
DESENVOLVIMENTO DE NÓDULOS E PLANTAS DE CAUPI (*Vigna unguiculata*) POR MÉTODOS DESTRUTIVO E NÃO DESTRUTIVO

José Valdemir Tenório da Costa

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. D. Manoel de Medeiros S/N. Dois Irmãos, Recife, PE. 52171-900.
Tel: 81-3302-1248. jvtcnovo@yahoo.com.br

Mario de Andrade Lira Junior

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. D. Manoel de Medeiros S/N. Dois Irmãos, Recife, PE. 52171-900.
Tel: 81-3302-1248. mliraj@ufrpe.br

Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. D. Manoel de Medeiros S/N. Dois Irmãos, Recife, PE. 52171-900.
Tel: 81-3302-1248. rinaldof@ufrpe.br

Newton Pereira Stamford

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. D. Manoel de Medeiros S/N. Dois Irmãos, Recife, PE. 52171-900.
Tel: 81-3302-1248. newtonps@ufrpe.br

Fabiana Aparecida da Silva Araújo

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Av. D. Manoel de Medeiros S/N. Dois Irmãos, Recife, PE. 52171-900.
Tel: 81-3302-1248. fasaraujo@hotmail.com

RESUMO - O trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os procedimentos para acompanhar o desenvolvimento de nódulos por métodos destrutivo e não destrutivo. Foi conduzido um experimento com caupi, realizando-se determinações semanais de altura e área foliar, e digitalização da parte visível de todos os sistemas radiculares, a partir de sete dias após a emergência (DAE) até a maturidade fisiológica das plantas. Semanalmente, também foi retirada uma planta por bloco, para determinações destrutivas das variáveis indicadoras do desenvolvimento da planta e da nodulação. Nos nódulos retirados manualmente e naqueles que puderam ser observados nos lados mais extensos do vaso, foram feitas determinações da área, comprimento e diâmetro. Para área, comprimento e diâmetro dos nódulos inicialmente foi realizada análise descritiva a cada ponto, e a seguir foram calculadas a média, a mediana, a máxima, a mínima e a soma, para cada característica. Na análise de regressão a área foliar e altura da planta foram consideradas como variáveis dependentes, e a idade da planta como variável independente. As análises de regressão foram realizadas de forma independente para as medições obtidas pelo processo destrutivo. De uma maneira geral os resultados indicam boa concordância entre as curvas de desenvolvimento obtidas pelo método destrutivo e não-destrutivo, e especialmente quanto à previsão de aparecimento de nódulos e idade em que foi encontrada a máxima produção para cada variável. Dentre as variáveis ligadas ao tamanho do nódulo, a soma do comprimento apresentou melhores características quando comparada à massa seca dos nódulos.

Palavras-Chave: análise de imagens, rhizobium, rizóbio, fixação de nitrogênio, FBN .

COWPEA (*Vigna unguiculata*) PLANT AND NODULE DE- VELOPMENT BY DESTRUCTIVE AND NON-DESTRUCTIVE METHODS

ABSTRACT - This work was conducted in order to evaluate the procedures for analysis of nodule development through non-destructive and destructive methods in the same plant set. A greenhouse experiment was carried out with cowpea grain legume. Plants were weekly measured, from seven days old to physiological maturity, for evaluation of plant height and leaf area, and to obtain digitized images of all the visible part of the rooting systems. Weekly, a plant was also collected from each block for destructive determination of plant and nodule development. Nodules area, length and diameter were measured for those hand-separated from the root system and for those visible on the vessels side. For area, length and diameter of the nodules, initially a descriptive analysis was conducted in each point and next it was determined the average, median, maximum, minimum and the sum for each variable. Both variables, leaf area and plant height, were studied by regression analysis being considered as dependent vari-

ables and plant age as independent variable. Independent regressions were conducted for data obtained through the traditional destructive methods. Results have indicated a general concordance for development curves obtained by destructive and non-destructive methods, especially regarding nodule appearing and age in which the maximum value for each variable was found.

Keywords: BNF, image analysis, nitrogen fixation, rhizobia bacteria, Rhizobium

INTRODUÇÃO

A simbiose entre leguminosas e rizóbio é a fonte mais importante de nitrogênio fixado biologicamente em sistemas agrícolas (GRAHAM & VANCE, 2000). Como este é um processo biológico, não depende de energia externa, e tem poucos efeitos ambientais potencialmente adversos. Devido à grande importância da fixação biológica de nitrogênio, até um pequeno aumento na eficiência da simbiose quanto à fixação de nitrogênio teria um impacto importante no balanço global de nitrogênio além de um aumento na eficiência dos sistemas agrícolas que incluam as leguminosas (PHILLIPS, 1991; PANZIERI *et al.*, 2000).

A fixação biológica de nitrogênio atmosférico (FBN) é um processo ecológico e economicamente vantajoso que pode substituir os fertilizantes nitrogenados. No Brasil o melhor exemplo de utilização deste processo é a cultura da soja, onde a adubação química nitrogenada é totalmente substituída pela utilização de inoculantes contendo bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, o que representa uma economia para o país, de cerca de US\$ 2 bilhões ao ano (LACERDA *et al.*, 2004), embora este processo, de acordo com Hungria *et al.* (1997) também seja importante para outras leguminosas como o caupi (*Vigna unguiculata*).

Para melhor estudar este sistema biológico e sua interação com o meio é de fundamental importância conhecer melhor os nódulos e sua interação com a planta e o meio (DATE, 2000). A maioria dos estudos conduzidos até o momento foi baseada em métodos que permitem a observação dos nódulos de forma destrutiva, não sendo possível acompanhá-los ao longo do tempo. Deste modo não era possível observar a formação dos nódulos e o acompanhamento do crescimento dos mesmos durante o ciclo da cultura, exceto pelo uso de diferentes populações de nódulos a cada colheita em que eram avaliados e comparados.

Recentemente trabalhos realizados com ervilha e outras espécies de leguminosas descreveram métodos baseados em análise de imagem que permitem medições não destrutivas de nódulos (LIRA JUNIOR & SMITH, 2000; LIRA JUNIOR *et al.*, 2003). No entanto, estes

trabalhos utilizaram esta técnica em amostragem destrutiva como ferramenta para permitir a determinação do tamanho dos nódulos de forma mais acurada e sem a limitação de tempo inerente à determinação convencional.

Lira Junior *et al.* (2005), por outro lado, utilizaram uma técnica derivada, em que as plantas foram desenvolvidas em hidroponia, com os nódulos visíveis, e os mesmos nódulos sendo acompanhados ao longo do tempo. Esta técnica, por sua vez, apresenta as limitações derivadas da hidroponia, que, apesar de ser extremamente útil para a investigação de alguns problemas, não é adequada para a análise de diversas condições ambientais, como o efeito da acidez do solo, por exemplo, que afeta mais de 800 milhões de hectares na América Latina (GRAHAM, 1992).

Deste modo, este trabalho teve por objetivo avaliar procedimentos para acompanhamento do desenvolvimento de nódulos e das plantas por métodos destrutivo e não destrutivo em um mesmo conjunto de plantas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento com caupi *Vigna unguiculata* [L.] Walp.) cultivar IPA 206 (MIRANDA *et al.*, 2002) foi conduzido em casa de vegetação da UFRPE, Recife, Pernambuco. Foram construídos vasos em acrílico transparente medindo 28 cm de altura, 20 cm de largura e 7 cm de profundidade, perfurados no fundo para permitir drenagem, e forrados com espuma para evitar perda do substrato de crescimento. Estes vasos foram preenchidos com areia lavada até os 25 cm de altura. Os vasos foram envolvidos com lona plástica dupla face com a finalidade de diminuir a incidência da luz no substrato.

As sementes foram desinfestadas superficialmente (MONTEALEGRE *et al.*, 1995) e colocadas para pré-germinar envolvidas em papel toalha umedecido com água destilada por 24 horas. Três sementes por vaso foram semeadas e inoculadas com 1 ml/semente com uma mistura 1:1 (v:v) das estirpes NFB 700 e SEMIA 6156, recomendadas para caupi (BANGEL *et al.*, 2001), cultivadas em meio YM contendo 10^9 células de rizóbio para cada semente. Aos sete dias pós-germinação foi feito desbaste deixando apenas uma planta por vaso,

sendo o substrato em seguida coberto por espuma para reduzir a evaporação e não permitir perda do substrato durante as operações de obtenção das imagens.

Irrigações com solução nutritiva de Hoagland sem nitrogênio (HOAGLAND E ARNON, 1950) diluída dez vezes em água corrente foram realizadas duas vezes ao dia até drenagem. A partir dos sete dias após a semeadura até os 70 dias após semeadura foi retirado um vaso de cada repetição a cada semana para obtenção de número de nódulos, tamanho (comprimento e diâmetro), massa fresca e seca dos nódulos, área foliar, massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular e atividade da enzima nitrogenase. Na mesma data, nas plantas dos vasos restantes, foram determinados pelo método não destrutivo, o número de folhas e altura das plantas.

Os nódulos tiveram comprimento e diâmetro determinados (LIRA JUNIOR & SMITH, 2000) tanto nos retirados manualmente por colheita quanto naqueles que puderam ser observados nas imagens obtidas pela digitalização dos lados mais extensos do vaso, na resolução de 300 pontos por polegada. A área foliar foi obtida mediante a digitalização das folhas em digitalizador segundo o mesmo procedimento utilizado para os nódulos. A média da área foliar específica (cm²/folha) observada em cada idade de amostragem foi utilizada para estimativa da área foliar das plantas remanescentes por multiplicação pelo número de folhas contadas.

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados, sendo 10 colheitas e seis repetições, com um total de 60 vasos. A análise estatística foi conduzida utilizando o “Guided Data Analysis Procedure” do SAS (SAS INSTITUTE, 1999) para determinação de eventuais “outliers” e transformações requeridas. Em seguida foi realizada análise e seleção de modelos de regressão para número de nódulos, massa fresca e seca de nódulos e atividade da nitrogenase, altura da planta, área foliar, massa seca da parte aérea, da raiz e das vagens e massa fresca das vagens, considerando-se a idade das plantas como variável independente.

Para as variáveis área foliar e altura das plantas, a mesma análise foi realizada considerando as medições repetidas para cada planta, com 60 pontos para a idade de 7 dias e reduzindo seis plantas a cada semana devido à amostragem realizada.

Para área, comprimento e diâmetro dos nódulos foi realizada inicialmente análise descritiva a cada ponto, sendo calculadas máxima, média, mediana, mínima e soma para cada característica. Estas foram consideradas como variáveis dependentes e idade da planta como variável independente, de forma semelhante à anteriormente descrita.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas análises para obtenção da equação de regressão, coeficiente de determinação e coeficiente de variação para as variáveis de nodulação e as variáveis relacionadas com o desenvolvimento das plantas como podem ser observadas na Tabela 1.

Os resultados mostram que para o desenvolvimento das plantas os coeficientes de determinação e de variação apresentaram bons resultados em especial para massa seca da parte aérea, da raiz e de vagens, todas com R² acima de 0,90, enquanto massa fresca de vagens e área foliar tenham apresentado R² 0,68 e 0,78 respectivamente, resultados estes que concordam com as definições de Oliveira (1999). O aumento da massa seca da parte aérea e da raiz se deu até 63 dias aumentando progressivamente ao longo do ciclo da cultura. Foi observada uma pequena redução na massa seca da parte aérea apenas aos 70 dias, correspondente a última data de colheita causada pela queda das folhas mais velhas em função da maturidade fisiológica das plantas.

A massa fresca de vagens foi determinada a partir de 56 dias após a emergência, com as vagens evoluindo em número e massa até os 70 dias. Para área foliar houve uma maior evolução até 35 dias após a emergência tendo aumento progressivo no número de folhas e conseqüentemente na área foliar. A partir dos 42 dias após a emergência houve diminuição no desenvolvimento da área foliar causada possivelmente pelo estágio de floração e posterior desenvolvimento de vagens, concordando com os resultados encontrados por Bergamashi *et al.* (1991). A massa seca da parte aérea foi influenciada pela redução no desenvolvimento que vinha apresentando até os 42 dias, como podem ser observadas as equações de regressão, os coeficientes de determinação e de variação e o máximo para estas variáveis na Tabela 1.

Para número de nódulos foi observado crescimento dos sete dias após a emergência, fase inicial do processo de nodulação até a fase em que as plantas entraram em processo de formação

Tabela 1 – Equação de regressão, coeficiente de determinação (R^2), máximo e coeficiente de variação (CV) e nível de significância (NS) para cada variável, considerando a idade da planta como variável independente.

VARIA-VEIS	EQUAÇÃO	R^2	MAXIMO	CV	Niv. Signif.
Nº nódulos	$10 (0,365 + 0,0735 \text{ idade} - 76 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)$	0,7502	48 dias	11%	0,0000
MF nódulos	$(-0,002 + 0,0427 \text{ idade} - 38 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)^5$	0,9283	56 dias	8,0%	0,0000
MS nódulos	$(0,0225 + 0,0323 \text{ idade} - 28 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)^5$	0,8854	56 dias	10%	0,0000
Nitrogenase	$10 (-1,445 + 0,0234 \text{ idade} - 15 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)$	0,4934	Sem ident	39%	0,0001
MF vagens	$(-80,5 + 2,814 \text{ idade} - 0,023 \text{ idade}^2)^2$	0,6859	47 dias	26%	0,0037
MS vagens	$(-37,11 + 1,215 \text{ idade} - 0,009 \text{ idade}^2)^2$	0,9378	Sem ident	14%	0,0000
Altura	$10 (0,555 + 0,0419 \text{ idade} - 27 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)$	0,9200	Sem ident	8,0%	0,0000
MSR	$10 (-1,53 + 0,0491 \text{ idade} - 33 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)$	0,9108	Sem ident	35%	0,0000
MSPA	$10 (-1,759 + 0,0902 \text{ idade} - 7 \times 10^{-4} \text{ idade}^2)$	0,9596	64 dias	32%	0,0000
AF	$10 (2,057 + 0,025 \text{ idade} - 19 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)$	0,7890	60 dias	19%	0,2158

Nº nódulos = número de nódulos, MF e MS nódulos = massa fresca e seca de nódulos, Nitrogenase, MF e MS vagens = massa fresca e seca de vagens, altura, MSR = massa seca da raiz, MSPA = massa seca da parte aérea, AF = área foliar. Sem ident = sem identificação da data

de vagens, quando os nódulos mais velhos começaram a entrar em processo de senescência e em seguida decomposição, resultando na diminuição do número de nódulos a partir dos 56 dias. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Ferreira *et al* (1994), que descrevem crescente formação de nódulos nos primeiros 15 dias, ocorrendo uma diminuição aos 56 dias após a emergência em decorrência natural da fase reprodutiva. Vargas *et al* (1994), avaliando a formação de nódulos em feijoeiro comum,

sistema radicular no desenvolvimento de nódulos de ervilha, feijão e lentilha observaram nódulos visíveis nestas espécies aos 7 dias após a inoculação.

A massa fresca e seca de nódulos apresentou evolução dos sete dias após emergência até os 70 dias com coeficientes de determinação e de variação considerados muito bons para estas variáveis, com aumento de massa fresca e seca dos nódulos ao longo do tempo como pode ser observado na Tabela 1. Mesmo com a redução do

Tabela 2 – Equação de regressão, coeficiente de determinação (R^2), máximo para cada variável (máximo), coeficiente de variação (CV) e nível de significância (NS) para altura de planta e área foliar determinados semanalmente.

VARIÁVEIS	EQUAÇÃO	R^2	Máximo	CV	Niv. Signif.
Altura	$10 0,784 + 0,0244 \text{ idade}$	0,9193	70 dias	12%	0,0000
Área foliar	$10^{1,328 + 0,0619 \text{ idade} - 52 \times 10^{-5} \text{ idade}^2}$	0,9567	58 dias	4,3%	0,0000

também observaram boa nodulação aos 12 dias após a emergência, mesmo utilizando níveis baixos de fertilizante e de calcário. Lira Junior *et al* (2005) estudando efeito de temperatura do

número de nódulos a partir dos 56 dias, causada pelo processo natural de senescência, não foi percebida diminuição na massa seca de nódulos devido aos nódulos formados tardiamente ainda

estarem se desenvolvendo.

O valor máximo da massa seca da parte aérea foi encontrado aos 64 dias após emergência, fase em que as plantas apresentavam-se com todas as folhas totalmente formadas e desenvolvidas. A área foliar teve sua área máxima identificada aos 60 dias com R^2 de 0,78 e CV de 19% como podem ser observados na Tabela 1.

Para altura determinada de forma não

concordando com os resultados apresentados pelo método destrutivo.

A área foliar também apresentou resultados para o coeficiente de determinação e de variação muito bom para esta variável. As plantas apresentaram crescimento dos 7 dias após a emergência até os 58 dias, seguido por redução causada pela queda das folhas mais velhas devido à maturidade fisiológica das plantas.

Tabela 3 – Equação de regressão considerando idade como variável independente, coeficiente de determinação (R^2), máximo e nível de significância (NS) para cada variável (máximo) e coeficiente de varia-

VARIÁVEIS	EQUAÇÃO	R^2	Máximo	CV	Niv. Signif.
Comp máximo	$10 (0,094 + 0,0323 \text{ idade} - 3 \times 10^{-4} \text{ idade}^2)$	0,9271	54 dias	10%	0,0000
Média comp	$(1,149 + 0,0367 \text{ idade} - 3 \times 10^{-4} \text{ idade}^2)^2$	0,9013	61 dias	6,5%	0,0000
Mediana comp	$(1,16 + 0,0316 \text{ idade} - 24 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)^2$	0,8667	66 dias	7,6%	0,0000
Comp mínimo	$10 (0,228 + 0,0004 \text{ idade} + 302 \times 10^{-7} \text{ idade}^2)$	0,6320	7 dias	37%	0,0000
Soma comp	$10 (-0,274 + 0,101 \text{ idade} - 97 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)$	0,9539	52 dias	8,7%	0,0000
Diam máximo	$10 (0,0041 + 0,0345 \text{ idade} - 32 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)$	0,9229	54 dias	13%	0,0000
Média diam	$(1,021 + 0,0337 \text{ idade} - 28 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)^2$	0,9104	60 dias	6,3%	0,0000
Mediana diam	$(0,939 + 0,0307 \text{ idade} - 24 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)^2$	0,8858	64 dias	8,0%	0,0000
Diam mínimo	$10 (0,172 - 0,001 \text{ idade} + 56 \times 10^{-6} \text{ idade}^2)$	0,6269	7 dias	42%	0,0000
Soma diam	$10 (-0,399 + 0,103 \text{ idade} - 0,001 \text{ idade}^2)$	0,9487	51 dias	9,9%	0,0000
Área máxima	$(1,464 + 0,0438 \text{ idade} - 38 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)^2$	0,9395	58 dias	14%	0,0000
Média área	$(2,031 + 0,0601 \text{ idade} - 46 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)^2$	0,9369	65 dias	4,2%	0,0000
Mediana área	$(1,880 + 0,0576 \text{ idade} - 42 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)^2$	0,8973	69 dias	6,7%	0,0000
Área mínima	$10 (0,694 + 0,0015 \text{ idade} + 206 \times 10^{-7} \text{ idade}^2)$	0,8855	7 dias	7,0%	0,0000
Soma área	$10 (0,182 + 0,102 \text{ idade} - 0,001 \text{ idade}^2)$	0,6241	51 dias	12,7%	0,0000
Número	$10 (-0,422 + 0,0819 \text{ idade} - 81 \times 10^{-5} \text{ idade}^2)$	0,9521	51 dias	6,9%	0,0000

Comp = comprimento de nódulos, Diam = diâmetro de nódulos. O máximo foi calculado com base na equação

destrutiva os coeficientes de determinação e de variação determinados podem ser observados na Tabela 2. Os resultados indicam que as plantas cresceram desde a emergência até a maturidade fisiológica, mesmo quando as plantas já estavam com vagens formadas, o que se deve a cultivar utilizada ser de crescimento indeterminado,

Foram realizadas análises para obtenção das equações de regressão, coeficientes de determinação e coeficiente de variação para as variáveis relacionadas com a evolução da nodulação e desenvolvimento das plantas, como pode ser observado na Tabela 3.

Para as variáveis relacionadas com o comprimento dos nódulos os coeficientes de

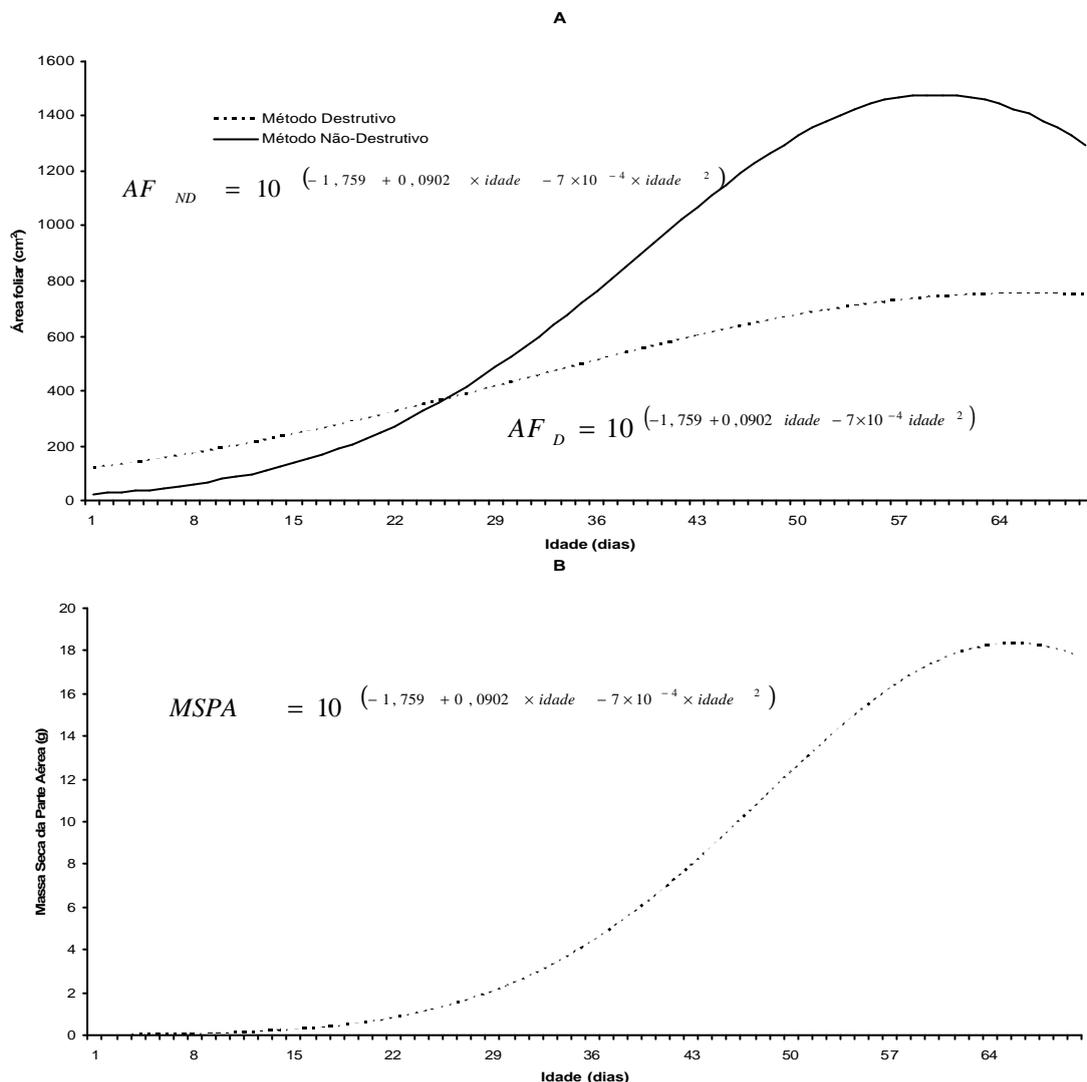


Figura 1. Comparação de métodos de avaliação de desenvolvimento de plantas de caupi cultivadas em casa de vegetação. A – Avaliação do desenvolvimento da área foliar por métodos destrutivo AF_D e não-destrutivo AF_{ND}. B – Avaliação do desenvolvimento da massa seca da parte aérea

determinação (R^2) obtidos foram superiores a 0,86 com exceção da variável comprimento mínimo que apresentou (R^2) de 0,63. As idades em que os maiores tamanhos foram encontrados variaram de 52 a 66 dias após emergência, dependendo da variável considerada (soma a mediana). Já para o comprimento mínimo os resultados são identificados nos primeiros dias após a emergência, indicando que o mínimo para comprimento de nódulo é provavelmente determinado pela capacidade de reconhecimento do nódulo, concordando com Lira Junior *et al.*, (2003) e Lira Junior *et al.*, (2005). Percebe-se que todos os valores encontrados foram obtidos a

partir dos 52 dias, fase em que todas as plantas já tinham atingido a maturidade fisiológica encontrando-se totalmente desenvolvidas e com a maioria dos nódulos já formados, concordando com os resultados encontrados por Bergamashi *et al.*, (1991). Os coeficientes de variação (CV), foram inferiores a 10% com exceção de comprimento mínimo que apresentou CV de 37%, possivelmente pelas pequenas diferenças encontradas em função do tempo.

Para as variáveis relacionadas ao diâmetro dos nódulos os R^2 encontrados estão todos acima de 0,88 com exceção da variável diâmetro mínimo que apresentou resultado inferior a 0,65

como já tinha sido observado para o comprimento. As idades em que os valores máximos foram encontrados em função da regressão coincidiram com os valores encontrados para o comprimento. A maior diferença encontrada para a idade de ocorrência do comprimento e diâmetro máximos foi de 2 dias, indicando que comprimento e diâmetro comportaram-se de modo semelhante ao longo do tempo. Também para o diâmetro mínimo o valor máximo foi identificado no início do desenvolvimento. Os coeficientes de variação obtidos para o diâmetro foram inferiores a 13% para as variáveis, com exceção para o diâmetro mínimo que apresentou CV de 42%.

A área dos nódulos comportou-se de forma semelhante ao comprimento e diâmetro, com valores máximos encontrados em datas aproximadamente equivalentes, com o máximo para a área mínima também sendo encontrada no

início do desenvolvimento e com os coeficientes de variação para todas as variáveis abaixo de 14% como podem ser observados na Tabela 3.

Para o número de nódulos o máximo foi encontrado aos 51 dias apresentando R^2 acima de 0,93 e CV inferior a 7%.

Na Figura 1A, estão apresentadas as curvas de desenvolvimento da área foliar em função da idade nos métodos destrutivo e não destrutivo, sendo observado uma diferença acentuada entre as áreas foliares estimadas a partir dos 28 dias, mas de um modo geral elas identificam a evolução da área foliar ao longo do ciclo da cultura de forma semelhante, embora a metodologia não destrutiva exacerbe as características observadas pela metodologia destrutiva.

Para a massa seca da parte aérea Figura 1B foi obtida uma curva de desenvolvimento muito semelhante à curva obtida pelo método não

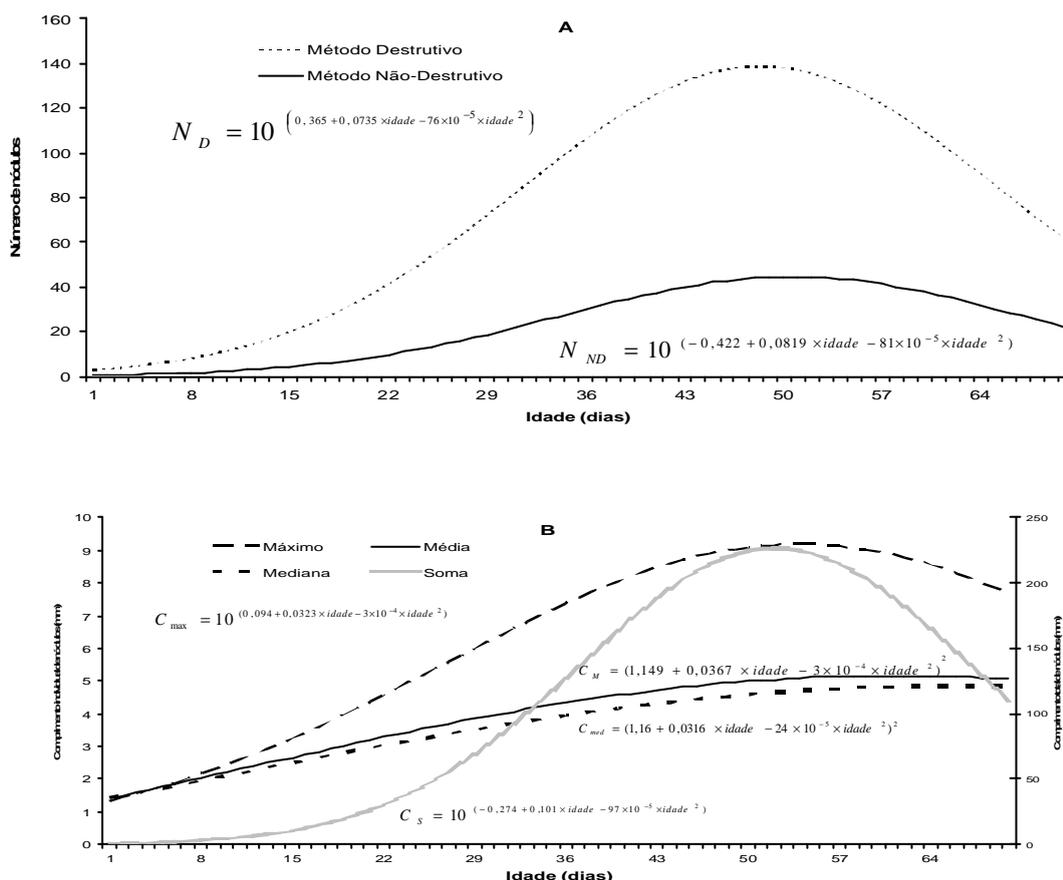


Figura 2. Comparação de métodos de avaliação de desenvolvimento de nódulos de caupi em plantas cultivadas em casa de vegetação. A – Avaliação do desenvolvimento do número de nódulos por métodos destrutivo e não-destrutivo. B – Avaliação do desenvolvimento de comprimento de nódulos por método não-destrutivo.

destrutivo para a área foliar.

Na Figura 2A, estão apresentadas as curvas de desenvolvimento da nodulação. No geral as duas curvas são bem semelhantes com relação ao ponto em que começam a identificar a evolução da nodulação, a idade em que é atingido o pico máximo do número de nódulos e em seguida o declínio desse número ao longo do ciclo da cultura em cada data distinta. No entanto, há uma subestimativa do número de nódulos durante

desenvolvimento semelhante a que foi obtida para o método não destrutivo indicando que a evolução da massa seca de nódulos é melhor representada pelo método não destrutivo do que pelo método destrutivo.

CONCLUSÕES

Os resultados indicam boa concordância entre as curvas de desenvolvimento obtidas pelos métodos destrutivo e não-destrutivo, em

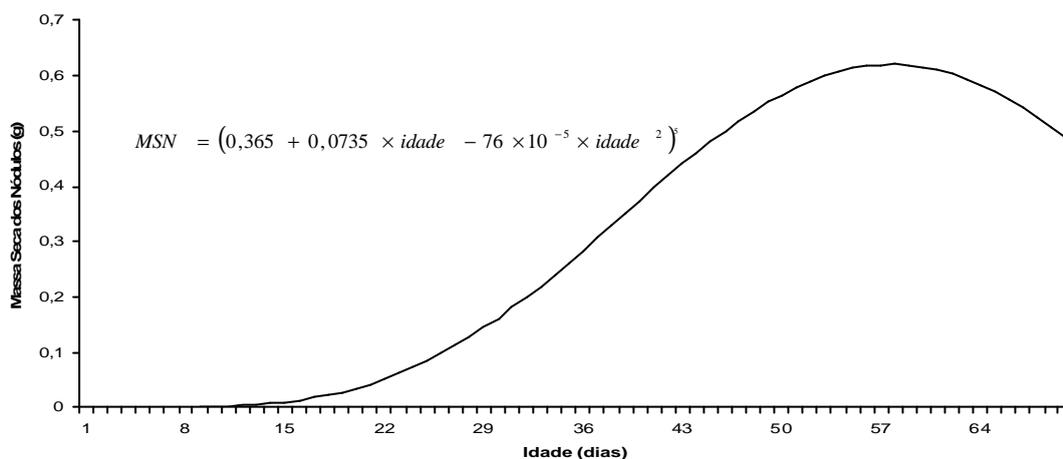


Figura 3. Comparação de métodos de avaliação de desenvolvimento de nódulos de caupi em plantas cultivadas em casa de vegetação. Avaliação do desenvolvimento de massa seca de nódulos.

parte do ciclo da cultura para o método não destrutivo.

Na Figura 2B, podem ser observadas soma, máximo, média e mediana do comprimento dos nódulos que foram analisadas com a finalidade de identificar a que melhor descrevesse a evolução do comprimento dos nódulos individualmente e no seu conjunto ao longo do tempo. A soma dos comprimentos dos nódulos apresentou curva de desenvolvimento semelhante à obtida pelo método não destrutivo para número de nódulos, sendo também semelhantes à curva do desenvolvimento para massa seca de nódulos Figura 2C. Com esse resultado pode-se

afirmar que esta variável é a que melhor representa o crescimento de nódulos analisados pelo método não destrutivo. A média e a mediana apresentaram curvas de formas bastante semelhante, mas suficientemente diferentes da curva obtida pelo método destrutivo para restringir sua aplicabilidade.

Na Figura 2C, pode ser observado o desenvolvimento da massa seca de nódulos em função da idade, apresentando uma curva de

particular quanto à previsão de aparecimento de nódulos e idade em que a máxima produção para cada variável foi encontrada.

O modelo para área foliar obtido pelo modelo não destrutivo representa de forma semelhante à curva de desenvolvimento observada para a massa seca da parte aérea.

Dentre as variáveis relacionadas ao tamanho dos nódulos, a soma do comprimento de nódulos apresentou melhores características quando comparada à massa seca dos nódulos.

AGRADECIMENTOS

Trabalho apresentado como parte da dissertação do primeiro autor junto ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo da UFRPE. Trabalho parcialmente financiado através do Programa PROF/UFRPE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANGEL, E. V., MEYER, J. V., SILVA, G. M. Coleção de culturas de rizóbio SEMIA (FEPAGRO-MIRCEN). In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28. 2001, Londrina. **Anais...** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 68-68. 2001.
- BERGAMASCHI, H. Efeito de variáveis micrometeorológicas e disponibilidade hídrica no solo sobre a resistência estomática à difusão gasosa em feijoeiro. **Turrialba**, San Jose, v. 41, p. 455-450.1991.
- DATE, R. A. Inoculated legumes in cropping systems of the tropics. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, p. 123-136, 2000.
- FERREIRA, L.G.; MENDES FILHO, P. F.; ALBUQUERQUE, I. M. Fixação simbiótica em caupi *Vigna unguiculata* (L) Walp) em função do déficit hídrico. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.25, n.1/2, p. 16-23, 1994.
- GRAHAM, P. H. Stress tolerance in *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*, and nodulation under adverse soil conditions. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 38, p. 475-484, 1992.
- GRAHAM, P. H.; VANCE, C. P. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, p. 93-106, 2000.
- HOAGLAND, D. R., ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 32 p., 1950.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T., ARAUJO, R. S. Biological nitrogen fixation by beans. In: HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T., ARAUJO, R. S. **Biologia dos solos dos cerrados**. Brasília: EMBRAPA, 1997.
- LACERDA; A.M.; *et al.* Efeito de estirpes de rizóbio sobre a nodulação e produtividade do feijão - caupi. **Revista Ceres**. Viçosa, MG, v. 51, n 293 , p. 67-82, 2004.
- LIRA JUNIOR, M. A.; SMITH, D. L. Use of a standard TWAIN scanner and software for nodule number determination on different legume species. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 32, p. 1463-1467, 2000.
- LIRA JUNIOR, M. A.; COSTA, C.; SMITH, D. L. Effects of addition of flavonoid signals and environmental factors on nodulation and nodule development in the pea (*Pisum sativum*)-*Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* symbiosis. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 41, p. 267-276, 2003.
- LIRA JUNIOR, M. A.; LIMA, A. S. T.; ARRUDA, J. R. F.; SMITH, D. L. Effect of root temperature on nodule development of bean, lentil and pea. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 37, p. 235-239, 2005.
- MIRANDA, P., COSTA, A. F. DA, RAPOSO, J. A. DE A., PIMENTEL, M. DE L., MAFRA, R. C., TAVARES, J. A., MARANHÃO, E. H. DE A., MARANHÃO, E. A. DE A. Feijão Macassar "IPA-205" (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). In: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária. **Cultivares recomendadas pelo IPA**. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, p 23-24, 2002.
- MONTEALEGRE, C.; GRAHAM, P. H.; KIPE-NOLT, J. A. Preference in the nodulation of *Phaseolus vulgaris* cultivar RAB39. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 41, p. 992-998, 1995.
- OLIVEIRA, F. E. M. **Estatística e probabilidade**. São Paulo. 2 ed. Atlas, 1999.
- PANZIERI, M.; MARCHETTINI, N.; HALLAM, T. G. Importance of the *Bradhyrizobium japonicum* symbiosis for the sustainability of a soybean cultivation. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 135, p. 301-310, 2000.
- PHILLIPS, D. A. Genetic enhancement of nitrogen fixation. In: Dilworth, M. J., Glenn, A. R. **Biology and biochemistry of nitrogen fixation**. Amsterdam: Elsevier, p. 408-428, 1991.
- SAS INSTITUTE. **The SAS System for Windows**. Cary: SAS Institute inc., 1999. CD – ROM.
- VARGAS, M. A. T.; SUHET, A. R.; MENDES, I. C.; PERES, J. R. R. Fixação biológica de nitrogênio em solos de cerrados. Brasília: **EMBRAPA - CPAC**, 83 p. 1994.