

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

TESE

**Desenvolvimento e Senescência Foliar de Cultivares
de Feijoeiro sob Diferentes Suprimentos de
Nitrogênio e Fósforo**

Patrick Gesualdi Haim

2013



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**DESENVOLVIMENTO E SENESCÊNCIA FOLIAR DE CULTIVARES
DE FEIJOEIRO SOB DIFERENTES SUPRIMENTOS DE NITROGÊNIO
E FÓSFORO**

PATRICK GESUALDI HAIM

Sob a Orientação do Professor
Adelson Paulo de Araújo

e Co-orientação do Professor
Everaldo Zonta

Tese submetida como requisito parcial para
obtenção do grau de **Doutor em Ciências**,
no Curso de Pós-Graduação em Agronomia,
Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2013

635.652

H151d

T

Haim, Patrick Gesualdi, 1979-

Desenvolvimento e senescência foliar de cultivares de feijoeiro sob diferentes suprimentos de nitrogênio e fósforo / Patrick Gesualdi Haim. – 2013.

xiv, 98 f.: il.

Orientador: Adelson Paulo de Araújo.

Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia, 2013.

Bibliografia: f. 70-78.

1. Feijão - Cultivo – Teses. 2. Feijão - Fisiologia - Teses. 3. Feijão - Nutrição - Teses. 4. Plantas – Efeito do nitrogênio – Teses. 5. Plantas – Efeito do fósforo – Teses. 6. Solos – Teor de fósforo – Teses. 7. Solos – Teor de nitrogênio – Teses. 8. Análise foliar – Teses. I. Araújo, Adelson Paulo de, 1963- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO

PATRICK GESUALDI HAIM

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

TESE APROVADA EM 26/02/2013.

Adelson Paulo de Araújo. Dr. UFRRJ (Orientador)

José Carlos Polidoro. Dr. Embrapa-Solos

Rosângela Stralio. Dra. Embrapa-Agrobiologia

Antonio Carlos de Souza Abboud. Dr. UFRRJ

Eduardo Lima. Dr. UFRRJ

Aos meus pais, pela oportunidade da vida, pelo simples motivo de existirem.

Aos meus irmãos e sobrinhos, por serem tão especiais.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Aos meus Orientadores Adelson Paulo de Araújo e Everaldo Zonta pela confiança, ensinamentos, amizade, incentivo, paciência, dedicação e exemplos de caráter e ética profissional;

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo;

Aos amigos-estagiários Maicon, Barbara, Joivan, Rafaela e Thays pela contribuição na realização dos trabalhos, mesmo nas horas de descanso como finais de semana e feriados onde mais trabalhávamos;

Ao Marcos e Wagner por todo apoio;

A Capes pela bolsa sanduíche concedida a estudos realizados na Argentina;

Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida.

MUITO OBRIGADO.

BIOGRAFIA

Patrick Gesualdi Haim nasceu na cidade do Rio de Janeiro, RJ, em 25 de outubro de 1979. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 2000, diplomando-se em Agronomia em 2006. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica do CNPq na Embrapa Solos. Ingressou no Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo (CPGA-CS) em 2007 e concluiu sua dissertação de Mestrado em fevereiro de 2009. Em março de 2009 ingressou no curso de Doutorado do CPGA-CS.

RESUMO GERAL

HAIM, Patrick Gesualdi. **Desenvolvimento e senescência foliar de cultivares de feijoeiro sob diferentes suprimentos de nitrogênio e fósforo**. 2013. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamentos de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2013.

O trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira etapa teve como objetivo avaliar o uso da análise digital de imagens, para a diagnose nutricional de N no tecido foliar do feijoeiro. Três cultivares foram crescidas em vasos sob duas doses de N e P aplicadas ao solo. No estágio de emissão de vagens, foi mensurado o índice de clorofila Falker nos trifólios, as imagens dos trifólios foram digitalizadas, e determinado o teor foliar de N. Nas imagens, foi atribuída uma nota com o software AFSOft, baseado na área ocupada por padrões de verde previamente estabelecidos. A nota AFSOft mostrou-se uma ferramenta viável para estimar o teor foliar de N no feijoeiro. A segunda etapa teve como objetivo avaliar o desenvolvimento e a senescência foliar de cultivares de feijoeiro, em resposta à aplicação de diferentes doses de N e P no solo. Foram realizados dois experimentos. O primeiro experimento teve esquema fatorial $3 \times 2 \times 2 \times 3$, combinando três cultivares (Iraí, ICA Pijao e Carioca), duas doses de P aplicado ao solo (20 e 100 mg P kg⁻¹), dois níveis de N (baixo N, com 30 mg N kg⁻¹ no plantio, e alto N, com 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas aplicações de cobertura com 300 mg de N por vaso) e três coletas (estádios de emissão de vagens, início de enchimento de vagens, e 10 dias após a segunda coleta), em vasos com 11 kg de solo. As folhas senescentes foram coletadas e agrupadas em duas fases do experimento. Nas coletas as plantas foram separadas em raízes, caules, folhas primárias e trifólios, determinando-se a área foliar e os teores de N. No segundo experimento foi adotado um esquema fatorial $5 \times 2 \times 2 \times 2$, combinando cinco cultivares (Iraí, ICA Pijao, Manteigão, Carioca e Ouro Negro), duas doses de N, duas doses de P (as mesmas doses de N e P do primeiro experimento) e duas coletas (início de enchimento das vagens e maturação dos grãos). As folhas foram contadas semanalmente e as folhas senescentes coletadas. Nas coletas, as plantas foram separadas em raízes, caules, folhas, vagens e grãos. No material vegetal foram determinados os teores de N e P. De forma geral, as plantas que receberam menores doses de P apresentaram menor massa seca de folhas, raízes, caules, vagens, parte aérea e maior deposição de folhas senescentes, portanto, a limitação de P aumenta a senescência foliar do feijoeiro. O estágio de máximo número de folhas foi observado em torno de 50 dias após emergência, não variando com o suprimento de N e P no solo. A área foliar específica manteve-se relativamente estável em diferentes estratos da planta. Os efeitos das doses de P foram mais intensos que os efeitos das doses de N, em todo o ciclo de desenvolvimento e senescência foliar do feijoeiro, uma vez que houve uma maior interferência do P na quantidade de N encontrada nos tecidos vegetais do feijoeiro. Nas doses de baixo P, as plantas translocaram mais N e P das folhas, caules e raízes para as vagens e grãos. Do total de N e P translocado para as vagens e grãos, as folhas responderam pela translocação de 84% de N e 57% de P, os caules por 10% de N e 24% de P e as raízes por 6% de N e 19% de P, na média das doses de adubações. Os índices de colheita aparente apresentaram resultados semelhantes aos índices de colheita real. Desta forma, pode-se usar os índices de colheita aparente para expressar a capacidade de alocação de biomassa, N e P nos grãos de um genótipo de feijoeiro. A cultivar Ouro Negro foi mais eficiente na translocação de N e P durante a formação das sementes de feijão.

Palavras chave: *Phaseolus vulgaris*, AFSOft, índice de colheita, translocação de nutrientes.

GENERAL ABSTRACT

HAIM, Patrick Gesualdi. **Leaf development and senescence of common bean cultivars at different supplies of nitrogen and phosphorus.** 2013. 98p. Thesis (Doctor Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamentos de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2013.

The study was divided into two stages. The first stage aimed to evaluate the use of digital image analysis for the diagnosis of N nutrition in the leaf tissue of common bean plants. Three cultivars were grown in pots at two doses of N and P applied to the soil. At the stage of pod setting, the chlorophyll content Falker in trifoliate leaves was measured, images of trifoliate leaves were scanned and leaf N concentration was determined. In the images, a note was given with AFSoft software, based on the area occupied by green standards previously established. Leaf N concentration was correlated to the chlorophyll index Falker and the note given by AFSoft. The note AFSoft is a viable tool for estimating leaf N status in plants. The second stage had the objective to evaluate the leaf development and senescence of bean cultivars in response to different levels of N and P in the soil. Two experiments were conducted. The first experiment had a 3x2x2x3 factorial design combining three cultivars (Iraí, ICA Pijao and Carioca), two P levels applied to the soil (20 and 100 mg P kg⁻¹), two N levels (low N with 30 mg N kg⁻¹ at planting, and high N with 60 mg N kg⁻¹ at planting and two covering applications with 300 mg of N per pot) and three harvests (stages of pod setting, early pod filling, and 10 days after the second harvest) in pots with 11 kg of soil. Senescent leaves were collected and grouped into two phases of the experiment. At harvests, plants were separated into roots, stems, leaves, primary and trifoliate leaves, and the leaf area and N concentration in plant tissues were determined. In the second experiment a 5x2x2x2 factorial design was used, combining five cultivars (Iraí, ICA Pijao, Manteigão, Carioca and Ouro Negro), two N levels, two P levels (the same levels used in the first experiment) and two harvest (beginning of pod filling and grain maturity). The leaves were counted weekly and senescent leaves collected. At harvests, the plants were separated into roots, stems, leaves, pods and grains. In plant material concentrations of N and P were determined. In general, plants at lower P levels had lower dry mass of leaves, roots, stems, pods, shoots and greater deposition of senescent leaves, thus the limited P supply increased the bean leaf senescence. The maximum stage of number of leaves was observed around 50 days after emergence and did not vary with the soil supplies of N and P. The specific leaf area remained relatively stable in different parts of the plant. The effects of P levels were more intense than the effects of N levels, throughout the growth cycle and leaf senescence, since there was a greater interference of P in the amount of N in plant tissues of bean. At low P levels, plants translocated more N and P from the leaves, stems and roots to the pods and grains. From the total of N and P that was translocated to pods and grains, the leaves were responsible for the translocation of 84% of N and 57% of P, stems by 10% of N and 24% of P, and roots by 6% of N and 19% of P, in the average of fertilizers levels. The apparent harvest index showed similar results to the real harvest index. Thus, the apparent harvest index may be used for expressing the ability of allocation of biomass, N and P in grains of a bean genotype. The Ouro Negro cultivar was more efficient in the translocation of N and P during the formation of the seeds.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, AFSoft, harvest index, translocation of nutrients.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Padrão de cores e nota AFSOft, atribuída de acordo com a área ocupada por cada padrão de cores, em uma folha de feijoeiro cultivar ICA Pijao, no estágio de emissão de vagens..... 17
- Tabela 2.** Equações e coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros analisados em folhas de três cultivares de feijoeiro (Iraí, Carioca e ICA Pijao) e o conjunto de dados de todas as cultivares⁽¹⁾..... 18
- Tabela 3.** Hábito de crescimento, peso de 100 sementes, e teores de N e P nas sementes dos três cultivares de feijoeiro utilizados no experimento I..... 25
- Tabela 4.** Características químicas do solo utilizado no experimento antes e após a adubação..... 26
- Tabela 5.** Hábito de crescimento, peso de 100 sementes, e teores de N e P nas sementes dos 5 cultivares de feijoeiro vulgaris utilizados no Experimento 2..... 28
- Tabela 6.** Data de floração (em dias após emergência) de cinco cultivares de feijoeiro crescidas sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo. 41
- Tabela 7.** Massa de folha, massa de caule, massa de parte aérea, massa de raiz, das cultivares de feijoeiro Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, no estágio de início de formação das vagens..... 42
- Tabela 8.** Número de folhas, área foliar, área foliar por folha e área foliar específica, das cultivares de feijoeiro Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, no estágio início de formação das vagens..... 46
- Tabela 9.** Teor de N na folha e conteúdo de N na folha, caule, raiz e parte aérea de cinco cultivares de feijoeiro crescidas sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, no estágio de início de formação das vagens. 50
- Tabela 10.** Teor de P na folha e conteúdo de P na folha, caule, raiz e parte aérea de cinco cultivares de feijoeiro crescidas sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, no estágio de início de formação das vagens. 52
- Tabela 11.** Produção de grãos, componentes de produção e índices de colheita real e aparente de cinco cultivares de feijoeiro crescidas sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo..... 55
- Tabela 12.** Teor de N no grão e conteúdo de N no caule, grão, vagem e raiz e índice de colheita de N real e aparente, de cinco cultivares de feijoeiro, no estágio de maturidade fisiológica (médias de quatro repetições)..... 57

| | |
|---|----|
| Tabela 13. Teor de P no grão e conteúdo de P no caule, grão, vagem e raiz e índice de colheita de N real e aparente, de cinco cultivares de feijoeiro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg ⁻¹ no plantio e 60 mg N kg ⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg ⁻¹) aplicadas ao solo, na maturação de grãos (médias de quatro repetições)..... | 60 |
| Tabela 14. Proporção de N e P presente nas vagens e grãos na maturidade fisiológica de feijoeiro crescido sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg ⁻¹ no plantio e 60 mg N kg ⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg ⁻¹) aplicadas ao solo. (média de cinco cultivares). | 67 |
| Tabela 15. Análise de variância dos caracteres de acumulação de biomassa avaliados na primeira coleta (valores de quadrado médio). | 79 |
| Tabela 16. Análise de variância dos caracteres de acumulação de biomassa avaliados na segunda coleta (valores de quadrado médio). | 80 |
| Tabela 17. Análise de variância dos caracteres de acumulação de biomassa avaliados na terceira coleta (valores de quadrado médio). | 81 |
| Tabela 18. Análise de variância dos caracteres de área foliar avaliados na primeira coleta (valores de quadrado médio). | 82 |
| Tabela 19. Análise de variância dos caracteres de área foliar avaliados na segunda coleta (valores de quadrado médio). | 83 |
| Tabela 20. Análise de variância dos caracteres de área foliar avaliados na terceira coleta (valores de quadrado médio). | 84 |
| Tabela 21. Análise de variância do conteúdo de N na folha, caule, parte aérea, raiz e total avaliados na primeira coleta (valores de quadrado médio). | 85 |
| Tabela 22. Análise de variância do conteúdo de N na folha, caule, vagem, parte aérea, raiz e total avaliados na segunda coleta (valores de quadrado médio). | 86 |
| Tabela 23. Análise de variância dos caracteres de conteúdo de N na folha, caule, vagem, parte aérea, raiz e total avaliados na terceira coleta (valores de quadrado médio). | 87 |
| Tabela 24. Análise de variância dos caracteres de acumulação de biomassa avaliados na primeira coleta..... | 88 |
| Tabela 25. Análise de variância do números de folhas avaliados em oito observações..... | 89 |
| Tabela 26. Análise de variância dos caracteres de área foliar avaliados na primeira coleta (valores de quadrado médio). | 90 |
| Tabela 27. Análise de variância dos caracteres de massa de folhas senescentes avaliados em cinco semanas após a floração e o valor total (valores de quadrado médio), da média dos cultivares de feijoeiro..... | 91 |
| Tabela 28. Valores de quadrados médios obtidos pela análise de variância do teor de N na folha e do conteúdo de N na folha, caule, parte aérea e raiz de cinco genótipos de feijoeiro crescidos sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 e 60 mg N kg ⁻¹) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg ⁻¹) aplicadas ao solo, no período de início de formação das vagens. | 92 |
| Tabela 29. Valores de quadrados médios obtidos pela análise de variância do conteúdo de P na folha, caule parte aérea e raiz de cinco genótipos de feijoeiro crescidos sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 e 60 mg N kg ⁻¹) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg ⁻¹) aplicadas ao solo, no período de início de formação das vagens. | 93 |
| Tabela 30. Análise de variância do teor de N no grão e conteúdo de N no caule, grão, vagem, raiz, folha senescente e índice de colheita de N e P avaliados na maturação de grãos (valores de quadrado médio). | 94 |

- Tabela 31.** Análise de variância do teor de P no grão e do conteúdo de P no caule, grão, vagem, raiz, folha senescente e índice de colheita de N e P avaliados na maturação de grãos (valores de quadrado médio). 95
- Tabela 32.** Valores de quadrados médios obtidos pela análise de variância do conteúdo de N nas folhas senescentes avaliado nas semanas após floração e no total de semanas de cinco genótipos de feijoeiro crescidos sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 e 60 mg N kg⁻¹) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo. 96
- Tabela 33.** Valores de quadrados médios obtidos pela análise de variância do conteúdo de P nas folhas senescentes avaliado nas semanas após floração e no total de semanas de cinco genótipos de feijoeiro crescidos sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 e 60 mg N kg⁻¹) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo. 97
- Tabela 34.** Análise de variância dos caracteres de produção de grãos avaliados no estágio de maturidade fisiológica (valores de quadrado médio), de cinco cultivares de feijoeiro..... 98

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Massa de folha verde, caules, folha senescente e vagem, das cultivares de feijoeiro Iraí, ICA Pijao e Carioca, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, em três épocas de coleta; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época de coleta. 31
- Figura 2.** Massa de parte aérea e raiz das cultivares de feijoeiro Iraí, ICA Pijao e Carioca, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, em três épocas de coleta; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época de coleta. ... 33
- Figura 3.** Número de folhas, área foliar, área foliar por folha, área foliar específica das cultivares de feijoeiro Iraí, ICA Pijao e Carioca, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, em três épocas de coleta; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época de coleta. 35
- Figura 4.** Área foliar específica de três cultivares de feijoeiro, em diferentes estratos da planta, em duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 e 60 mg N kg⁻¹) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹), no estágio de emissão de vagens. Estratos de folhas: Pr folhas primárias, T1 a T5 primeiro ao quinto trifólios, contados a partir do colo da planta, e T6 demais trifólios da planta; barras horizontais representam a diferença mínima significativa (Tukey 5%), e comparam as doses de adubações dentro de cada estrato de folhas. 36
- Figura 5.** Área foliar por folha de três cultivares de feijoeiro, em diferentes estratos da planta, em duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 e 60 mg N kg⁻¹) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹), no estágio de emissão das vagens. Estratos de folhas: Pr folhas primárias, T1 a T5 primeiro ao quinto trifólios, contados a partir do colo da planta, e T6 demais trifólios da planta; barras horizontais representam a diferença mínima significativa (Tukey 5%) e comparam as doses de adubações dentro de cada estrato de folhas. 37
- Figura 6.** Proporção de massa alocada em folha verde, caule, folha senescente, vagem e raiz, de plantas de feijoeiro crescidas sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, em três épocas de coleta (início de formação das vagens, início de enchimento das vagens, e 10 dias após a segunda coleta); médias de três cultivares (Iraí, ICA Pijao e Carioca). 38
- Figura 7.** Conteúdo de N na folha, caule, folha senescente, vagem e na parte aérea de cinco cultivares de feijoeiro sob duas doses de N e duas doses de P aplicadas ao solo, em três épocas de coleta; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época de coleta. 39
- Figura 8.** Número de folhas das cultivares de feijoeiro Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, em oito épocas de avaliação; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época. 44

- Figura 9.** Massa de folhas senescentes das cultivares de feijoeiro Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, nas cinco semanas após floração até a maturação dos grãos; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época. 48
- Figura 10.** Conteúdo de N em folhas senescentes das cultivares de feijoeiro Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, nas cinco semanas após floração até a maturação dos grãos; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época. 63
- Figura 11.** Conteúdo de P em folhas senescentes das cultivares de feijoeiro Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, nas cinco semanas após floração até a maturação dos grãos; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época. 64
- Figura 12.** Teor de N e P em folhas senescentes na média de cinco cultivares de feijoeiro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, nas cinco semanas após floração até a maturação dos grãos..... 65

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 | Aspectos Gerais da Cultura do Feijoeiro | 3 |
| 2.2 | Nitrogênio no Solo e na Planta de Feijoeiro..... | 4 |
| 2.3 | O Fósforo no Solo e na Planta de Feijoeiro..... | 5 |
| 2.4 | Interações entre Nitrogênio e Fósforo | 7 |
| 2.5 | Área Foliar | 7 |
| 2.6 | Senescência Foliar | 9 |
| 2.7 | Software AFSOft | 10 |
| 3 | CAPÍTULO I DIAGNOSE NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO EM FOLHAS DE FEIJOEIRO PELA ANÁLISE DIGITAL DE IMAGENS | 12 |
| 3.1 | RESUMO | 13 |
| 3.2 | ABSTRACT | 14 |
| 3.3 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 3.4 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 16 |
| 3.5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 17 |
| 3.6 | CONCLUSÕES | 19 |
| 4 | CAPÍTULO II DESENVOLVIMENTO E SENESCÊNCIA FOLIAR DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO | 20 |
| 4.1 | RESUMO | 21 |
| 4.2 | ABSTRACT | 22 |
| 4.3 | INTRODUÇÃO | 23 |
| 4.4 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 25 |
| 4.4.1 | Desenvolvimento e Senescência Foliar de Três Cultivares de Feijoeiro em Três Estádios de Desenvolvimento..... | 25 |
| 4.4.2 | Senescência Foliar, Índices de Colheita e Produção de Grãos de Cinco Cultivares de Feijoeiro | 27 |
| 4.5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 30 |
| 4.5.1 | Desenvolvimento e Senescência Foliar de Três Cultivares de Feijoeiro em Três Estádios de Desenvolvimento..... | 30 |
| 4.5.2 | Senescência Foliar, Índices de Colheita e Produção de Grãos de Cinco Cultivares de Feijoeiro | 40 |
| 4.6 | CONCLUSÕES | 68 |
| 5 | CONCLUSÕES GERAIS | 69 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 70 |
| 7 | ANEXOS..... | 79 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

Crescimento e desenvolvimento vegetal são processos independentes que podem ocorrer simultaneamente ou não (Streck et al., 2003). Enquanto crescimento vegetal se refere a mudanças irreversíveis de dimensões físicas de órgãos da planta como massa, volume, comprimento e área, desenvolvimento vegetal envolve a diferenciação celular, a morfogênese, o aparecimento e a senescência de órgãos (Wilhelm & McMaster, 1995). O crescimento e o desenvolvimento das culturas são o resultado de fatores genéticos e ambientais, e a quantificação dos fatores ambientais que afetam estes dois processos oportuniza a possibilidade de melhoria das técnicas aplicadas à produção. A nutrição mineral é um importante fator ambiental, e o crescimento e desenvolvimento das plantas são altamente dependentes da disponibilidade de N e P no solo.

A seleção de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) com maiores rendimentos de grãos em solos com déficit em nutrientes poderia contribuir para aumentar a sustentabilidade da agricultura em áreas tropicais (Dorcivil et al., 2010). No entanto, pouco progresso genético foi feito na melhoria de linhagens de feijoeiros associados a solos com baixa fertilidade ou acidez elevada, pois as interações ambientais dificultam o processo de seleção (Beaver & Osorno, 2009). Seleção de caracteres como biomassa, índice de colheita e dias para a maturação deve resultar em maior rendimento do feijoeiro, mas a seleção simultânea de caracteres é necessária devido a inter-relações genéticas entre os componentes (Kelly et al., 1998).

A produção de área foliar é um componente importante para a produção vegetal, mas constitui caracter de variação complexa. As diferenças genótípicas na produtividade de muitos cultivos são principalmente associadas a variações na área foliar, pois as variações na atividade fotossintética por unidade de área foliar são muitas vezes inconsistentes e não significativas (Richards, 2000). Segundo Trindade et al. (2010), o maior crescimento do feijoeiro sob suprimento limitado de P no início do enchimento de vagens esteve associado a genótipos capazes de manter a expansão foliar por meio de folhas de maior tamanho.

A remobilização de nutrientes dos tecidos vegetativos para os órgãos reprodutivos desempenha papel importante para o rendimento de grãos do feijoeiro. Segundo revisão de Schiltz et al. (2005), a contribuição da remobilização de N dos órgãos vegetativos para a semente foi de 70% para a ervilha, 80-90% na soja, 43-94% na lentilha, 84% no feijão, e 80% no feijão de fava. Os índices de colheita de N e P são muito maiores do que os valores de índice de colheita de biomassa em cultivares de feijão, denotando que a translocação de N e P para as sementes é mais intensa do que a translocação de fotossintatos (Araújo & Teixeira, 2003).

Estes fatos levam a formulação da hipótese de que a ontogenia da planta de feijoeiro é marcada por alterações na morfologia foliar que podem variar em função do genótipo utilizado e dos teores de N e P disponíveis no solo e na planta. Neste contexto, são de suma importância estudos que indiquem a magnitude do efeito da ontogenia no desenvolvimento e senescência foliar.

Os objetivos desse estudo foram avaliar o uso da análise digital de imagens para a diagnose nutricional de N no tecido foliar do feijoeiro, e avaliar o desenvolvimento e a senescência foliar de cultivares de feijoeiro, em resposta à aplicação de diferentes doses de N e P no solo.

O trabalho foi dividido em dois capítulos. O primeiro capítulo teve como título: Diagnose nutricional de nitrogênio em folhas de feijoeiro pela análise digital de imagens; e teve como objetivo avaliar o uso da análise digital de imagens para a diagnose nutricional de

N no tecido foliar do feijoeiro. O segundo capítulo foi intitulado: Desenvolvimento e senescência foliar de cultivares de feijoeiro; e teve como objetivo avaliar o desenvolvimento e a senescência foliar de diferentes cultivares de feijoeiro, em resposta à aplicação de diferentes doses de nitrogênio e fósforo no solo, realizou-se dois experimentos em casa de vegetação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos Gerais da Cultura do Feijoeiro

O feijão no Brasil constitui um dos alimentos básicos da população brasileira, além de ser uma das principais fontes de proteína na dieta alimentar dos estratos sociais menos favorecidos. O gênero *Phaseolus* compreende a maioria das espécies conhecidas como feijão, sendo *Phaseolus vulgaris* L., ou feijoeiro comum, a mais amplamente cultivada.

O desenvolvimento do feijoeiro compreende, basicamente, duas fases distintas e sucessivas, denominadas de fases vegetativa e reprodutiva, diferenciadas entre si pela manifestação de diferentes eventos bioquímicos, morfológicos e fisiológicos. A fase vegetativa tem seu início caracterizado pelo completo desdobramento das folhas primárias, prosseguindo até o aparecimento dos primeiros botões florais (Dourado Neto & Fancelli, 2000). O período vegetativo é favorecido pela ocorrência de temperaturas moderadamente elevadas (superior a 21 °C e inferior a 29 °C), adequada disponibilidade hídrica e abundante luminosidade. A fase reprodutiva se transcorre desde a emissão dos primeiros botões florais até o ponto de maturidade fisiológica.

O desenvolvimento do feijoeiro é, inicialmente, muito lento, e só a partir do vigésimo dia é que a taxa de crescimento torna-se mais intensa, atingindo o máximo desenvolvimento aos 55-70 dias. Após, começam a prevalecer os fenômenos de translocação, em substituição ao crescimento (Oliveira & Thung, 1988). A senescência é o processo natural de envelhecimento ao nível celular ou o conjunto de fenômenos associados a este processo. É um processo degenerativo que ocorre ao final do desenvolvimento de qualquer órgão vegetal, incluindo folhas, caules, flores e frutos (Dangl et al., 2000).

O feijoeiro é considerado uma planta exigente em nutrientes, em função do sistema radicular pequeno e superficial e do ciclo curto, sendo fundamental que os nutrientes estejam disponíveis à planta em tempo e local adequados (Moraes, 1988; Rosolem & Marubayashi, 1994). Embora haja variação na duração do ciclo da cultura em relação ao hábito de crescimento, as variedades cultivadas de feijão mais comuns apresentam um ciclo com duração ao redor de 90 dias (Almeida & Bulisani, 1980), iniciando o período de florescimento, normalmente, a partir dos 40-45 dias após emergência (DAE) para depois entrarem nas fases de granação e de maturação.

A exigência nutricional do feijoeiro, em ordem decrescente, é: N, K, Ca, Mg, S, P, Fe, Mn, B, Zn, Cu, e a exportação pelos grãos, da mesma maneira, N, K, P, S, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, B e Cu (Andrade et al., 2004). Segundo Vieira (2006), para um rendimento de grãos de 3.000 kg ha⁻¹ há uma exportação de aproximadamente 100 kg ha⁻¹ de N, 50 kg ha⁻¹ de K, 15 kg ha⁻¹ de S, 10 kg ha⁻¹ de P, e 10 kg ha⁻¹ de Ca. Com esses valores e possível verificar a expressiva importância do N para a produção da cultura do feijão, e segundo Vieira (2006), a cultura pode ser classificada com empobrecedora do solo.

A absorção dos macronutrientes P, K, Ca, Mg e, sobretudo, N, segue aproximadamente, a mesma tendência da produção de fitomassa seca, atingindo o máximo aos 60-70 DAE (Haag et al., 1967; Mafra et al., 1974; Caballero et al., 1985). A absorção diária de nutrientes é pequena no início do desenvolvimento, aumentando a partir do vigésimo dia, independente do ciclo do material usado (Mafra et al., 1974; Moraes, 1988), e mais intensa no intervalo de 20 a 30 dias, isto é, imediatamente antes do florescimento (Mafra et al., 1974). A diminuição brusca na fitomassa verde após 50 DAE é devido ao secamento das plantas (Haag et al., 1967). A taxa assimilatória líquida segue a mesma curva, e o enchimento

dos grãos deve ocorrer principalmente às expensas dos fotossintatos transferidos das folhas para as vagens e os grãos (Lopes et al., 1982).

As cultivares pertencentes ao tipo I, com hábito de crescimento determinado, apresentam haste principal e os ramos laterais terminando em inflorescência, talo principal resistente (pouco ramificado), pequeno porte (25-50 cm), ciclo precoce, período de florescimento reduzido, uniformidade de maturação de vagens. As cultivares do tipo II, com hábito de crescimento indeterminado, apresentam internódios curtos que permite o porte mais ereto, propiciando adequada distribuição das flores e das vagens na planta, proporcionando um produto de melhor qualidade por diminuir o contato das vagens com o solo, sendo em geral indicadas para sistemas de produção sob irrigação e de média a alta tecnologia (Dourado Neto & Fancelli, 2000). As cultivares do tipo III, de hábito de crescimento indeterminado prostrado ou semiprostrado, apresentam internódios longos, e grande número de ramificações, com período de florescimento mais longo, o que proporciona a redução de riscos de perda de produção originários de fatores climáticos desfavoráveis. Por essas razões, são cultivares indicadas para sistemas de média e baixa tecnologia, para culturas de subsistência e lavouras consorciadas. Entretanto, verifica-se grande desuniformidade na maturação das vagens e grande quantidade de vagens em contato com o solo, o que pode causar redução na produção (Dourado Neto & Fancelli, 2000).

A biomassa de parte aérea, o índice de colheita (correspondente à razão entre massa de grãos e de parte aérea) e os dias para maturação constituem os três componentes fisiológicos com maior influência na produção de grãos de feijão (Yan & Wallace, 1995). A seleção para produção de biomassa, índice de colheita e dias para maturação pode resultar em incrementos de produção do feijoeiro, apesar de tornar-se necessária uma seleção simultânea em virtude das relações genéticas entre esses três componentes (Kelly et al., 1998). Sinclair (1998) sugere que o desenvolvimento de cultivos com maior índice de colheita deve iniciar-se com incremento na acumulação de nutrientes, em vez de uma simples alteração na partição de biomassa.

Os índices de colheita são geralmente mais elevados nas leguminosas do que em outros cereais, uma vez que nas leguminosas as folhas não são consideradas nesta medida, pois ela é perdida antes da colheita (Hay, 1995). Índices de colheita reais (calculado incluindo a biomassa das folhas senescentes colhidas através do seu ciclo de crescimento) e índices de colheita aparente (calculado sem as folhas senescentes) foram altamente correlacionados em cultivares de soja, indicando que o índice de colheita aparente reflete adequadamente o índice de colheita propriamente dito de um genótipo (Schapaugh e Wilcox, 1980). No entanto, essa afirmação para a cultura do feijoeiro exige mais trabalho e ainda não está disponível na literatura (Araújo et al., 2012).

2.2 Nitrogênio no Solo e na Planta de Feijoeiro

No solo, o N ocorre em três formas principais: N orgânico, N amoniacal fixado pelos colóides e íons de amônio e nitrato ou compostos solúveis (Kikuti, 2004). Ainda que a matéria orgânica seja a principal fonte de N ao solo, a atmosfera também pode fornecer N ao solo por três tipos de processos: fixação biológica (não simbiótica ou simbiótica, como nas leguminosas); fixação por oxidação natural (formação de NO_3^- pelas descargas elétricas dos relâmpagos e posterior transporte pluvial até o solo); e indiretamente, pela fixação industrial por meio da fabricação de fertilizantes (Lopes, 1989). Os solos, em sua maioria, não fornecem adequadamente quantidade de N durante as fases de desenvolvimento das plantas, em parte devido à elevada demanda e também às transformações bioquímicas que o N está sujeito no solo e que podem alterar significativamente a sua disponibilidade (Acosta, 2009).

A exemplo de outras leguminosas, o feijoeiro apresenta a peculiaridade de fixar nitrogênio da atmosfera através da simbiose com bactérias do grupo dos rizóbios. Porém a eficiência de fixação é geralmente baixa, e como a simbiose não é capaz de atender toda a necessidade nutricional de N, é recomendado realizar a adubação com N mineral (Dourado Neto & Fancelli, 2000).

A absorção do N ocorre praticamente em todo o ciclo da cultura do feijoeiro, porém a maior velocidade de absorção acontece dos 35 aos 50 DAE. A adubação nitrogenada de cobertura deve ser realizada em um período em que ainda é possível aumentar a produção da planta, sendo esse o início do florescimento (Dourado Neto & Fancelli, 2000). Neste período, a planta absorve de 2,0 a 2,5 kg N ha⁻¹ dia⁻¹ (Rosolem & Marubayashi, 1994).

O N é o nutriente que tem maior efeito no crescimento das plantas, sendo que sua disponibilidade estimula o desenvolvimento e a atividade radicular, incrementando a absorção, não somente de N, mas também de outros nutrientes (Yanai et al., 1996). Ele atua na planta como constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, coenzimas, ácidos nucleicos e citocromos, além de possuir importante função como integrante da molécula de clorofila (Taiz & Zeiger, 2004). A omissão de N reduz significativamente o desenvolvimento das plantas de feijoeiro, afetando o número de folhas, a altura da planta, o diâmetro do caule e a área foliar, induzindo alterações morfológicas com sintomas característicos da deficiência de N (Leal & Prado, 2008). O processo fotossintético é significativamente afetado pela deficiência de N, uma vez que seu funcionamento depende de proteínas como a rubisco, proteínas dos fotossistemas. Sua ausência bloqueia a síntese de citocinina, hormônio responsável pelo crescimento das plantas, causando redução do seu tamanho e consequentemente redução da produção econômica das sementes (Oliveira et al., 2003).

O N é utilizado na síntese de proteínas e outros compostos orgânicos, tais como aminoácidos, nucleotídeos e coenzimas. Um dos principais sintomas da deficiência do N é o amarelecimento ou clorose das folhas mais velhas, devido à inibição da síntese de clorofila, o que resulta, principalmente, na diminuição da fotossíntese e, consequentemente, na síntese de aminoácidos essenciais. Além disso, sua ausência limita o crescimento vegetal e sua disponibilidade tem sido associada à redução da divisão e expansão celular, da área foliar e da fotossíntese (Taiz & Zeiger, 2004).

O N é o elemento mais absorvido e extraído pelo feijoeiro, uma vez que é componente essencial para a síntese protéica e influencia significativamente a produtividade. Como o N é constituinte da molécula de clorofila, geralmente existe alta correlação entre o seu teor e a clorofila nas folhas do feijoeiro. Dessa forma, vários autores têm relatado a viabilidade de se utilizar a avaliação indireta de clorofila como indicativo do estado nutricional em relação ao N (Furlani Junior et al., 1996; Carvalho et al., 2003; Silveira et al., 2003). Assim, o desenvolvimento do medidor portátil de clorofila, que proporciona leituras instantâneas, de uma maneira não destrutiva de folhas, surge como alternativa de indicação do nível de N na planta.

Os teores de N nas plantas variam entre 2 e 75 g kg⁻¹ de matéria seca da planta, considerando-se os teores entre 20 e 50 g kg⁻¹ como adequados para um crescimento normal das plantas. As plantas deficientes apresentam teores foliares menores do que 10 g kg⁻¹, enquanto acima de 50 g kg⁻¹ podem-se observar sintomas de toxidez (Malavolta et al., 1989; Furlani, 2004).

2.3 O Fósforo no Solo e na Planta de Feijoeiro

Em solos tropicais, o P é um nutriente limitante para a produção agrícola (López-Bucio et al., 2002). Por apresentar baixa mobilidade no solo, o P, frequentemente, é um nutriente que restringe o crescimento de plantas (Hinsinger, 2001). O P, depois do N, é o

elemento mais limitante nos cultivos em solos tropicais. Em solos ácidos ocorre uma intensa fixação de fósforo pelos óxidos e hidróxidos de Fe e Al e a matéria orgânica do solo (Raij, 2004). O movimento de P no solo ocorre, principalmente, por difusão (curta distância), e ao absorver P, a planta está contribuindo para a heterogeneidade espacial do P no solo (Lynch & Brown, 2001).

O P presente no solo, em função da sua elevada reatividade, pode estar indisponível à planta (Holford, 1997; Shachtman et al., 1998) e, frequentemente, em teor inferior à adequada para diversas culturas (Hinsinger, 2001). Essa condição é característica de muitos solos nativos (Nielsen et al., 1998) e limita o crescimento de plantas em diversos ecossistemas terrestres (Bonser et al., 1996; Nielsen et al., 2001; Fan et al., 2003; Ho et al., 2004).

O aporte de P para as plantas depende, primariamente, do coeficiente de difusão no solo, determinado por temperatura, umidade, estrutura e poder tampão do solo. O crescimento das raízes é decisivo para o estabelecimento do contato entre solo e raiz, sendo função das propriedades físicas do solo e por fatores químicos como toxidez por alumínio e deficiência de cálcio em solos ácidos (Horst et al., 2001).

O P é considerado onipresente na planta, por estar envolvido em quase todos os processos metabólicos. Sua mobilidade na planta possibilita que o mesmo átomo de P passe de um composto para outro, diversas vezes (Kolek & Holobrada, 1994). Além disto, a elevada mobilidade permite o seu acúmulo em folhas novas, em flores e sementes (Malavolta, 1997).

A baixa disponibilidade de P é a principal limitação para a produção de plantas em ecossistemas naturais ou agrícolas (Lynch & Brown, 2001). O requerimento de P para ótimo crescimento está na faixa de 3 a 5 mg g⁻¹ da fitomassa seca da planta durante o período de tempo entre a emergência e o florescimento (Shachtman et al., 1998; Marschner, 2002). Seu teor, no citoplasma, varia de 5 a 20 mmol L⁻¹ e, na seiva do xilema, de 0,04 a 0,2 mmol L⁻¹ (Kolek & Holobrada, 1994). Os teores de P nas plantas variam de 0,5 a 3,0 g kg⁻¹ de matéria seca da planta, considerando-se os teores entre 1,0 e 1,5 g kg⁻¹ como adequados para um crescimento normal das plantas. Plantas deficientes apresentam teores foliares menores do que 1,0 g kg⁻¹, enquanto, acima de 3,0 g kg⁻¹, podem-se observar sintomas de toxidez (Malavolta et al., 1989; Furlani, 2004).

São identificados pelo menos três tipos de efeitos gerais do suprimento limitado de P na assimilação de N: a diminuição na absorção de NO₃⁻; a diminuição na translocação do NO₃⁻ absorvido para a parte aérea, indicada por uma acumulação de NO₃⁻ nas raízes (aparentemente devido à restrição do transporte do simplasma da raiz para o xilema); e a acumulação de aminoácidos tanto nas folhas (mais comum) quanto nas raízes, resultante ou de inibição da síntese ou da degradação de proteínas (Jeschke et al., 1997). A absorção de nitrato é um processo ativo, requerendo energia metabólica para o transporte contra um gradiente de potencial eletroquímico, necessitando, portanto de substâncias redutoras e de ATP (Kleinhofs & Warner, 1990). A limitação no fornecimento de P pode resultar em menor taxa de absorção de NO₃⁻ e NH₄⁺, sendo relatadas em milho tanto uma redução mais acentuada na absorção de NO₃⁻ quanto na absorção de NH₄⁺ (Alves et al., 1998). Há também a hipótese de que um efeito regulatório específico seja exercido pelo P na formação ou atividade do sistema transportador de NO₃⁻ nas membranas celulares, ou através de inibição por feedback pelas elevadas concentrações de NO₃⁻ e aminoácidos induzidas em raízes pela deficiência de P (Rufty et al., 1990). A limitação de P, ao restringir o transporte de NO₃⁻ da raiz para a parte aérea, pode também induzir a limitação da síntese de proteínas na parte aérea, resultando em aumento da proporção de N não assimilado na parte aérea (Rufty et al., 1990).

2.4 Interações entre Nitrogênio e Fósforo

Interação entre nutrientes é o efeito, positivo ou negativo, que acontece quando a adição de um nutriente provoca o aumento ou a diminuição da resposta a um segundo elemento. Quando o resultado da adição de dois nutrientes supera a soma das respostas individuais a ambos, aplicados isoladamente, há um efeito sinérgico; caso contrário, quando o resultado é inferior, o efeito é antagônico (Cantarella, 2007).

O suprimento de um nutriente pode influir na absorção, distribuição, ou função de outro nutriente e resultar em deficiências induzidas, toxidez ou alterações nas respostas das plantas (Cantarella, 2007). As interações podem ser específicas ou não específicas (Wilkinson et al., 2000). As interações específicas ocorrem entre os elementos que formam ligações químicas, ou, ainda que competem por sítios de adsorção e absorção pelas plantas. As interações não específicas se manifestam quando um dos nutrientes está presente em concentrações próximas do limite de deficiência ou de excesso. Nestas condições, a adição ou supressão de um segundo elemento pode provocar a deficiência de outro por efeito de diluição, ou de toxidez (Cantarella, 2007).

O N e o P interagem de forma sinérgica, em que ambos os nutrientes em níveis adequados promovem aumentos na produção vegetal maiores do que aqueles obtidos com cada nutriente isoladamente (Shuman, 1994). Büll (1993) discutiu vários casos mostrando o efeito da interação entre N e P na cultura do milho. O efeito mais frequentemente relatado é do aumento na absorção de P quando este nutriente é empregado juntamente com o N amoniacal no sulco de semeadura. A adição do fertilizante nitrogenado promove o aumento da absorção de P mesmo em solos com alta disponibilidade de N, nos quais a adubação com P tem pouco efeito (Kamprath, 1987). Em estudos realizados com solução nutritiva, Alves et al. (1999) observaram que a separação espacial do N e do P pode resultar em menor acúmulo de ambos na parte aérea.

As respostas do feijoeiro a aplicação de N e P no solo é sempre positiva, constatando-se raras exceções (Feitosa et al., 1980; Delazari, 1981). Entretanto, a maioria dos trabalhos desenvolvidos estudou separadamente os efeitos da adubação nitrogenada ou fosfatada, sem explorar a sua interação, e foram conduzidos já há alguns anos, empregando cultivares tradicionais, com baixo potencial de produtividade (Silva et al., 1977). Esse aspecto se torna relevante, pois a resposta do feijoeiro ao N e P é dependente do fator cultivar, ou seja, a interação entre cultivar e resposta à adubação é significativa em muitas situações (Oliveira et al., 1987; Silva, 1988).

Considera-se que planta bem nutrida com N tende a absorver com maior eficiência outros elementos como P e K, desde que esses elementos estejam disponíveis em quantidades satisfatórias (Thélier-Huché et al., 1999).

2.5 Área Foliar

A área foliar é um importante componente fisiológico de produção da cultura, sendo esta uma característica complexa. As diferenças genotípicas na produtividade de muitos cultivos são principalmente associadas a variações na área foliar, pois as variações na atividade fotossintética por unidade de área foliar são muitas vezes inconsistentes e não significativas (Richards, 2000).

O índice de área foliar é um dos parâmetros fisiológicos mais utilizados na análise de crescimento das plantas, uma vez que a taxa fotossintética depende diretamente dele. A morfologia das folhas dentro de um dossel geralmente reflete um equilíbrio entre a fotossíntese por unidade de área foliar e interceptação luminosa por folha, folhas mais grossas permitem um maior aparato fotossintético por unidade de área foliar, enquanto as folhas maiores e mais finas pode interceptar mais luz (White & Montes-R, 2005). Uma alta área

foliar específica (razão entre a área foliar e a massa de folha) pode compensar a menor fotossíntese por unidade de área foliar, através de uma maior interceptação de luz (Richards, 2000).

A variação temporal da área foliar em uma cultura agrícola depende das condições edafoclimáticas, da cultivar e da densidade populacional, entre outros fatores. Geralmente, a área foliar aumenta até um máximo, decrescendo após algum tempo, sobretudo em função da senescência das folhas mais velhas. Assim, quanto mais rápido a cultura atingir o ótimo IAF (índice de área foliar) e quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa, maior será sua produtividade biológica (Monteiro et al, 2005).

Na verdade, a produção de uma cultivar de feijoeiro está mais fortemente associada à duração de área foliar, que integra a produção de área foliar no tempo, do que a valores instantâneos de área foliar (Wallace et al., 1972; Lima et al., 2005). Valores máximos de área foliar foram observados durante o início de formação das vagens em seis cultivares de feijoeiro crescidas no campo (Lima et al., 2005), e a manutenção do crescimento e da acumulação de N e P durante o estágio de enchimento de vagens mostrou-se de grande importância para a produção de grãos de cultivares de feijoeiro (Araújo & Teixeira, 2008).

A deficiência de P reduz acentuadamente a área foliar do feijoeiro, principalmente através da redução do número de folhas e da taxa de formação de novas folhas, e em menor extensão através da redução da expansão de cada folha individual (Lynch et al., 1991). Por outro lado, a deficiência de P tem efeito pouco intenso na redução da atividade fotossintética em folhas de feijoeiro, pois modificações no metabolismo de P sob suprimento limitado desse nutriente podem aumentar a circulação interna de P na planta para aumentar a adaptação ao baixo P (Kondracka & Rychter, 1997).

O aumento no suprimento de nitrogênio aumenta de forma significativa a produção de área foliar e, conseqüentemente, a taxa fotossintética das plantas. Em contraste, a deficiência de nitrogênio reduz a área foliar e resulta na redução da absorção da energia luminosa (Toth et al., 2002).

Segundo Schröder et al. (2000), a disponibilidade do N mineral do solo afeta a taxa de formação e expansão foliar, tamanho final das folhas e a taxa de senescência das mesmas e de acordo com Sinclair et al. (1997), a área foliar está diretamente relacionada à disponibilidade de N e à produção das culturas.

A área foliar específica é geralmente determinada pela razão entre a área foliar e a massa foliar de toda a planta, mas esta determinação é bastante trabalhosa em plantas maiores, demandando muito tempo. Uma alternativa muitas vezes adotada é a determinação da área foliar em amostras de folhas de uma planta ou de um dossel, com a obtenção de sua respectiva massa seca, e extrapolando-se esta área foliar específica para a planta toda ou para toda a área de terreno em estudo.

São vários os métodos utilizados atualmente para a determinação da área foliar em plantas anuais, os quais podem ser destrutivos ou de laboratório e não-destrutivos ou de campo. Entre os métodos destrutivos ou de laboratório estão o método dos discos foliares, onde a área foliar real é estimada através de vazadores com área conhecida e do peso do restante da folha; o método da pesagem das silhuetas, onde é feita a comparação entre o peso de uma área conhecida de papel com densidade definida e os pesos das silhuetas das folhas sobre os mesmos (Benincasa, 1988). O método do disco foliar precisa de uma área foliar específica estável para estimar com precisão, em função da diferença de formato entre folhas novas e completamente desenvolvidas. Folhas novas são proporcionalmente mais estreitas do que folhas completamente desenvolvidas. Entretanto, não há resultados que demonstrem que a morfologia foliar mantém-se estável em diferentes estratos do feijoeiro, assim como a resposta da área foliar específica a diferentes suprimentos de N e P.

A área foliar específica reflete uma estratégia de alocação de recursos dentro de uma única folha, reagindo sensivelmente às mudanças nos fatores de produção interna ou externa sofridas pela planta durante seu ciclo de vida (Milla et al., 2008). Por esta razão, a área foliar específica de plantas de feijão normalmente apresenta fortes variações ambientais e ontogenéticas (White & Montes-R. 2005), bem como as marcadas interações com o suprimento de P (Araújo et al., 1998), o que poderia diminuir a utilidade de área foliar específica como critério de seleção de genótipos com tolerância ao baixo suprimento de P (Araújo et al., 1998). Ela está relacionada a alocação de biomassa por unidade de área, à longevidade foliar e custo de construção das folhas, e pode ser utilizada para comparar possíveis estratégias adaptativas de espécies que coexistem em uma mesma comunidade (Franco et al., 2005).

A avaliação da área foliar durante todo o ciclo da cultura é de extrema importância para que se possa modelar o crescimento e o desenvolvimento da planta e em consequência a produtividade e a produção total da cultura (Teruel, 1995).

2.6 Senescência Foliar

A senescência foliar é parte integral do desenvolvimento das plantas. Assim como muitos outros processos de desenvolvimento, é um programa geneticamente controlado regulado por uma variedade de fatores ambientais e autônomos. Distinta de outros grandes eventos no desenvolvimento de plantas que envolvem principalmente divisão celular, diferenciação, e/ou crescimento, a senescência foliar é acompanhada por uma ampla operação de morte da célula da planta (plant cell death-PCD) nos órgãos. Recente progresso tem sido feito na biologia molecular da senescência foliar (Gan & Amasino, 1997).

Há muitos estudos fisiológicos, bioquímicos e moleculares sobre senescência foliar (Gan & Amasino, 1997). Estes estudos mostram que, durante a senescência, as células foliares passam por mudanças altamente coordenadas na estrutura celular, metabolismo e expressão genética. A mais precoce e mais significativa mudança na estrutura celular é a quebra do cloroplasto, a organela que contém até 70% da proteína foliar. Metabolicamente, a assimilação de carbono (fotossíntese) é substituída pelo catabolismo da clorofila e macromoléculas como proteínas, lipídeos da membrana, e RNA, de forma que alguns dos nutrientes liberados podem ser redistribuídos. A nível molecular, estas mudanças são acompanhadas por mudanças na expressão genética (Gan & Amasino, 1997).

Durante a senescência foliar, as folhas perdem a sua coloração verde devido à degradação da clorofila, tornando-se inicialmente amarelas para depois secarem. A evolução da senescência decorre de alterações endógenas e ambientais, as quais podem iniciar e acelerar as três fases do processo: iniciação, degeneração e conclusão (Nooden et al., 1997).

Diferenças na redistribuição de nutrientes foram observadas em várias espécies, em condições de baixa disponibilidade de P no solo, as quais parecem estar associadas à extensão no qual o nutriente é translocado antes da senescência foliar, e à taxa em que as folhas sofrem abscisão (Specht & Groves, 1966). Segundo Snapp & Lynch (1996), a remobilização de P das folhas de feijoeiro constitui parte de um processo organizado de senescência durante o rápido enchimento das vagens, e o menor suprimento de P reduziu em 20 % a duração da área foliar. A remobilização de P supriu mais da metade do P das vagens e sementes (Snapp & Lynch, 1996).

A deficiência de P pode favorecer a síntese excessiva de fibras, o que pode afetar a senescência foliar por meio da ruptura física dos cloroplastos (Grabau et al., 1986). O aumento da dose de P aplicada ao solo foi possível retardar a senescência foliar na cultura da soja, e os tratamentos que reduziram a senescência aumentaram a produção de grãos em mais de 300%. Isso aconteceu inicialmente devido ao aumento da retenção de vagens e

secundariamente ao aumento do tamanho da semente (Grabau et al., 1986). Através da adubação via foliar com KH_2PO_4 foi possível retardar a senescência foliar e aumentar a produção de grãos, na cultura do trigo (Benbella & Paulsen, 1998).

Na cultura da soja, a seleção de cultivares objetivando retardar a senescência foliar obteve sucesso. No entanto, a produção de grãos foi inversamente correlacionada com a senescência foliar tardia, demonstrando que a máxima produção de grãos só pode ser obtida com plantas cujas folhas sofram senescência no período de desenvolvimento da semente (Phillips et al., 1984).

Na cultura do feijão, a proporção de P em folhas senescentes ao final do ciclo foi 175 vezes maior em plantas sob baixo suprimento de P, em consequência da menor longevidade das folhas, em comparação ao tratamento com alto suprimento de P (Snapp & Lynch, 1996). Variações genotípicas, foram observadas nos padrões de translocação de ^{32}P das folhas para os grãos de arroz, que se relacionaram com a senescência foliar, a despeito da cultivar ou da idade e posição da folha (Mondal & Choudhuri, 1985).

Araújo et al. (2007) observaram que o suprimento de P no solo não afetou o estágio de máximo número de folhas e o início da senescência foliar de plantas de feijoeiro; contudo, o estágio de máxima deposição de folhas senescentes ocorreu mais cedo durante o ciclo de crescimento com o aumento do suprimento de P no solo.

Durante o crescimento das sementes das leguminosas, parte da demanda de N é atendida pela translocação de N dos tecidos vegetativos, sendo portanto esta translocação considerada como fator limitante à produção (Jeppson et al., 1978). Estudos demonstram que uma parcela do requerimento de N dos grãos do feijoeiro foi proveniente da remobilização e da translocação das partes vegetativas (Westermann et al., 1981). Foi observada que a translocação de N para as sementes limita a fotossíntese nas folhas de feijoeiro e que após a floração o N é perdido das folhas e caules, acumulando-se nos grãos (Lynch & White, 1992).

O desenvolvimento das vagens e grãos do feijoeiro foi independente e seqüencial, e a acumulação de N nos grãos começou apenas quando já havia cessado nas vagens (Oliker et al., 1978). Foi observada ainda uma correlação negativa entre teor de proteína bruta no grão e produção em acessos de feijoeiro (Hardwick et al., 1978).

Entre variedades de ciclo de 90 dias, as diferenças na produção de grãos foram função das diferenças nas capacidades de fixação de N_2 e de conversão de N para a semente (Ruschel et al., 1982). A variação nos padrões de translocação de N em genótipos de feijoeiro foi associada com a fenologia (Lynch & White, 1992), e os padrões de acumulação de N na parte aérea de 21 cultivares foram semelhantes aos de acumulação de biomassa na parte aérea e de fixação de N_2 (Pereira et al., 1989).

Não foram observadas variações entre genótipos quanto as taxas de fixação de N_2 e de absorção de NO_3^- , e na distribuição de N na planta dentro de cada fonte de N, no entanto foram observadas variações genotípicas nas taxas de absorção de NH_4^+ e na quantidade de N_2 fixado (Dubois & Burris, 1986).

2.7 Software AFSOft

O AFSOft é uma ferramenta para análise foliar. Com ele é possível analisar imagens digitais de folhas capturadas com a utilização de câmeras fotográficas digitais, scanners ou câmeras de vídeo. Formatos padrões de imagem podem ser utilizados incluindo bitmap e jpeg. As imagens coletadas são analisadas individualmente utilizando-se as ferramentas disponíveis. A identificação de regiões nas folhas, a partir de técnicas de processamento de imagens, permite medir as áreas com diferentes tonalidades, área de buracos, entre outras. Uma das principais características do AFSOft é a realização de análises em lotes de imagens, que utilizam técnicas baseadas em inteligência artificial para classificar os padrões

encontrados nas folhas. O software também permite avaliações da evolução da cultura e suas saídas simples facilitam a visualização dos resultados das análises. Os relatórios podem ser exportados para planilhas do tipo Microsoft Excel, permitindo a manipulação estatística dos dados obtidos.

Para cada cultura específica como soja, milho, cana-de-açúcar e florestais, são gerados padrões que permitem fazer automaticamente a análise da cultura. Esses bancos de dados permitem a identificação e quantificação dos principais problemas que afetam tais culturas, tornando possível um diagnóstico preciso da situação para fundamentar adoção de medidas corretivas. As imagens de folhas analisadas pelo sistema, quando georreferenciadas, podem gerar mapas que permitem a visualização da distribuição de doenças, áreas de maior incidência de ataques por insetos, entre outras. O AFSOft possui licença gratuita de utilização, podendo ser baixado na página da Embrapa Instrumentação Agropecuária (Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009).

O software AFSOft é uma ferramenta que utiliza artifícios de inteligência artificial para a análise de imagens de folhas a partir de padrões de cores pré-estabelecidos. A ferramenta reconhece padrões pré-estabelecidos e classifica a amostra como um todo. O conceito da área de inteligência artificial explorado é o de Redes Neurais Supervisionadas, um tipo de construção que simula o cérebro humano segundo algum treinamento. O treinamento do AFSOft de acordo com os padrões de cores que se deseja reconhecer é uma das principais etapas e é aquela que pode levar mais tempo para que o sistema aprenda. Depois de concluído, basta selecionar a rede criada e classificar as imagens de amostras desejadas, sendo esta etapa bem mais rápida. O sistema possibilita a análise e visualização das imagens classificadas com os respectivos resultados em porcentagens de padrões. (Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009).

Segundo Jorge et al. (2010), o programa AFSOft vem sendo utilizado em diferentes estudos e diferentes culturas, apresentando taxas de acerto superiores a 90% quando comparado com metodologia convencional de análise foliar.

3 CAPÍTULO I

DIAGNOSE NUTRICIONAL DE NITROGÊNIO EM FOLHAS DE FEIJOEIRO PELA ANÁLISE DIGITAL DE IMAGENS

3.1 RESUMO

O objetivo foi avaliar o uso da análise digital de imagens, para a diagnose nutricional de N no tecido foliar do feijoeiro. Foram avaliados quatro tratamentos, em que se combinaram duas doses de N e de P aplicadas ao solo. No estágio de emissão de vagens, determinou-se o índice de clorofila Falker e digitalizaram-se as imagens dos trifólios; em seguida, determinou-se o teor foliar de N. Nas imagens, foi atribuída uma nota com o software AFSOft, baseada na área ocupada por padrões de verde. O teor foliar de N correlacionou-se ao índice de clorofila Falker e à nota atribuída pelo AFSOft, mas a correlação entre o índice de clorofila e a nota AFSOft foi superior. A nota atribuída pelo programa AFSOft é uma ferramenta viável para estimar o teor de N nas plantas.

Palavras-chaves: *Phaseolus vulgaris*. AFSOft. Fósforo. Identificação de cores. Índice de clorofila.

3.2 ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the use of digital image analysis for the nutritional diagnosis of N in the leaf tissue of common bean. Four treatments combining two levels of N and P applied to the soil were evaluated. At the pod setting stage, the chlorophyll Falker index was determined and the images of trifoliate leaves were scanned; then, leaf-N concentration was measured. In the images, a note with the software AFSOFT was assigned based on the area occupied by green standards. Leaf-N content correlated to the chlorophyll Falker index and the AFSOFT note, but the correlation between chlorophyll index and AFSOFT note was higher. The note assigned by the program AFSOFT is a viable tool for estimating the N content in plants.

Key words: *Phaseolus vulgaris*. AFSOFT. Phosphorus. Color identification. Chlorophyll index.

3.3 INTRODUÇÃO

O diagnóstico visual é um procedimento prático e rápido para se identificar a deficiência de N no feijoeiro, porém, sua precisão está condicionada à experiência do técnico. A concentração de nutrientes em folhas é bastante utilizada como indicador do estado nutricional das culturas; todavia, sua determinação demanda a padronização do tecido amostrado e do estado fisiológico da planta (Malavolta et al., 1997). Segundo Wortmann et al. (1992), as concentrações de nutrientes nos tecidos são afetadas por vários fatores, tais como idade da planta, taxa de crescimento da cultura, interação entre nutrientes e estresses ambientais associados a doenças e deficiência hídrica. Além disso, dificilmente os resultados são obtidos a tempo de serem utilizados no mesmo cultivo. Assim, procedimentos mais rápidos e práticos têm sido buscados para avaliação do estado nutricional das plantas. Esses procedimentos devem permitir a avaliação em condições de campo e tornar possível a correção de eventuais deficiências nutricionais durante o mesmo ciclo de cultivo (Hurtado et al., 2011).

O clorofilômetro portátil proporciona leituras instantâneas não destrutivas de folhas e é uma alternativa para determinação do índice de clorofila nas folhas (Argenta et al., 2002). O clorofilômetro apresenta vantagens como a eliminação do envio de amostras para laboratório e já mostrou-se eficiente como instrumento indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro (Silveira et al., 2003). No entanto, quando absorvido em excesso pelas plantas, o N acumula-se como nitrato e não se associa à molécula de clorofila, o que reduz a precisão do medidor de clorofila na estimação do teor foliar de N, em condições de consumo de luxo de N pelas plantas (Dwyer et al., 1995). A viabilidade de uso desse equipamento para diagnosticar a deficiência nutricional e a necessidade de adubação nitrogenada é tanto maior quanto mais contrastantes forem as condições de suprimento de N, o que torna necessária a existência de parcelas de referência (Hurtado et al., 2009).

Uma alternativa mais simples e barata do que o clorofilômetro é a cartela de cores (“leaf color chart”, LCC), proposta para a cultura do arroz (International Rice Research Institute, 1996). O método LCC consiste de uma cartela com diferentes tonalidades da coloração verde, as quais correlacionam-se com o teor foliar de N, e tem como objetivo indicar a necessidade de adubação nitrogenada à cultura do arroz. Assim como para o clorofilômetro, a tonalidade da cor crítica na cartela de cores precisa ser determinada, para adequar o manejo das aplicações de N (Singh et al., 2002), e também é necessário avaliar a capacidade da cartela de cores de estimar o teor de N no tecido vegetal. Sen et al. (2011) encontraram correlação positiva entre os valores do clorofilômetro e de LCC, em três cultivares de arroz.

As técnicas de processamento digital de imagens apresentam grande potencial para a obtenção de índices que expressem a cor verde da planta (Karcher & Richardson, 2003). O AFSOft é um programa de análise de imagens digitais para análise foliar, que utiliza técnicas de inteligência artificial para classificar os padrões encontrados nas folhas, por meio de redes neurais supervisionadas – um tipo de construção que simula o cérebro humano (Jorge & Silva, 2009). Inicialmente, é necessário que um especialista estipule os padrões de cores que deseja reconhecer nas imagens. Posteriormente, as imagens digitais são analisadas individualmente, com a identificação e mensuração das imagens classificadas com as respectivas percentagens de cada padrão de cor. O AFSOft possui licença gratuita de utilização (Jorge & Silva, 2009).

Será avaliada, portanto, a hipótese de que é possível avaliar o estado nutricional de plantas de feijoeiro com auxílio da análise digital de imagens, atribuindo uma nota AFSOft, bem como estabelecer correlações entre essas notas as leituras do clorofilômetro portátil e o teor foliar de N obtido na análise laboratorial.

3.4 MATERIAL E METÓDOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no Departamento de Solos da UFRRJ, entre setembro e novembro de 2009, em delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, em arranjo fatorial 2x2x3, no total de 48 vasos, tendo-se combinado duas doses de P (20 e 100 mg kg⁻¹ de P) e de N (30 e 60 mg kg⁻¹ de N), aplicadas ao solo, e três cultivares de feijoeiro (Iraí, ICA Pijao e Carioca).

O substrato utilizado foi o solo do horizonte A de um Argissolo Vermelho Amarelo, peneirado em malha de 4 mm. A análise do solo, realizada segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (1997), apresentou os seguintes resultados: pH em água, 4,9; Na, 0,012 cmolc dm⁻³; Ca, 2,0 cmolc dm⁻³; Mg, 1,4 cmolc dm⁻³; H + Al, 2,6 cmolc dm⁻³; Al, 0,5 cmolc dm⁻³; soma de bases, 3,42 cmolc dm⁻³; V, 52%; C orgânico, 5,3 g kg⁻¹; P disponível, 4 mg L⁻¹; K, 5 mg L⁻¹; argila, 260 g kg⁻¹; areia, 700 g kg⁻¹; e silte, 40 g kg⁻¹.

Em cada vaso, foram colocados 11 kg de solo e 7 g de CaCO₃ (necessários para elevar o pH do solo a 5,5), e o material de cada solo foi homogeneizado. Quinze dias após a calagem, o solo de cada vaso foi adubado com: 10 mg kg⁻¹ de Mg, como MgSO₄.7H₂O; 2 mg kg⁻¹ de Cu, como CuSO₄.5H₂O; 1 mg kg⁻¹ de Zn, como ZnSO₄.7H₂O; 0,05 mg kg⁻¹ de B, como H₂BO₃; 0,2 mg kg⁻¹ de Mo, como Na₂MoO₄.2H₂O. As doses de P de cada tratamento foram 20 e 100 mg kg⁻¹, como KH₂PO₄, e as doses de plantio de N de cada tratamento foram 30 e 60 mg kg⁻¹, como (NH₄)₂SO₄. Nos vasos com menor quantidade de P, foram aplicados 101 mg kg⁻¹ de K, como KCl, para igualar o K aplicado via adubo fosfatado. Foram semeadas seis sementes por vaso, com posterior desbaste para três plantas por vaso.

A coleta de dados foi efetuada aos 29, 33 e 34 dias após emergência, no estádio R6 (emissão de vagens), para as cultivares Iraí, ICA Pijao e Carioca, respectivamente. Nas datas da coleta, entre 8 e 9 h da manhã, foram realizadas leituras com o medidor eletrônico do índice de clorofila (ClorofiLOG CFL 1030 Falker, Porto Alegre, RS, Brasil). As leituras foram efetuadas na segunda folha trifoliada completamente desenvolvida, em duas plantas por vaso. A parte aérea foi separada em folhas primárias, e primeiro, segundo e demais trifólios, que foram contados a partir do colo da planta.

As folhas do segundo trifólio, onde foram realizadas as leituras com o clorofilômetro, foram digitalizadas em scanner (HP 5490c Hewlett-Packard Brasil Ltda., São Paulo, SP, Brasil), com resolução de 200 dpi e quantização "true color" (16,7 milhões de cores), e os arquivos foram salvos com formato BMP (bitmap, Microsoft Windows). Após essa etapa, essas folhas foram secas em estufa, moídas e submetidas à digestão sulfúrica, para determinação do teor de N pelo método semimicro Kjeldahl (Tedesco, 1995).

Com o programa AFSOft, foram determinados seis padrões de cor verde nas folhas (Tabela 1). Depois de definidos os padrões, as imagens foram classificadas quanto à área e à proporção de área ocupadas por cada padrão. A cada padrão de cor foi atribuída uma escala, que variou de 0 a 5, em que quanto mais verde o padrão maior o valor na escala. A proporção de ocorrência de cada padrão de cor foi multiplicada pela escala respectiva, o que forneceu uma nota de cada padrão. A nota AFSOft de cada planta foi obtida pelo somatório das notas de cada padrão. As notas foram determinadas para o segundo trifólio das três plantas de cada vaso, tendo-se obtido uma nota média por vaso. Os dados referentes ao índice de clorofila Falker, à nota AFSOft e ao teor foliar de N foram submetidos à análise de correlação simples de Pearson.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificadas correlações significativas entre o índice de clorofila Falker e o teor de N na folha para a cultivar ICA Pijao e para o conjunto de dados das cultivares avaliadas (Tabela 2). Isto indica que, à medida que aumenta o teor de N nas folhas, aumenta proporcionalmente o teor de clorofila. Soratto et al. (2004) também verificaram correlações significativas entre a leitura de clorofila e o teor foliar de N em feijoeiro sob diferentes doses de N, em sistemas de preparo convencional e de semeadura direta. Para as cultivares Carioca e Iraí, a correlação entre o índice de clorofila Falker e o teor de N na folha não foi significativa. Silveira et al. (2003) verificaram valores de leitura de clorofilômetro superiores na cultivar Pérola, em comparação com a cultivar Jalo Precoce, em plantas de mesma idade, o que mostra a existência de diferenças genotípicas para este parâmetro. Dessa forma, além da disponibilidade de N, o fator cultivar pode influenciar o teor de clorofila da planta, pois as folhas de uma dada cultivar tendem a apresentar diferenças morfofisiológicas em características como espessura, conteúdo de pigmentos e estrutura interna, que podem influenciar as propriedades espectrais das folhas (Minotti et al., 1994). Silveira et al. (2003) e Barbosa Filho et al. (2009) relataram a viabilidade de uso do índice de clorofila como indicativo do estado nutricional de N, nas cultivares de feijoeiro Pérola e Jalo Precoce.

A correlação entre o teor de N nas folhas e a nota atribuída com o programa AFSofT somente não foi significativa para a cultivar Carioca (Tabela 2). No caso das correlações entre o índice de clorofila e as notas atribuídas com o programa AFSofT, elas foram significativas para as três cultivares estudadas e para o conjunto de dados das cultivares. As correlações entre o índice de clorofila e a nota AFSofT foram superiores às observadas entre esses métodos e o teor de N nas folhas, pois estes baseiam-se no mesmo princípio de mensurar a intensidade da cor verde emitida pelas folhas. A relação verificada entre a nota AFSofT e o teor foliar de N evidencia que a análise digital de imagens pode estimar adequadamente o grau de esverdeamento das folhas de feijoeiro, ou seja, pode substituir a determinação do teor de N na folha no início dos estádios reprodutivos.

Tabela 1. Padrão de cores e nota AFSofT, atribuída de acordo com a área ocupada por cada padrão de cores, em uma folha de feijoeiro cultivar ICA Pijao, no estágio de emissão de vagens.

| Padrão de cores | Área ocupada por cada padrão cm ² | Proporção de ocorrência | Escala | Nota cada Padrão | Nota AFSofT da planta |
|-----------------|--|-------------------------|--------|------------------|-----------------------|
| Um | 0,013 | 0,00033365 | 0 | 0 | 3,08 |
| Dois | 0,313 | 0,00803326 | 1 | 0,00803326 | |
| Três | 2,121 | 0,05443626 | 2 | 0,10887252 | |
| Quatro | 32,432 | 0,83237943 | 3 | 2,49713831 | |
| Cinco | 1,993 | 0,05115109 | 4 | 0,20460437 | |
| Seis | 2,091 | 0,05366629 | 5 | 0,26833149 | |
| Somatório | 38,963 | | | | |

Tabela 2. Equações e coeficientes de correlação de Pearson entre os parâmetros analisados em folhas de três cultivares de feijoeiro (Iraí, Carioca e ICA Pijao) e o conjunto de dados de todas as cultivares⁽¹⁾.

| Variável x | Variável y | Cultivar | Equação | Correlação (r) |
|------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Teor de N na folha | Índice relativo de clorofila | Iraí | $y=0,2325x+15,175$ | 0,15 ^{ns} |
| | | Carioca | $y=0,3825x+6,216$ | 0,35 ^{ns} |
| | | ICA Pijao | $y=0,903x-10,721$ | 0,79** |
| | | Conjunto de dados | $y=0,5827x+0,2801$ | 0,47** |
| Teor de N na folha | Nota AFSOft | Iraí | $y=6,2768x-3,1965$ | 0,50* |
| | | Carioca | $y=2,8412x+9,4086$ | 0,47 ^{ns} |
| | | ICA Pijao | $y=3,9948x+6,6023$ | 0,85** |
| | | Conjunto de dados | $y=4,0343x+5,9855$ | 0,65** |
| Índice relativo de clorofila | Nota AFSOft | Iraí | $y=0,0825x+1,2039$ | 0,68** |
| | | Carioca | $y=0,1036x-0,0063$ | 0,58** |
| | | ICA Pijao | $y=0,2244x-4,2808$ | 0,92** |
| | | Conjunto de dados | $y=0,1557x-1,8153$ | 0,78** |

(1) Valores mensurados no segundo trifólio expandido, no estágio de emissão de vagens, em plantas cultivadas em quatro diferentes tratamentos, com a combinação de 30 e 60 mg N kg⁻¹ e 20 e 100 mg P kg⁻¹ aplicadas ao solo. ns Não significativo. *, ** e ***Significativo a 5, 1 e 0,1%, respectivamente, pelo teste t.

3.6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam o potencial de uso do programa AFSoft para estimar o teor de N das plantas de feijão no estágio de emissão de vagens. Entretanto, o programa necessita ser aperfeiçoado para que as análises sejam obtidas de forma mais rápida. Para o uso do programa como instrumento de monitoramento da adubação nitrogenada, há necessidade de se determinar os valores críticos para relacionar as respostas à adubação nitrogenada com as leituras do AFSoft. Além disso, o programa exige interpretação do avaliador na escolha dos padrões de cores, ou seja, está sujeito a variações nos resultados obtidos em razão dos padrões escolhidos.

4 CAPÍTULO II

DESENVOLVIMENTO E SENESCÊNCIA FOLIAR DE CULTIVARES DE FEIJOEIRO

4.1 RESUMO

A ontogenia da planta de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) é marcada por alterações na morfologia foliar que podem variar em função do genótipo e dos teores de N e P disponíveis no solo. Com o objetivo de avaliar o desenvolvimento e a senescência foliar de cultivares de feijoeiro, em resposta à aplicação de diferentes doses de N e P no solo, conduziram-se dois experimentos em casa de vegetação no Departamento de Solos da UFRRJ. O primeiro experimento tinha esquema fatorial 3x2x2x3 com 4 repetições, combinando três cultivares (Iraí, ICA Pijao e Carioca), duas doses de N (baixo N, com 30 mg N kg⁻¹ no plantio, e alto N, com 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas aplicações de cobertura com 300 mg de N por vaso), duas doses de P (20 e 100 mg P kg⁻¹) e três coletas (estádio de emissão das vagens, início de enchimento das vagens, e 10 dias após a segunda coleta), em vasos com 1 l kg de horizonte A de Argissolo. As folhas senescentes foram coletadas e agrupadas em duas fases do experimento. Nas coletas, as folhas foram separadas em folhas primárias, primeiro trifólio, segundo trifólio, terceiro trifólio, quarto trifólio, quinto trifólio e demais trifólios. Os trifólios foram digitalizados em scanner para determinação da área foliar, área foliar específica e área foliar por folha. As raízes, folhas, caules, vagens e as folhas senescentes foram secos e pesados, e determinados os teores de N. O segundo experimento teve esquema fatorial 5x2x2x2 com quatro repetições, combinando cinco cultivares de feijoeiro (Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Ouro Negro e Carioca), duas doses de P, duas doses de N (as doses de N e P utilizadas no primeiro experimento) e duas coletas (início de enchimento das vagens e maturidade fisiológica). As folhas das plantas de cada vaso foram contadas semanalmente e as folhas senescentes coletadas diariamente. Nas coletas, as plantas foram separadas em raízes, caules, folhas, vagens e grãos. No material vegetal foram determinados os teores de N e P. Foram calculados os componentes de produção, os índices de colheita real e aparente (correspondentes à razão entre massa de grãos e de parte aérea, considerando ou não a massa de folhas senescentes, respectivamente) de biomassa, N e P. De forma geral, as plantas que receberam menores doses de P apresentaram menor massa seca de folhas, raízes, vagens, parte aérea e maior deposição de folhas senescentes, portanto, a limitação de P aumenta a senescência foliar do feijoeiro. O estágio de máximo número de folhas foi alcançado aos 50 dias após emergência e não dependeu do suprimento de N e P no solo. A área foliar específica manteve-se estável em diferentes estratos da planta. Os efeitos das doses de P foram mais intensos que os efeitos das doses de N, uma vez que houve uma maior interferência do P na quantidade de N encontrada nos tecidos vegetais do feijoeiro. Os índices de colheita aparente apresentaram resultados semelhantes aos índices de colheita real. Desta forma, pode-se usar os índices de colheita aparente para expressar a capacidade de alocação de biomassa, N e P nos grãos de um genótipo de feijoeiro. Os índices de colheita de N e P apresentaram valores bem superiores aos índices de colheita de biomassa, indicando que a translocação de N e P para formação dos grãos é mais intensa que a translocação de fotoassimilados. Do total de N e P translocado para as vagens e grãos, as folhas responderam pela translocação de 84% de N e 57% de P, os caules por 10% de N e 24% de P e as raízes por 6% de N e 19% de P, na média das doses de adubações. A seleção de genótipos de feijoeiro em condições de P limitante, deve ser associada a caracteres de área foliar, biomassa e índices de colheita de biomassa, N e P. As plantas translocaram mais N e P das folhas, caules e raízes para as vagens e grãos, sob baixo suprimento de P. A cultivar Ouro Negro apresentou os maiores valores de índices de colheita real e aparente de P e N, e a cultivar Manteigão os menores valores, indicando que a cultivar Ouro Negro é mais eficiente na translocação de N e P para as sementes de feijão.

Palavras chave: *Phaseolus vulgaris*. Índice de colheita. Translocação de nutrientes.

4.2 ABSTRACT

The ontogeny of bean plant (*Phaseolus vulgaris*) is marked by changes in leaf morphology that may vary depending on the genotype and levels of available N and P in soil. With the objective of evaluating the development and senescence of bean cultivars in response to different levels of N and P in the soil, two experiments were conducted in a greenhouse at the Department of Soil Science of UFRRJ. The first experiment had a 3x2x2x3 factorial design with four replications combining three cultivars (Iraí, ICA Pijao and Carioca), two N levels (low N, with 30 mg N kg⁻¹ at planting, and high N, with 60 mg N kg⁻¹ at planting and two covering applications with 300 mg of N per pot), two P levels (20 and 100 mg P kg⁻¹) and three harvests (stage of pod setting, early pod filling and 10 days after the second harvests) in pots with 11 kg of A horizon of an Ultisol. Senescent leaves were collected and grouped into two phases of the experiment. At harvests, leaves were separated in the first leaves, first trifoliate, second trifoliate, third trifoliate, fourth trifoliate fifth trifoliate and other trifoliate leaves. The trifoliate leaves were scanned to determine the leaf area, specific leaf area and leaf area per leaf. The roots, leaves, stems, pods and senescent leaves were dried and weighed, and N concentrations were determined. The second experiment was 5x2x2x2 factorial design with four replications, combining five bean cultivars (Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca and Ouro Negro), two P levels, two N levels (the same N and P levels of the first experiment) and two harvests (beginning of pod filling and physiological maturity). Leaves were counted weekly and senescent leaves collected daily. At harvests, plants were separated into roots, stems, leaves, pods and grains. In plant material N and P concentrations were determined. The yield components, apparent and real harvest indices (corresponding to the ratio between grain yield and shoot, considering or not the mass of senescent leaves, respectively) of biomass, N and P were calculated. In general, plants that received lower doses of P had lower dry mass of leaves, roots, pods, shoots and greater deposition of senescent leaves, thus limiting P increases the bean leaf senescence. The maximum stadium of number of leaves was reached at 50 days after emergence and did not depend on the supply of N and P in the soil. The specific leaf area remained stable in different parts of the plant. The effects of P levels were more intense than the effect of N levels, since there was a greater interference of P on the amount of N found in bean tissues. The apparent harvest indexes showed similar results to real harvest indexes. Thus, the apparent harvest index may be used for expressing the ability allocation of biomass, N and P in grains of a bean genotype. Harvest N and P index showed values well above than those of biomass harvest index, indicating that translocation of N and P to grains is more intense than the translocation of assimilates. From the total of N and P transported to the pods and grains, leaves accounted for the translocation of 84% of N and 57% of P, the stems of 10% of N and 24% of P, and roots by 6% of N and 19% of P, in the average of fertilizer levels. The selection of bean genotypes under P limiting conditions should be associated with characters such as leaf area, biomass, N and P harvest indexes. Plants translocated more N and P from the leaves, stems and roots to the pods and grains under low P supply. The cultivar Ouro Negro had the highest biomass N, P and harvest indexes, and cultivar Manteigão lower values, indicating that the cultivar Ouro Negro was more efficient in the translocation of N and P to the bean seeds.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*. Harvest index. Translocation of nutrients.

4.3 INTRODUÇÃO

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa com alto valor nutritivo, sendo rica em proteínas, fibra, além de sais minerais como o ferro, potássio, fósforo e cálcio. Por essas qualidades nutricionais, é um alimento indicado em programas de combate à fome e desnutrição e ótima alternativa de fonte de proteínas naqueles locais onde alimentos de origem animal são caros. No Brasil, 70% da população consome feijão diariamente, sendo o consumo per capita anual de feijão de 16,5 kg (CONAB, 2012). Levando em consideração todos os gêneros e espécies de feijão, a produção de feijão da safra 2010/2011 foi de 3,73 milhões de toneladas, em uma área cultivada de 3,99 milhões de hectares, o que resulta em uma produtividade média de 935 kg ha⁻¹ (CONAB, 2012), considerada baixa pelo potencial produtivo da espécie.

A produção de folhas é um fator primordial ao desenvolvimento vegetal, uma vez que é através delas que a planta realiza fotossíntese. Além dos fotoassimilados, elementos como o N e P também são remobilizados das folhas para os grãos. A intensidade da translocação desses elementos é maior quando a planta entra em senescência. A translocação de nutrientes de tecidos maduros e senescentes para os órgãos que estão em crescimento pode ser um fator determinante no desempenho do cultivo do feijoeiro, portanto, estudar a senescência foliar não só contribuirá para nosso conhecimento sobre este processo de desenvolvimento fundamental, mas também levará a modos de manipular a senescência para aplicações agrícolas.

A produção de área foliar constitui um carácter de variação complexa. As diferenças genótípicas na produtividade de muitos cultivos são principalmente associadas a variações na área foliar, pois as variações na atividade fotossintética por unidade de área foliar são muitas vezes inconsistentes e não significativas (Richards, 2000). A morfologia foliar dentro de um dossel reflete uma combinação entre a fotossíntese por unidade de área foliar e a interceptação de luz por folha: folhas mais espessas propiciam um maior aparato por unidade de área foliar, enquanto folhas mais finas e maiores podem interceptar mais luz (White & Montes-R., 2005). Uma alta área foliar específica (razão entre a área foliar e a massa de folha) pode compensar a menor fotossíntese por unidade de área foliar através de uma maior interceptação de luz mais cedo no desenvolvimento vegetal (Richards, 2000). A deficiência de P tem efeito pouco intenso na redução da atividade fotossintética em folhas de feijoeiro, pois modificações no metabolismo de P sob suprimento limitado de P podem aumentar a circulação interna de P interna na planta para aumentar a adaptação ao baixo P (Kondracka & Rychter, 1997). Segundo Trindade et al. (2010), o maior crescimento sob suprimento limitado de P durante o início de enchimento de vagens esteve associado a genótipos de feijoeiro capazes de manter a expansão foliar por meio de folhas de maior tamanho.

A remobilização de nutrientes dos tecidos vegetativos para os órgãos reprodutivos desempenha um papel importante para o rendimento de grãos do feijoeiro. Segundo revisão de Schiltz et al. (2005), a contribuição da remobilização de N dos órgãos vegetativos para a semente foi de 70% para a ervilha, 80-90% na soja, 43-94% na lentilha, 84% no feijão, e 80% no feijão de fava. As vagens e sementes do feijoeiro são os principais drenos de N quando ele é aplicado nas fases vegetativa e reprodutiva, respectivamente (Westermann et al., 1985). A remobilização foliar de P fornece mais da metade da demanda P na vagem e na semente em vasos de feijão (Snapp e Lynch, 1996). Na verdade, os valores de N e os índices de colheita de P são muito maiores do que os valores de índice de colheita de biomassa em cultivares de feijão, denotando que a translocação de N e P para as sementes é mais intensa do que a translocação de fotossintatos (Araújo & Teixeira, 2003). Em experimento realizado em campo, Araújo et al. (2012) determinaram o balanço de N e P com sete cultivares de feijoeiro, e indicou que a aquisição de nutriente pela parte aérea da planta entre a segunda e a quarta

semana após a floração contribuiu com 37% do N e P acumulado nos grãos. Cerca de 44% do N e 51% do P das folhas anexas foi remobilizado para os grãos duas semanas após a floração, o que correspondeu a 33% de N e 25% do P acumulado pelo grãos na maturidade fisiológica, e 56% do N e 49% do P presentes nas folhas foi perdido em folhas senescentes (Araújo et al., 2012).

Lynch & White (1992) propuseram que um ideótipo de feijoeiro para eficiência de N deve incluir intensa aquisição deste nutriente, translocação tardia deste para as sementes, alto índice de colheita de N e baixo teor deste nos grãos. Araújo & Teixeira (2003) consideram que o ideótipo para um sistema de produção sob baixos insumos deve privilegiar materiais com elevada absorção de nutrientes e produção de biomassa, porém com pequena translocação de nutrientes para os grãos, reduzindo a retirada de nutrientes do sistema e otimizando a ciclagem de nutrientes pelas folhas senescentes e dos resíduos ao final do cultivo.

A identificação da variação genética no crescimento vegetal em solos com déficit em nutrientes e o uso de caracteres nutricionais no melhoramento, vêm sendo propostos como estratégias para aumentar a eficiência de uso dos fertilizantes, o que seria vital para a obtenção de maior produtividade em solos de baixa fertilidade ou em condições de pequena disponibilidade de insumos (Clark & Duncan, 1991). Os fatores determinantes das diferenças genéticas na nutrição mineral de plantas estão relacionados com a morfologia radicular, as reações que ocorrem na interface solo-raiz, a dinâmica de absorção radicular, o transporte e a partição do nutriente e a sua utilização para produção de biomassa (Araújo & Machado, 2006). Contudo, as respostas de uma planta a estes mecanismos em condições de estresse nutricional são controladas por uma elevada gama de genes, cuja expressão pode variar sensivelmente conforme o estágio ontogenético (Lynch, 1995; Araújo et al., 2005; Araújo & Teixeira, 2008).

Estes fatos levam a formulação da hipótese de que a ontogenia do desenvolvimento foliar do feijoeiro pode variar em função do genótipo avaliado e da disponibilidade de P e N no solo e na planta. Neste contexto, são de suma importância estudos que descrevam detalhadamente a ontogenia no desenvolvimento e senescência foliar de plantas de feijoeiro.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o desenvolvimento e a senescência foliar de diferentes cultivares de feijoeiro, em resposta à aplicação de diferentes doses de N e P no solo.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Desenvolvimento e Senescência Foliar de Três Cultivares de Feijoeiro em Três Estádios de Desenvolvimento

4.4.1.1 Condições experimentais

O experimento foi conduzido na casa-de-vegetação do Departamento de Solos da UFRRJ, entre setembro e novembro de 2009. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 4 repetições, em esquema fatorial 3x2x2x3, totalizando 144 vasos, combinando-se 3 genótipos (Iraí, ICA Pijao e Carioca), duas doses de P aplicado ao solo (20 e 100 mg P kg⁻¹ de solo), dois níveis de N (baixo N, com 30 mg N kg⁻¹ no plantio, e alto N, com 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas aplicações de cobertura com 300 mg de N por vaso) e três coletas em distintos períodos do desenvolvimento vegetal de cada cultivar (estádio R7 de emissão das vagens, início do estágio R8 de enchimento das vagens, e 10 dias após a segunda coleta).

As três cultivares de feijoeiro analisados compreenderam três hábitos de crescimento, ou seja tipos I, II e III. As sementes utilizadas no experimento foram obtidas do banco de germoplasma da Embrapa Agrobiologia, as características das cultivares encontram-se descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Hábito de crescimento, peso de 100 sementes, e teores de N e P nas sementes dos três cultivares de feijoeiro utilizados no experimento I.

| Nome | Hábito de crescimento | Peso de 100 sementes (g) | Teor de N (mg g ⁻¹) | Teor de P (mg g ⁻¹) |
|-----------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Iraí | I | 43,5 | 31,0 | 2,9 |
| ICA Pijao | II | 22,9 | 47,3 | 3,3 |
| Carioca | III | 25,4 | 43,2 | 3,3 |

Hábito de crescimento: I determinado, II indeterminado ereto, III indeterminado prostrado. Os teores de N e P foram obtidos no trabalho de Trindade (2007).

O substrato utilizado foi solo do horizonte A de um Argissolo Vermelho Amarelo, coletado em área próxima ao setor de Bovinocultura de Leite da UFRRJ, peneirado em malha de 4 mm. No solo foram realizadas as análises químicas e granulométricas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFRRJ, segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (1997). A análise granulométrica apresentou os seguintes resultados: argila total, 260 g kg⁻¹; areia, 700 g kg⁻¹; e silte, 40 g kg⁻¹. Em cada vaso foi colocado 11 kg de solo e 7 g de CaCO₃ para neutralização do Al³⁺ tóxico e fornecimento de Ca, sendo o material de cada solo homogeneizado em sacos plásticos. Após a adição de carbonato de cálcio, os vasos foram mantidos em casa de vegetação, e umedecidos para a reação de calagem.

Quinze dias após a calagem, o solo de cada vaso foi adubado com K, Mg, P e N e micronutrientes. As seguintes doses foram aplicadas (em mg kg⁻¹ de solo): 10 de Mg (como MgSO₄.7H₂O), 2 de Cu (como CuSO₄.5H₂O), 1 de Zn (como ZnSO₄.7H₂O), 0,05 de B (como H₂BO₃), 0,2 de Mo (como Na₂MoO₄.2H₂O), as doses de P de cada tratamento, 20 e 100 mg P kg⁻¹ (como KH₂PO₄), e as doses de plantio de N de cada tratamento, 30 e 60 mg N kg⁻¹ (como (NH₄)₂SO₄). Nos vasos com baixa dose de P, foi também aplicada 101 mg K kg⁻¹ (como KCl) para homogeneizar a adubação potássica. Posteriormente todos os vasos foram homogeneizados por revolvimento do solo em sacos plásticos, e as características químicas do solo foram determinadas (Tabela 4).

O plantio foi realizado no dia 22 de setembro de 2009, sendo semeadas seis sementes por vaso, e 6 dias após a emergência das plântulas, foi realizado um desbaste mantendo três as plantas por vaso. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação, sobre pratos plásticos. Nos vasos dos tratamentos com a maior dose de N, foram aplicados 300 mg de N por vaso em cobertura, com uma solução de ureia (NH₂CONH₂), aos 35 e 50 dias após a emergência (DAE) das plantas.

A casa-de-vegetação utilizada possuía arquitetura em formato tipo arco, treliça transversal em aço galvanizado; dimensões de 22,0 m de comprimento por 20,0 de largura; altura de 4,2 m de pé-direito e altura de 5,3 m de vão-central, cobertura com filme plástico de 150 µm de espessura do tipo difusor de luz. A casa de vegetação tem o posicionamento norte-sul, com a finalidade de redução do acúmulo de ar quente durante as horas mais quente do dia, assim como melhor distribuição da irradiância durante o dia (Moraes, 1997).

Tabela 4. Características químicas do solo utilizado no experimento antes e após a adubação.

| Solo | Na | Ca | Mg | H+Al | Al | S | T | V | pH | P | K | Corg |
|----------|---|-----|-----|------|-----|------|-----|----|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | -----cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | | % | H ₂ O | mg L ⁻¹ | mg L ⁻¹ | g kg ⁻¹ |
| Original | 0,012 | 2,0 | 1,4 | 3,1 | 0,5 | 3,42 | 6,5 | 52 | 4,1 | 4 | 5 | 6,0 |
| N1P2 | 0,010 | 2,2 | 2,1 | 1,8 | 0 | 4,35 | 6,1 | 71 | 5,6 | 74 | 15 | 6,0 |
| N2P2 | 0,010 | 3,0 | 1,0 | 1,7 | 0 | 4,06 | 5,7 | 70 | 5,6 | 75 | 18 | 7,0 |
| N1P1 | 0,009 | 3,0 | 1,7 | 1,5 | 0 | 4,76 | 6,2 | 76 | 5,4 | 19 | 19 | 6,5 |
| N2P1 | 0,008 | 3,0 | 1,7 | 1,7 | 0 | 4,75 | 6,4 | 74 | 5,5 | 19 | 17 | 6,0 |

4.4.1.2 Coletas e determinações

As folhas senescentes que se desprenderam naturalmente das plantas de cada vaso foram coletadas manualmente. Inicialmente, as folhas foram coletadas duas vezes por semana, aumentando a frequência das amostragens para uma vez por dia à medida que aumentou a taxa de deposição de folhas senescentes. O material coletado de cada dia foi colocado em sacos de papel, secos em estufa circulação forçada a 65 °C, por 72 h e pesado para se obter a massa de folhas senescentes depositadas por dia.

A primeira coleta foi efetuada no estádio R7 (emissão das vagens) de cada genótipo, a segunda coleta no início do estádio R8 (enchimento das vagens), e a terceira coleta foi realizada 10 dias após a segunda coleta. A primeira coleta foi efetuada aos 29, 33 e 34 dias após emergência para as cultivares Iraí, ICA Pijao e Carioca, a segunda coleta aos 40, 42 e 44 dias, e a terceira coleta aos 49, 52 e 56 dias, respectivamente. Nas coletas, as folhas foram separadas em folhas primárias, primeiro trifólio, segundo trifólio, terceiro trifólio, quarto trifólio, quinto trifólio, demais trifólios. Esta classificação dos trifólios foi efetuada a partir do colo da planta; em caso da ausência de um trifólio em virtude de sua abscisão, identificada pela presença de um nó ou pecíolo sem folhas, o mesmo foi considerado nesta contagem.

Os trifólios e os pecíolos foram digitalizados em um scanner (HP scanjet 5490c), com resolução de 200 dpi e quantização true color (16,7 milhões de cores). Os arquivos de imagens geradas foram salvos com formato BMP (bitmap, Microsoft-Windows), para determinação da área foliar com o software ImLab versão 2.3, desenvolvido pela PUC-Rio, cujo protocolo de processamento, com seus respectivos procedimentos, é descrito a seguir. Inicialmente, a imagem foi convertida para tons de cinza, e convertido para contraste de preto e branco pelo procedimento "Threshold" "Otsu", sendo o branco e preto invertidos pelo procedimento "Tone Gamut" "Negative". Foi então efetuada um processo de limpeza da

imagem com o intuito de eliminar impurezas, através do procedimento "Binary" "Remove by Area", onde objetos com um tamanho de pixels inferior a um limite são eliminados. Após a limpeza da imagem, o software efetuou a contagem de objetos, pelo procedimento "Analyse" "Measure Regions". Foi utilizado o atributo "Area". O software forneceu então uma tabela com os valores destes atributos para cada objeto, em pixels, cujos valores foram copiados para uma planilha de Excel. Conhecendo-se a resolução da imagem processada, foi possível calcular a área em mm² de cada objeto, através da equação: (número de pixels) × (25,4/200)²/100, na qual cada pixel possuía 25,4/200 mm de largura.

As raízes foram recuperadas por lavagem em peneira de malha 2 mm para eliminar partículas de solo. Após lavagem, as raízes (incluindo nódulos), os trifólios coletados em separado, os caules, as vagens e os pecíolos foram acondicionados em sacos de papel e secos em estufa de ventilação forçada a 65 °C e pesados. Foram calculadas a área foliar específica (razão entre área foliar e massa de folha) e a área foliar por folha (razão entre área foliar e número de folhas), para cada estrato de folha.

O material de folhas senescentes coletado diariamente de cada vaso foi agrupado por cada fase do experimento, ou seja, entre a primeira e a segunda coleta, e entre a segunda e a terceira coleta. As folhas, caules, vagens, pecíolos e raízes foram moídos separadamente, e foram determinados os teores de N pelo método semi-micro Kjeldahl (Tedesco et al., 1995) por digestão sulfúrica.

4.4.1.3 Análises estatísticas

Os dados de biomassa, área foliar e acumulação de N foram submetidos à análise de variância para cada coleta separadamente, considerando-se um fatorial triplo entre cultivares, doses de N e doses de P. Além disto, para simplificar a apresentação das tabelas e figuras, foi efetuada uma outra análise de variância, considerando-se um fatorial duplo entre cultivares e os quatro tratamentos de adubação combinando as duas doses de N e de P aplicadas ao solo. Desta forma, a soma dos quadrados dos 4 tratamentos de adubação correspondem ao somatório da soma dos quadrados dos efeitos do N, do P e da interação NxP. As médias foram comparadas através do teste Tukey a 5% ou, quando da elaboração de figuras, foi calculada a diferença mínima significativa entre os quatro tratamentos de adubação para cada época de coleta.

Os dados referentes a variação da área foliar específica e da área foliar por folha em diferentes estratos da planta foram submetidos à análise de variância como um fatorial triplo em parcelas subdivididas, considerando as parcelas como as combinações entre as doses de N e de P, e as subparcelas como os diferentes estratos de folhas. As médias foram comparadas através do teste Tukey a 5%.

4.4.2 Senescência Foliar, Índices de Colheita e Produção de Grãos de Cinco Cultivares de Feijoeiro

4.4.2.1 Condições experimentais

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação no Departamento de Solos da UFRRJ, entre setembro e dezembro de 2010. O substrato foi proveniente de um horizonte A de um Argissolo Vermelho Amarelo, retirado na área experimental da Embrapa Agrobiologia - Terraço. A análise do solo foi realizada segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (1997), e apresentou os seguintes resultados: pH em água, 4,9; Ca, 2,8 cmolc dm⁻³; Mg, 1,3 cmolc dm⁻³; Al, 0,2 cmolc dm⁻³; MO, 1,8 %; P disponível, 4 mg dm⁻³; K, 4,7 mg L⁻¹; argila, 260 g kg⁻¹; areia, 580 g kg⁻¹; e silte, 160 g kg⁻¹. O preparo e adubação do solo foram realizados como no experimento 1.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em um fatorial 5x2x2x2 com quatro repetições, totalizando 160 vasos. Foram avaliados cinco cultivares de feijoeiro (Iraí,

ICA Pijao, Manteigão, Carioca e Ouro Negro), duas doses de P (20 e 100 mg P kg⁻¹) e duas doses de N (baixo N, com 30 mg N kg⁻¹ no plantio, e alto N, com 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas aplicações de cobertura com 300 mg de N por vaso, em alto N) e duas coletas em distintos períodos do desenvolvimento vegetal de cada cultivar (estádio de início de formação das vagens e no estágio R9 de maturidade fisiológica). As cultivares foram selecionados de forma a abranger distintas fenologias (Tabela 5).

Tabela 5. Hábito de crescimento, peso de 100 sementes, e teores de N e P nas sementes dos 5 cultivares de feijoeiro vulgaris utilizados no Experimento 2.

| Nome | Hábito de crescimento | Peso de 100 sementes (g) | Teor de N (mg g ⁻¹) | Teor de P (mg g ⁻¹) |
|------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Iraí | I | 37,40 | 31,0 | 2,9 |
| ICA Pijao | II | 20,54 | 47,3 | 3,3 |
| Manteigão | II | 48,44 | 40,4 | 3,0 |
| Carioca | III | 24,07 | 43,2 | 3,3 |
| Ouro Negro | III | 23,58 | 42,4 | 3,2 |

Hábito de crescimento: I determinado, II indeterminado ereto, III indeterminado prostrado. Os teores de N e P foram determinado por Trindade (2007).

O plantio foi realizado no dia 17 de setembro de 2010, sendo semeadas quatro sementes por vaso, e 6 dias após a emergência das plântulas, foi realizado um desbaste mantendo duas plantas por vaso. Os vasos foram mantidos em casa de vegetação, sobre blocos de tijolos.

4.4.2.2 Coletas e determinações

O início da floração foi determinado através de observações diárias, considerando-se como a data de floração de cada planta no vaso quando ao menos uma flor estava completamente aberta. As folhas primárias e os trifólios plenamente expandidos das plantas de cada vaso foram contados uma vez por semana a partir da emissão do primeiro trifólio até a maturação dos grãos, totalizando oito épocas de avaliação.

Foram realizadas duas coletas, sendo a primeira efetuada no estágio R7, que corresponde ao período de início de formação das vagens de cada cultivar, e a segunda coleta ao final do ciclo de cada cultivar, quando da maturação dos grãos. A primeira coleta foi efetuada aos 34, 35, 39, 37 e 39 dias após emergência para as cultivares Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Ouro Negro e Carioca, respectivamente. Na primeira coleta, as plantas foram separadas em raiz, caule, primeiro trifólio, segundo trifólio, terceiro trifólio, quarto trifólio, quinto trifólio e a partir do sexto trifólio, sendo todos considerados o sexto trifólio, sendo esta classificação dos trifólios efetuada a partir do colo da planta.

Os trifólios foram digitalizados em um scanner (HP Deskjet F4480), com resolução de 100 dpi e quantização true color (16,7 milhões de cores). Os arquivos de imagens geradas foram salvos no formato PDF, sendo transformadas no formato BMP (bitmap, Microsoft-Windows), com resolução final de 70 dpi. A mensuração da área foliar foi realizada com no experimento 1, com o software ImLab versão 2.3, desenvolvido pela PUC-Rio, através da equação: (número de pixels) × (25,4/70)²/100, na qual cada pixel possuía 25,4/70 mm de largura.

As folhas senescentes que se desprendiam naturalmente das plantas eram coletadas diariamente, colocadas em sacos de papel onde se identificava o dia de coleta, secas em estufa

e pesadas. O material de folhas senescentes coletado de cada vaso foi agrupado por semana, depois da primeira coleta, totalizando 4 ou 5 semanas de acordo com a cultivar.

A segunda coleta foi realizada no período R9, ponto de maturidade fisiológica, aos 74, 76 e 77 dias após emergência para as cultivares Carioca, ICA Pijao e Manteigão, respectivamente. A segunda coleta nos cultivares Ouro Negro e Iraí foram realizados em duas etapas, aos 64 e 70 dias após emergência para os dois cultivares, essa diferença foi devido a alguns tratamentos atingirem primeiro o estágio de maturação dos grãos. Na maturação de grãos, as plantas foram cortadas rente ao solo, e as raízes recuperadas com auxílio de uma peneira. A parte aérea foi separada em caules, folhas e vagens, as vagens foram contadas, e trilhadas manualmente para separação dos grãos. Os grãos foram contados e pesados, obtendo-se a produção de grãos por planta. Cada parte vegetal foi seca em estufa e pesada. Foram calculados os componentes de produção: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 1 grão, índice de colheita real (razão entre a massa das sementes e a massa total de parte aérea, incluindo a biomassa das folhas senescentes colhidas através do seu ciclo de crescimento), índices de colheita aparente (calculado sem as folhas senescentes), e os índices de colheita de N e P (pela razão entre os conteúdos do nutriente nos grãos e na parte aérea).

As folhas, raízes e caules da primeira coleta, assim como o material de folhas senescentes de cada semana após a primeira coleta e as folhas, caules, raízes, vagens e grãos na segunda coleta foram moídos separadamente. Foi efetuada a digestão sulfúrica nos materiais vegetais, e no extrato foram determinados os teores de N pelo método de Kjeldahl (Tedesco et al., 1995) e os teores de P por dosagem colorimétrica com molibdato de amônio (Tedesco et al., 1995).

4.4.2.3 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância para cada coleta separadamente, considerando-se um fatorial triplo entre cultivares, doses de N e doses de P. Além disto, para simplificar a apresentação das tabelas e figuras, foi efetuada uma outra análise de variância, considerando-se um fatorial duplo entre cultivares e os quatro tratamentos de adubação combinando as duas doses de N e de P aplicadas ao solo. Desta forma, a soma dos quadrados dos 4 tratamentos de adubação correspondem ao somatório da soma dos quadrados dos efeitos do N, do P e da interação NxP. As médias foram comparadas através do teste Tukey a 5% ou, quando da elaboração de figuras, foi calculada a diferença mínima significativa entre os quatro tratamentos de adubação para cada época de coleta.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Desenvolvimento e Senescência Foliar de Três Cultivares de Feijoeiro em Três Estádios de Desenvolvimento

4.5.1.1 Acúmulo de biomassa

Os dados das tabelas 15, 16 e 17 (no Anexo), apresentam os valores de quadrado médio obtidos pela análise de variância dos dados de biomassa em função das fontes de variação, e suas interações. A ausência de efeito da repetição para a maioria dos caracteres avaliados demonstra que os blocos estiveram expostos de maneira uniforme às variações do ambiente. Os coeficientes de variação foram baixos para a maioria dos caracteres avaliados, o que demonstra um adequado controle da instalação, condução e coleta do experimento. Foram observados efeitos significativos para cultivar e tratamento de adubação para todos os caracteres avaliados nas três épocas de coleta (Tabelas 15, 16 e 17, Anexo), com exceção da massa de parte aérea na segunda e terceira coleta e a massa de vagem na terceira coleta quanto a cultivar. O efeito significativo encontrado para cultivar demonstra a variabilidade genética do material estudado, relativa a variações entre os hábitos de crescimento, com diferentes padrões de acumulação de biomassa (Yan et al., 1995; Nielson et al., 2001).

Dedobrando a soma dos quadrados dos 4 tratamentos de adubação, os efeitos do N, do P e da interação N x P, foram significativos para todos os caracteres avaliados nas três épocas de coleta (Tabelas 15, 16 e 17, Anexo), com exceção da interação N x P quanto à massa de raiz na primeira e segunda coleta.

As plantas que receberam o maior suprimento de N e P (N2P2), apresentaram maior acúmulo de biomassa de folhas verdes e caules, e menor massa de folhas senescentes, seguido dos tratamentos de adubações N1P2, N2P1 e N1P1, nas três épocas de coleta (Figura 1). Este aumento representa uma tendência natural de formação de novas folhas e aumento de biomassa com a maior disponibilidade de nutrientes. O maior acúmulo de biomassa de vagens foi na dose N1P2, para as três cultivares avaliadas, nas duas época de avaliações, mas não diferiu significativamente da dose de adubação N2P2.

Os efeitos das doses de P foram mais intensos que os efeitos das doses de N. As plantas que receberam menor dose de P (N1P1 e N2P1) apresentaram menor acúmulo de biomassa e maior massa de folhas senescentes, ao longo das avaliações (Figura 1).

Pôde-se observar uma tendência de aumento de massa de folhas verdes até o estágio de início de enchimento de vagens (segunda coleta), com exceção do nível de adubação N2P1 para a cultivar Carioca, provavelmente, devido à limitação de P. Após a segunda coleta, observou-se um intenso decréscimo na massa de folhas verdes, de forma mais intensa no tratamento N1P1 (Figura 1). Ao mesmo tempo, ocorreu um aumento na massa de folhas senescentes, principalmente na dose de adubação N1P1 (Figura 1). As cultivares Iraí, ICA Pijao e Carioca adubadas com as menores doses de N e P (N1P1) não conseguiram aumentar a biomassa de folhas verdes, no período de início de enchimento de vagens (segunda coleta), entrando em senescência precoce, efeito mais acentuado na cultivar Iraí (Figura 1).

Verificou-se aumento da massa de vagens após a segunda coleta (Figura 1). A maior deposição de folhas senescentes e a maior massa de vagens foram observadas na terceira coleta, o que pode ser atribuído ao período de enchimento de vagens e maturação dos grãos.

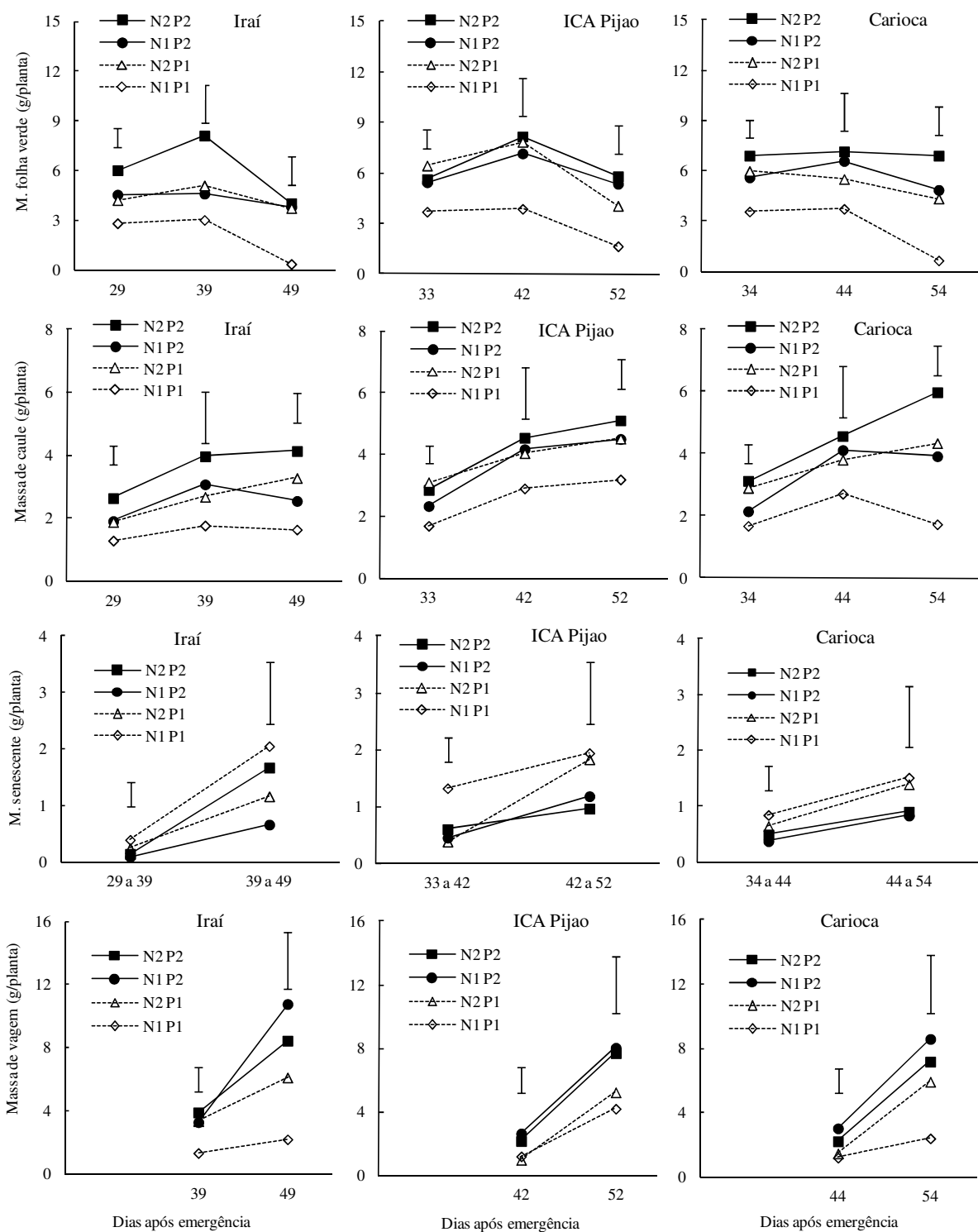


Figura 1. Massa de folha verde, caules, folha senescente e vagem, das cultivares de feijoeiro Iraí, ICA Pijao e Carioca, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg^{-1} no plantio e 60 mg N kg^{-1} no plantio e duas coberturas de $300 \text{ mg de N por vaso}$) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg^{-1}) aplicadas ao solo, em três épocas de coleta; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época de coleta.

A maior massa de folhas verdes foi alcançada pelas cultivares ICA Pijao e Carioca, nas três coletas. A cultivar que apresentou a menor massa de folhas verdes foi a Iraí, diferindo das demais cultivares, nas três coletas, confirmando que cultivares de hábito de crescimento determinado têm um menor acúmulo de biomassa em relação a cultivares com outros hábitos de crescimento. Segundo Araújo & Teixeira (2000), o ciclo da cultura e o hábito de crescimento são determinantes na resposta à adubação em condição de maior disponibilidade de nutrientes.

A massa de folhas senescentes manteve-se similar em todos os níveis de adubações entre a primeira e segunda coleta, para todas as cultivares avaliadas, com exceção da cultivar ICA Pijao que obteve na dose de adubação N1P1 maior massa de folhas senescentes, diferindo dos demais tratamentos de adubação. Já entre a segunda e terceira coleta, houve uma tendência de aumento na massa de folhas senescentes, principalmente quando as plantas foram submetidas aos tratamentos de baixo P (N2P1 e N1P1), indicando um aumento da senescência foliar nesses tratamentos, efeito mais acentuado nas cultivares ICA Pijao e Carioca na dose N1P1 (Figura 1). A maior massa de folhas senescentes encontrada no tratamento de adubação N1P1 pode constituir uma estratégia para proporcionar um maior enchimento das vagens, aumentando a produção dessas plantas sob condições de estresse nutricional.

De forma geral, as plantas que receberam menor dose de P apresentaram menor massa seca de folhas, vagens, parte aérea e maior deposição de folhas senescentes, portanto, a limitação de P aumenta a senescência foliar do feijoeiro.

Com a maior disponibilidade de nutrientes, ou seja, na maior dose de adubação (N2P2), houve um aumento na massa da parte aérea para as três cultivares estudadas, efeito mais acentuado na terceira coleta (Figura 2). Na dose de adubação N1P1, as cultivares apresentaram menor massa de parte aérea e raiz nas três coletas, efeito mais acentuado na terceira coleta. As plantas adubadas com altas doses de N (N2P2 e N2P1) obtiveram maior massa de raiz, na primeira e segunda coleta, assim os efeitos das doses de N foram mais intensos que os efeitos das doses de P. Na terceira coleta as plantas que receberam menor dose de P (N1P1 e N2P1) apresentaram menor massa de raiz.

Verifica-se um aumento de massa de parte aérea até a terceira coleta, com exceção da dose de adubação N1P1 nas cultivares Iraí e Carioca. (Figura 2). Na primeira coleta, as cultivares ICA Pijao e Carioca apresentaram maior massa de parte aérea em comparação com a cultivar Iraí, ratificando que cultivares de hábito de crescimento determinado têm um menor acúmulo de biomassa em relação a cultivares com outros hábito de crescimento. Na segunda e na terceira coleta as cultivares não apresentaram diferença significativa quanto à biomassa de parte aérea.

Houve um aumento de massa de raiz até o estágio de início enchimento de vagens, para todas as cultivares avaliadas. Na terceira coleta, observou-se um decréscimo de massa de raiz, para as cultivares ICA Pijao e Carioca, de forma mais intensa nos tratamentos N1P1 e N2P1 (Figura 2). A cultivar Iraí não apresentou um decréscimo na massa de raiz na terceira coleta, manteve-se similar a segunda coleta, para todos os níveis de adubações. O baixo suprimento de P no solo estimulou a queda na massa de raiz na última coleta para as cultivares avaliadas, de forma mais acentuada para a cultivar Carioca (Figura 2). A cultivar ICA Pijao obteve a maior massa de raiz entre as cultivares estudadas, nas três coletas. Na terceira coleta, a cultivar Carioca apresentou a menor massa de raiz.

Na terceira coleta houve uma tendência das plantas apresentarem maior diferença na massa de parte aérea e de raiz entre as doses de adubações, provavelmente, devido a uma maior expressão da variabilidade genotípica, assim como para os caracteres apresentados na Figura 1. Os dados da Figura 1 e 2 indicam que a seleção de genótipos de feijoeiro em condições de P limitante, em termos de caracteres associados à biomassa de parte aérea, deve

ser feita em estádios posteriores ao início de enchimento de vagens, onde seria maior a expressão da variabilidade genotípica, o que permitiria evitar subestimativas da variação genética dentro da espécie. Estes dados corroboram com os obtidos por Araújo & Teixeira (2000) e Trindade et al. (2010), onde a expressão da variabilidade genética encontrada entre genótipos de feijoeiro foi maior no estágio de enchimento de vagens, o que indicam que são necessárias coletas em vários estádios de crescimento para determinar qual estágio é mais intensa a variabilidade genotípica (Lynch & Van Been, 1993; Araújo, 2000; Araújo & Teixeira, 2000).

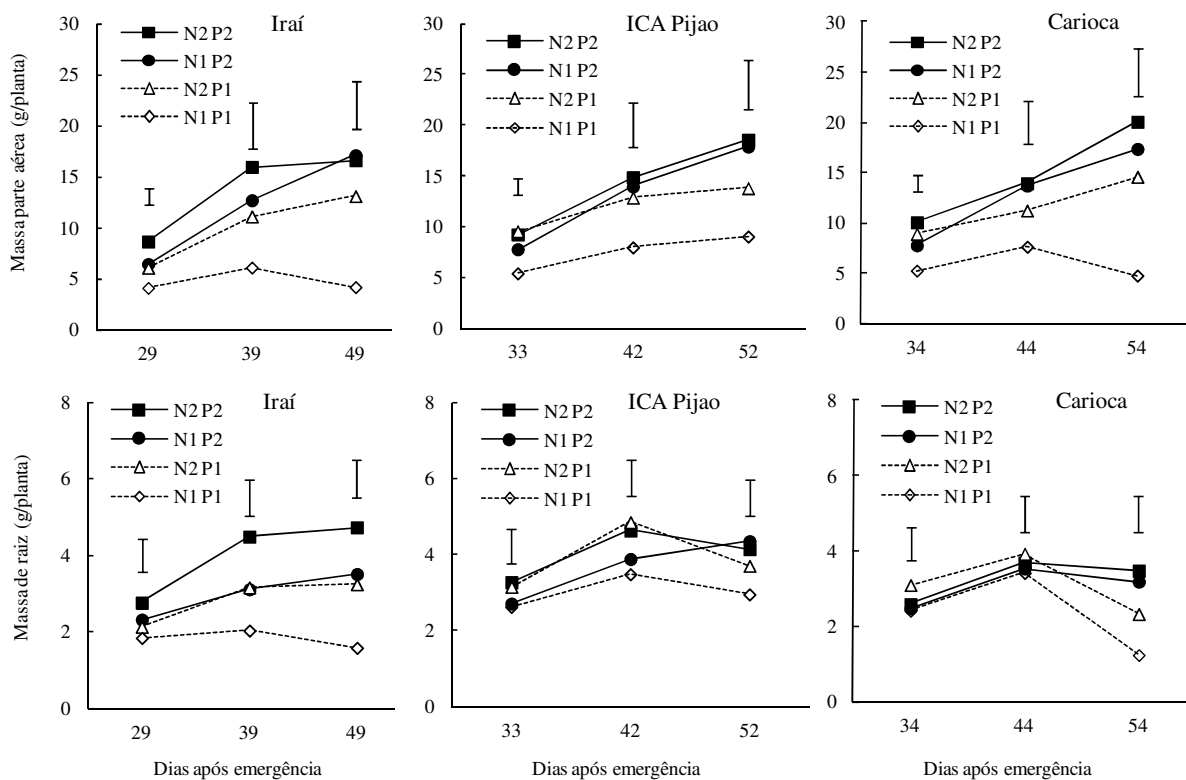


Figura 2. Massa de parte aérea e raiz das cultivares de feijoeiro Iraí, ICA Pijao e Carioca, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg^{-1} no plantio e 60 mg N kg^{-1} no plantio e duas coberturas de $300 \text{ mg de N por vaso}$) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg^{-1}) aplicadas ao solo, em três épocas de coleta; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época de coleta.

4.5.1.2 Área foliar

Foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos de adubação para os caracteres associados à área foliar avaliados, nas três coletas, conforme as Tabelas 18, 19 e 20, em anexo. Em relação as cultivares não foram encontradas diferenças significativas para os caracteres de área foliar por folha na primeira coleta e número de folhas, área foliar e área foliar por folha na segunda coleta e área foliar e área foliar por folha na terceira coleta.

Os efeitos do N, do P e da interação N x P, foram significativos para todos os caracteres associados à área foliar avaliados, nas três épocas de coleta (Tabelas 18, 19 e 20, Anexo), com exceção da interação N x P quanto à área foliar específica na primeira coleta e do número de folhas na segunda coleta e do efeito do P quanto à área foliar por folha e área foliar específica na segunda coleta.

As plantas que receberam alta dose de N (N2P1 e N2P2) apresentaram maior número de folhas e maior área foliar na primeira coleta, assim o efeito da dose de N foi mais intenso que o da dose de P (Figura 3). As maiores doses de P (N2P2 e N1P2) causaram aumento na massa de folha (Figura 1), sem afetar significativamente a área foliar na primeira coleta (Figura 3). Na segunda e na terceira coleta o efeito da dose de P foi mais intenso que a dose de N: as plantas que receberam altas doses de P (N2P2 e N1P2) apresentaram maior número de folhas e maior área foliar, sendo que o efeito na terceira coleta foi mais acentuado (Figura 3).

Na menor dose de adubação (N1P1), as plantas reduziram a área foliar e o número de folhas por planta, nas três coletas, mostrando que o déficit de nutrientes interferiu no desenvolvimento das folhas, o que pode reduzir a taxa fotossintética da planta, refletindo diretamente em seu crescimento e na produtividade da cultura em estádios posteriores (Araújo et al., 1997; 2000).

A redução da área foliar na dose mais baixa de P pode estar relacionada tanto as limitações na produção de folhas, como a uma intensificação da abscisão foliar (Youngdahl, 1990; Snapp & Lynch, 1996; Del Pin, 2004; Araújo et al., 2007). Estes dados estão de acordo com o observado por Lynch et al. (1991), que estudando o desenvolvimento de plantas de feijoeiro em 3 níveis de P, encontraram limitações ao aumento da área foliar em baixos teores de P no substrato.

Em baixa dose de P, as plantas apresentaram maior área foliar específica (Figura 3), ou seja, folhas mais finas na primeira coleta. Trindade et al. (2010) observaram que os genótipos de feijoeiro com maior área foliar sob baixo suprimento de P apresentaram maior área foliar específica. A maior área foliar específica expressa uma maior produção de área foliar por unidade de C alocado em folha, com menor demanda de esqueleto de C para expansão foliar, o que representaria maior eficiência de utilização de fotoassimilados por parte de planta (Milla et al., 2008).

Na segunda coleta não houve diferença significativa entre os tratamentos de adubação para as cultivares Carioca e Ouro Negro quanto a área foliar específica, a cultivar Iraí, obteve maior área foliar específica na dose de adubação N1P2, seguido dos tratamentos N1P1 e N2P1, e a dose N2P2 proporcionou uma menor área foliar específica, ou seja, folhas mais grossas. Na terceira coleta a maior área foliar específica foi obtida no menor tratamento de adubação (N1P1), para os cultivares ICA Pijao e Carioca, já para o cultivar Iraí, foi na dose N1P2 (Figura 3). Na terceira coleta as plantas submetidas às menores doses de N (N1P2 e N1P1) apresentaram, de forma geral, valores relativamente altos de área foliar específica.

A cultivar Iraí apresentou altos valores de área foliar específica na segunda e terceira coleta, quando comparadas às outras cultivares. A cultivar Iraí, de hábito de crescimento determinado (Tipo I) apresentou valores de área foliar específica superiores aos materiais de porte indeterminado (Figura 3). Este fato corrobora com as observações feitas por Trindade et al. (2010), de que em cultivares de crescimento determinado (Tipo I), uma menor emissão de folhas pode ser compensada pela formação de folhas de maior tamanho, mais finas que vise maximizar a captação de luz e radiação solar.

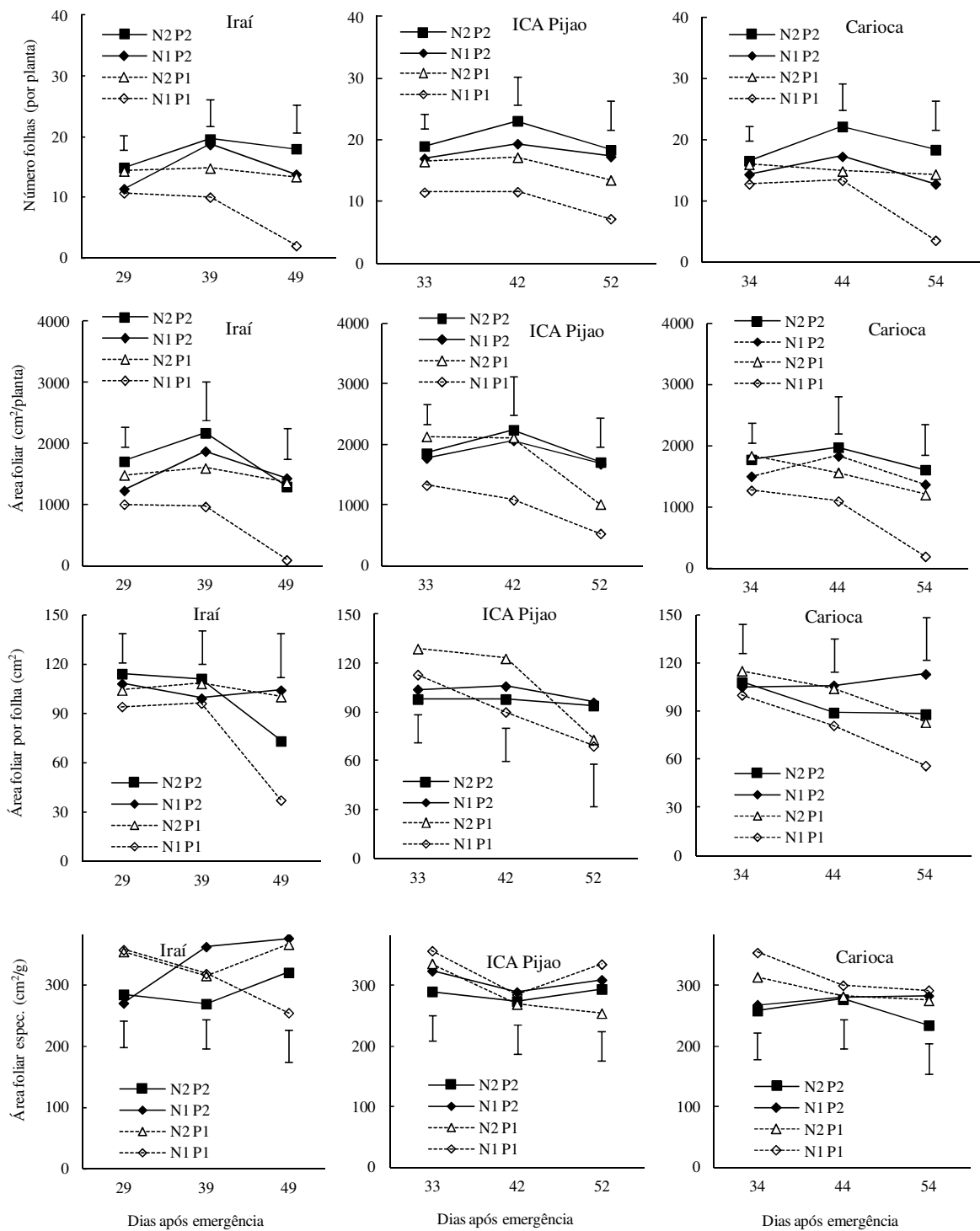


Figura 3. Número de folhas, área foliar, área foliar por folha, área foliar específica das cultivares de feijoeiro Iraí, ICA Pijao e Carioca, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg^{-1} no plantio e 60 mg N kg^{-1} no plantio e duas coberturas de $300 \text{ mg de N por vaso}$) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg^{-1}) aplicadas ao solo, em três épocas de coleta; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época de coleta.

As diferentes doses de N e P não afetaram significativamente a área foliar por folha na primeira e na segunda coleta, ou seja, as plantas de feijoeiro mantiveram a forma das folhas relativamente estável sob diferentes níveis de suprimento destes nutrientes. Foram encontradas diferenças significativas entre as doses de N e P e das cultivares para a área foliar por folha na terceira coleta. O maior suprimento de N e P propiciou maior área foliar por folha nas cultivares ICA Pijao e Carioca. A cultivar Iraí apresentou maior área foliar por folha nas doses de adubações N1P2 e N2P1, seguido das doses N2P2 e N1P1.

De uma forma geral, não foram observadas grandes diferenças na área foliar específica na primeira coleta entre os diferentes estratos da planta de feijão, exceto para os demais trifólios (T6) na cultivar Carioca, que constituem folhas mais jovens e de menor tamanho, portanto com maior área foliar específica (Figura 4). Também não foram detectadas grandes diferenças entre os estratos da planta na área foliar por folha (Figura 5), exceto nas folhas primárias das cultivares, que apresentaram menor área que os demais trifólios, e o estrato T6 nas três cultivares, onde predominam os trifólios mais jovens e de menor tamanho. Do primeiro ao sexto trifólio, a maior área foliar específica ocorreu na menor dose de adubação (N1P1), seguido dos níveis N2P1, N1P2 e N2P2, para cada estrato da planta (Figura 4).

Como não foi observada grande diferença na área foliar específica entre os diferentes estratos da planta, na primeira coleta, pode-se usar uma amostra de folhas, com sua respectiva massa seca, e extrapolando-se esta área foliar específica para a planta toda. Entretanto, neste procedimento deve se evitar usar os trifólios mais jovens e de menor tamanho, que apresentam maior área foliar específica que as demais folhas. Portanto, a determinação da área foliar em amostras de folhas de uma planta de feijoeiro é uma alternativa simples e segura, já que a morfologia foliar mantém-se estável em diferentes estratos da planta.

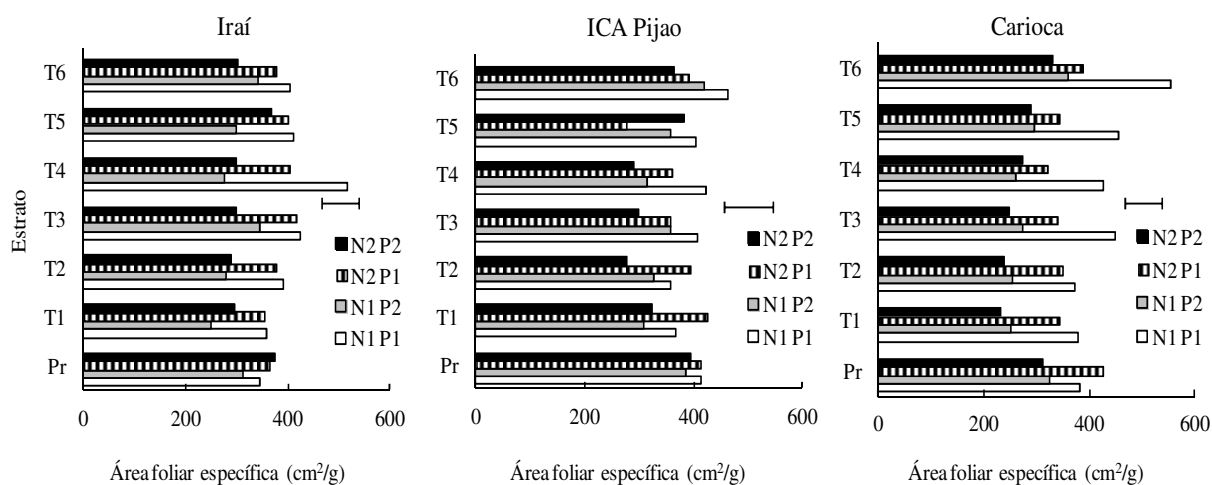


Figura 4. Área foliar específica de três cultivares de feijoeiro, em diferentes estratos da planta, em duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 e 60 mg N kg⁻¹) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹), no estágio de emissão de vagens. Estratos de folhas: Pr folhas primárias, T1 a T5 primeiro ao quinto trifólios, contados a partir do colo da planta, e T6 demais trifólios da planta; barras horizontais representam a diferença mínima significativa (Tukey 5%), e comparam as doses de adubações dentro de cada estrato de folhas.

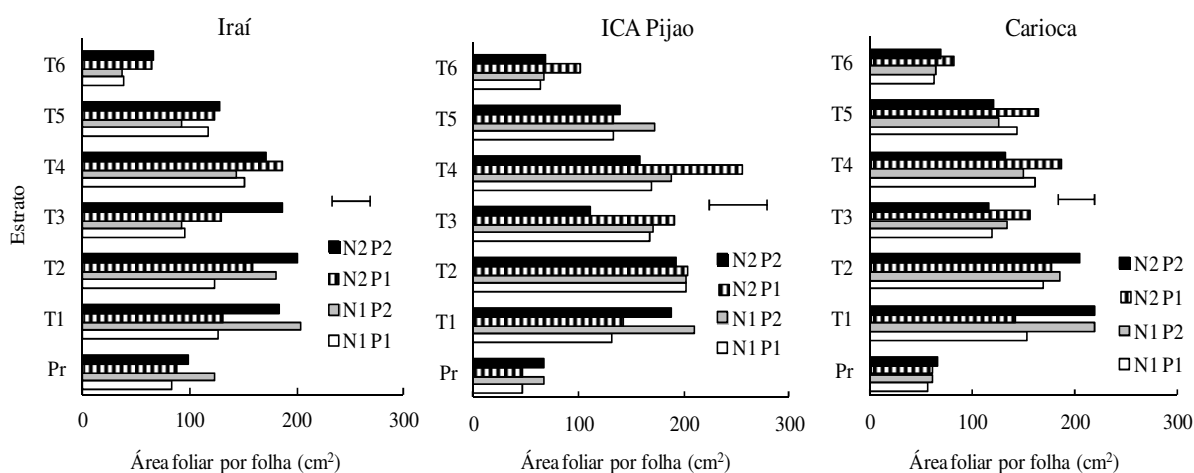


Figura 5. Área foliar por folha de três cultivares de feijoeiro, em diferentes estratos da planta, em duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 e 60 mg N kg^{-1}) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg^{-1}), no estágio de emissão das vagens. Estratos de folhas: Pr folhas primárias, T1 a T5 primeiro ao quinto trifólios, contados a partir do colo da planta, e T6 demais trifólios da planta; barras horizontais representam a diferença mínima significativa (Tukey 5%) e comparam as doses de adubações dentro de cada estrato de folhas.

A Figura 6 apresenta a proporção de massa alocada em folhas verdes, caules, folhas senescentes, vagens e raízes em três épocas de avaliações. Na primeira coleta, na dose de adubação N1P1, observa-se maior proporção de massa alocada em raiz e menor proporção de folhas verdes em comparação com os outros níveis de adubação. Em altas doses de P, as plantas acumularam maior massa em vagens e menor massa de folhas senescentes na segunda coleta, efeito mais acentuado da dose de adubação N1P2. Na terceira coleta, nas menores doses de P, as plantas apresentaram maior proporção de massa alocada em folhas senescentes, enquanto, que nas maiores doses de P, um maior acúmulo de massa em vagens, principalmente na dose de adubação N1P2.

Sendo assim, verificou-se que com a ontogenia a proporção da massa alocada em folhas verdes e raiz foram diminuindo, e a proporção em massa de folhas senescentes e vagens aumentando continuamente.

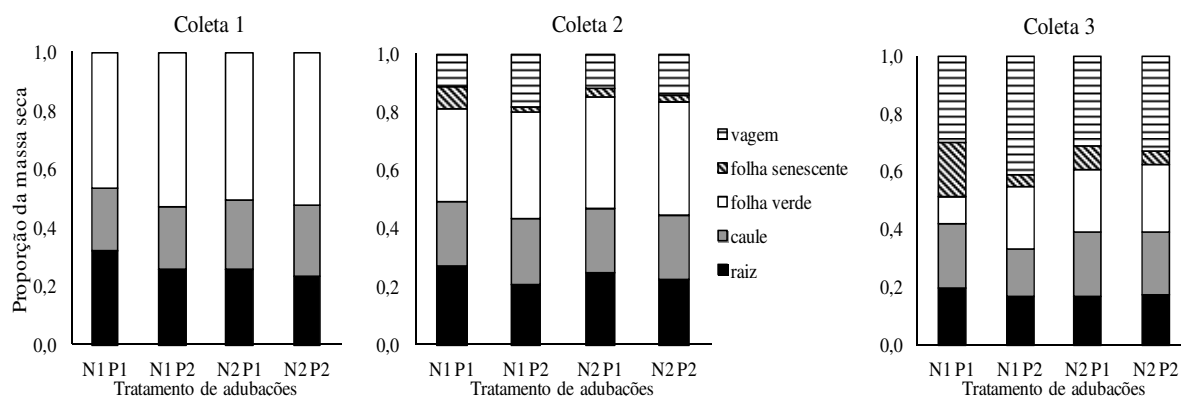


Figura 6. Proporção de massa alocada em folha verde, caule, folha senescente, vagem e raiz, de plantas de feijoeiro crescidas sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg^{-1} no plantio e 60 mg N kg^{-1} no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg^{-1}) aplicadas ao solo, em três épocas de coleta (início de formação das vagens, início de enchimento das vagens, e 10 dias após a segunda coleta); médias de três cultivares (Iraí, ICA Pijao e Carioca).

4.5.1.3 Acumulação de nitrogênio

Foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos de adubação para os caracteres associados à acumulação de N, nas três coletas (Tabelas 21, 22 e 23, Anexo), demonstrando que as doses de adubação interferiram no conteúdo desse nutriente na planta. Em relação às cultivares, não houve diferença significativa quanto ao acúmulo de N no caule e na raiz na primeira coleta, já na segunda coleta não houve diferenças para o acúmulo de N na folha, caule, parte aérea e total, e na terceira coleta no conteúdo de N na folha, vagem, e parte aérea (Tabelas 21, 22 e 23, Anexo). Para os demais caracteres associados à acumulação de N, foram encontrados efeitos significativos quanto as cultivares, demonstrando que a variabilidade genética dos materiais avaliados interferiu no conteúdo desse nutriente na planta.

Desdobrando a soma dos quadrados dos 4 tratamentos de adubação observou-se que os efeitos do N, do P e da interação N x P, foram significativos para todos os caracteres associados à acumulação de N, nas três épocas de coleta (Tabelas 21, 22 e 23, Anexo), com exceção do efeito do quanto ao conteúdo de N na raiz na primeira coleta, e do efeito da interação N x P quanto ao conteúdo de N no caule na terceira coleta.

A Figura 7 apresenta os valores de conteúdo de N na folha, caule, folha senescente, vagem e de parte aérea de três cultivares de feijoeiro. Com o maior suprimento de N (N2P2 e N2P1), as plantas apresentaram maior conteúdo de N na folha, caule e na parte aérea, na primeira coleta. Na segunda e na terceira coleta o maior conteúdo de N nas folhas, caule e parte aérea foram nas plantas adubadas com altas doses de P. Os tratamentos de adubação N2P2, N2P1 e N1P2 não apresentaram diferenças significativas quanto ao conteúdo de N para as cultivares ICA Pijao e Carioca, apenas na dose N1P1 observou-se queda acentuada no conteúdo de N na folha, caule e parte aérea nas três coletas (Figura 7).

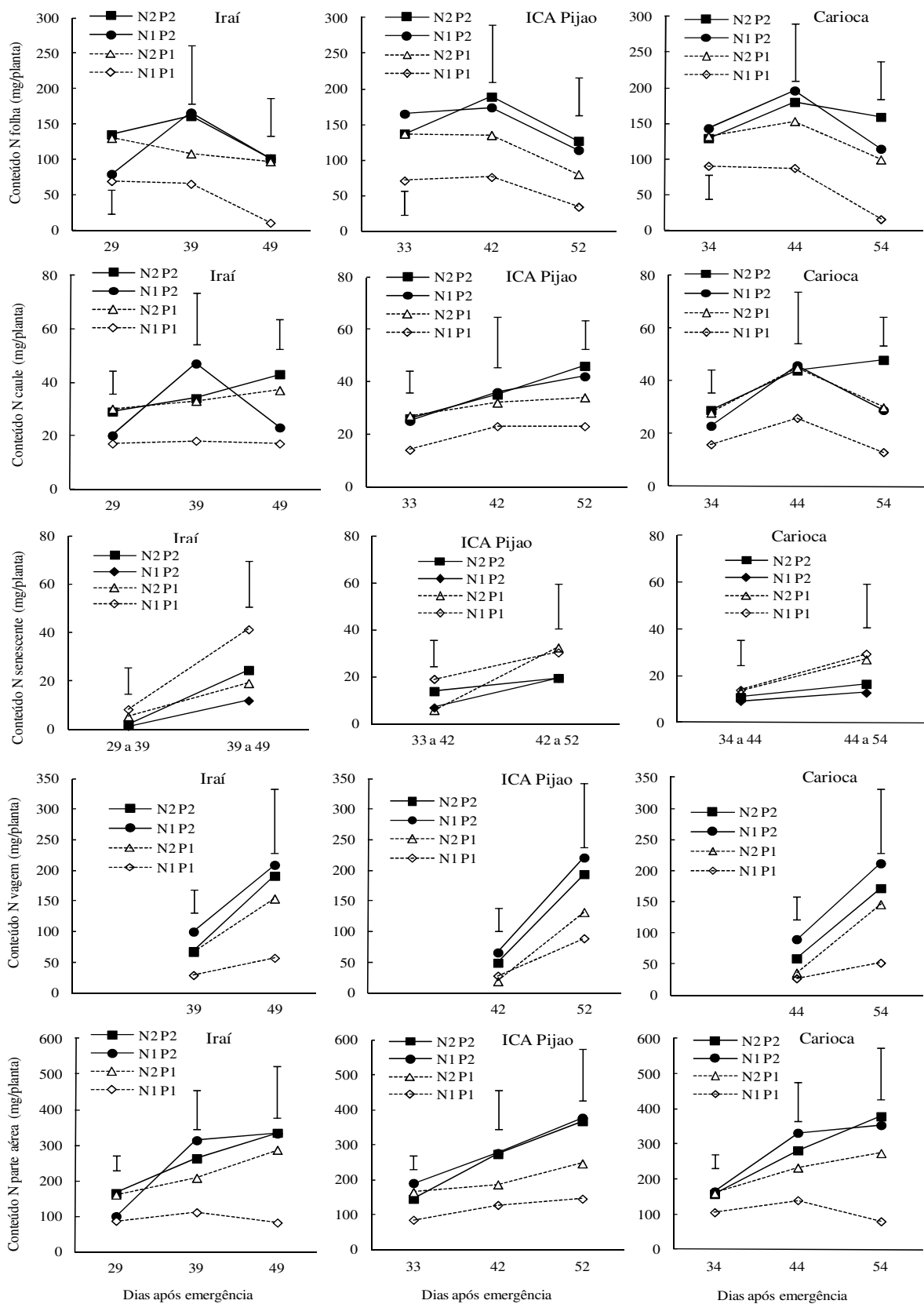


Figura 7. Conteúdo de N na folha, caule, folha senescente, vagem e na parte aérea de cinco cultivares de feijoeiro sob duas doses de N e duas doses de P aplicadas ao solo, em três épocas de coleta; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época de coleta.

O conteúdo de N na folha senescente foi maior nas menores doses de P (N1P1 e N2P1), para as cultivares Iraí e Carioca, efeito mais acentuado entre a segunda e a terceira coleta (Figura 7). Isto demonstra a maior importância do P do que a do N, em todo o processo da senescência foliar, confirmando a importância do P no processo de assimilação e utilização do N, uma vez que houve uma maior interferência deste nutriente na quantidade de N encontrada nas folhas senescentes. As cultivares apresentaram uma tendência de aumentar a senescência nas menores doses de adubação.

Na vagem, o maior conteúdo de N foi constatado no tratamento de adubação N1P2, seguido dos tratamentos N2P2, N2P1 e N1P1 para as três cultivares de feijoeiro, nas duas épocas de avaliações (Figura 7).

Com a ontogenia, o conteúdo de N na parte aérea, vagem e folhas senescentes aumentaram para as cultivares avaliadas. Nas folhas, o maior conteúdo de N foi observado na segunda coleta, e com a ontogenia foi diminuindo, na terceira coleta foram observadas reduções no conteúdo de N na folha. Por outro lado, o conteúdo de N em folhas senescentes e vagens aumentou continuamente com a ontogenia. Isto demonstra o processo de translocação de N das folhas verdes para as vagens.

Dentre as cultivares estudadas, Iraí foi a que obteve o menor conteúdo de N na folha e as cultivares Carioca e ICA Pijao os maiores conteúdo de N na primeira coleta; nas demais coletas não houve diferenças entre as cultivares. As cultivares Carioca e Iraí apresentaram o menor conteúdo de N no caule e a ICA Pijao o maior conteúdo na terceira coleta (Figura 7). Em relação às vagens, a cultivar Iraí apresentou a maior quantidade de N, e a ICA Pijao o menor conteúdo na segunda coleta. A cultivar Iraí apresentou o menor conteúdo de N na parte aérea, na primeira coleta, nas demais coletas não houve diferenças significativas entre cultivares quanto ao conteúdo de N na parte aérea.

4.5.2 Senescência Foliar, Índices de Colheita e Produção de Grãos de Cinco Cultivares de Feijoeiro

4.5.2.1 Data de floração

Houve diferença significativa na data de floração entre os tratamentos com maior e menor dose de P (Tabela 6). As cultivares submetidas aos tratamentos com maiores doses de P (N1P2 e N2P2) floresceram antes das cultivares submetidas às menores doses do nutriente (N2P1 e N1P1).

A cultivar Iraí foi a que floresceu em menor período de tempo seguida da cultivar Manteigão, não havendo diferença significativa entre estes cultivares, confirmando a precocidade da cultivar Manteigão. Em seguida floriram as cultivares Ouro Negro, ICA Pijao e Carioca.

Tabela 6. Data de floração (em dias após emergência) de cinco cultivares de feijoeiro crescidas sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo.

| Tratamento | Iraí | ICA Pijao | Manteigão | Carioca | Ouro Negro | Média |
|---------------------------------|--------|-----------|-----------|---------|------------|--------|
| Floração (dias após emergência) | | | | | | |
| N1P1 | 28,3 | 32,3 | 28,9 | 33,5 | 30,0 | 30,6 a |
| N1P2 | 27,8 | 31,6 | 27,3 | 32,4 | 29,9 | 29,7 b |
| N2P1 | 28,0 | 33,1 | 28,4 | 34,6 | 30,3 | 30,9 a |
| N2P2 | 27,5 | 31,9 | 27,9 | 32,3 | 29,7 | 29,9 b |
| Média | 27,8 D | 32,2 B | 28,2 D | 33,2 A | 30,0 C | |

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

4.5.2.2 Acúmulo de biomassa

Os dados da Tabela 24 (no Anexo) apresentam os resultados da análise de variância dos dados de acúmulo de biomassa da primeira coleta. A ausência de efeito da repetição para os caracteres avaliados demonstra que os blocos estiveram expostos de maneira uniforme às variações do ambiente. Os coeficientes de variação foram baixos, o que demonstra um adequado controle da instalação, condução e coleta do experimento. Foram observados efeitos significativos para cultivar e tratamento de adubação para todos os caracteres avaliados no estágio de início de emissão de vagens, com exceção do efeito de adubação na massa de folhas primárias (Tabela 24, Anexo). A significância encontrada para cultivar demonstra a variabilidade genética do material estudado.

Dedobrando os tratamentos de adubação, os efeitos do N, do P e da interação N x P, foram significativos para todos os caracteres avaliados (Tabela 24, Anexo), com exceção do P na massa de raiz na primeira coleta.

De forma geral, as plantas que receberam a maior dose de N e P (N2P2) no solo, apresentaram maior acúmulo de biomassa de folhas, caules, raízes e parte aérea, seguida dos níveis de adubações N1P2, N2P1 e N1P1, no estágio de início de formação das vagens (Tabela 7). Este aumento representa uma tendência natural de formação de novas folhas e aumento de biomassa com a maior disponibilidade de nutrientes. Os efeitos das doses de P foram mais intensos que os efeitos das doses de N. As plantas que receberam menores doses de P (N1P1 e N2P1) apresentaram menor acúmulo de biomassa (Tabela 7).

A cultivar manteigão apresentou maior massa de folhas na dose de adubação N1P2, não diferindo da dose N2P2, e a cultivar ICA Pijao obteve maior massa de raízes na dose N1P2, também não diferindo da dose N2P2.

Segundo Araújo & Teixeira (2000), o ciclo da cultura e o hábito de crescimento são determinantes na resposta à adubação em condição de maior disponibilidade de nutrientes. Este fato tem consequências diretas sobre a produção vegetal em condições de alta oferta de insumos. Uma vez que o acúmulo de biomassa pelo vegetal tem correlação positiva com a translocação de fotoassimilados para os grãos no período reprodutivo e a produtividade da cultura (Araújo & Teixeira, 2003), mesmo que um ciclo curto permita uma maior flexibilidade do agricultor na venda do produto (Yokoyama, 2002). Por outro lado, um ciclo mais curto pode implicar em um menor acúmulo de biomassa e em uma menor translocação de nutrientes e fotoassimilados para os órgãos reprodutivos, o que leva a uma redução da produtividade da cultura (Portes, 1996).

Tabela 7. Massa de folha, massa de caule, massa de parte aérea, massa de raiz, das cultivares de feijoeiro Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, no estágio de início de formação das vagens.

| Tratamento | Iraí | ICA Pijao | Manteigão | Carioca | Ouro Negro | Média |
|--|---------|-----------|-----------|---------|------------|---------|
| Massa de folha (g planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 8,11 b | 9,72 b | 12,64 b | 9,51 c | 11,25 b | 10,24 c |
| N1P2 | 9,59 b | 14,50 a | 17,01 a | 13,77 b | 13,21 b | 13,62 b |
| N2P1 | 9,00 b | 13,88 a | 13,01 b | 13,66 b | 12,85 b | 12,48 b |
| N2P2 | 14,18 a | 16,97 a | 16,40 a | 18,94 a | 20,13 a | 17,32 a |
| Média | 10,22 B | 13,77 A | 14,77 A | 13,97 A | 14,36 A | |
| Massa de caule (g planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 4,48 b | 5,98 c | 5,34 b | 5,85 c | 4,57 c | 5,25 d |
| N1P2 | 5,37 b | 9,11 b | 7,68 a | 8,00 b | 6,74 b | 7,38 b |
| N2P1 | 4,81 b | 8,58 b | 6,12 b | 7,35 bc | 5,40 bc | 6,45 c |
| N2P2 | 7,54 a | 11,37 a | 9,13 a | 10,53 a | 9,46 a | 9,60 a |
| Média | 5,55 D | 8,76 A | 7,07 C | 7,93 B | 6,54 C | |
| Massa de parte aérea (g planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 12,59 b | 15,71 c | 17,98 b | 15,36 c | 15,81 c | 15,48 d |
| N1P2 | 14,96 b | 23,60 b | 24,70 a | 21,77 b | 19,95 b | 20,99 b |
| N2P1 | 13,80 b | 22,46 b | 19,13 b | 21,01 b | 18,24 bc | 18,93 c |
| N2P2 | 21,72 a | 28,34 a | 25,52 a | 29,46 a | 29,59 a | 26,93 a |
| Média | 15,77 B | 22,52 A | 21,83 A | 21,90 A | 20,90 A | |
| Massa de raiz (g planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 3,53 ab | 4,00 b | 3,46 b | 4,25 a | 3,70 ab | 3,79 b |
| N1P2 | 5,23 a | 7,01 a | 4,41 b | 4,35 a | 4,89 a | 5,18 a |
| N2P1 | 2,83 b | 5,03 b | 3,33 b | 3,98 a | 2,97 b | 3,62 b |
| N2P2 | 4,54 a | 6,87 a | 6,23 a | 5,65 a | 4,92 a | 5,64 a |
| Média | 4,03 B | 5,72 A | 4,36 B | 4,56 B | 4,12 B | |

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem pelo teste Tukey a 5%.

O acúmulo de biomassa variou de acordo com a cultivar. O maior acúmulo de massa de folhas e de parte aérea foi alcançado pelas cultivares Ouro Negro, Carioca, ICA Pijao e Manteigão, seguido da cultivar Iraí, diferindo significativamente das demais. A cultivar que apresentou o menor acúmulo de biomassa foi a Iraí (Tabela 7), confirmando que cultivar de

hábito de crescimento determinado têm um menor acúmulo de biomassa em relação a cultivares com outros hábito de crescimento. A cultivar Iraí (Tipo I) apresentou uma menor massa de caule independente do tratamento de adubação aplicado ao solo, o que está ligada provavelmente ao hábito de crescimento determinado (Vilhordo et al., 1996), revelando-se a cultivar de menor porte dentre as estudadas, enquanto a maior massa de caule foi apresentado pela cultivar ICA Pijao.

A cultivar ICA Pijao apresentou a maior massa de raiz, diferenciando das demais cultivares (Tabela 7). Na cultivar ICA Pijao, diferente das demais, as plantas que receberam o tratamento N1P2 foram as que obtiveram uma maior massa de raiz, mas não diferindo estatisticamente da dose N2P2 (Tabela 7), essa alta massa de raiz na dose N1P2, pode ser devido a interação da dose N1P2 no estímulo da fixação biológica de N, resultando em maior massa de raiz na cultivar ICA Pijao.

4.5.2.3 Número de folhas

Foram observados efeitos significativos da cultivar e do tratamento de adubação para o número de folhas em oito épocas de avaliação, com exceção do efeito da cultivar aos 36 dias após emergência (Tabela 25, Anexo).

Houve um aumento no número de folhas até os 50 dias após emergência, após essa data houve diminuição, nas cultivares avaliadas e na média delas (Figura 8). Portanto, o estágio de máximo número de folhas alcançado aos 50 dias após emergência não dependeu do suprimento de N e P no solo. O aumento do número de folhas, assim como o decréscimo, variou de acordo com a cultivar e com as doses de N e P aplicadas ao solo. Os efeitos das doses de P foram mais intensos que os efeitos das doses de N. As plantas que receberam menor dose de P apresentaram um menor número de folhas, ao longo das avaliações (Figura 8). A menor formação de folhas em baixo P reflete uma resposta da planta de feijoeiro ao estresse nutricional (Lynch et al., 1991). A menor taxa de desenvolvimento da parte aérea da cultura do feijoeiro ocorre de possíveis reduções de taxa de crescimento para diminuir a demanda por nutrientes, em situações de déficit nutricional (Trindade et al., 2010).

Os genótipos ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro apresentaram um comportamento similar à média dos cultivares, com maior número e massa de folhas em alta dose de P (Figura 8). Como estes caracteres se relacionam com a ontogenia natural da planta, este aumento entre coletas representa uma tendência natural de formação de novas folhas e biomassa. O cultivar Manteigão, devido a sua precocidade, foi o que apresentou menor número de folhas, seguido pelo cultivar Iraí, de hábito de crescimento determinado tipo I (Figura 8).

Segundo Portes (1996) e Araújo et al. (2007), o desenvolvimento foliar é muito mais influenciado pelo hábito de crescimento do feijoeiro do que pelo suprimento de P no solo, como pode ser observado na Figura 8. Para a cultivar Iraí, não houve diferença significativa no número de folhas quando submetidas a três doses distintas de N e P, havendo diferença apenas nas plantas sob menores doses de N e P (N1P1). Isto pode ser devido ao hábito de crescimento desta cultivar, determinado do tipo I, pois cultivares com este hábito de crescimento têm menor resposta aos níveis de P na produção de folhas (Trindade et al., 2010).

As cultivares ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro apresentaram maior número de folhas quando comparado ao cultivar Manteigão, o que deve-se a precocidade do cultivar Manteigão. Isto indica que a abscisão de folhas é dependente da velocidade de crescimento e da ontogenia da planta, podendo ser estimulada pela entrada no período reprodutivo, devido a maior necessidade de translocação de fotoassimilados para o enchimento das vagens (Araújo et al., 2007). As cultivares Ouro Negro e Iraí apresentaram uma queda acentuada no número de folhas na última época de avaliação, isto representa, provavelmente, uma maior translocação de fotoassimilados e nutrientes nesse período para atender o rápido enchimento dos grãos dessas cultivares.

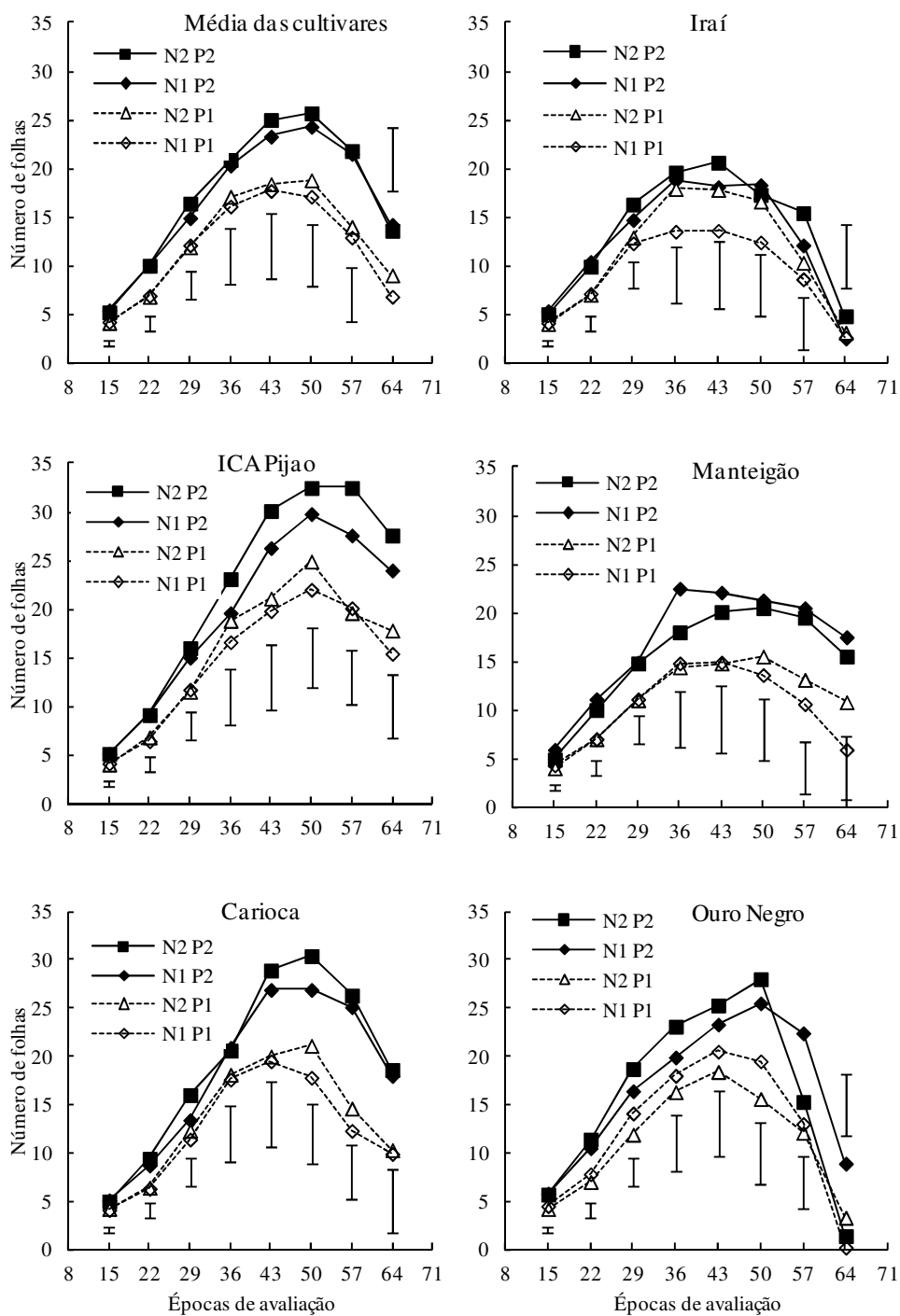


Figura 8. Número de folhas das cultivares de feijoeiro Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, em oito épocas de avaliação; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época.

4.5.2.4 Área foliar

Na Tabela 8 são apresentados os dados de número de folhas, área foliar, área foliar por folha e área foliar específica no estágio de início de formação das vagens. Para estes caracteres, foram encontradas diferenças significativas entre as cultivares e os tratamentos de adubação, com exceção da área foliar específica quanto à dose de adubação (Tabela 26, em anexo). Dobrando os tratamentos de adubação, os efeitos do N, do P e da interação N x P, foram significativos para todos os caracteres avaliados (Tabela 26, Anexo), com exceção da interação N x P quanto à área foliar por folha e área foliar específica.

De forma geral, as plantas que receberam a maior dose de N e P (N2P2) no solo, apresentaram maior número de folha e área foliar, seguida dos níveis de adubações N1P2, N2P1 e N1P1. Os níveis baixos de N e P aplicados ao solo reduziram a área foliar, mostrando que o déficit desses nutrientes interferiu no desenvolvimento das folhas, fato este que também foi justificado pelo pequeno número de folhas por planta quando submetidos a estes tratamentos (Tabela 7), o que pode reduzir a taxa fotossintética da planta, refletindo diretamente em seu crescimento e na produtividade da cultura em estádios posteriores (Araújo et al., 1997; 2000). A cultivar ICA Pijao apresentou maior área foliar diferindo significativamente das demais cultivares.

A cultivar Iraí apresentou menor número de folhas e área foliar nas doses de adubações N1P1, N2P1 e N1P2, não diferindo entre elas, apenas na maior dose (N2P2) houve diferença significativa no número de folhas e na área foliar.

A cultivar Manteigão foi a que apresentou maior área foliar por folha quando submetido ao tratamento N2P2, as demais doses não diferiram entre elas. Na cultivar Ouro Negro nota-se que houve pouca diferença entre os tratamentos com elevados níveis de N e P (N2P2) e os com baixos níveis (N1P1). No cultivar ICA Pijao, os tratamentos N1P2 seguido do N2P1, resultaram em maior área foliar por folha que o tratamento N2P2. A menor área foliar por folha foi encontrada no tratamento N1P1, para as cultivares Iraí, ICA Pijao e Carioca (Tabela 8).

A ausência de diferenças estatísticas entre as doses de adubações para os dados de área foliar específica, assim como na interação de N x P (Tabela 26, em anexo) indica que os aumentos na área foliar e na área foliar por folha em altas doses de N e P ocorreram em função de uma maior formação de folhas do que a alongação representada pelo aumento na área foliar por folha. Este fato demonstra que a principal estratégia da planta de feijoeiro para elevação da sua atividade fotossintética seria a formação de novas folhas (Portes, 1996). Segundo Lynch et al. (1991), a ampliação da área fotossintética é mais favorecida por um aumento em quantidade de folhas que na expansão foliar, devido ao ângulo de inserção foliar, tamanho reduzido das folhas e o curto ciclo vegetativo do feijoeiro.

A redução da área foliar na dose mais baixa de P pode estar relacionada tanto as limitações na produção de folhas, como a uma intensificação da abscisão foliar visando diminuir o sombreamento de folhas basais e favorecer a ciclagem de nutrientes e realocação de fotoassimilados nos órgãos reprodutivos (Youngdahl, 1990; Snapp & Lynch, 1996; Araújo et al., 2007). Estes dados estão de acordo com o observado por Lynch et al. (1991), que estudando o desenvolvimento de plantas de feijoeiro em 3 níveis de P encontraram limitações ao aumento da área foliar em baixos teores de P no substrato.

O pequeno número de folhas da cultivar Manteigão pode ter sido compensado pela sua maior área foliar por folha, uma vez que quando submetida aos maiores níveis de N e P este cultivar apresentou uma área foliar semelhante a outras cultivares. Nos demais cultivares os valores mais altos de área foliar por planta podem ser atribuídos ao maior número de folhas quando houve maior disponibilidade de P. Isto confirma que a área foliar das plantas de feijão responde ao aumento da oferta de P, principalmente por aumentar a emissão de folhas e, secundariamente, pela expansão da folha (Lynch et al., 1991).

Tabela 8. Número de folhas, área foliar, área foliar por folha e área foliar específica, das cultivares de feijoeiro Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, no estágio início de formação das vagens.

| Tratamento | Iraí | Ica Pijao | Manteigão | Carioca | Ouro Negro | Média |
|---|--------|-----------|-----------|---------|------------|--------|
| Número de folhas (planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 22,3 | 21,9 | 15,9 | 24,2 | 20,4 | 20,9 c |
| N1P2 | 21,5 | 30,3 | 21,1 | 29,1 | 23,6 | 25,1 b |
| N2P1 | 23,9 | 29,6 | 19,1 | 28,0 | 21,1 | 24,3 b |
| N2P2 | 29,3 | 36,7 | 24,0 | 34,9 | 27,9 | 30,5 a |
| Média | 24,2 B | 29,6 A | 20,0 C | 29,1 A | 23,2 B | |
| Área foliar (cm ² planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 3584 b | 4659 b | 3422 b | 3955 c | 4203 b | 3964 c |
| N1P2 | 4129 b | 7193 a | 4473 b | 5752 ab | 4499 b | 5209 b |
| N2P1 | 4170 b | 6626 a | 4000 b | 4751 bc | 4207 b | 4751 b |
| N2P2 | 5666 a | 7736 a | 5922 a | 6806 a | 5868 a | 6400 a |
| Média | 4387 C | 6554 A | 4454 C | 5316 B | 4694 C | |
| Área foliar por folha (cm ²) | | | | | | |
| N1P1 | 162 | 211 | 217 | 164 | 205 | 192 b |
| N1P2 | 194 | 238 | 213 | 196 | 192 | 206 ab |
| N2P1 | 179 | 224 | 210 | 171 | 206 | 198 ab |
| N2P2 | 195 | 211 | 247 | 195 | 211 | 212 a |
| Média | 182 B | 221 A | 222 A | 181 B | 204 A | |
| Área foliar específica (cm ² g ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 442 a | 475 a | 277 b | 419 a | 373 a | 397 a |
| N1P2 | 434 a | 497 a | 265 b | 414 a | 344 ab | 391 a |
| N2P1 | 462 a | 478 a | 318 ab | 351 a | 326 ab | 387 a |
| N2P2 | 401 a | 457 a | 363 a | 360 a | 292 b | 374 a |
| Média | 435 B | 476 A | 306 D | 386 C | 334 D | |

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem pelo teste Tukey a 5%.

A área foliar por folha apresentou resultados variando com a cultivar, verificou-se nas cultivares ICA Pijao, Manteigão e Ouro Negro maior área foliar por planta diferindo significativamente das cultivares Iraí e Carioca.

A área foliar específica mostrou variações entre as cultivares. A cultivar que obteve maior área foliar específica foi a ICA Pijao, ou seja, foi a que apresentou folhas mais finas, uma vez que esse índice indica a espessura das folhas. As plantas submetidas às menores doses de N apresentaram, de forma geral, valores relativamente altos de área foliar específica, estes resultados podem ser devido ao déficit do nutriente para a formação de suas folhas.

A cultivar Iraí apresentou altos valores de área foliar específica, as plantas com crescimento determinado (Tipo I) apresentaram valores de área foliar específica superiores aos materiais de porte indeterminado, com crescimento contínuo e maior alongação das folhas, com exceção da cultivar ICA Pijao, que obteve a maior área foliar específica (Tabela 8). Este fato corrobora com as observações feitas por Trindade, (2007) demonstrando que em cultivares de crescimento determinado (Tipo I), uma menor emissão de folhas pode ser compensada pela formação de folhas de maior tamanho, mais finas e com um ângulo de inserção que vise maximizar a captação de luz e radiação solar.

Segundo Trindade et al. (2010), cultivares de hábito determinado apresentam menor área foliar, folhas maiores e menos numerosas, com maior área foliar específica e menor taxa de assimilação líquida. Genótipos de hábito de crescimento indeterminado ereto ou prostrados tiveram maior área foliar - obtida por meio de valores intermediários de número de folhas, área foliar por folha e área foliar específica - e mostraram-se mais bem adaptadas ao baixo suprimento de P (Trindade et al., 2010).

4.5.2.5 Massa de folhas senescentes

Foram observados efeitos significativos da cultivar e do tratamento de adubação para a massa de folhas senescentes avaliado nas cinco semanas após floração até a maturação dos grãos (Tabela 27, Anexo).

Em média as cultivares apresentaram um aumento na massa de folhas senescentes até a quarta semana após a floração (Figura 9), fase de enchimento das vagens e maturação dos grãos, fase de intensa demanda nutricional. Após essa semana houve um decréscimo na massa de folhas senescentes. Esse decréscimo na massa de folhas senescentes ocorre quando a planta se encontra na fase reprodutiva; a formação de novas folhas é cessada e como no período de enchimento de grãos há uma intensa abscisão, a tendência é diminuir a massa de folhas senescentes no final do ciclo. As plantas apresentaram uma queda na massa de folhas senescentes no final de seu desenvolvimento (Figura 9), com exceção da cultivar Manteigão que obteve um crescimento na massa de senescentes até a quinta semana em três tratamentos (N2P2, N1P2 e N2P1).

Os cultivares ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, e de forma menos expressiva o cultivar Manteigão, nas primeiras semanas após a floração obtiveram maior massa de folhas senescentes nas plantas que foram submetidas aos tratamentos N2P1 e N1P1 (Figura 9), indicando uma precocidade da senescência foliar nesses tratamentos. Já nos tratamentos N2P2 e N1P2, as cultivares obtiveram maior massa de folhas senescentes na terceira e na quarta semana após floração, sendo um valor de massa bem alto comparado aos outros tratamentos, efeito mais acentuada nos cultivares ICA Pijao, Ouro Negro e Carioca (Figura 9). Essa maior massa encontrada nesses tratamentos, nesse período, pode vir a ser uma estratégia para proporcionar um maior enchimento das vagens, aumentando a produção dessas plantas.

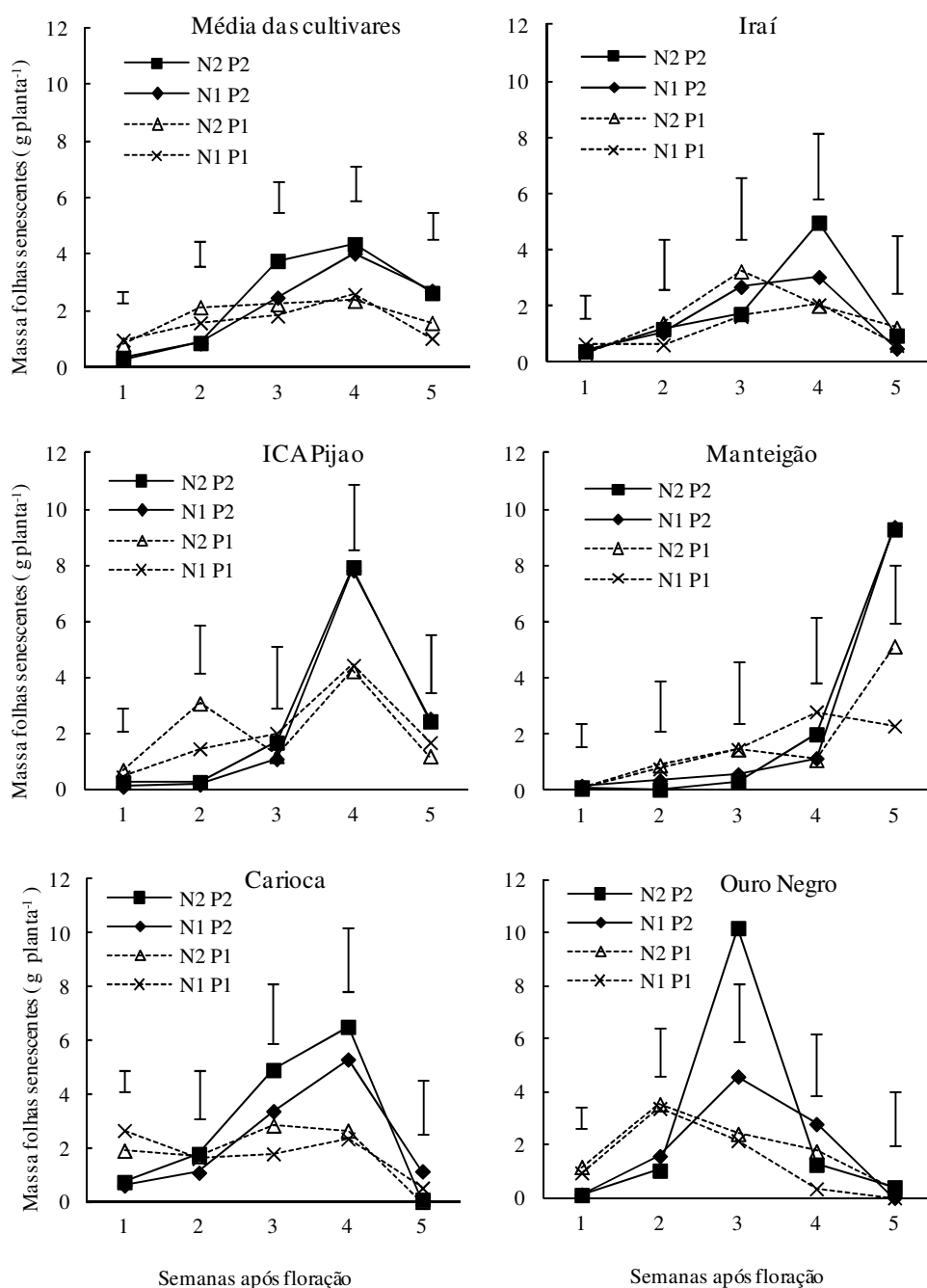


Figura 9. Massa de folhas senescentes das cultivares de feijoeiro Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, nas cinco semanas após floração até a maturação dos grãos; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época.

Diversos trabalhos confirmam que um adequado suprimento de P pode retardar a senescência foliar em diversas culturas. Com o aumento da dose de P aplicada ao solo foi possível retardar a senescência foliar na cultura da soja, e os tratamentos que reduziram a senescência aumentaram a produção de grãos em mais de 300%. Isso aconteceu inicialmente

devido ao aumento da retenção de vagens e secundariamente ao aumento do tamanho da semente (Grabau et al., 1986). Através da adubação via foliar com KH_2PO_4 foi possível retardar a senescência foliar e aumentar a produção de grãos, na cultura do trigo (Benbella & Paulsen, 1998). Sob baixo suprimento de P na cultura do trigo, verificou-se senescência foliar precoce, produção de grãos menores e em menor quantidade.

Por outro lado, na cultura da soja, a seleção de cultivares objetivando retardar a senescência foliar obteve sucesso. No entanto, a produção de grãos foi inversamente correlacionada com a senescência foliar tardia, demonstrando que a máxima produção de grãos só pode ser obtida com plantas cujas folhas sofram senescência no período de desenvolvimento da semente (Phillips et al., 1984). Araújo et al. (2007) observaram que o suprimento de P no solo não afetou o estágio de máximo número de folhas e o início da senescência foliar de plantas de feijoeiro; contudo, o estágio de máxima deposição de folhas senescentes ocorreu mais cedo durante o ciclo de crescimento com o aumento do suprimento de P no solo.

4.5.2.6 Teor e conteúdo de nitrogênio no início de formação das vagens

Foram encontradas diferenças significativas entre as cultivares e os tratamentos de adubação para todos os caracteres associados ao teor e conteúdo de N na planta, com exceção do teor de N na folha quanto à cultivar (Tabela 28, Anexo).

Dedobrando a soma dos quadrados dos 4 tratamentos de adubação, os efeitos do N, do P e da interação N x P, foram significativos para todos os caracteres avaliados (Tabela 28, Anexo), com exceção da interação N x P quanto ao conteúdo de N na folha, caule, parte aérea e raiz.

O teor de N na folha variou de acordo com as doses de N e P aplicadas ao solo, na dose N1P2 foi observado maior teor de N na folha, mas sem apresentar diferenças significativas entre as doses N2P1 e N2P2, no menor tratamento de adubação (N1P1) houve menor teor de N na folha, no estágio de início de formação das vagens. (Tabela 9).

Na maior dose de adubação (N2P2) as cultivares apresentaram maior quantidade de N na folha, com exceção da cultivar ICA Pijao, que acumulou mais N quando submetida ao tratamento N1P2. Não houve diferença significativa entre os tratamentos N1P2 e N2P2 quanto ao conteúdo de N nas folhas, com exceção da cultivar Iraí. A dose N1P2 acumulou elevadas quantidades de N na folha, provavelmente, devido ao estímulo da fixação biológica de N na presença de alto P e baixo N. O menor conteúdo de N nas folhas ocorreu nas plantas que receberam o menor suprimento de N e P no solo, para todos os cultivares avaliados (Tabela 9).

No caule, o maior conteúdo de N armazenado foi nas cultivares submetidas ao tratamento N2P2, seguido dos tratamentos N1P2 e N2P1, sendo que na cultivar Iraí houve uma diferença muito significativa do tratamento N2P2 comparado aos demais. O tratamento de adubação N1P1 resultou em um menor conteúdo de N no caule nos cultivares ICA Pijao, Manteigão, Carioca e Ouro Negro, enquanto no cultivar Iraí os tratamentos N2P1, N1P2 e N1P1, não apresentaram diferença significativa entre eles (Tabela 9).

Nas maiores dosagens de P (N2P2 e N1P2), as cultivares apresentaram maior conteúdo de N nas raízes, assim, o efeito do P é mais intenso que o efeito da dose de N acumulando mais N nas raízes das plantas, provavelmente pelo estímulo da fixação biológica de N na presença de P. Em baixas doses de P, verificou-se menor conteúdo de N nas raízes. As cultivares Manteigão, Iraí e Carioca não apresentaram diferenças significativas entre as doses de adubação e a cultivar Ouro Negro apresentou maior conteúdo de N na raiz na dose N1P2. Os menores conteúdos de N na raiz foram obtidos nas cultivares submetidas ao tratamento N1P1, com exceção da cultivar Ouro Negro que apresentou o menor conteúdo de N no tratamento N2P1 (Tabela 9).

Tabela 9. Teor de N na folha e conteúdo de N na folha, caule, raiz e parte aérea de cinco cultivares de feijoeiro crescidas sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, no estágio de início de formação das vagens.

| Tratamento | Iraí | ICA Pijao | Manteigão | Carioca | Ouro Negro | Média |
|---|---------|-----------|-----------|---------|------------|---------|
| Teor de N na folha (mg g ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 26,0 b | 34,1 ab | 33,4 b | 35,5 ab | 23,6 b | 30,5 b |
| N1P2 | 29,8 b | 41,1 a | 27,8 b | 41,8 a | 36,7 a | 35,4 a |
| N2P1 | 39,6 a | 26,3 b | 42,0 a | 29,5 b | 30,9 ab | 33,7 ab |
| N2P2 | 32,8 ab | 31,1 b | 34,4 ab | 33,3 b | 26,9 b | 31,7 ab |
| Média | 32,0 A | 33,2 A | 34,4 A | 35,0 A | 29,5 A | |
| Conteúdo de N na folha (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 211 c | 333 b | 429 a | 335 b | 267 c | 315 c |
| N1P2 | 282 bc | 594 a | 460 a | 583 a | 476 ab | 479 ab |
| N2P1 | 357 ab | 365 b | 549 a | 400 b | 392 bc | 412 b |
| N2P2 | 462 a | 533 a | 558 a | 631 a | 541 a | 545 a |
| Média | 328 B | 456 A | 499 A | 487 A | 419 AB | |
| Conteúdo de N no caule (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 67 b | 71 c | 75 b | 80 c | 48 c | 68 c |
| N1P2 | 63 b | 125 ab | 103 ab | 120 ab | 89 ab | 100 b |
| N2P1 | 62 b | 103 bc | 102 ab | 94 bc | 86 b | 89 bc |
| N2P2 | 129 a | 153 a | 128 a | 150 a | 126 a | 137 a |
| Média | 80 B | 113 A | 102 AB | 111 A | 87 AB | |
| Conteúdo de N na parte aérea (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 277 b | 404 b | 504 b | 415 b | 315 c | 383 c |
| N1P2 | 346 b | 719 a | 563 ab | 702 a | 565 ab | 579 b |
| N2P1 | 419 b | 468 b | 651 ab | 494 b | 477 b | 502 b |
| N2P2 | 591 a | 685 a | 685 a | 780 a | 666 a | 681 a |
| Média | 408 B | 569 A | 601 A | 598 A | 506 AB | |
| Conteúdo de N na raiz (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 58 a | 77 b | 66 a | 91 a | 80 bc | 74 b |
| N1P2 | 88 a | 163 a | 86 a | 104 a | 131 a | 114 a |
| N2P1 | 64 a | 97 b | 79 a | 92 a | 72 c | 81 b |
| N2P2 | 92 a | 166 a | 81 a | 125 a | 106 ab | 114 a |
| Média | 75 C | 126 A | 78 C | 103 B | 97 BC | |

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

As plantas que armazenaram maior quantidade de N na parte aérea foram as submetidas a maior dose de adubação (N2P2), seguidas das doses N1P2 e N2P1 que não diferiram entre elas quanto ao conteúdo de N na parte aérea. Na dose N1P1 as plantas apresentaram menor conteúdo de N na parte aérea. A cultivar Iraí não apresentou diferença significativa entre os tratamentos de adubação N1P1, N2P1 e N1P2 apresentando maior conteúdo de N na parte aérea das plantas na dose N2P2 (Tabela 9).

A cultivar Manteigão não apresentou diferenças significativas no conteúdo de N nas folhas e raízes para todas as doses de adubações. Nas doses N2P2, N2P1 e N1P2 a cultivar

Manteigão não diferiu estatisticamente quanto ao conteúdo de N na parte aérea e caule (Tabela 9). A cultivar Iraí não apresentou diferença significativa em três tratamentos de adubação para os caracteres de conteúdo de N no caule e parte aérea, sendo apenas na dose N2P2 constatado a maior quantidade de N acumulado.

Quanto ao conteúdo de N na raiz não houve diferença estatística entre as doses de adubações para a cultivar Iraí. As demais cultivares apresentaram o maior acúmulo de N nos caracteres avaliados na maior dose de P (N2P2 e N1P2), assim, os efeitos das doses de P foram mais intensos que os efeitos das doses de N, confirmando a sua importância no processo de assimilação e utilização do N, além de estimular a fixação biológica de N, uma vez que houve uma maior interferência deste nutriente na quantidade de N encontrada nos tecidos vegetais do feijoeiro. As plantas que receberam menor dose de P apresentaram um menor acúmulo de N, no estágio de início de formação das vagens.

Durante o período de início de formação das vagens, as cultivares Manteigão, Carioca, ICA Pijao e Ouro Negro apresentaram maior conteúdo de N nas folhas, já a cultivar Iraí apresentou o menor conteúdo de N nas folhas, diferenciando estatisticamente das demais cultivares. A cultivar Iraí teve o menor conteúdo de N no caule e o maior conteúdo foi alcançado pelos cultivares ICA Pijao e Carioca. A cultivar ICA Pijao apresentou o maior conteúdo de N na raiz, e o menor conteúdo foi alcançado pelos cultivares Iraí e Manteigão.

As cultivares ICA Pijao, Manteigão, Carioca e Ouro Negro apresentaram conteúdos de N na parte aérea significativamente superiores ao conteúdo apresentado pela Iraí, demonstrando que, cultivar de hábito de crescimento determinado têm um menor acúmulo de N na parte aérea em relação a cultivares com outros hábito de crescimento.

As plantas de feijoeiro acumularam nas folhas 437,7 mg de N planta⁻¹, no caule, e raiz acumularam 98,8 e 95,75 mg N planta⁻¹ respectivamente, ou seja, elevadas quantidades de N são acumuladas pela cultura por meio principalmente das folhas verdes. Cerca de 69,26% da quantidade de N contida na massa seca total correspondia as folhas verdes, 15,58% ao caule e 15,15% a raiz.

4.5.2.7 Teor e conteúdo de fósforo no início de formação das vagens

No estágio de início de formação das vagens, foram encontradas diferenças significativas entre as cultivares e os tratamentos de adubação para todos os caracteres associados ao teor e conteúdo de P na planta, com exceção do conteúdo de P no caule e do teor de P na folha quanto à cultivar (Tabela 29, Anexo).

Desdobrando os 4 tratamentos de adubação, os efeitos do N, do P e da interação N x P, foram significativos para todos os caracteres avaliados (Tabela 29, Anexo), com exceção da interação N x P quanto ao conteúdo de P na parte aérea e do efeito do N quanto ao conteúdo de P na folha.

O teor de P na folha variou com as doses de N e P aplicadas ao solo, na dose N1P2 as cultivares apresentaram maior teor de P nas folhas, as demais doses não apresentaram diferenças significativas. A cultivar Manteigão não apresentou diferença significativa entre as diferentes doses de adubações quanto ao teor de P nas folhas (Tabela 10).

Nas doses de adubações com alto P (N2P2 e N1P2) as cultivares acumularam mais P nas folhas em comparação as doses de baixo P (N1P1 e N2P1), efeito mais acentuado nas cultivares Iraí, ICA Pijao e Carioca. Os tratamentos com alto P não diferiram entre eles, assim como os tratamentos em baixo P (Tabela 10). Portanto, os efeitos das doses de P foram mais intensos que os efeitos das doses de N para o conteúdo de P nas folhas. A dose N1P2 proporcionou maior conteúdo P na folha para as cultivares ICA Pijao e Carioca (Tabela 10).

Tabela 10. Teor de P na folha e conteúdo de P na folha, caule, raiz e parte aérea de cinco cultivares de feijoeiro crescidas sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, no estágio de início de formação das vagens.

| Tratamento | Iraí | ICA Pijao | Manteigão | Carioca | Ouro Negro | Média |
|---|---------|-----------|-----------|---------|------------|--------|
| Teor de P na folha (mg g ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 1,93 c | 2,41 bc | 2,28 a | 2,73 b | 2,60 ab | 2,39 b |
| N1P2 | 4,76 a | 4,02 a | 2,98 a | 4,40 a | 3,27 a | 3,89 a |
| N2P1 | 2,77 bc | 1,85 c | 2,99 a | 2,70 b | 1,76 b | 2,41 b |
| N2P2 | 3,32 b | 3,38 ab | 2,77 a | 2,78 b | 2,20 ab | 2,88 b |
| Média | 3,20 A | 2,91 A | 2,75 A | 3,15 A | 2,46 A | |
| Conteúdo de P na folha (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 16 b | 24 b | 29 b | 25 b | 29 ab | 25 b |
| N1P2 | 45 a | 58 a | 51 a | 60 a | 42 a | 51 a |
| N2P1 | 25 b | 26 b | 40 ab | 36 b | 23 b | 30 b |
| N2P2 | 46 a | 58 a | 45 a | 53 a | 44 a | 49 a |
| Média | 33 B | 41 AB | 41 AB | 44 A | 35 AB | |
| Conteúdo de P no caule (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 15 b | 13 b | 14 c | 14 c | 9 c | 13 d |
| N1P2 | 21 b | 29 a | 25 ab | 23 b | 20 b | 24 b |
| N2P1 | 18 b | 18 b | 23 b | 17 bc | 16 bc | 18 c |
| N2P2 | 29 a | 31 a | 32 a | 37 a | 32 a | 32 a |
| Média | 21 A | 23 A | 24 A | 23 A | 19 A | |
| Conteúdo de P na parte aérea (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 30 b | 37 b | 43 b | 39 b | 38 b | 37 c |
| N1P2 | 67 a | 86 a | 77 a | 84 a | 62 a | 75 a |
| N2P1 | 43 b | 44 b | 63 a | 53 b | 40 b | 48 b |
| N2P2 | 75 a | 89 a | 77 a | 90 a | 76 a | 81 a |
| Média | 54 B | 64 AB | 65 AB | 66 A | 54 B | |
| Conteúdo de P na raiz (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 10,4 b | 11,2 b | 9,4 b | 9,2 b | 10,8 b | 10,2 b |
| N1P2 | 18,3 a | 26,9 a | 14,3 b | 13,3 b | 19,1 a | 18,4 a |
| N2P1 | 7,7 b | 12,0 b | 12,6 b | 10,6 b | 9,9 b | 10,5 b |
| N2P2 | 17,7 a | 24,0 a | 23,4 a | 21,2 a | 17,8 a | 20,8 a |
| Média | 13,5 B | 18,5 A | 14,9 AB | 13,6 B | 14,4 B | |

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Na maior dose de adubação (N2P2) as plantas apresentaram maior quantidade de P no caule, seguida das doses N1P2, N2P1 e N1P1.

As plantas que armazenaram uma maior quantidade de P na parte aérea foram as submetidas à maior dose de P (N1P2 e N2P2), não diferindo significativamente entre elas, no estágio de início de formação das vagens. Na dose N1P1 as cultivares tiveram menor conteúdo de P na parte aérea, diferindo da dose N2P1 (Tabela 10).

Nas maiores doses de P aplicado ao solo as plantas acumularam maior conteúdo de P nas raízes, e nas menores doses de P, as plantas apresentaram menor quantidade de P. As doses de alto P não diferenciaram entre elas, assim como as doses de baixo P. As cultivares Iraí, ICA Pijao e Ouro Negro acumularam mais P nas raízes quando submetidas ao tratamento N1P2, mas sem apresentarem diferenças significativas entre os tratamentos N2P1 e N2P2. O menor conteúdo de P nas raízes ocorreram nas plantas que receberam o menor suprimento de P no solo, para todos os cultivares avaliados (Tabela 10).

Em relação às cultivares, o maior conteúdo de P na folha foi alcançado pelas cultivares Carioca, Manteigão, ICA Pijao e Ouro Negro, não diferindo significativamente entre elas; já a cultivar Iraí apresentou o menor conteúdo de P nas folhas, no período de início de formação das vagens. As cultivares Carioca, Manteigão e ICA Pijao obtiveram a maior quantidade de P na parte aérea e as cultivares Iraí e Ouro Negro a menor. A cultivar ICA Pijao apresentou o maior conteúdo de P na raiz, seguido da cultivar Manteigão, as demais cultivares não diferenciaram estatisticamente entre elas (Tabela 10).

As plantas de feijoeiro acumularam nas folhas 38,75 mg P planta⁻¹, no caule, e raiz acumularam 21,75 e 14,97 mg P planta⁻¹, respectivamente, ou seja, elevadas quantidades de P são acumuladas pela cultura por meio principalmente das folhas verdes. Cerca de 51,34% da quantidade de P contida na massa seca total correspondia às folhas verdes, 28,81% ao caule e 19,84% à raiz.

4.5.2.8 Produção de grãos

Foram encontradas diferenças significativas entre as cultivares e os tratamentos de adubação quanto à produção de grãos, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 1 grão, índice de colheita aparente e índice de colheita real (Tabela 34, Anexo).

Desdobrando os 4 tratamentos de adubação, os efeitos do N, do P e da interação N x P, foram significativos para todos os caracteres avaliados (Tabela 34, Anexo), com exceção da interação N x P quanto ao número de vagens por planta, massa de 1 grão e massa de parte aérea (com senescentes) e do efeito do N quanto ao número grãos por vagens.

Na maior dose de adubação (N2P2), as cultivares apresentaram maior produção de grãos, seguido da dose N1P2, as doses N2P1 e N1P1 não diferiram entre elas. Os efeitos das doses de P foram mais intensos que os efeitos das doses de N. As plantas que receberam menor dose de P apresentaram menor produção de grãos. A maior produção de grãos foi observado na cultivar ICA Pijao, seguido das cultivares Carioca, Ouro Negro, Iraí e Manteigão, com uma produção média de 33,6, 32,5, 28,1, 21,3 e 20,9 g planta⁻¹, respectivamente (Tabela 11). Carvalho et al. (1995), em experimento em casa de vegetação, observaram um aumento na produção de grãos com o aumento da dose aplicada em diferentes tipos de solo.

Na cultura do feijão, o rendimento de grãos é altamente correlacionado com os componentes da produção, ou seja, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de um grão, e os índices de colheita. Dependendo das condições e do manejo, alguns componentes da produção podem aumentar e outros diminuir, facilitando a manutenção da estabilidade da produtividade de grãos (Costa et al., 1983).

A cultivar com maior área foliar no período de início formação das vagens foi a ICA Pijao (Tabela 8), ela apresentou maior produção de grãos no período de maturação fisiológica. O rendimento de grãos da cultura de feijoeiro depende do índice de área foliar (Jones, 1971).

Em virtude do crescimento da haste principal e dos ramos laterais, quanto maior o crescimento dos ramos maior a área foliar, maior a interceptação de luz e, conseqüentemente, maior produtividade de fitomassa seca e de grãos (Jones, 1971).

As cultivares adubadas com alta dose de P apresentaram maior número de vagens por planta e quando adubadas com baixo P menor número de vagens por planta. A cultivar com maior número de vagens por planta foi a ICA Pijao, seguida das cultivares Carioca e Ouro Negro, e o menor número de vagens por planta foi constatado nas cultivares Manteigão e Iraí (Tabela 11). A cultivar Manteigão não apresentou diferença significativa no número de vagens por planta nas diferentes doses de adubações. Na dose N1P1 a cultivar Iraí obteve menor número de vagens por planta e as demais doses não diferiram entre elas, apresentando maior número de vagens por planta. Efeito favorável da adubação fosfatada sobre o número de vagens por planta do feijoeiro também foi verificado por Zucareli et al. (2003). Segundo Ramalho et al. (1993), o componente com maior participação na produtividade de sementes do feijoeiro e com maior potencial no processo seletivo é o número de vagens por planta.

Altas doses de P aplicado ao solo aumentaram o número de grãos por vagem (Tabela 11). A dose N2P2 proporcionou maior número de grãos por vagem e o menor número de grãos por vagem foi na dose N2P1 para a média das cultivares avaliadas. A cultivar Iraí não apresentou diferença significativa no número de grãos por vagens nas diferentes doses de adubação. Na dose N2P1 a cultivar Manteigão obteve menor número de grãos por vagens e as demais doses não diferiram entre elas, apresentando maior número de grãos por vagens. A cultivar ICA Pijao obteve o maior número de grãos por vagem, seguido da cultivar Carioca, e a cultivar Iraí o menor número de grãos por vagem.

As cultivares apresentaram maior massa de 1 grão quando adubadas com alta dose de P (N2P2 e N1P2) e menor massa em baixas doses de P (N1P1 e N2P1), assim, os efeitos da doses de P foram mais intensos que os efeitos das doses de N na massa de 1 grão (Tabela 11). Nas maiores doses de P (N2P2 e N1P2) foram alcançadas as maiores massa de 1 grão (303 e 305 mg, respectivamente). As doses de adubações não diferiram estatisticamente quanto a massa de 1 grão para a cultivar Ouro Negro. Na cultivar ICA Pijao verificou-se maior produção de grãos, porém, foi a que apresentou menor massa de 1 grão. A maior massa de 1 grão foi alcançada nas cultivares Iraí e Manteigão. Vidal & Junqueira Neto (1982) obtiveram aumento na massa de 100 sementes, em dois cultivares de feijão, em função da adubação fosfatada.

Nas maiores doses de P (N2P2 e N1P2), as plantas apresentaram maiores índices de colheita aparente e real, diferindo das demais doses. Observa-se na dose de adubação N2P1 um menor índice de colheita aparente em relação a dose N1P1. O índice de colheita real não apresentou diferença significativa nas doses com baixo P, mas houve uma tendência de menor índice de colheita real na dose N2P1. A cultivar Manteigão apresentou menores índices de colheita aparente e real na dose N2P1 e as demais doses não diferiram entre elas, apresentando maiores índices (Tabela 11).

As cultivares com maiores índices de colheita real e aparente foram a Ouro Negro e Carioca, seguidas das cultivares ICA Pijao e Iraí. Portanto, a cultivar Ouro Negro é mais eficiente na capacidade de alocação de biomassa nos grãos. A cultivar Manteigão teve o menor índice de colheita real e aparente, diferindo significativamente das demais cultivares (Tabela 11), ratificando que foi a cultivar com pior desempenho na translocação de fotossintatos.

Tabela 11. Produção de grãos, componentes de produção e índices de colheita real e aparente de cinco cultivares de feijoeiro crescidas sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo.

| Tratamento | Iraí | ICA Pijao | Manteigão | Carioca | Ouro Negro | Média |
|---|---------|-----------|-----------|---------|------------|--------|
| Produção de grãos (g planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 12,4 c | 19,1 b | 15,8 b | 16,3 c | 17,5 b | 16,2 c |
| N1P2 | 24,0 ab | 46,6 a | 26,8 a | 41,7 b | 37,5 a | 35,3 b |
| N2P1 | 18,6 bc | 18,3 b | 13,6 b | 20,6 c | 16,6 b | 17,5 c |
| N2P2 | 30,1 a | 50,5 a | 27,4 a | 51,3 a | 40,9 a | 40,0 a |
| Média | 21,3 C | 33,6 A | 20,9 C | 32,5 AB | 28,1 B | |
| Número de vagens por planta | | | | | | |
| N1P1 | 12 b | 21 b | 12 a | 16 b | 20 b | 16 b |
| N1P2 | 19 a | 37 a | 16 a | 30 a | 30 a | 26 a |
| N2P1 | 18 a | 26 b | 11 a | 22 b | 19 b | 19 b |
| N2P2 | 21 a | 39 a | 16 a | 35 a | 33 a | 29 a |
| Média | 17 C | 31 A | 14 C | 26 B | 25 B | |
| Número de grãos por vagem | | | | | | |
| N1P1 | 3,2 a | 5,2 b | 4,6 a | 4,8 ab | 4,1 b | 4,4 bc |
| N1P2 | 3,6 a | 5,5 ab | 4,7 a | 4,6 b | 5,2 a | 4,7 ab |
| N2P1 | 3,3 a | 4,5 c | 3,7 b | 4,8 ab | 4,1 b | 4,1 c |
| N2P2 | 3,6 a | 6,0 a | 4,7 a | 5,4 a | 5,4 a | 5,0 a |
| Média | 3,4 D | 5,3 A | 4,4 C | 4,9 AB | 4,7 BC | |
| Massa de 1 grão (mg) | | | | | | |
| N1P1 | 358 b | 184 b | 326 b | 221 b | 238 a | 265 b |
| N1P2 | 375 ab | 239 a | 380 a | 289 a | 248 a | 306 a |
| N2P1 | 351 b | 164 b | 339 b | 204 b | 228 a | 257 b |
| N2P2 | 400 a | 218 a | 373 a | 279 a | 247 a | 303 a |
| Média | 371 A | 201 C | 354 A | 248 B | 240 B | |
| Índice de colheita aparente (mg g ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 536 ab | 530 b | 545 a | 541 b | 573 b | 545 b |
| N1P2 | 588 a | 609 a | 562 a | 621 a | 643 a | 605 a |
| N2P1 | 523 b | 468 c | 445 b | 537 b | 585 b | 512 c |
| N2P2 | 560 ab | 594 a | 542 a | 650 a | 662 a | 602 a |
| Média | 552 B | 550 B | 524 B | 587 A | 616 A | |
| Índice de colheita real (mg g ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 421 b | 405 b | 421 a | 405 b | 447 b | 420 b |
| N1P2 | 484 a | 520 a | 440 a | 521 a | 546 a | 502 a |
| N2P1 | 414 b | 361 b | 335 b | 423 b | 439 b | 394 b |
| N2P2 | 466 ab | 509 a | 429 a | 541 a | 542 a | 497 a |
| Média | 446 B | 449 B | 406 C | 473 AB | 494 A | |

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

O índice de colheita aparente é geralmente mais elevado do que o índice de colheita real, uma vez que as folhas senescentes não são consideradas nesta medida, pois elas são perdidas antes da colheita. O índice de colheita aparente apresentou resultados semelhantes ao índice de colheita real, isto é, as folhas senescentes não causaram diferenças entre esses índices. Desta forma, na cultura do feijoeiro pode-se usar o índice de colheita aparente para expressar a capacidade de alocação de biomassa nos grãos de um determinado genótipo.

Araújo et al. (2012) verificaram que as cultivares Ouro Negro e Carioca obtiveram o maior índice de colheita aparente, corroborando com as observações feitas por Araújo e Teixeira (2003), onde as cultivares de arquitetura próstata (Tipo III), geralmente possuem caule de massa inferior, e podem apresentar maior índice de colheita aparente.

Desta forma pode-se concluir que, houve variabilidade genotípica para a translocação de fotossintatos para os grãos. Nas maiores doses de P foram observados maiores índices de colheita real e aparente. As cultivares de hábito de crescimento do tipo III, Carioca e Ouro Negro apresentaram maior índice de colheita aparente em comparação com cultivares dos tipos I e II. Segundo Araújo & Teixeira (2003) e Araújo et al. (2012), cultivares de hábito de crescimento indeterminado arbustivo, tipo II, apresentam um menor índice de colheita aparente do que as cultivares de hábito de crescimento indeterminado prostrado, tipo III, em virtude da sua maior massa de caule na maturação, corroborando com os resultados apresentados.

4.5.2.9 Teor e conteúdo de nitrogênio na maturidade fisiológica

No estágio de maturidade fisiológica, não foram observadas diferenças significativas dos tratamentos de adubação e das cultivares quanto ao teor de N grão. Os tratamentos de adubações e as cultivares apresentaram diferenças significativas quanto ao conteúdo de N no caule, vagem, grão, raiz, nas folhas senescentes e do índice de colheita de N aparente e real (Figura 31, Anexo).

Desdobrando a soma dos quadrados dos 4 tratamentos de adubação, os efeitos do N e do P, foram significativos para todos os caracteres avaliados (Tabela 30, Anexo), com exceção do efeito do N quanto ao teor de N no grão e ao índice de colheita de N real. O efeito da interação N x P foi significativo apenas para o conteúdo de N na raiz.

Em alto suprimento de P (N2P2 e N1P2), as cultivares alocaram maiores quantidade de N no caule, vagem, grão, raiz e nas folhas senescentes, em comparação com as doses de baixo P (N1P1 e N2P1). Os tratamentos com alto P não diferiram entre eles. O efeito do P foi mais intenso do que o efeito do N, isto é, nas maiores doses de P as plantas acumularam mais N, independentemente da dose de N, provavelmente devido ao estímulo da fixação biológica de N na presença de P na dose N1P2. As doses de adubação (N1P1 e N2P1), não diferenciaram entre elas quanto ao conteúdo de N no caule, vagem, grão, folhas senescentes e índice de colheita de N aparente e real. O conteúdo de N na raiz não apresentou diferença significativa em três níveis de adubações, apenas na dose N1P1, as cultivares apresentaram um menor conteúdo de N na raiz (Tabela 12).

Nas doses de adubações N2P2, N1P2 e N1P1 as cultivares apresentaram maior índice de colheita aparente de N, não havendo diferenças significativas nesses tratamentos. Na dose N2P1 as plantas apresentaram menor índice de colheita aparente de N, mas não diferindo estatisticamente da dose N1P1. O maior índice de colheita real de N foi observado nas cultivares submetidas a doses altas de P, sendo que estes tratamentos não diferiram entre eles. Nas doses de baixo P verificou-se menor índice de colheita real de N.

Com a ontogenia a quantidade de N alocado no caule e na raiz no período de maturidade fisiológica foi menor em comparação ao período de início de formação das vagens, com exceção do cultivar Manteigão que apresentou maior conteúdo de N no caule e na raiz nos níveis de adubação N1P2, N2P1 e N2P2, confirmando que a translocação de N para os órgãos reprodutivos não foi eficiente nesta cultivar, provavelmente, devido a sua precocidade. A quantidade de N nas folhas verdes, raiz e caule foi diminuindo, enquanto que nas folhas senescentes aumentando. Isto demonstra o processo de translocação de N das folhas, raízes e caule para as vagens e grãos. De acordo com Haag et al. (1967), teores de N e P nos caules e raízes decrescem após o florescimento e início de formação das vagens. Resultados semelhantes foram observados neste trabalho e por Araújo et al. (2012).

Tabela 12. Teor de N no grão e conteúdo de N no caule, grão, vagem e raiz e índice de colheita de N real e aparente, de cinco cultivares de feijoeiro, no estágio de maturidade fisiológica (médias de quatro repetições).

| Tratamento | Iraí | ICA Pijao | Manteigão | Carioca | Ouro Negro | Média |
|---|--------|-----------|-----------|---------|------------|--------|
| Teor de N no grão (mg g ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 29,2 | 32,3 | 30,1 | 30,1 | 32,4 | 30,8 a |
| N1P2 | 29,3 | 33,9 | 31,5 | 32,3 | 33,3 | 32,1 a |
| N2P1 | 29,5 | 28,9 | 32,5 | 32,3 | 32,8 | 31,2 a |
| N2P2 | 33,3 | 30,4 | 31,7 | 33,5 | 30,2 | 31,8 a |
| Média | 30,3 A | 31,4 A | 31,4 A | 32,0 A | 32,2 A | |
| Conteúdo de N no caule (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 34 b | 65 a | 41 c | 61 b | 30 a | 46 b |
| N1P2 | 40 b | 85 a | 113 ab | 101 a | 49 a | 77 a |
| N2P1 | 40 b | 57 a | 86 a | 51 b | 40 a | 55 b |
| N2P2 | 108 a | 81 a | 131 a | 115 a | 39 a | 95 a |
| Média | 55 BC | 72 AB | 93 A | 82 A | 39 C | |
| Conteúdo de N na vagem (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 20 c | 29 b | 27 a | 41 c | 45 b | 32 b |
| N1P2 | 39 bc | 63 a | 41 a | 63 b | 69 a | 55 a |
| N2P1 | 47 b | 43 ab | 22 a | 44 bc | 40 b | 39 b |
| N2P2 | 77 a | 53 a | 32 a | 88 a | 50 ab | 60 a |
| Média | 46 A | 47 A | 31 B | 59 A | 51 A | |
| Conteúdo de N no grão (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 314 c | 537 b | 421 b | 427 c | 493 b | 438 b |
| N1P2 | 639 ab | 1378 a | 723 a | 1171 b | 1092 a | 1000 a |
| N2P1 | 465 bc | 467 b | 389 b | 581 c | 466 b | 474 b |
| N2P2 | 886 a | 1336 a | 750 a | 1494 a | 1074 a | 1108 a |
| Média | 576 B | 929 A | 571 B | 918 A | 781 A | |
| Conteúdo de N na raiz (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 37 a | 63 b | 53 b | 48 a | 56 b | 51 b |
| N1P2 | 46 a | 92 ab | 121 a | 82 a | 108 a | 89 a |
| N2P1 | 68 a | 99 ab | 94 a | 59 a | 69 ab | 78 a |
| N2P2 | 65 a | 117 a | 135 a | 71 a | 64 b | 90 a |
| Média | 54 C | 93 AB | 101 A | 65 BC | 74 BC | |
| Conteúdo de N nas folhas senescentes (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 105 a | 179 a | 147 c | 161 b | 114 b | 141 c |
| N1P2 | 149 a | 141 a | 269 a | 206 b | 174 ab | 188 ab |
| N2P1 | 150 a | 157 a | 178 bc | 159 b | 138 b | 156 bc |
| N2P2 | 155 a | 187 a | 237 ab | 284 a | 222 a | 217 a |
| Média | 140 C | 166 BC | 208 A | 202 AB | 162 BC | |
| Índice de colheita de N aparente (mg g ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 852 a | 854 ab | 853 a | 805 b | 866 a | 846 ab |
| N1P2 | 871 a | 904 a | 826 ab | 877 a | 903 a | 876 a |
| N2P1 | 844 a | 817 b | 769 b | 856 ab | 862 a | 829 b |
| N2P2 | 811 a | 908 a | 822 ab | 880 a | 924 a | 869 a |
| Média | 844 BC | 871 AB | 818 C | 855 BC | 889 A | |
| Índice de colheita de N real (mg g ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 661 a | 665 b | 650 a | 617 b | 723 ab | 663 b |
| N1P2 | 717 a | 832 a | 631 ab | 760 a | 788 a | 745 a |
| N2P1 | 662 a | 635 b | 559 b | 693 ab | 694 b | 649 b |
| N2P2 | 706 a | 805 a | 652 a | 754 b | 776 ab | 739 a |
| Média | 687 B | 734 AB | 623 C | 706 AB | 745 A | |

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Quanto ao conteúdo de N acumulado nas folhas senescentes durante o ciclo da cultura, observa-se que as cultivares Iraí, Ouro Negro e ICA Pijao diferiram estatisticamente das demais cultivares, apresentando menor conteúdo de N nas folhas senescentes. As cultivares Manteigão e Carioca não apresentaram diferenças significativas entre elas, com maior acúmulo de N nas folhas senescente durante o ciclo da cultura, confirmando que a translocação de N para os órgãos reprodutivos foi menor quando comparada com as outras cultivares, provavelmente, devido a precocidade da cultivar Manteigão e também pelo fato das cultivares Manteigão e Carioca apresentarem maior conteúdo de N na folha no período de início de formação das vagens (Tabela 10). A cultivar que acumulou maior conteúdo de N no caule, raiz e nas folhas senescentes foi a Manteigão, entretanto, ela apresentou o menor conteúdo de N no grão, ratificando que esta cultivar não é eficiente na translocação de N para os órgãos reprodutivos.

O menor conteúdo de N no caule, raiz e nas folhas senescentes foram alcançado pelas cultivares Iraí e Ouro Negro. A cultivar Ouro Negro obteve o maior conteúdo de N nos grãos, assim como as cultivares ICA Pijao e Carioca, não diferindo entre elas. Desta forma, a cultivar Ouro Negro foi eficiente na translocação de N para os grãos.

A maior quantidade de N na raiz foi observada nas cultivares de hábito de crescimento tipo II, Manteigão e ICA Pijao, seguido das cultivares do tipo III (Carioca e Ouro Negro). A cultivar Iraí acumulou a menor quantidade de N na raiz (Tabela 12). As cultivares Manteigão e Iraí apresentaram o menor conteúdo de N no grão. O maior conteúdo de N no grão foi alcançado pelas cultivares ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro.

As cultivares Ouro Negro e ICA Pijao apresentaram os maiores valores dos índices de colheita de N real e aparente, já os menores valores foram alcançados pela cultivar Manteigão, portanto, a cultivar Ouro Negro e ICA Pijao foram mais eficientes na translocação de N durante a formação das sementes de feijão.

Os índices de colheita de N real e aparente apresentaram valores médios de 699 e 855 mg g⁻¹, respectivamente. Portanto, o índice de colheita de N foi bem superior ao índice de colheita real e aparente (566 e 453 mg g⁻¹, Tabela 13), indicando que a translocação de N para formação dos grãos é mais intensa que a própria translocação de fotoassimilados, corroborando com os resultados de Araújo & Teixeira (2003).

O índice de colheita de N aparente é geralmente mais elevado do que o índice de colheita de N real, uma vez que as folhas senescentes não são consideradas nesta medida, pois elas são perdidas antes da colheita. O índice de colheita de N aparente apresentou resultados semelhantes ao índice de colheita de N real, isto é, as folhas senescentes não causaram diferenças entre esses índices, apresentaram a mesma tendência. Desta forma, na cultura do feijoeiro pode-se usar o índice de colheita de N aparente para expressar a capacidade de translocação de N para formação dos grãos de um determinado genótipo.

A intensa força do dreno das sementes de feijoeiro para o N, esta vinculada, provavelmente, sob estrito controle genético, que reduz a plasticidade do feijoeiro em termos de partição destes nutrientes entre a biomassa e os grãos (Araújo & Teixeira, 2012). Entretanto, Wolyn et al. (1991) observaram pequena variabilidade entre cultivares e progênies de feijoeiro nos padrões de distribuição de N na planta, indicando potencial limitado de seleção para o aumento da remobilização de N para os grãos.

As cultivares de feijoeiro acumularam nos grãos 755 mg N planta⁻¹, no caule, vagem, raiz e nas folhas senescentes acumularam 68, 46, 77, 175 mg N planta⁻¹ respectivamente (Tabela 10), ou seja, elevadas quantidades de N são exportadas pela cultura por meio dos grãos colhidos. Cerca de 67,35% da quantidade de N contida na massa seca total correspondia aos grãos, 6% ao caule, 4,1% a vagem, 6,8% a raiz e 15,61% as folhas senescentes.

4.5.2.10 Teor e conteúdo de fósforo na maturidade fisiológica

Na maturação de grãos, verificaram-se diferenças significativas entre as cultivares e os tratamentos de adubação para todos os caracteres associados ao teor e conteúdo de P na planta (Tabela 31, Anexo).

Desdobrando os 4 tratamentos de adubação, os efeitos do N e do P, foram significativos para todos os caracteres avaliados (Tabela 31, Anexo), com exceção do efeito do N quanto ao conteúdo de P em folhas senescentes. O efeito da interação N x P foi significativo apenas para o teor de P no grão e no conteúdo de P na raiz.

Em altas doses de P (N2P2 e N1P2), as plantas apresentaram maior teor de P nos grãos; as doses de alto P não diferenciaram entre elas, assim como as doses de baixo P. As cultivares Iraí, Ouro Negro e Manteigão não apresentaram diferenças estatísticas entre eles quanto ao teor de P nos grãos, com maior teor P nestas cultivares (Tabela 13).

Quando as plantas foram submetidas a altas doses de P (N2P2 e N1P2), verifica-se maior conteúdo de P nos caules, vagens, raízes, grãos, parte aérea e folhas senescentes. Essas doses não apresentaram diferenças estatísticas quando ao conteúdo de P. As doses de baixo P também não apresentaram diferenças significativas, proporcionando menor conteúdo de P nos caules, vagens, raízes, grãos, parte aérea e folhas senescentes, portanto, os efeitos das doses de P foram mais intensos que os efeitos das doses de N, efeito mais acentuado nos grãos e nas folhas senescentes (Tabela 13).

Nas doses de adubações de alto P as cultivares apresentaram maior índice de colheita aparente de P, não havendo diferenças significativas nesses tratamentos, sendo que as doses N2P2 e N1P1 não diferiram entre elas. Na dose N2P1 as plantas apresentaram menor índice de colheita aparente de P, mas não diferindo estatisticamente da dose N1P1. O maior índice de colheita real de P foi nas cultivares submetidas a doses de alto P, sendo que os tratamentos não diferiram entre eles. Nas doses de baixo P verificou-se menor índice de colheita real de P.

As cultivares Manteigão e Carioca apresentaram maior conteúdo de P no caule, já o menor conteúdo foi alcançado pelas cultivares Ouro Negro e Iraí. O maior conteúdo de P na vagem foi alcançado pelas cultivares Carioca, ICA Pijao, Ouro Negro e Iraí. A cultivar Manteigão apresentou o menor conteúdo de P na vagem. No grão, o maior conteúdo foi alcançado pelas cultivares Ouro Negro, Carioca e ICA Pijao, seguido da cultivar Iraí e o menor conteúdo de P foi observado na cultivar Manteigão (Tabela 13).

O maior conteúdo de P na parte aérea foi alcançado pelas cultivares Ouro Negro e Carioca e menor conteúdo foi obtido para as cultivares Iraí e Manteigão. Na raiz, o maior conteúdo de P foi revelado na cultivar Manteigão, seguido das cultivares Carioca, ICA Pijao e Iraí o menor foi para a cultivar Ouro Negro.

Com a ontogenia a quantidade de P alocado no caule e na raiz no período de maturidade fisiológica foi diminuiu e quantidade de P nos grãos e nas folhas senescente aumentou em comparação ao estágio de início de formação das vagens.

A cultivar que acumulou maior conteúdo de P no caule e raiz no estágio de maturidade fisiológica foi a Manteigão, entretanto, ela apresentou o menor conteúdo de P no grão, confirmando que esta cultivar não é eficiente na translocação de P dos órgãos vegetativos para os órgãos reprodutivos. Isto se confirma pois foi a cultivar que teve o maior conteúdo de P nas folhas senescentes (Tabela 13), isto é, a translocação de P não foi eficiente. O menor conteúdo de P no caule, na raiz e nas folhas senescentes foi alcançado pela cultivar Ouro Negro, e também obteve o maior conteúdo de P nos grãos. Desta forma, a cultivar Ouro Negro foi a mais eficiente na translocação de P para os grãos.

Tabela 13. Teor de P no grão e conteúdo de P no caule, grão, vagem e raiz e índice de colheita de N real e aparente, de cinco cultivares de feijoeiro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, na maturação de grãos (médias de quatro repetições).

| Tratamento | Iraí | ICA Pijao | Manteigão | Carioca | Ouro Negro | Média |
|---|---------|-----------|-----------|---------|------------|--------|
| Teor de P no grão (mg g ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 4,28 bc | 3,30 b | 4,00 c | 3,92 ab | 3,98 b | 3,89 b |
| N1P2 | 6,32 a | 4,26 a | 5,95 a | 4,54 a | 5,52 a | 5,32 a |
| N2P1 | 4,20 c | 3,92 ab | 3,63 c | 3,34 b | 4,43 b | 3,90 b |
| N2P2 | 5,13 b | 3,93 ab | 5,04 b | 4,18 ab | 5,90 a | 4,83 a |
| Média | 4,98 A | 3,85 B | 4,65 A | 3,99 B | 4,96 A | |
| Conteúdo de P no caule (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 6,4 b | 9,9 b | 9,2 b | 9,5 c | 5,8 a | 8,1 b |
| N1P2 | 11,6 ab | 13,3 b | 24,9 a | 24,4 a | 10,1 a | 16,9 a |
| N2P1 | 8,9 b | 11,7 b | 19,1 a | 8,7 c | 5,2 a | 10,7 b |
| N2P2 | 18,0 a | 21,8 a | 23,7 a | 16,6 b | 11,4 a | 18,3 a |
| Média | 11,2 BC | 14,2 B | 19,2 A | 14,8 AB | 8,1 C | |
| Conteúdo de P na vagem (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 3,6 c | 4,5 c | 4,0 b | 4,5 b | 5,0 b | 4,3 b |
| N1P2 | 5,4 bc | 6,9 b | 6,2 a | 8,7 a | 7,2 a | 6,9 a |
| N2P1 | 6,6 ab | 5,9 bc | 3,8 b | 5,2 b | 4,3 b | 5,1 b |
| N2P2 | 8,2 a | 9,0 a | 4,4 ab | 9,9 a | 7,9 a | 7,9 a |
| Média | 5,9 AB | 6,6 A | 4,6 B | 7,1 A | 6,1 A | |
| Conteúdo de P no grão (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 46 b | 55 b | 53 b | 55 b | 60 b | 54 b |
| N1P2 | 131 a | 166 a | 137 a | 164 a | 179 a | 155 a |
| N2P1 | 66 b | 62 b | 43 b | 59 b | 63 b | 59 b |
| N2P2 | 135 a | 172 a | 119 a | 186 a | 208 a | 164 a |
| Média | 95 BC | 114 AB | 88 C | 116 AB | 128 A | |
| Conteúdo de P na parte aérea (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 56 b | 70 b | 67 b | 69 b | 71 b | 66 b |
| N1P2 | 148 a | 186 a | 168 a | 197 a | 196 a | 179 a |
| N2P1 | 82 b | 80 b | 65 b | 73 b | 72 b | 74 b |
| N2P2 | 161 a | 203 a | 148 a | 212 a | 228 a | 190 a |
| Média | 112 B | 135 AB | 112 B | 138 A | 142 A | |

Tabela 13. Teor de P no grão e conteúdo de P no caule, grão, vagem e raiz e índice de colheita de N real e aparente, de cinco cultivares de feijoeiro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, na maturação de grãos (médias de quatro repetições).

| Tratamento | Iraí | ICA Pijao | Manteigão | Carioca | Ouro Negro | Média |
|--|---------|-----------|-----------|---------|------------|--------|
| Conteúdo de P nas folhas senescentes (mg/planta) | | | | | | |
| N1P1 | 11,2 b | 17,0 a | 15,1 b | 14,5 b | 9,9 c | 13,5 b |
| N1P2 | 20,8 a | 19,2 a | 37,6 a | 24,9 a | 17,1 ab | 23,9 a |
| N2P1 | 13,8 b | 16,4 a | 17,1 b | 13,8 b | 12,7 bc | 14,8 b |
| N2P2 | 23,1 a | 20,4 a | 31,7 a | 27,1 a | 20,9 a | 24,6 a |
| Média | 17,2 BC | 18,3 BC | 25,3 A | 20,1 B | 15,1 C | |
| Conteúdo de P na raiz (mg planta ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 11,2 b | 17,0 a | 15,1 b | 14,5 b | 9,9 c | 13,5 b |
| N1P2 | 20,8 a | 19,2 a | 37,6 a | 24,9 a | 17,1 ab | 23,9 a |
| N2P1 | 13,8 b | 16,4 a | 17,1 b | 13,8 b | 12,7 bc | 14,8 b |
| N2P2 | 23,1 a | 20,4 a | 31,7 a | 27,1 a | 20,9 a | 24,6 a |
| Média | 17,2 BC | 18,3 BC | 25,3 A | 20,1 B | 15,1 C | |
| Índice de colheita de P aparente (mg g ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 817 a | 784 b | 809 a | 797 b | 849 a | 811 bc |
| N1P2 | 871 a | 893 a | 816 a | 832 ab | 911 a | 865 a |
| N2P1 | 809 a | 781 b | 638 b | 808 ab | 874 a | 782 c |
| N2P2 | 806 a | 845 ab | 807 a | 875 a | 913 a | 849 ab |
| Média | 826 B | 825 B | 768 C | 828 B | 887 A | |
| Índice de colheita de P real (mg g ⁻¹) | | | | | | |
| N1P1 | 683 a | 628 b | 655 a | 661 b | 747 b | 674 b |
| N1P2 | 762 a | 810 a | 668 a | 739 ab | 838 a | 763 a |
| N2P1 | 691 a | 647 b | 505 b | 679 b | 749 b | 654 b |
| N2P2 | 705 a | 767 a | 664 a | 776 a | 836 a | 749 a |
| Média | 710 B | 713 B | 623 C | 713 B | 792 A | |

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Os índices de colheita de P real e aparente apresentaram valores médios de 710 e 826 mg g⁻¹, respectivamente. Portanto, o índice de colheita de P foi bem superior ao índice de colheita real e aparente (566 e 453 mg g⁻¹, Tabela 13) indicando que a translocação de P para formação dos grãos é mais intensa que a própria translocação de fotoassimilados, corroborando com os resultados apresentados por Araújo & Teixeira, (2003).

A cultivar Ouro Negro apresentou altos valores dos índices de colheita de P real e aparente (792 e 887 mg g⁻¹, respectivamente), já os menores valores foram apresentados pela cultivar Manteigão (623 e 766 mg g⁻¹), portanto a cultivar Ouro Negro é mais eficiente na translocação de P durante a formação das sementes de feijão (Tabela 13).

O índice de colheita de P aparente é geralmente mais elevado do que o índice de colheita de P real, uma vez que as folhas senescentes não são consideradas nesta medida, pois

elas são perdidas antes da colheita. O índice de colheita de P aparente apresentou resultados semelhantes ao índice de colheita de P real, isto é, as folhas senescentes não causaram diferenças entre esses índices, apresentando a mesma tendência. Desta forma, na cultura do feijoeiro pode-se usar o índice de colheita de P aparente para expressar a capacidade de translocação de N para formação dos grãos de um determinado genótipo.

A cultivar Ouro Negro apresentou maior acúmulo de biomassa na parte aérea, maior índices de colheita real e aparente de biomassa e de N e P. Segundo Yan & Wallace (1995), a biomassa de parte aérea, o índice de colheita e os dias para maturação constituem os três componentes fisiológicos com maior influência na produção de grãos de feijão. A seleção de genótipos de feijoeiro para maior rendimento de grãos pode resultar em maiores índices de colheita de biomassa e de N, assim como em maiores quantidades de nutrientes nos grãos e menores teores de N e P nos grãos (Araújo et al., 2012). Portanto, a cultivar Ouro Negro é a mais eficiente na translocação de nutrientes, resultando em uma alta produção de grãos.

As plantas de feijoeiro, no período de maturidade fisiológica, acumularam nos grãos 108 mg P planta⁻¹, no caule, vagem, raiz e nas folhas senescentes acumularam 13,5, 6,5, 7,7, 19,2 mg P planta⁻¹, respectivamente (Tabela 13), ou seja, elevadas quantidades de P são exportadas pela cultura por meio dos grãos colhidos. Cerca de 69,71% da quantidade de P contida na massa seca total correspondia ao grãos, 8,7% ao caule, 4,1% a vagem, 4,98% a raiz e 12,39% as folhas senescentes.

Em experimento de campo com sete cultivares de feijoeiro, Araújo et al. (2012) encontraram que as quantidades de biomassa, N e P depositadas pelas folhas senescentes durante o ciclo de crescimento atingiu valores de 96,4, 1,94 e 0,15 g m⁻², respectivamente. A cultivar Ouro Negro apresentou a maior deposição de massa, N e P pelas folhas senescentes somados em todo o ciclo de crescimento. Em média, esses valores de biomassa, N e P depositadas pelas folhas senescentes durante o ciclo de crescimento corresponderam, respectivamente, a 29%, 28% e 19% da acumulação total pela cultura na maturação dos grãos (Araújo et al., 2012).

4.5.2.11 Acumulação de nitrogênio e fósforo nas folhas senescentes

Foram encontradas diferenças significativas entre as cultivares e os tratamentos de adubação quanto à acumulação de N e P nas folhas senescentes em cinco semanas de avaliações, após a floração (Tabelas 32 e 33, Anexo).

Com a ontogenia a quantidade de N e P nas folhas senescentes foi aumentando até a quarta semana após a floração para a média das cultivares avaliadas (Figura 10 e 11). A quantidade de N e P nas primeiras semanas após a floração é baixa devido à pequena massa de folhas senescentes (Figura 9) e à atividade metabólica nesse período, pois ainda há formação de novas folhas e flores.

A cultivar Manteigão apresentou aumento na quantidade de N e P nas folhas senescentes até a quinta semana após a floração (Figura 10 e 11), provavelmente, devido a sua precocidade não houve tempo de ocorrer a translocação de N e P das folhas para os grãos.

As cultivares Iraí, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro apresentaram uma queda na quantidade de N e P nas folhas senescentes no final de seu desenvolvimento, (Figura 10 e 11), para atender a demanda pelo nutriente nas vagens e grãos.

A queda na quantidade de N e P nas folhas senescentes foram mais acentuadas nas cultivares ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, provavelmente essas cultivares são mais eficientes na translocação de N e P para os grãos. A cultivar Ouro Negro apresentou a maior queda no conteúdo de N e P das folhas senescentes na quarta semana após a floração, e na quinta semana para as cultivares Carioca, ICA Pijao e Iraí (Figura 10 e 11).

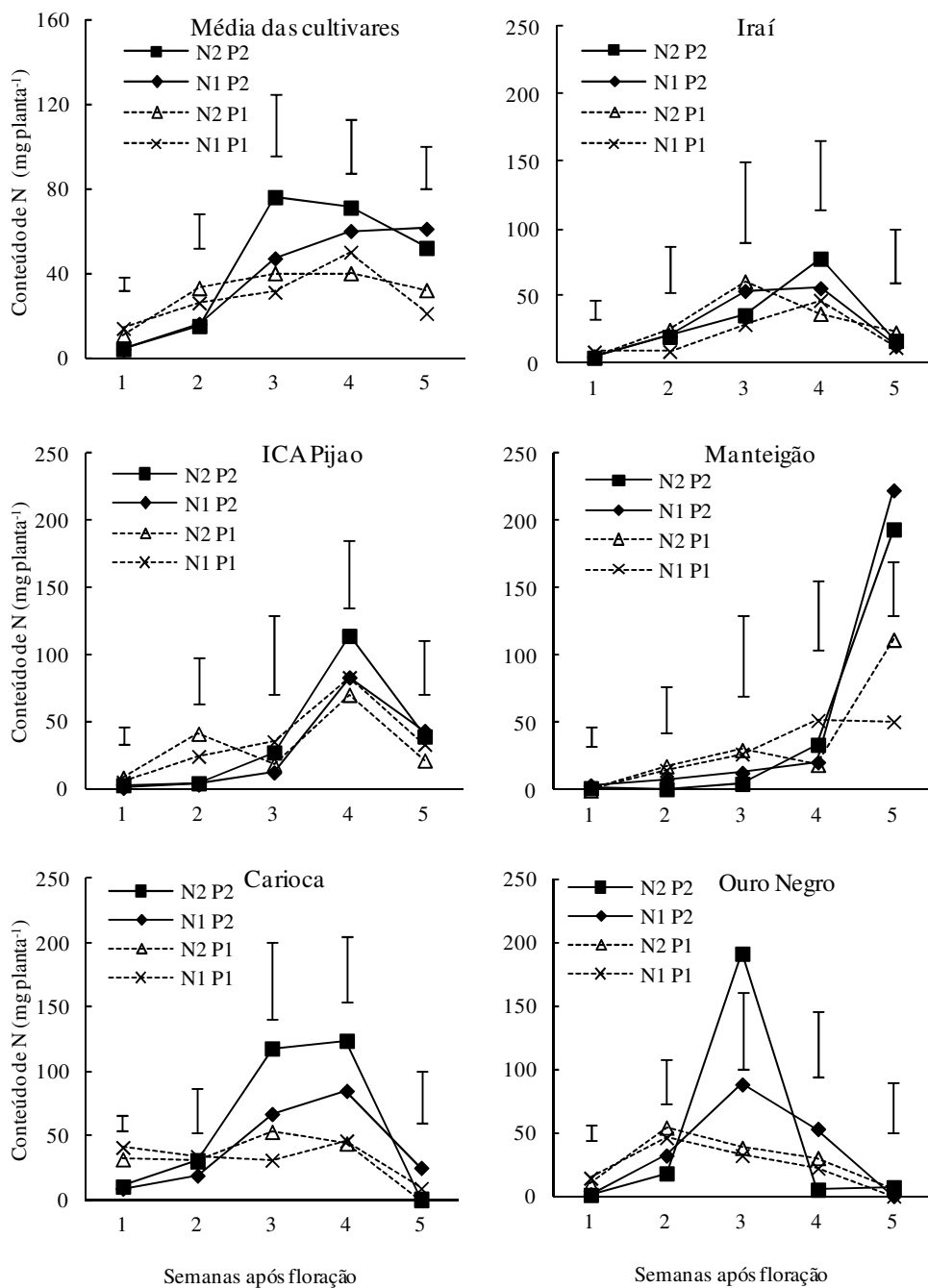


Figura 10. Conteúdo de N em folhas senescentes das cultivares de feijoeiro Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, nas cinco semanas após floração até a maturação dos grãos; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época.

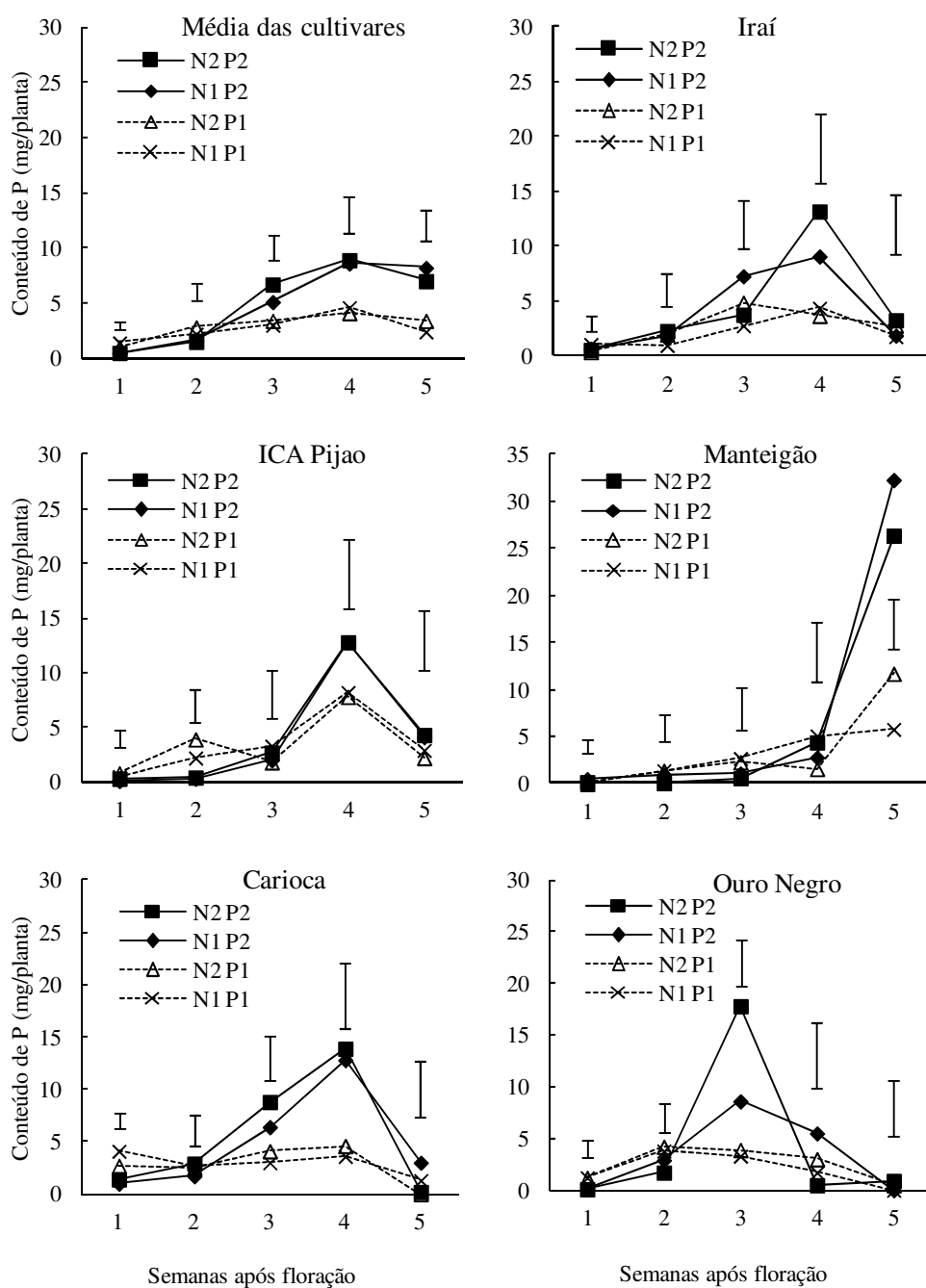


Figura 11. Conteúdo de P em folhas senescentes das cultivares de feijoeiro Iraí, Manteigão, ICA Pijao, Carioca e Ouro Negro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg^{-1} no plantio e 60 mg N kg^{-1} no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg^{-1}) aplicadas ao solo, nas cinco semanas após floração até a maturação dos grãos; barras verticais representam a diferença mínima significativa pelo teste Tukey a 5%, e comparam tratamentos dentro de cada época.

Em média as cultivares submetidas aos tratamentos N1P1 e N2P1 apresentaram uma maior quantidade de N e P nas folhas senescentes nas primeiras semanas após a floração, ao passo que as submetidas aos tratamentos N2P2 e N1P2 apresentaram maior quantidade de N e P nas folhas senescentes a partir da terceira semana após a floração (Figura 10 e 11).

Na maior dose de adubação as plantas apresentaram maior conteúdo de N e P nas folhas senescentes, isso se deve ao fato dessas cultivares estarem bem nutridas, efeito mais acentuada nas cultivares Manteigão, e Carioca, uma vez que as plantas submetidas ao tratamento N2P2 receberam além da adubação de plantio, duas adubações nitrogenadas de cobertura, assim, naturalmente essas folhas teriam uma maior quantidade de N e P, e também a translocação do nutriente entre as folhas senescentes e os órgãos em desenvolvimento ser mais exigida naquelas plantas que receberam uma menor dose de adubação mineral, ou seja, há uma necessidade de reutilização desses nutrientes para que as plantas possam concluir o seu ciclo de desenvolvimento, confirmando a maior massa de folhas senescentes encontradas nos tratamentos N1P1 e N2P1, nas primeiras semanas após a floração (Figura 9).

A concentração de N nas folhas senescentes aumentou continuamente até a terceira semana após a floração para todas as doses de adubação, e na quarta semana após a floração houve uma queda na concentração N, com exceção da dose N1P1. Na última semana após a floração as plantas apresentaram maior teor de N na dose N1P2, indicando que nessa dose houve menor translocação de N das folhas senescentes para as vagens e/ou grãos, seguido das doses N2P1, N1P1 e N2P2 (Figura 12).

Houve um aumento no teor de P nas folhas senescentes até a quinta semana após a floração. A concentração de P nas folhas senescentes aumentou na dose de adubação N1P2, seguida pelas doses N2P2, N1P1 e N2P1 (Figura 12). Araújo et al. (2012) observaram que a concentração de N em folhas senescentes aumentou até a terceira semana após a floração e a concentração P até a quarta semana após a floração, permanecendo relativamente estável em seguida.

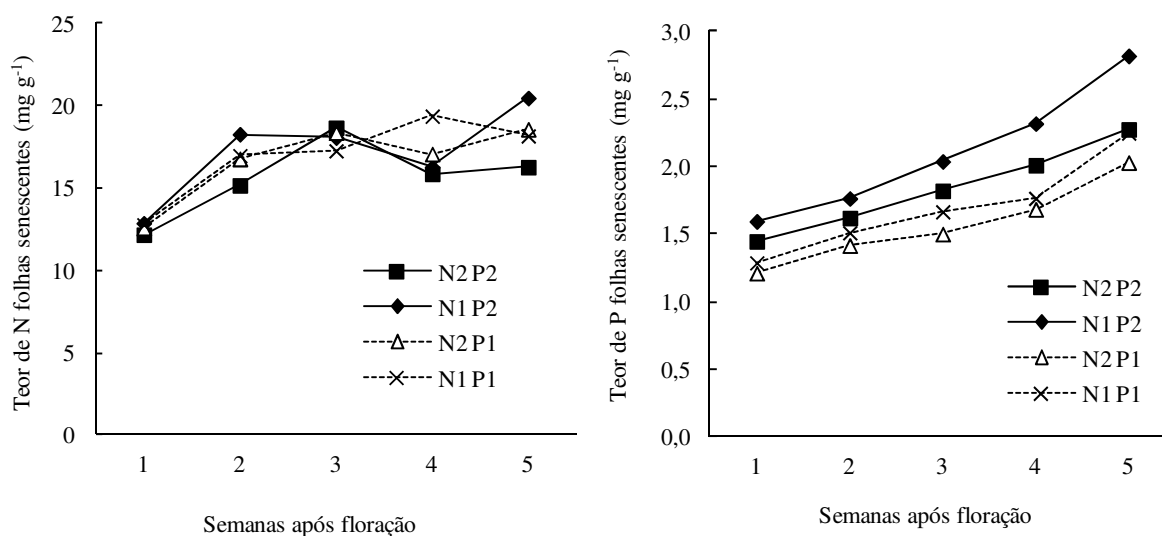


Figura 12. Teor de N e P em folhas senescentes na média de cinco cultivares de feijoeiro, sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, nas cinco semanas após floração até a maturação dos grãos.

A concentração de N e P nas folhas senescentes expressa a capacidade de translocação do nutriente das folhas senescentes para os tecidos em crescimento (Killingbeck, 1996): baixos teores de nutrientes em folhas senescentes indicam uma elevada mobilização de nutrientes das folhas para outros tecidos em crescimento.

As plantas de feijoeiro, provavelmente, aumentaram a capacidade de translocação de P nas menores doses de P no solo. O tratamento de adubação N1P2 proporcionou menor translocação de P das folhas senescentes para as vagens e grãos das cultivares de feijoeiro (Figura 12). Em altos níveis de P aplicado ao solo, uma menor quantidade de P foi translocada para os grãos, resultando em maiores concentrações de P nas folhas senescentes.

Com a ontogenia a concentração de P nas folhas senescentes tendeu a aumentar (Figura 12), indicando que a capacidade de translocação da planta foi reduzida. Como a senescência foliar implica na atividade proteolítica celular (Huffaker, 1990), espera-se que a eficácia da translocação de nutrientes a partir de folhas senescentes seja reduzida nas plantas maduras. Além disso, durante as fases finais da maturação dos grãos, a força do dreno das plantas seria enfraquecida, uma vez que a máxima translocação P das folhas ocorre durante os estágios de desenvolvimento do grão, depois a exportação de nutrientes a partir das folhas senescentes normalmente decresce (Araújo et al., 2012). Os valores de concentração de N e P em folhas senescentes (Figura 12) foram similares aos relatados por Araújo et al. (2012).

4.5.2.12 Balanço de nitrogênio e fósforo na planta

Os balanços de N e P na planta foram estimados conforme metodologia proposta por Araújo et al. (2012). Foram utilizadas as médias das cinco cultivares de feijoeiro, para cada dose de adubação (Tabela 14). Foi atribuído que a diferença no conteúdo total de N e P entre a maturidade fisiológica e o início de formação das vagens foi absorvido pela planta entre estes períodos, e se assumiu que esta quantidade de nutrientes foi completamente translocada para as vagens e grãos. As reduções no conteúdo de nutrientes entre o início de formação das vagens e a maturidade fisiológica em raízes e caules, assim como a diferença entre folhas verdes e senescentes, foram atribuídas à translocação de nutrientes das folhas, caule e raízes para as vagens e grãos. Assim, o conteúdo presente nas folhas, caules e raízes no estágio de início de formação das vagens, menos o conteúdo presente nas folhas senescentes, caules, raízes no estágio de maturidade fisiológica, representa o conteúdo de nutrientes presente nas vagens e grãos oriundo da translocação das folhas, caules e raízes.

Pôde-se observar que do total de N e P acumulado nas vagens e grãos na maturidade fisiológica, a translocação de folhas, caules e raízes respondeu por 47, 57, 32 e 34% do N, e de 40, 37, 26 e 28% do P, nas doses de adubação N1P1, N2P1, N1P2 e N2P2, respectivamente. Do total de N e P translocado pelas folhas, caules e raízes para as vagens e grãos, a folha respondeu pela translocação de 84% de N e 57% de P, os caules por 10% de N e 24% de P e as raízes por 6% de N e 19% de P, na média dos diferentes tratamentos de adubações. Portanto, as folhas translocaram mais N do que P para as vagens e grãos e os caules e raízes translocaram mais P do que N para as vagens e grãos, mostrando a grande importância do caule e da raiz na translocação de P para as sementes, sendo responsável pela translocação de 43% do P total translocado para as vagens e grãos.

Do total do conteúdo de N e P presente nas vagens e grãos na maturidade fisiológica, a absorção de nutrientes entre as coletas respondeu por 53, 43, 68 e 66% do N, e de 60, 63, 74 e 72% do P, nas doses de adubações N1P1, N2P1, N1P2 e N2P2, respectivamente (Tabela 14).

Nas doses de baixo P (N1P1 e N2P1), as plantas translocaram mais N e P das folhas, caules e raízes para as vagens e grãos e translocaram menos N e P proveniente da absorção de nutrientes entre as coletas para as vagens e grãos. Tanto a translocação de P das folhas, caule e raízes para as vagens e grãos, quanto a translocação de P proveniente da absorção de nutrientes, não tiveram grandes diferenças entre as altas doses P (N2P2 e N1P2) e entre as baixas doses P (N1P1 e N2P1), portanto, o efeito do P foi mais intenso que o efeito do N. Os resultados obtidos corroboram a evidência que a aquisição de nutrientes entre o início de

formação das vagens e a maturidade fisiológica é muito intensa, principalmente em solo com boa disponibilidade de P e muito importante para o enchimento dos grãos e produtividade do feijoeiro (Araújo & Teixeira, 2008).

Em experimento de campo, Araújo et al. (2012) determinaram o balanço de N e P com sete cultivares de feijoeiro, e indicaram que a aquisição de nutrientes pela parte aérea da cultura entre a segunda e a quarta semana após a floração contribuiu com 37% do N e P acumulado nos grãos. Cerca de 44% do N e 51% do P das folhas verdes foi remobilizado para os grãos duas semanas após a floração, o que correspondeu a 33% de N e 25% do P acumulado pelo grãos na maturidade fisiológica, e 56% do N e 49% do P presentes nas folhas foi perdido em folhas senescentes (Araújo et al., 2012).

Tabela 14. Proporção de N e P presente nas vagens e grãos na maturidade fisiológica de feijoeiro crescido sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 mg N kg⁻¹ no plantio e 60 mg N kg⁻¹ no plantio e duas coberturas de 300 mg de N por vaso) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo. (média de cinco cultivares).

| Compartimento | % de N | | | | % de P | | | |
|---|--------|------|------|------|--------|------|------|------|
| | N1P1 | N2P1 | N1P2 | N2P2 | N1P1 | N2P1 | N1P2 | N2P2 |
| Translocação das folhas | 37 | 50 | 28 | 28 | 21 | 23 | 17 | 14 |
| Translocação das raízes | 5 | 1 | 2 | 2 | 10 | 3 | 5 | 6 |
| Translocação dos caules | 5 | 7 | 2 | 4 | 9 | 11 | 4 | 8 |
| Oriundo da absorção de nutrientes entre coletas | 53 | 43 | 68 | 66 | 60 | 63 | 74 | 72 |

4.6 CONCLUSÕES

Nas maiores doses de P (N2P2 e N1P2) as plantas apresentaram maior crescimento e desenvolvimento, os efeitos das doses de P foram mais intensos que os efeitos das doses de N, em todo o ciclo de desenvolvimento e senescência foliar, confirmando a importância do P no processo de assimilação e utilização do N, além das doses de alto P estimular, provavelmente, a fixação biológica de N, uma vez que houve uma maior interferência deste nutriente na quantidade de N encontrada nos tecidos vegetais do feijoeiro.

As plantas que receberam menores doses de P apresentaram menor massa seca de folhas, vagens, parte aérea e maior deposição de folhas senescentes, portanto, a limitação de P aumenta a senescência foliar do feijoeiro.

O estágio de máximo número de folhas foi aos 50 dias após emergência e não dependeu do suprimento de N e P no solo.

A determinação da área foliar em amostras de folhas de uma planta de feijoeiro é uma alternativa simples e segura, já que a morfologia foliar mantém-se estável em diferentes estratos da planta.

Os índices de colheita de N e P real e aparente apresentaram valores médios bem superiores ao índice de colheita real e aparente, indicando que a translocação de N e P para formação dos grãos é mais intensa que a translocação de fotoassimilados.

Os índices de colheita aparente apresentaram resultados semelhantes aos índices de colheita real. Desta forma, na cultura do feijoeiro pode-se usar o índice de colheita biomassa aparente e o índice de colheita de N e P aparente para expressar a capacidade de translocação de fotoassimilados e de N e P para formação dos grãos de um determinado genótipo.

Do total de N e P acumulado nas vagens e grãos na maturidade fisiológica, a translocação de folhas, caules e raízes respondeu por 50, 62, 34 e 35% do N, e de 42, 41, 27 e 30% do P, nas doses de adubação N1P1, N2P1, N1P2 e N2P2, respectivamente.

Do total de N e P translocado pelas folhas, caules e raízes para as vagens e grãos, a folha respondeu pela translocação de 84% de N e 57% de P, os caules com 10% de N e 24% de P e as raízes com 6% de N e 19% de P, na média das doses de adubações. Portanto, as folhas translocaram mais N do que P para as vagens e grãos e os caules e raízes translocaram mais P do que N para as vagens e grãos, mostrando a grande importância do caule e da raiz na translocação de P para as sementes, sendo responsável pela translocação de 43% do P total translocado para as vagens e grãos.

Nas doses de baixo P (N1P1 e N2P1), as plantas translocaram mais N e P das folhas, caules e raízes para as vagens e grãos e translocaram menos N e P proveniente da absorção de nutrientes entre as coletas.

A seleção de genótipos de feijoeiro em condições de P limitante, deve ser associados a caracteres como biomassa de caule, raiz, área foliar, índices de colheita de biomassa de N e P.

A cultivar Ouro Negro é mais eficiente na translocação de N e P durante a formação das sementes de feijão, além de apresentar o menor conteúdo de N e P em folhas senescentes na quarta semana após a floração, pode vir a ser uma estratégia para proporcionar um maior enchimento das vagens, aumentando a produção dessas plantas.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos indicam o potencial de uso do programa AFSoft para estimar o teor de N das plantas de feijão no estágio de emissão de vagens. Para a determinação da área foliar em feijoeiro pode-se usar amostras dos diferentes estratos da planta, excluindo-se as folhas mais jovens de pequeno tamanho. As baixas doses P no solo não favorecem o crescimento e o desenvolvimento do feijoeiro e aumentaram a senescência foliar. O estágio de máximo número de folhas não dependeu do suprimento de N e P no solo. Os índices de colheita aparente apresentaram resultados semelhantes aos índices de colheita real. Desta forma, pode-se usar os índices de colheita aparente para expressar a capacidade de alocação de biomassa, N e P nos grãos de um genótipo de feijoeiro. As plantas translocaram mais N e P das folhas, caules e raízes para as vagens e grãos e translocaram menos N e P proveniente da absorção de nutrientes entre as coletas, sob baixo suprimento de P. As folhas translocaram mais N do que P para as vagens e grãos e os caules e raízes translocaram mais P do que N para as vagens e grãos, mostrando a grande importância do caule e da raiz na translocação de P para as sementes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, J.A.A. Dinâmica do nitrogênio sob sistema plantio direto e parâmetros para o manejo da adubação nitrogenada no milho. 2009. 200 p. Tese (Doutorado Ciência do Solo/ Biodinâmica e Manejo do Solo)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- ALMEIDA, L.D.; BULISANI, E.A. Técnicas para aumentar a rentabilidade do feijoeiro. *Correio Agrícola*, v.1, p.236-243, 1980.
- ALVES, V.M.C.; MAGALHÃES, J.V.; VASCONCELLOS, C.A.; NOVAIS, R.F.; BAHIA FILHO, A.F.C.; FRANÇA, G.E.; OLIVEIRA, C.A.; FRANÇA, C.C.M. Acúmulo de nitrogênio e fósforo em plantas de milho afetadas pelo suprimento parcial de fósforo nas raízes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.299-305, 1999.
- ALVES, V.M.C.; NOVAIS, R.F. de; OLIVEIRA, M.F.G. de; SANT'ANNA, R. Cinética e translocação de fósforo em híbridos de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.33, p.1047-1052, 1998.
- ANDRADE, C.A. de B; PATRONI, S.M.S.; CLEMENTE, E.; SCAPIN, C.A. Produtividade e qualidade nutricional de cultivares de feijoeiro em diferentes adubações. *Ciência e Agrotecnologia*, v.28, p.1077-1086, 2004.
- ARAÚJO, A.P. Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; SCHAFFER, C.E.G.R. (Eds.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.163-212, 2000.
- ARAÚJO, A.P.; ANTUNES, I.F.; TEIXEIRA, M.G. Inheritance of root traits and phosphorus uptake in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under limited soil phosphorus supply. *Euphytica*, v.145, p.33-40, 2005.
- ARAÚJO, A.P.; DEL PIN, B.; TEIXEIRA, M.G. Nitrogen and phosphorus in senescent leaves of field-grown common bean cultivars and their contribution to crop nutrient budget. *Field Crop Research*, v.127, p.35-43, 2012.
- ARAÚJO, A.P.; FERNANDES, A.M.; KUBOTA, F.C.; BRASIL, F.C.; TEIXEIRA, M.G. Sample size for measurement of roots on common bean by image analysis. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.313-318, 2004.
- ARAÚJO, A.P.; KUBOTA, F.Y.; TEIXEIRA, M.G. Leaf senescence of common bean plants as affected by soil phosphorus supply. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.31, p.499-506, 2007.
- ARAÚJO, A.P.; MACHADO, C.A.T. Fósforo. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p.253-280.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. Nitrogen and phosphorus harvest indices of common bean cultivars: implications for yield quantity and quality. *Plant Soil*, v.257, p.425-433, 2003.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. Ontogenetic variations on absorption and utilization of phosphorus in common bean cultivars under biological nitrogen fixation. *Plant Soil*, v.225, p.1-10, 2000.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. Relationships between grain yield and accumulation of biomass, nitrogen and phosphorus in common bean cultivars. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1977-1986, 2008.

- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G.; ALMEIDA, D.L. Growth and yield of common bean cultivars at two soil phosphorus levels under biological nitrogen fixation. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.809-817, 2000.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G.; ALMEIDA, D.L. Phosphorus efficiency of wild and cultivated genotypes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under biological nitrogen fixation. *Soil Biology Biochemistry*, v.29, p.951-957, 1997.
- ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G.; ALMEIDA, D.L. Variability of traits associated with phosphorus efficiency in wild and cultivated genotypes of common bean. *Plant Soil*, v.203, p.173-182, 1998.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; MIELNICZUK, J.; BORTOLINI, C.G. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.519-527, 2002.
- BARBOSA FILHO, M.P.; COBUCCI, T.; MENDES, P.N. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. *Ciência e Agrotecnologia*, v.33, p.425-431, 2009.
- BEAVER, J.S.; OSORNO, J.M. Achievements and limitations of contemporary common bean breeding using conventional and molecular approaches. *Euphytica*, v.168, p.145-175, 2009.
- BENBELLA, M.; PAULSEN, G.M. Efficacy of treatments for delaying senescence of wheat leaves: I. Senescence under controlled conditions. *Agronomy Journal*, v. 90, p.329-332, 1998.
- BENINCASA, M.M.P. Análise do crescimento de plantas. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.
- BONSER, A.M.; LYNCH, J.P.; SIEGLINDE, S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*. *New Phytologist*, v.132, p.281- 288, 1996.
- BÜLL, L.T. Nutrição do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. (Eds.). *Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFÓS, 1993. p.1-63.
- CABALLERO, S.V.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; MATSUI, E.; VICTORIA, R. L. Utilização do fertilizante nitrogenado aplicado a uma cultura de feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.20, p.1031-1040, 1985.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.; BARROS, N.F.; FONTES R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds) *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1017p. 2007.
- CARVALHO, A.M.; FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P.; KINJO, T. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.19, p.61-67, 1995.
- CARVALHO, M.C.A.; FÚRLANI JUNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M.E.; PAULINO, H.B.; BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.445-450, 2003.
- CLARK, R.B.; DUNCAN, R.R. Improvement of plant mineral through breeding. *Field Crop Research*, v.27, p.219-240, 1991.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, oitavo levantamento, Brasília: Conab, 2012, 36p.
- COSTA, J.G.C.; KOHASHI-SHIBATA, J.; COLIN, S.M. Plasticidade no feijoeiro comum. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.18, p.159-167, 1983.

DANGL, J.L.; DIETRICH, R.A.; THOMAS, H. Senescence and programmed cell death. In: BUCHANAN, B.B.; GRUISSSEN, W.; JONES, R.L. (Eds.). Biochemistry and molecular biology of plants. Rockville: American Society of Plant Physiologists, v.15, p.1044-1100, 2000.

DEL PIN, B. Contribuição das folhas senescentes na ciclagem de nitrogênio e fósforo na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). 2004. 54f. Dissertação (Mestrado em agronomia - Ciência do Solo). Instituto de agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rj, 2004.

DELAZARI, P.C. Rendimento econômico de três cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em função da aplicação de nitrogênio e fósforo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.5, p.46-50, 1981.

DORCINVL, R.; SOTOMAYOR-RAMÍREZ, D.; BEAVER, J. Agronomic performance of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) lines in an Oxisol. Field Crops Research, v.118, p.264-272, 2010.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. Produção de feijão. Guaíba: agropecuária, 2000 cap.1, p.23-48: Ecofisiologia e fenologia.

DUBOIS, J.D.; BURRIS, R.H. Comparative study of n uptake and distribution in three lines of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) at early pod filling stage. Plant and Soil, v.93, p.79-86, 1986.

DWYER, L.M.; ANDERSON, A.M.; MA, B.L. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. Canadian Journal of Plant Science, v.75, p.179-182, 1995.

EGLI, D.B.; BRUENING, W.P. Nitrogen accumulation and redistribution in soybean genotypes with variation in seed protein concentration. Plant Soil, v.301, p.165-172, 2007.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA CNPS. Documento, 1).

FAN, M.; ZHU, J.; RICHARDS, C.; BROWN, K.M.; LYNCH, J.P. Physiological roles of aerenchyma in phosphorus-stressed roots. Functional Plant Biology, v.30, p.493-506, 2003.

FEITOSA, C.T.; RONZELLI JUNIOR, P.; ALMEIDA, L.A. de; VEIGA, A.A.; HIROCE, R.; JORGE, J.P.N. Adubação NP para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na presença e na ausência de calcário. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.4, p.156-159, 1980.

FRANCO, A.C.; BUSTAMANTE, M.; CALDAS, L.S.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F.C.; KOZOVITS, A.R.; RUNDEL, P.; CORADIN, V.R.T. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. Trees, v.19, p.326-335, 2005.

FURLANI JÚNIOR, E.; NAKAGAWA, J.; BULHÕES, L.J.; MOREIRA, J.A.A.; GRASSI FILHO, H. Correlação entre leituras de clorofila e níveis de nitrogênio aplicados em feijoeiro. Bragantia, v.55, p.171-175, 1996.

FURLANI, A.M.C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G.B. (Ed.). Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2004. p.40-75.

GAN, S.; AMASINO, R.M. Making sense of senescence: molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence. Plant Physiology, v.113, p.313-319, 1997.

GRABAU, L.J.; BLEVINS, D.G.; MINOR, H.C. P nutrition during seed development leaf senescence, pod retention, and seed weight of soybean. Plant Physiology, v.82, p.1008-1012, 1986.

HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. Bragantia, v.26, p. 380-391, 1967.

- HARDWICK, R.C.; HARDAKER, J.M.; INNES, N.L. Yield and components of yield of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in the United Kingdom. *Journal of Agricultural Science*, v.90, p.291-297, 1978.
- HAY, R.K.M. Harvest index: a review of its use in plant breeding and crop physiology. *Annual Apply Biology*, v.126, p.197-216, 1995.
- HINSINGER, P. Biology availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil*, v.237, p.173-195, 2001.
- HO, M.D.; MCCANNON, B.C.; LYNCH, J.P. Otimization modeling of plant root architecture for water and phosphorus acquisition. *Journal of Theoretical Biology*, v.226, p.331-340, 2004.
- HOLFORD, I.C.R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Australian Journal of Soil Research*, v.35, p.227-239, 1997.
- HORST, W.J; KAMH, M; JIBRIN, J.M; CHUDE, V.O. Agronomic measurements for increasing P availability to crops. *Plant and Soil*, v.237, p.211-223, 2001.
- HUFFAKER, R.C. Proteolytic activity during senescence of plants. *New Phytology*, v.116, p.199-231, 1990.
- HURTADO, S.M.C.; RESENDE, A.V. de; SILVA, C.A.; CORAZZA, E.J.; SHIRATSUCHI, L.S. Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade. *Ciência Rural*, v.41, p.1011-1017, 2011.
- HURTADO, S.M.C.; RESENDE, A.V. de; SILVA, C.A.; CORAZZA, E.J.; SHIRATSUCHI, L.S. Variação espacial da resposta do milho à adubação nitrogenada de cobertura em lavoura no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.300-309, 2009.
- INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Use of leaf color chart (LCC) for N management in rice. *Crop Resource Management. Network Technology. Brief 2. IRRI, Manila, Philippines*, 1996.
- JEPPSON, R.G.; JOHNSON, R.R.; HADLEY, H.H. Variation in mobilization of plant nitrogen to the grain in nodulating and non-nodulating soybean genotypes. *Crop Science*, v.18, p.1058-1062, 1978.
- JESCHKE, W.D.; KIRKBY, E.A.; PEUKE, A.D.; PATE, J.S.; HARTUNG, W. Effects of P deficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor bean (*Ricinus communis* L.). *Journal of Experimental Botany*, v.48, p.75-91, 1997.
- JIN, J.; LIU, X.; WANG, G.; MI, L.; SHEN, Z.; CHEN, X.; HERBERT, S.J. Agronomic and physiological contributions to the yield improvement of soybean cultivars released from 1950 to 2006 in Northeast China. *Field Crops Research*, v.115, p.116-123, 2010.
- JONES, L.H. Adaptative response to temperature in dwarf French beans, *Phaseolus vulgaris* L. *Annals of Botany*, v.35, p.581-596, 1971.
- JORGE, L.A. de C.; SILVA, D.J. da C.B. AFSOFT: manual de utilização. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 20p.
- JORGE, L.A.C.; SILVA, D.J.C.B. AFSOFT software para análise foliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2010, Riberão Preto. Anais. Riberão Preto, SP, 2010.
- KAMPRATH, E.J. Enhanced phosphorus status of maize resulting from nitrogen fertilization of high phosphorus soils. *Soil Science Society American Journal*, v.52, p.522-526, 1987.
- KARCHER, D.E., RICHARDSON, M.D. Quantifying turfgrass color using digital image analysis. *Crop Science*, v.43, p.943-951, 2003.

- KELLY, J.D.; KOLKMAN, J.M.; SCHNEIDER, K. Breeding for yield in dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Euphytica*, v.102, p.343-356, 1998.
- KIKUTI, H.; ANDRADE, M.J.B.A.; CARVALHO, K.G.; MORAIS, A.R. Teores de macronutrientes na parte aérea do feijoeiro em função de nitrogênio e de fósforo. *Bragantia*, v.65, p.347-354, 2006.
- KILLINGBECK, K.T. Nutrients in senesced leaves: Keys to the search for potential resorption and resorption proficiency. *Ecology*, v.77, p.1716-1727, 1996.
- KLEINHOF, A.; WARNER, R.L. Advances in nitrate assimilation in intermediary nitrogen metabolism. In: MIFLIN, B.J.; LEA, P.J. (Eds.). *The biochemistry of plants*. San Diego: Academic Press, v.16, p.89-120, 1990.
- KOLEK, J.; HOLOBRADA, M. Ions uptake and transport. In: KOLEK, J.; KOZINKA, V. (Eds.) *Physiology of the plant root system*. Dordrecht: Kluwer Academic, p.204-285. 1994.
- KONDRACKA, A.; RYCHTER, A.M. The role of Pi recycling processes during photosynthesis in phosphate-deficient bean plants. *Journal of Experimental Botany*, v.48, p.1461-1468, 1997.
- LEAL, R.M.; PRADO, R.M. Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.3, p.301-306, 2008.
- LIMA, E.R.; SANTIAGO, A.S.; ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. Effects of the size of sown seed on growth and yield of common bean cultivars of different seed sizes. *Brazilian Journal Plant Physiology*, v.17, p.273-281, 2005.
- LOPES, A.S. (Adap.). *Manual de fertilidade do solo*. São Paulo: ANDA; POTAFOS, 1989. 153 p.
- LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; FREITAS, J.G. Análise de crescimento e conversão da energia solar em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a três níveis de densidade do fluxo radiante. *Revista Ceres*, v.29, p.586-606, 1982.
- LÓPEZ-BUCIO, J.L.; HERNÁNDEZ-ABREU, E.; SÁNCHEZ-CALDERÓN, L.; NIETO-JACOBO M.F.; SIMPSON, J.; HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system. *Plant Physiology*, v.129, p.244-256, 2002.
- LYNCH, J.; LÄUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Science*, v.31, p.380-387, 1991.
- LYNCH, J.; WHITE, J.W. Shoot nitrogen dynamics in tropical common bean. *Crop Science*, v.32, p.392-397, 1992.
- LYNCH, J.P.; BROWN, K.M. Topsoil foraging: an architectural adaptation to low phosphorus availability. *Plant and Soil*, v.237, p.225-237, 2001.
- LYNCH, L. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiology*, v.109, p.7-13, 1995.
- LYNCH, L.; VAN BEEM, J.J. Growth and architecture of seedling roots of common bean genotypes. *Crop Science*, v.33, p.1253-1257, 1993.
- MAFRA, R.C.; VIEIRA, C.; BRAGA, J.M.; SIQUEIRA, C.; BRANDES, D. Efeitos da população de plantas e da época de semeadura na crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). IV. Absorção de nutrientes. *Experientiae*, v.17, p.217-239, 1974.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e avaliações. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potássio e do Fosfato, 1989. 201p.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e avaliações. (2.ed.). Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potássio e do Fosfato, 1997. 319p.
- MARSCHENER, H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: Academic Press, 2002. 889p.
- MENEZES, J.R. de. Manejo da cultura de feijão: enfoque sistêmico. In: SIMPÓSIO DA CULTURA DE FEIJÃO IRRIGADO, 4., Piracicaba, 2001. Anais. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Produção Vegetal, 2001.p.35-42.
- MILLA, R.; REICH, P.B.; NINEMETS, Ü.; CASTRO-DÍEZ, P. Environmental and developmental controls on specific leaf area are little modified by leaf allometry. *Function Ecology*, v.22, p.565-576, 2008.
- MINOTTI, P.L.; HALSETH, D.E.; SIECZKA, J.B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. *HortScience*, v.29, p.1497-1500, 1994.
- MONDAL, W.A.; CHOUDHURI, M.A. Comparison of phosphorus mobilization during monocarpic senescence in rice cultivars with sequential and non-sequential leaf senescence. *Physiologia Plantarum*, v.65, p.221-227, 1985.
- MONTEIRO, J.E.B.A.; SENTELHAS P.C.; EDERALDO J.C.; GUISELINE, C; SANTIAGO, A.V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas. *Bragantia*, v.64, p.15-24, 2005.
- MORAES, J.F.V. Calagem e adubação. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.). *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potássio e do Fosfato, p.261-301, 1988.
- NIELSEN, K.L.; ESHEL, A.; LYNCH, J.P. The effects of phosphorus availability on the carbon economy of contrasting common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Journal of Experimental Botany*, v.52, p.329-339, 2001.
- NOODEN, L.D.; GUIAMET, J.J.; JOHN, I. Senescence mechanisms. *Physiologia Plantarum*, v.101, p.746-753, 1997.
- OLIKER, M.; POLJAKOFF-MAYBER, A.; MAYER, A.M. Changes in weight, nitrogen accumulation, respiration and photosynthesis during growth and development of seeds and pods of *Phaseolus vulgaris*. *American Journal of Botany*, v.65, p.366-371, 1978.
- OLIVEIRA, A.P.; PEREIRA, E.L.; BRUNO, R.L.A.; ALVES, E.U.; COSTA, R.F.; LEAL, F.R.F. Produção e qualidade fisiológica de sementes de feijão-vagem em função de fontes e doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Sementes*, v.25, p.49-55, 2003.
- OLIVEIRA, I.P. de; THUNG, M.D.T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.). *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potássio e do Fosfato, 1988. p.175-212.
- OLIVEIRA, I.P.; THUNG, M.; KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; CARVALHO, J.R.P. de. Avaliação de cultivares de feijão quanto à eficiência no uso de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.22, n.1, p.39-45, 1987.
- PEREIRA, P.A.A.; BURRIS, R.H.; BLISS, F.A. ¹⁵N-determined dinitrogen fixation potential of genetically diverse bean lines (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant and Soil*, v.120, p.171-179, 1989.
- PHILLIPS, D.A.; PIERCE, R.O.; EDIE, S.A.; FOSTER, K.W.; KNOWLES, P.F. Delayed leaf senescence in soybeans. *Crop Science*, v.24, p.518-522, 1984.

- POTES, T.A. Ecofisiologia. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.). Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba. Associação brasileira para pesquisa do potássio e do fosfato, p.21-35, 1996.
- RAIJ, B. van. Fósforo no Solo e interação com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Eds.). Fósforo na agricultura brasileira. Associação brasileira para pesquisa do potássio e do fosfato, v.4, p.107-114, 2004.
- RICHARDS, R.A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *Journal of Experimental Botany*, v.51, p.447-458, 2000.
- ROSOLEM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M. Seja o doutor do seu feijoeiro. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n.68, p.1-16, 1994.
- RUFTY, JR., T.W.; MACKOWN, C.T.; ISRAEL, D.W. Phosphorus stress effects on assimilation of nitrate. *Plant Physiology*, v.94, p.328-333, 1990.
- RUSCHEL, A.P.; VOSE, P.B.; MATSUI, E.; VICTORIA, R.L.; SAITO, S.M.T. Field evaluation of N₂-fixation and N-utilization by Phaseolus bean varieties determined by ¹⁵N isotope dilution. *Plant and Soil*, v.65, p.397-407, 1982.
- SCHAPAUGH JUNIOR.; W.T.; WILCOX, J.R. Relationships between harvest indices and other plant characteristics in soybeans. *Crop Science*, v.20, p.529-533, 1980.
- SCHILTZ, S.; MUNIER-JOLAIN, N.; JEUDY, C.; BURSTIN, J.; SALON, C. Dynamics of exogenous nitrogen partitioning and nitrogen remobilization from vegetative organs in pea revealed by ¹⁵N in vivo labeling throughout seed filling. *Plant Physiology*, v.137, p.1463-1473, 2005.
- SCHRÖDER, J.J. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crops Research*, v.66, p.151-164, 2000.
- SEN, A.; SRIVASTAVA, V.K.; SINGH, M.K.; SINGH, R.K.; KUMAR, S. Leaf Colour Chart vis-a-vis Nitrogen Management in Different Rice Genotypes. *American Journal of Plant Sciences*, v.2, p.223-236, 2011.
- SHUMAN, L.M. Mineral Nutrition. In: WILKINSON, R.E. (Ed.). Plant-environment interactions. New York: Marcel Dekker, 1994. p.149-182.
- SILVA, A.J. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à adubação nitrogenada. 1988. 85 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.
- SILVA, M.I.; DARIVA, T.; KAMINSKI, J.; XAVIER, F.M. Efeito de níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na produção do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista do Centro de Ciências Rurais*, v.7, p.395-401, 1977.
- SILVEIRA, P.M. da; BRAZ, A.J.B.P.; DIDONET, A.D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.38, p.1083-1087, 2003.
- SINCLAIR, T.R. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. *Crop Science*, v.38, p.638-643, 1998.
- SINCLAIR, W.A.; WHITLOW, T.H.; GRIFFITHS, H.M. Heritable tolerance of ash yellows phytoplasmas in green ash. *Canadian Journal of Forest Research*, v.27, p. 1928-1935, 1997.
- SINGH, B.; SINGH, Y.; LADHA, J.K.; BRONSON, K.F.; BALASUBRAMANIAN, V.; SINGH, J.; KHIND, C.S. Chlorophyll Meter and Leaf Color Chart-Based Nitrogen Management for Rice and Wheat in Northwestern India. *Agronomy Journal*, v.94 p.821-829, 2002.

- SNAPP, S.S.; LYNCH, J.P. Phosphorus distribution and remobilization in bean plants as influenced by phosphorus nutrition. *Crop Science*, v.36, p.929-935, 1996.
- SORATTO, R.P.; CARVALHO, M.A.C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.895-901, 2004.
- SPECHT, R.L.; GROVES, R.H. A comparison of the phosphorus nutrition of Australian heath plants and introduced economic plants. *Australian Journal of Botany*, v.14, p.201-221, 1966.
- STRECK, N.A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, P.S. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: A modified Wang and Engel model. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 115, n.3-4, p.139-150, 2003.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.
- TEDESCO, M.J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*, Porto Alegre, Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p.
- TERUEL, D.A. Modelagem do índice de área foliar de cana-de-açúcar em diferentes regimes hídricos. Piracicaba, ESALQ, 1995.
- THÉLIER-HUCHÉ, L.; FARRUGGIA, A.; CASTILLON, P. L'analyse d'herbe: un outil pour phosphate et potassique des prairies naturelles et temporaires. Institut de L'Élevage, Juin, 1999. 31p.
- TOTH, V.R.; MESZKAROS, I.; VERES, S.; NAGY, J. Effects of the available nitrogen on the photosynthetic activity and xanthophyll cycle pool of maize in field, *Journal of Plant Physiology*, v.159, p.627-634, 2002.
- TRINDADE, R.S. Diversidade de caracteres radiculares em feijoeiro em dois estádios de crescimento. 2007. 79f. Dissertação (Mestrado em agronomia - Ciência do Solo). Instituto de agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rj, 2007.
- TRINDADE, R.S.; ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. Leaf area of common bean genotypes during early pod filling as related to plant adaptation to limited phosphorus supply. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.115-124, 2010.
- VIDAL, L.S.; JUNQUEIRA NETO, A.J. Efeito da densidade de plantas e de doses de fósforo sob re algumas características de duas cultivares de feijão. *Ciência Prática*. v.6, p.195-207, 1982.
- VIEIRA, C. Adubação mineral e calagem. In: VIERA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J. de; BORÉM, A. (Eds.). *Feijão* 2. ed. Visoça: Ed, Atual. UFV, 2006. cap.6, p.115-142.
- VILHORDO, B.W.; MIKUSINSKI, O.M.F.; BURIN, M.E.; GANDOLF, V.H. Morfologia. In: ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.). *Cultura do Feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba. Associação Brasileira para pesquisa do potássio e do fosfato, p.21-35, 1996.
- WALLACE, D.H.; OZBUN, J.L.; MUNGER, H.M. Physiological genetics of crop yield. *Advance Agronomy*, v.24, p.97-146, 1972.
- WESTERMANN, D.T.; PORTER, L.K.; O'DEEN, W.A. Nitrogen partitioning and mobilization patterns in bean plants. *Crop Science*, v.25, p.225-229, 1985.
- WHITE, J.W.; MONTES-R,C. Variation in parameters velated to leaf thickness in commom bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Field crops Research*, v.91, p.7-21, 2005.

- WILHELM, W.W.; McMASTER, G.S. Importance of the phyllochron in studying development and growth in grasses. *Crop Science*, v.35, n.1, p.1-3, 1995.
- WILKINSON, S.R.; GRUNES, D.L.; SUMNER, M.E. Nutrients interaction in soil and plant nutrition. In: SUMNER, M.E., ed. *Handbook of soil science*. Boca Raton, CRC Press, 2000. p.89-112.
- WOLYN, D.J.; St. CLAIR, D.A.; DUBOIS, J.; ROSAS, J.C.; BURRIS, R.H.; BLISS, F.A. Distribution of nitrogen in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes selected for differences in nitrogen fixation ability. *Plant Soil*, v.138, p.303-311, 1991.
- WORTMANN, C.S.; KISAKYE, J.; EDJE, O.T. The diagnosis and recommendation integrated system for dry bean: determination and validation of norms. *Journal of Plant Nutrition*, v.15, p.2369-2379, 1992.
- YAN, W.; WALLACE, D.H. Breeding for negatively associated traits. *Plant Breed. Reviewing*, v.13, p.141-177, 1995.
- YAN, X.; LYNCH, J.P.; BEEBE, S.E. Genetic variation for phosphorus efficiency of common bean in contrasting soil types. *Crop Science*, v.35, p.1086-1093, 1995.
- YANAI, J.; LINEHAN, D.J.; ROBINSON, D.; YOUNG, I.M.; HACKETT, C.A.; KYUMA, K.; KOSAKI, T. Effects of inorganic nitrogen application on the dynamics of the soil solution composition in the root zone of maize. *Plant Soil*, v.180, p.1-9, 1996.
- YOKOYAMA, L.P. Tendência de Mercado e Alternativa de Comercialização do Feijão. Comunicado técnico 43. Santo Antonio de Goiais. Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 4p. (Comunicado técnico 43).
- YOUNGDAHL, L.J. Differences in phosphorus efficiency in bean genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, v.13, p.1381-1392, 1990.
- ZUCARELI, C. Componentes de produção e produtividade de sementes de feijão cv. IAC Carioca em função da adubação fosfatada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., 2003, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto, 2003. 1 CD ROM.

7 ANEXOS

Tabela 15. Análise de variância dos caracteres de acumulação de biomassa avaliados na primeira coleta (valores de quadrado médio).

| Fonte de variação | GL | Massa de trifólio | Massa de folha total | Massa de caule | Massa de parte aérea | Massa de raiz |
|-------------------|----|-------------------|----------------------|----------------|----------------------|---------------|
| Repetição | 3 | 10937,910** | 12639,688* | 1388,688 | 21578,021 | 4838,500 |
| Cultivar | 2 | 48079,000*** | 65329,396*** | 19172,646*** | 154403,896*** | 18303,813** |
| N | 1 | 229771,688*** | 352090,021*** | 108585,188*** | 852000,521*** | 22620,083*** |
| P | 1 | 129896,021*** | 223996,688*** | 24797,521*** | 398398,521*** | 2465,333*** |
| N x P | 1 | 22576,688*** | 26932,688*** | 1716,021*** | 42542,521*** | 520,083 |
| Trat NP | 3 | 127414,799*** | 201006,465*** | 45032,910*** | 430980,521*** | 8535,167* |
| Cul x Trat | 6 | 4612,111 | 6726,674 | 1898,201 | 14577,979 | 2682,896 |
| Erro | 33 | 2238,804 | 3964,642 | 1091,036 | 8497,430 | 2647,273 |
| CV (%) | | 12,33 | 12,25 | 14,28 | 12,37 | 19,68 |

Tabela 16. Análise de variância dos caracteres de acumulação de biomassa avaliados na segunda coleta (valores de quadrado médio).

| Fonte de variação | GL | Massa de trifólio | Massa de folha total | Massa de caule | Massa de vagem | Massa de parte aérea | Massa de raiz |
|-------------------|----|-------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------------|---------------|
| Repetição | 3 | 1908,917 | 3084,076 | 12135,854 | 2810,056 | 19312,021 | 3497,243 |
| Cultivar | 2 | 81745,396** | 109634,333** | 40652,438* | 87331,271*** | 57052,333 | 41085,250*** |
| N | 1 | 341381,333*** | 529830,188*** | 66826,688*** | 2187,000*** | 1067735,021*** | 93898,521*** |
| P | 1 | 368550,750*** | 565285,021*** | 159506,021*** | 231574,083*** | 2667275,521*** | 20377,521*** |
| N x P | 1 | 31621,333** | 40658,521** | 17214,188** | 38194,083*** | 277400,021*** | 1716,021 |
| Trat NP | 3 | 214774,472*** | 337016,243*** | 81182,299*** | 90651,722*** | 1266045,187*** | 38664,021*** |
| Cul x Trat | 6 | 9918,368 | 12974,389 | 2351,215 | 10512,326 | 17496,750 | 10035,250* |
| Erro | 33 | 13062,265 | 18586,667 | 8933,794 | 7767,298 | 65258,794 | 3031,713 |
| CV (%) | | 24,55 | 23,15 | 26,29 | 38,77 | 21,73 | 14,95 |

*, **, *** Efeito significativo a 5, 1, e 0,1% pelo teste F.

Tabela 17. Análise de variância dos caracteres de acumulação de biomassa avaliados na terceira coleta (valores de quadrado médio).

| Fonte de variação | GL | Massa de trifólio | Massa de folha total | Massa de caule | Massa de vagem | Massa de parte aérea | Massa de raiz |
|-------------------|----|-------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------------|---------------|
| Repetição | 3 | 19045,583* | 27521,243* | 4312,965 | 37151,667 | 149168,389 | 12754,910 * |
| Cultivar | 2 | 33176,271** | 76703,813** | 89775,438*** | 31224,563 | 176816,146 | 60527,313*** |
| N | 1 | 285362,521*** | 494711,021*** | 321277,688*** | 65268,750** | 2324520,188*** | 76400,521*** |
| P | 1 | 518960,021*** | 852533,521*** | 187875,188*** | 2031164,083*** | 7743330,021*** | 23304,688*** |
| N x P | 1 | 99281,021*** | 152663,521*** | 5742,188** | 524172,000*** | 1416937,688*** | 15805,021*** |
| Trat NP | 3 | 2938,917*** | 49464,354*** | 17131,688*** | 8734,944*** | 381883,222*** | 10436,743*** |
| Cul x Trat | 6 | 11455,271 | 17686,146 | 11108,271** | 41874,340 | 82246,785 | 7225,701+ |
| Erro | 33 | 5795,886 | 8973,561 | 3123,738 | 41789,152 | 73495,086 | 3045,046 |
| CV (%) | | 25,52 | 24,92 | 14,96 | 32,00 | 19,47 | 17,23 |

*,**,*** Efeito significativo a 5, 1, e 0,1% pelo teste F.

Tabela 18. Análise de variância dos caracteres de área foliar avaliados na primeira coleta (valores de quadrado médio).

| Fonte de variação | GL | Número de folhas | Área foliar | Área foliar por folha | Área foliar específica |
|-------------------|----|------------------|----------------|-----------------------|------------------------|
| Repetição | 3 | 31,694 | 7869,000 | 59,833 | 4506,722** |
| Cultivar | 2 | 4154,813*** | 680244,771*** | 154,146 | 3292,188*** |
| N | 1 | 12740,083*** | 2398602,083*** | 602,083*** | 2976,750*** |
| P | 1 | 4524,083*** | 210410,083*** | 114,083** | 47502,083*** |
| N x P | 1 | 546,750*** | 344085,333*** | 507,000*** | 432,000 |
| Trat NP | 3 | 5936,972*** | 984365,833*** | 407,722* | 16970,278*** |
| Cul x Trat | 6 | 547,785* | 54177,521 | 395,701** | 1199,715 |
| Erro | 33 | 174,331 | 35418,742 | 102,864 | 586,465 |
| CV (%) | | 9,07 | 11,98 | 9,43 | 7,72 |

*, **, *** Efeito significativo a 5, 1, e 0,1% pelo teste F.

Tabela 19. Análise de variância dos caracteres de área foliar avaliados na segunda coleta (valores de quadrado médio).

| Fonte de variação | GL | Número de folhas | Área foliar | Área foliar por folha | Área foliar específica |
|-------------------|----|------------------|----------------|-----------------------|------------------------|
| Repetição | 3 | 381,743 | 161872,389 | 171,243 | 940,410 |
| Cultivar | 2 | 1713,396 | 309255,646 | 420,646 | 6303,583** |
| N | 1 | 14805,188*** | 2519000,333*** | 981,021** | 7475,021*** |
| P | 1 | 49344,188*** | 4673760,083*** | 22,688 | 117,188 |
| N x P | 1 | 188,021 | 760536,750*** | 2173,521** | 1813,021** |
| Trat NP | 3 | 21445,799*** | 2651099,056*** | 1059,076*** | 3135,076* |
| Cul x Trat | 6 | 655,507 | 74811,035 | 268,035 | 1721,639+ |
| Erro | 33 | 654,804 | 127353,207 | 137,516 | 757,667 |
| CV (%) | | 15,23 | 20,84 | 11,64 | 9,39 |

*, **, *** Efeito significativo a 5, 1, e 0,1% pelo teste F.

Tabela 20. Análise de variância dos caracteres de área foliar avaliados na terceira coleta (valores de quadrado médio).

| Fonte de variação | GL | Número de folhas | Área foliar | Área foliar por folha | Área foliar específica |
|-------------------|----|------------------|----------------|-----------------------|------------------------|
| Repetição | 3 | 867,243 | 204209,243 | 425,632 | 733,500 |
| Cultivar | 2 | 2412,063* | 146648,083 | 186,021 | 13474,750*** |
| N | 1 | 51417,521*** | 2787406,021*** | 426,021** | 3675,000*** |
| P | 1 | 66082,521*** | 7368817,687*** | 7425,188*** | 560,333*** |
| N x P | 1 | 10472,521*** | 2313091,021*** | 7828,521*** | 5896,333*** |
| Trat NP | 3 | 42657,521*** | 4156438,243*** | 5226,576*** | 3377,222* |
| Cul x Trat | 6 | 936,063 | 157397,056 | 814,576** | 8169,389*** |
| Erro | 33 | 741,819 | 79675,637 | 233,829 | 832,697 |
| CV (%) | | 21,46 | 25,21 | 18,62 | 9,64 |

*, **, *** Efeito significativo a 5, 1, e 0,1% pelo teste F.

Tabela 21. Análise de variância do conteúdo de N na folha, caule, parte aérea, raiz e total avaliados na primeira coleta (valores de quadrado médio).

| Fonte de variação | GL | Conteúdo de N na folha total | Conteúdo de N no caule | Conteúdo de N na parte aérea | Conteúdo de N na raiz | Conteúdo de N total |
|-------------------|----|------------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Repetição | 3 | 23756,222 | 793,743 | 16171,632 | 39999,354 | 15577,188 |
| Cultivar | 2 | 205029,438** | 582,646 | 187802,063* | 19372,583 | 325546,083* |
| N | 1 | 683302,688*** | 96123,000*** | 1575787,688*** | 26932,688** | 2015150,521*** |
| P | 1 | 581460,188*** | 12805,333*** | 838201,021*** | 212,521 | 811460,021*** |
| N x P | 1 | 943321,688*** | 12805,333*** | 1275638,021*** | 24797,521** | 1654290,021*** |
| Trat NP | 3 | 847232,389*** | 43240,132*** | 1240252,076*** | 17875,243 | 1521996,188*** |
| Cul x Trat | 6 | 222752,160*** | 1818,257 | 260802,785*** | 24042,472 | 303514,417* |
| Erro | 33 | 37970,192 | 2288,576 | 52262,238 | 18618,854 | 97066,778 |
| CV (%) | | 16,70 | 20,15 | 16,28 | 25,82 | 16,12 |

*, **, *** Efeito significativo a 5, 1, e 0,1% pelo teste F.

Tabela 22. Análise de variância do conteúdo de N na folha, caule, vagem, parte aérea, raiz e total avaliados na segunda coleta (valores de quadrado médio).

| Fonte de variação | GL | Conteúdo de N na folha total | Conteúdo de N no caule | Conteúdo de N na vagem | Conteúdo de N na parte aérea | Conteúdo de N na raiz | Conteúdo de N total |
|-------------------|----|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Repetição | 3 | 273272,917 | 26804,243 | 29676,972 | 418385,632 | 5787,500 | 439866,722 |
| Cultivar | 2 | 338755,750 | 34655,083 | 257270,688** | 416079,146 | 132831,063** | 680989,021 |
| N | 1 | 710046,750*** | 24979,688** | 58380,750*** | 719075,521** | 99008,333*** | 1353408,333** |
| P | 1 | 5945984,083*** | 142899,188*** | 1701780,083*** | 17952417,187*** | 169932,000*** | 21616936,333*** |
| N x P | 1 | 931304,083*** | 115542,188*** | 454352,083*** | 4127200,521*** | 80688,000*** | 5362707,000*** |
| Trat NP | 3 | 2809570,917*** | 94473,688*** | 738170,972*** | 7599564,410*** | 116542,778*** | 9444350,556*** |
| Cul x Trat | 6 | 29060,583 | 7252,500 | 46541,826 | 82295,951 | 18895,090 | 86720,160 |
| Erro | 33 | 219201,053 | 12288,167 | 44598,336 | 411577,632 | 16310,712 | 472733,995 |
| CV (%) | | 33,28 | 31,75 | 39,72 | 28,05 | 17,45 | 22,77 |

*, **, *** Efeito significativo a 5, 1, e 0,1% pelo teste F.

Tabela 23. Análise de variância dos caracteres de conteúdo de N na folha, caule, vagem, parte aérea, raiz e total avaliados na terceira coleta (valores de quadrado médio).

| Fonte de variação | GL | Conteúdo de N na folha total | Conteúdo de N no caule | Conteúdo de N na vagem | Conteúdo de N na parte aérea | Conteúdo de N na raiz | Conteúdo de N total |
|-------------------|----|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------|
| Repetição | 3 | 206268,021 | 1123,583 | 384131,361 | 1054731,910 | 76306,243 | 1526750,910 |
| Cultivar | 2 | 163857,438 | 20302,750* | 73516,938 | 239077,563 | 298132,521*** | 744652,938 |
| N | 1 | 2056338,021*** | 272405,333*** | 737552,083** | 8821102,688*** | 542512,688*** | 13742010,188*** |
| P | 1 | 3981888,021*** | 205670,083*** | 10757920,333*** | 35214141,021*** | 1604179,688*** | 51844025,521*** |
| N x P | 1 | 706402,688*** | 833,333 | 3366561,333*** | 7725667,688*** | 242110,021*** | 10705907,521*** |
| Trat NP | 3 | 2771968,576*** | 159636,250*** | 4954011,250*** | 17336946,743*** | 796267,465*** | 25531727,632*** |
| Cul x Trat | 6 | 102231,743 | 11430,583* | 69638,771 | 296933,701 | 27710,132 | 361217,715 |
| Erro | 33 | 90595,551 | 4037,295 | 358257,604 | 696820,243 | 21710,607 | 717075,440 |
| CV (%) | | 34,49 | 19,80 | 39,31 | 30,73 | 21,55 | 24,91 |

*, **, *** Efeito significativo a 5, 1, e 0,1% pelo teste F.

Tabela 24. Análise de variância dos caracteres de acumulação de biomassa avaliados na primeira coleta.

| Fonte de variação | GL | Massa de folha total | Massa de caule | Massa de parte aérea | Massa de raiz |
|-------------------|----|----------------------|----------------|----------------------|---------------|
| Repetição | 3 | 51227 | 16531,246 | 119600 | 8501,550 |
| Cultivar | 4 | 534078*** | 245596,231*** | 1213790*** | 74934,481*** |
| N | 1 | 1762992,200*** | 587730,612*** | 4388908,050*** | 4440,200 |
| P | 1 | 3372668,450*** | 1397882,813*** | 9117900,800*** | 580041,800*** |
| N x P | 1 | 108928,800*** | 52071,013*** | 311251,250*** | 19282,050** |
| Trat NP | 3 | 1748196*** | 679228,146*** | 4606020*** | 201254,683*** |
| Cul x Trat | 12 | 82156** | 10167,490 | 133643** | 15017,215* |
| Erro | 57 | 25465 | 6383,404 | 43543 | 7992,848 |
| CV (%) | | 11,89 | 11,14 | 10,14 | 19,62 |

*, **, *** Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 25. Análise de variância do números de folhas avaliados em oito observações.

| Fonte de variação | GL | 15 DAE | 22 DAE | 29 DAE | 36 DAE | 43 DAE | 50 DAE | 57 DAE | 64 DAE |
|-------------------|-----|-------------|--------------|--------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Repetição | 7 | 22,311 | 138,699 | 1088,735* | 3515,550* | 672,883 | 939,967 | 1443,883 | 1517,112 |
| Cultivar | 4 | 135,478*** | 1244,384*** | 2595,447*** | 1854,331 | 1356,988*** | 3335,113*** | 4079,456*** | 919,175*** |
| Trat | 3 | 1833,692*** | 12785,223*** | 18693,973*** | 104,550*** | 2680,050*** | 3598,633*** | 4514,217*** | 251,446*** |
| Cul x Trat | 12 | 37,936* | 184,468 | 493,114 | 1235,331 | 1145,154 | 1809,154 | 2936,873*** | 3334,467** |
| Erro | 133 | 20,816 | 160,607 | 469,365 | 916,252 | 1335,778 | 1146,282 | 859,322 | 1203,604 |
| CV (%) | | 9,68 | 15,06 | 15,68 | 16,28 | 17,32 | 15,77 | 16,71 | 31,89 |

*, **, *** Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 26. Análise de variância dos caracteres de área foliar avaliados na primeira coleta (valores de quadrado médio).

| Fonte de variação | GL | Número de folhas | Área foliar | Área foliar por folha | Área foliar específica |
|-------------------|----|------------------|-----------------|-----------------------|------------------------|
| Repetição | 3 | 1012,879 | 378604,750 | 330,846 | 2086,217 |
| Cultivar | 4 | 26416,356*** | 8644542,550*** | 5754,300*** | 127184,300*** |
| N | 1 | 38676,013*** | 19545610,612*** | 649,800** | 3511,250** |
| P | 1 | 53820,313*** | 41863158,013*** | 4032,800*** | 1748,450** |
| N x P | 1 | 2010,012** | 817494,612** | 4,050 | 211,250 |
| Trat NP | 3 | 31502,112*** | 17967902,317*** | 1844,379** | 1434,750 |
| Cul x Trat | 12 | 1228,748 | 638882,900* | 570,150 | 5158,583** |
| Erro | 57 | 914,423 | 331513,364 | 384,548 | 1762,962 |
| CV (%) | | 11,99 | 12,75 | 10,91 | 9,77 |

*, **, *** Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 27. Análise de variância dos caracteres de massa de folhas senescentes avaliados em cinco semanas após a floração e o valor total (valores de quadrado médio), da média dos cultivares de feijoeiro.

| Fonte de variação | GL | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Total |
|-------------------|----|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| Repetição | 3 | 1584,646 | 177,217 | 57140,633** | 36062,112 | 9145,612 | 105364,313* |
| Cultivar | 4 | 43692,113*** | 74125,550*** | 374447,581*** | 566759,644*** | 1107174,481*** | 288683,394*** |
| Trat | 3 | 23347,513*** | 75437,350*** | 141257,367*** | 203661,046*** | 135696,879*** | 586238,246*** |
| Cul x Trat | 12 | 7635,804*** | 19087,392* | 131520,565*** | 68715,119*** | 92868,681*** | 29495,319 |
| Erro | 57 | 1857,584 | 9039,252 | 13640,896 | 15642,148 | 11908,577 | 30707,716 |
| CV (%) | | 72,85 | 70,57 | 45,56 | 37,63 | 55,05 | 17,88 |

*, **, *** Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 28. Valores de quadrados médios obtidos pela análise de variância do teor de N na folha e do conteúdo de N na folha, caule, parte aérea e raiz de cinco genótipos de feijoeiro crescidos sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 e 60 mg N kg⁻¹) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, no período de início de formação das vagens.

| Fonte de variação | GL | Teor de N na folha | Conteúdo de N na folha | Conteúdo de N no caule | Conteúdo de N na parte aérea | Conteúdo de N na raiz |
|-------------------|----|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Repetição | 3 | 4643,550 | 13368,246 | 375,546 | 17565,500 | 817,217 |
| Cultivar | 4 | 7600,581 | 75638,344*** | 3342,519** | 105378,700*** | 6782,237*** |
| N | 1 | 156,800 | 133579,512*** | 16907,112*** | 245311,250*** | 192,200 |
| P | 1 | 4410,450** | 438820,313*** | 31641,012*** | 706128,200*** | 26572,050*** |
| N x P | 1 | 23667,20*** | 5072,113 | 1272,013 | 1328,450 | 259,200 |
| Trat NP | 3 | 9411,483* | 192490,6*** | 16606,7*** | 317589,300*** | 9007,817*** |
| Cul x Trat | 12 | 14013,556*** | 17862,594* | 525,202 | 21750,633* | 1138,171* |
| Erro | 57 | 3094,489 | 8222,667 | 685,651 | 10434,491 | 513,366 |
| CV (%) | | 16,95 | 20,72 | 26,56 | 19,05 | 23,67 |

*, **, *** Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 29. Valores de quadrados médios obtidos pela análise de variância do conteúdo de P na folha, caule parte aérea e raiz de cinco genótipos de feijoeiro crescidos sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 e 60 mg N kg⁻¹) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo, no período de início de formação das vagens.

| Fonte de variação | GL | Teor de P na folha | Conteúdo de P na folha | Conteúdo de P no caule | Conteúdo de P na parte aérea | Conteúdo de P na raiz |
|-------------------|----|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Repetição | 3 | 12787,217 | 37732,913* | 713,817 | 48468,033* | 2832,283 |
| Cultivar | 4 | 14797,925 | 34653,825* | 4841,219 | 61011,481** | 6718,581** |
| N | 1 | 47726,450*** | 5265,013 | 97301,250*** | 147920,000*** | 3892,050** |
| P | 1 | 193848,050*** | 1052257,813*** | 304304,450*** | 2490062,450*** | 170201,250*** |
| N x P | 1 | 52531,250*** | 31482,112*** | 5281,250** | 10998,050 | 2184,050** |
| Trat NP | 3 | 98035,250*** | 363001,646*** | 135628,983*** | 882993,500*** | 58759,117*** |
| Cul x Trat | 12 | 11211,833 | 12831,000 | 2600,994 | 16187,740 | 3348,565* |
| Erro | 57 | 7003,559 | 10588,018 | 2689,080 | 15608,691 | 1608,082 |
| CV (%) | | 28,93 | 26,53 | 23,86 | 20,64 | 26,78 |

*, **, *** Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 30. Análise de variância do teor de N no grão e conteúdo de N no caule, grão, vagem, raiz, folha senescente e índice de colheita de N e P avaliados na maturação de grãos (valores de quadrado médio).

| Fonte de variação | GL | Teor de N no grão | Conteúdo de N no caule | Conteúdo de N na vagem | Conteúdo de N no grão | Conteúdo de N na raiz | Conteúdo de N em folhas senescentes | Índice de colheita de N aparente | Índice de colheita de N real |
|-------------------|----|-------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Repetição | 3 | 1587,846 | 583,733 | 449,783 | 104305,946* | 1737,233 | 4473,646 | 485,379 | 981,046 |
| Cultivar | 4 | 855,894 | 7193,544*** | 1715,762*** | 495210,544*** | 5951,981*** | 13205,488*** | 11716,981*** | 37157,719*** |
| N | 1 | 6,612 | 3354,050*** | 684,450*** | 102030,612*** | 3781,250*** | 9790,313*** | 2868,012** | 2300,513 |
| P | 1 | 1720,513** | 25418,450*** | 9331,200*** | 7159856,112*** | 12954,050*** | 57727,513*** | 24047,112*** | 148350,313*** |
| N x P | 1 | 195,313 | 369,800 | 20,000 | 26100,313 | 3276,800*** | 973,013 | 437,113 | 292,612 |
| Trat NP | 3 | 640,813 | 9714,100*** | 3345,217*** | 2429329,012*** | 6670,700*** | 22830,279*** | 9117,412** | 50314,479*** |
| Cul x Trat | 12 | 1195,010 | 1499,319* | 618,113** | 106681,419*** | 1087,523 | 4004,071* | 3579,173* | 6261,135* |
| Erro | 57 | 1317,048 | 607,321 | 194,143 | 31275,174 | 803,839 | 1866,997 | 1693,748 | 3100,765 |
| CV (%) | | 11,53 | 36,13 | 29,85 | 23,42 | 36,73 | 24,61 | 4,81 | 7,97 |

*, **, *** Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 31. Análise de variância do teor de P no grão e do conteúdo de P no caule, grão, vagem, raiz, folha senescente e índice de colheita de N e P avaliados na maturação de grãos (valores de quadrado médio).

| Fonte de variação | GL | Teor de P no grão | Conteúdo de P no caule | Conteúdo de P na vagem | Conteúdo de P no grão | Conteúdo de P na raiz | Conteúdo de P em folhas senescentes | Índice de colheita de P aparente | Índice de colheita de P real |
|-------------------|----|-------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Repetição | 3 | 26023,550** | 641,950 | 326,613 | 95556,746 | 1268,746 | 6043,912* | 3301,283 | 3435,333 |
| Cultivar | 4 | 45812,031*** | 27675,081*** | 1381,331*** | 42589,919*** | 6375,531*** | 23906,606*** | 2461,294*** | 5731,606*** |
| N | 1 | 11233,800*** | 8000,000*** | 1665,313*** | 88777,813** | 3878,112*** | 1872,112 | 10035,200*** | 5882,450** |
| P | 1 | 277065,800*** | 132845,000*** | 13965,612*** | 21452454,113*** | 19687,813*** | 205740,612*** | 72721,800*** | 169832,450*** |
| N x P | 1 | 12350,450*** | 661,250 | 10,513 | 8221,513 | 7201,013*** | 132,613 | 994,050 | 231,200 |
| Trat NP | 3 | 10216,683*** | 47168,750*** | 5213,813*** | 71851,146*** | 13240,713*** | 69248,446*** | 7917,017*** | 5648,700*** |
| Cul x Trat | 12 | 7985,631* | 4901,698* | 528,698*** | 107926,844 | 1507,140 | 5518,998** | 6468,027** | 6288,815* |
| Erro | 57 | 3813,550 | 2051,704 | 182,358 | 60909,614 | 908,035 | 2157,404 | 2568,897 | 3354,360 |
| CV (%) | | 13,77 | 33,55 | 22,35 | 22,85 | 39,04 | 24,17 | 6,13 | 8,16 |

*, **, *** Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 32. Valores de quadrados médios obtidos pela análise de variância do conteúdo de N nas folhas senescentes avaliado nas semanas após floração e no total de semanas de cinco genótipos de feijoeiro crescidos sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 e 60 mg N kg⁻¹) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo.

| Fonte de variação | GL | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Total |
|-------------------|----|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Repetição | 3 | 5027,733 | 7082,946 | 268313,146 | 145997,546 | 36471,483 | 446490,946 |
| Cultivar | 4 | 115607,419*** | 175029,606** | 1351389,356*** | 1102876,363*** | 5595656,613*** | 1322471,98*** |
| Trat | 3 | 49201,167*** | 150310,546** | 746222,546*** | 355278,112** | 654784,983*** | 2283301,87*** |
| Cul x Trat | 12 | 18448,594*** | 34502,390 | 538431,140*** | 182854,696* | 475750,129*** | 400973,598* |
| Erro | 57 | 4812,093 | 33537,577 | 102089,470 | 73240,344 | 45368,536 | 186415,656 |
| CV (%) | | 84,91 | 81,08 | 66,17 | 49,09 | 51,48 | 24,59 |

*, **, *** Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 33. Valores de quadrados médios obtidos pela análise de variância do conteúdo de P nas folhas senescentes avaliado nas semanas após floração e no total de semanas de cinco genótipos de feijoeiro crescidos sob duas doses de N (N1 e N2, respectivamente 30 e 60 mg N kg⁻¹) e duas doses de P (P1 e P2, respectivamente 20 e 100 mg P kg⁻¹) aplicadas ao solo.

| Fonte de variação | GL | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Total |
|-------------------|----|-------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Repetição | 3 | 15,567 | 63,213 | 1688,412* | 1076,613 | 1633,417 | 6043,912* |
| Cultivar | 4 | 1093,500*** | 1071,794** | 11375,125*** | 17988,719*** | 97035,269*** | 23906,606*** |
| Trat | 3 | 395,700** | 770,812* | 5762,213*** | 13116,379*** | 15826,850*** | 69248,446*** |
| Cul x Trat | 12 | 156,325* | 311,760 | 4233,942*** | 3085,035** | 11734,027*** | 5518,998** |
| Erro | 57 | 65,689 | 244,695 | 543,474 | 1136,516 | 828,732 | 2157,404 |
| CV (%) | | 95,35 | 77,78 | 51,31 | 51,42 | 54,81 | 24,17 |

*, **, *** Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1% pelo teste F.

Tabela 34. Análise de variância dos caracteres de produção de grãos avaliados no estágio de maturidade fisiológica (valores de quadrado médio), de cinco cultivares de feijoeiro.

| Fonte de variação | GL | Produção de grãos por planta | Número de vagens por planta | Número de grãos por vagem | Massa de 1 grão | Massa de parte aérea (com senescentes) | Índice de colheita aparente | Índice de colheita real |
|-------------------|----|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|--|-----------------------------|-------------------------|
| Repetição | 3 | 12932,033** | 72,246* | 7178,846* | 634,846 | 34490,583** | 1050,013 | 1631,279 |
| Cultivar | 4 | 57865,925*** | 748,294*** | 81670,513*** | 90287,656*** | 139603,919*** | 20630,469*** | 17071,794*** |
| N | 1 | 18422,450** | 177,013*** | 3,613 | 599,513** | 93434,450*** | 6643,012*** | 4545,113*** |
| P | 1 | 864448,200*** | 2030,113*** | 80835,613*** | 37801,513*** | 1673311,250*** | 111527,113*** | 171773,113*** |
| N x P | 1 | 5882,450** | 0,112 | 22545,612*** | 148,512 | 4712,450 | 4605,613*** | 2132,112** |
| Trat NP | 3 | 296251,033*** | 735,746*** | 34461,613*** | 12849,846*** | 590486,050*** | 40925,246*** | 59483,446*** |
| Cul x Trat | 12 | 11413,533*** | 40,027* | 4497,029* | 941,606* | 17446,977** | 2681,402* | 2834,519* |
| Erro | 57 | 2787,454 | 17,939 | 2265,705 | 418,504 | 6825,127 | 1246,434 | 1441,920 |
| CV (%) | | 19,36 | 18,81 | 10,46 | 7,23 | 16,10 | 6,24 | 8,38 |

*, **, *** Significativo aos níveis de 5, 1 e 0,1% pelo teste F.