raízes quanto de parte aérea, sendo que a raiz mostrou-se menos resistente ao excesso de enxofre na solução do solo.

- Encurtamento do ciclo fenológico da cultura, causado pelo acúmulo de enxofre no solo proveniente das simulações de chuva, o qual acelerou o desenvolvimento da planta, principalmente no estágio R9, evidenciando que o íon enxofre afeta essencialmente o desenvolvimento e a maturação das vagens.

- Diminuição do número de vagens por planta devido ao grande índice de abortamento de flores causado pela precipitação ácida, que afetou a estrutura floral, tornando inviável a fecundação e a formação de vagens.

- Aumento da altura de inserção da primeira vagem, uma vez que as flores mais precoces da planta ficaram mais tempo em contato com a água acidificada proveniente das simulações, acarretando o aborto destas, e, conseqüentemente, aumentando a altura de inserção da primeira vagem.

Agradecimentos

Ao Colégio Estadual Agrícola Augusto Ribas, Ponta Grossa – PR, pela colaboração na condução da parte prática deste experimento em sua casa de vegetação, o qual possibilitou a realização do presente estudo.

Referências

- ADAROS, G.; WEIGWL, H. J.; JÄGER, H. J. Effects of sulphur dioxide and acid rain alone or in combination on growth and yield of broad bean plants. **New Phytologist**, v.108, p. 67-74, 1988.
- ALVES, P. L. et al. Efeitos da chuva ácida simulada e de um solo de Cubatão (SP) sobre parâmetros relacionados com a fotossíntese e a transpiração de plantas de soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.2, n.1, p.7-14, 1990
- ALVES, P. L.; OLIVA C, M. A. Reações da soja a chuva ácida e solo contaminado. **Ambiente**, v.7 n.1 p.31-39, 1993.
- BRENA, N.A. **A chuva ácida e seus efeitos sobre as florestas**. São Paulo: Livraria Cultura, 2002. 70p.
- CARAMORI, P.H.; FARIA, R.T. Estimativa da evapotranspiração potencial para Londrina e Ponta Grossa, PR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p.9-13, 1987.
- COHEN, C. J.; GROTHAUS, L. C.; PERRIGAN, S.C. Effects of simulated sulfuric acid rain on crop plants. **Agricultural experiment station**, v.619, p.21-24, 1981.
- CRUSCIOL, C.A.C. et al. Fertilidade do solo e nutrição de plantas: Aplicação de enxofre em cobertura no feijoeiro em sistema direto. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.3, p.459-465, 2006.
- DOOREMBOS E KASSAM, A.H. **Efectos del agua em el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p. (Estudio FAO. Riego y drenage, 33).
- EVANS, L. S.; CURRY T. M. Differential responses of plant foliage to simulated acid rain. **American Journal of Botany**, v.66, n.8, p.953-962. 1979.
- FERNÁNDEZ, F., GEPTS, P., LÓPEZ, G. M. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol común**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1982. 26p.
- FERENBAUGH R. W. Effects of simulated acid rain on *Phaseolus vulgaris* L. (Fabaceae). **American Journal of Botany**, v.63, n.3, p.283-288, 1976.

FURTINI NETO, A. D. et al. A. Respostas de cultivares de feijoeiro ao enxofre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.3, p.567-573, 2000.

MIGLIAVACCA, D. M. et al. Composição química da precipitação atmosférica no sul do Brasil – Estudo Preliminar. **Química Nova**, São Paulo, v.28, n.03, p.371-379, 2005.

MIRLEAN, N.; VANZ, A.; BAISCH, P. Níveis e origem da acidificação das chuvas na região do Rio Grande, RS. **Química Nova**, São Paulo, v.23, n.5, p.590-593, 2000.

NORBY, R. J.; LUXMOORE, R. J. Growth analysis of soybean exposed to simulated acid rain and gaseous air pollutants. **New Phytologist**, v.95, p.277-287, 1983.

PORTER, P. M. et al. Effects of simulated acid rain on growth parameters and yield components of two soybean cultivars. **New Phytologist**, v.113, p.78-83, 1989.

RODRIGUES, J. D. **Influência de diferentes níveis de cálcio sobre o desenvolvimento de plantas de estilosantes (*Stylosanthes guyanensis* (aubl) Sw. cv. Cook), em cultivo hidropônico**. Botucatu, 1990. 180p. Tese (Livre Docência em Fisiologia Vegetal) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista.

SANT'ANNA-SANTOS, B. F. et al. Effects of simulated acid rain on leaf anatomy and micromorphology of *Genipa americana* L. (Rubiaceae). **Braz. Arch. Biol. Technol**, Curitiba, vol.49, n.2, p.313-321, 2006.

SINGH, A. AGRAWAL, M. Response of two cultivars *Triticum aestivum* L, to simulated acid rain. **Environmental Pollution**, v.91, n.2, p.161- 167 1996.

TRESMONDI, A. C. C. de L.; TOMAZ, E.; KRUSCHE, A. V. Avaliação de pH e composição iônica das águas de chuva em Paulínia, SP. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.2 n.1 p.70-84, 2005.