

# ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES GENÓTIPOS DE FEIJÃO ATRAVÉS DA MEDIÇÃO DA FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA *a* E DO BALANÇO DE O<sub>2</sub><sup>1</sup>

TOMÁS DE AQUINO PORTES<sup>2</sup> e ANTONIO CELSO N. MAGALHÃES<sup>3</sup>

Depto de Fisiologia Vegetal, Instituto de Biologia, CP 6109, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 13081-970.

**RESUMO-** O objetivo desta pesquisa foi testar 12 genótipos de feijão, utilizando-se técnicas de emissão de fluorescência e de troca de O<sub>2</sub> pelas plantas, comparando-os com o genótipo Carioca, tido, em média, como o mais produtivo e estável dentre as cvs cultivadas no Brasil. Os parâmetros determinados em discos foliares do folíolo do 3º nó da haste principal foram: fluorescência mínima F<sub>0</sub>, máxima F<sub>m</sub> e terminal F<sub>t</sub>, fluorescência variável F<sub>v</sub> (F<sub>v</sub> = F<sub>m</sub> - F<sub>0</sub>), eficiência do dissipador (quencher) F<sub>q</sub> e eficiência fotoquímica F<sub>f</sub>. Foi também avaliada a liberação de O<sub>2</sub> e o seu consumo. Em relação aos parâmetros da fluorescência, não houve diferença entre os genótipos testados, mesmo comparativamente ao Carioca. Observou-se que o genótipo Carioca apresentou taxas de consumo de O<sub>2</sub> maior do que os demais, com exceção do genótipo CNF 5547, também do grupo do Carioca, que apresentou taxas de consumo (-1,106 μmol O<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) superior à do Carioca (-1,020 μmol O<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

**Termos adicionais para indexação:** liberação de O<sub>2</sub>, consumo de O<sub>2</sub>, *Phaseolus vulgaris*, efeito Kok.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT GENOTYPES OF BEAN THROUGH INDUCTION OF FLUORESCENCE AND O<sub>2</sub> BALANCE

**ABSTRACT-** The aim of the presente research was to test twelve bean genotypes using techniques of fluorescence emission and oxygen exchange rate by plants, comparing them with the genotype Carioca that have large stability and the greatest mean productivity among the cvs planted in Brazil. The parameters determined were minimal fluorescence (F<sub>0</sub>), maximal (F<sub>m</sub>), and terminal (F<sub>t</sub>), variable fluorescence, F<sub>v</sub> (F<sub>v</sub> = F<sub>m</sub> - F<sub>0</sub>), Quencher efficiency (E<sub>q</sub>) and photochemical efficiency (E<sub>f</sub>). It was yet evaluated the O<sub>2</sub> evolved during photosynthesis and consumption in the dark. The results showed no differences among genotypes for the fluorescence parameter measured in the experiment. Concerning O<sub>2</sub>

exchanges it was observed that the genotype Carioca always showed respiratory rates of O<sub>2</sub> consumption greater than the others, except for the genotype CNF 5547 (seed from the Carioca group), which showed an O<sub>2</sub> consumption rate of -1,106 μmol O<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> greater than that of the Carioca (-1,020 μmol O<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>).

**Additional index terms:** photosynthesis, O<sub>2</sub> evolution, O<sub>2</sub> consumption, *Phaseolus vulgaris*, Kok effect.

## INTRODUÇÃO

Altos rendimentos a baixos custos tem sido o objetivo da pesquisa agrícola e, procurando alcançar este objetivo os melhoristas vem, ha décadas trabalhando no sentido de desenvolver variedades bem adaptadas e produtivas.

A produtividade é função da fotossíntese total da planta que por sua vez é função da irradiância recebida e naturalmente da superfície foliar disponível para captá-la eficientemente.

A produtividade final no entanto, é o resultado da fotossíntese mas também de elementos do meio onde a planta cresce, em especial do clima, os quais alteram o comportamento dos drenos e das fontes de assimilados diferentemente.

Aumentos da temperature acima de 27 °C, por exemplo, para o feijão, induz taxas fotossintéticas crescentes com resultado inverso para as percentagens de pegamento de flores e vagens, devido ao rompimento dos grãos de pólem e degeneração do saco embrionário (Ormrod et al, 1967; Farlow et al, 1979). Portanto a temperatura, que favorece, por um lado a fonte de assimilados, degenera, por outro os drenos.

Nem sempre encontra-se relação direta entre rendimento econômico e fotossíntese, mas, condições adequadas de clima devem favorecer a ocorrência dessa relação (Moss, 1975).

Tomando por base pesquisas fisiológicas e genéticas, Nasyrov (1978) acredita que o potencial máximo de produtividade não foi alcançado. Acredita, ainda, que entre os fatores limitantes do rendimento deve ser mencionado principalmente a fotossíntese cuja eficiência é extremamente baixa, em torno de 1% de utilização da energia solar, para a maioria das culturas.

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 29/01/1991 e aceito em 02/02/1993

<sup>2</sup> Eng. Agr. Dr. EMBRAPA/ Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), CP 179, Goiania, GO, 74001-000. Parte do trabalho de tese de Doutorado do primeiro autor.

<sup>3</sup> Prof. PhD.

Os aumentos da produtividade são conseguidos, portanto, pelo incremento da área foliar, alterações na relação biomassa de órgãos reprodutivos e órgãos vegetativos e por outras propriedades morfológicas. O incremento do índice de área foliar, no entanto, limita-se ao índice de área foliar ótimo, além do qual o autosombreamento provocado pelo excesso de folhas não permite incremento proporcional na produtividade.

Seria viável criar variedades mais produtivas, aumentando-se a eficiência fotossintética, selecionando-se diretamente gens controladores da fotossíntese, tarefa difícil carecendo de estudos mais concretos, mas aparentemente de grande potencial.

A fotossíntese ocorre nos tecidos verdes periodicamente, produzindo energia química potencial, a respiração, aparentemente o inverso da fotossíntese, ocorre em todos os tecidos vivos ininterruptamente. Poderia acreditar-se então que reduzindo as taxas respiratórias resultaria em um aumento da fotossíntese líquida e conseqüentemente da produtividade. As células vegetais (e animais) dependem, contudo, de compostos intermediários e da energia produzida na respiração para realizar funções essenciais, tais como, translocação de açúcares, transporte ativo de nutrientes minerais, síntese protéica e de parede celular e outras funções vitais para a planta. É impossível, portanto, conseguir-se altos rendimentos sem altas taxas respiratórias (Moss, 1984).

São restritas e as vezes não bem definidas as características genéticas observadas e utilizadas no melhoramento genético visando aumentar a eficiência fotossintética. Por essa razão nesta pesquisa propõe-se estudar, parâmetros associados ao aparelho fotossintético e ao consumo de O<sub>2</sub> por folhas no escuro, na tentativa de se dispor de novas opções para o melhoramento das culturas.

Usando-se a técnica de determinação, *in vivo*, da fluorescência mínima (F<sub>o</sub>), máxima (F<sub>m</sub>), terminal (F<sub>t</sub>) e variável (F<sub>v</sub>) da clorofila a, além da eficiência fotoquímica (E<sub>f</sub>) do "quencher" ou dissipador (E<sub>q</sub>) e da liberação de O<sub>2</sub> pelo processo fotossintético, e do seu consumo no escuro, procurou-se na presente pesquisa identificar genótipos de feijão com características semelhantes às da cv Carioca. Esta cv, escolhida como padrão, apresenta uma estabilidade ou plasticidade associada ao comportamento superior, comparado com os demais genótipos, quando cultivados em diferentes situações ambientais (época do ano por exemplo), pois em experimentos de competição, a cv Carioca situa-se quase sempre na média superior da produtividade.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Cultivo das Plantas

Os experimentos foram realizados no Centro de Pesquisa Química Biológica e Agrícola (CPQBA) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), em Campinas, SP.

Considerando as dificuldades operacionais para as determinações das trocas de O<sub>2</sub> e emissão da fluorescência, simultaneamente, nos 13 genótipos selecionados, os testes foram realizados em grupos de quatro, tendo sempre a cv Carioca como testemunha (Tabela 1). Para garantir a pureza dos genótipos as sementes procedentes do Centro Nacional de Pesquisa em Arroz e Feijão (CNPAF) foram semeadas em vasos em casa de vegetação, sendo cada planta de um mesmo genótipo colhida separadamente. Assim, nos experimentos foram utilizadas sempre sementes procedentes de uma mesma planta.

TABELA 1- Genótipos utilizados, agrupados em 4 grupos, tendo em cada um o Carioca, que serviu como comparação. São mostrados as datas do plantio e o período durante o qual as medições foram feitas.

Grupo	Genótipo	Data plantio	Período medição.
1	Carioca	11/11/88	8/12-11/12/88
	CNF 0480 (Honduras 35)		
	CNF 5455 (IPA 6) CNF 4544 (A 295)		
2	Carioca-80	21/04/89	22/05-24/05/89
	CNF 4844 (LM 21307-0)		
	CNF 4842 (LM 21303-0) CNF 4600 (LM 00252-0)		
3	Carioca-80	09/05/89	13/06-15/06/89
	CNF 4786 (LM 30030-0)		
	CNF 5547 (AN 511608-0) CNF 5529 (SX 2232-0)		
4	Carioca-80	25/05/89	27/06-29/06/89
	CNF 5598 (EMPASC 201)		
	CNF 5520 (AN 12717-0) CNF 5539 (AN 11648-0)		

No plantio dos genótipos foram utilizados vasos com capacidade de aproximadamente 3.0 kg de solo (latossolo vermelho escuro). Como adubo utilizou-se a formula 4-14-8 de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O na quantidade de 2.7 g/vaso, misturado ao solo.

### Medições de emissão da fluorescência da clorofila a

As medições da emissão da fluorescência foram feitas utilizando-se detector de fluorescência, modelo LD2 (Hansatech Ltd, Inglaterra), com fonte de luz de densidade máxima de fluxo de fótons, ao nível do disco foliar igual a 235 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (medido com sensor quântico, modelo 190S conectado ao coletor de dados LI-1000 ambos da Lambda Instruments (Nebraska - USA). A fonte de luz, fornecida por arranjos de diodos emissores de luz (Leds) apresenta pico em 660 nm, com faixa do espectro entre 640- 680 nm. Entre a folha e o detector de fluorescência encontra-se um filtro de interferência permitindo a passagem de luz na faixa de 740 ± 10 nm, correspondente parte do sinal da fluorescência, mas excluindo a luz actínica ou de excitação. O sinal da fluorescência foi detectado no mesmo disco em que foram feitas as medidas da liberação de O<sub>2</sub> Para a deteção do sinal o disco foliar foi deixado na câmara porta-amostra com a luz desligada por 30 min, para que todos os Centros de Reação adquirissem a condição de abertos (capacidade de receber elétrons de outros pigmentos).

Após esse período foi fornecida luz actínica e ao final, além de ser gravado na memória do aparelho, foi simultaneamente registrado em registrador potenciométrico em baixa velocidade (6 cm/min) para caracterizar os pontos de fluorescência lenta. Posteriormente o sinal foi reenviado da memória para o registrador potenciométrico na velocidade de 60 cm/min para caracterizar os pontos de fluorescência rápida. Nesta velocidade foi possível detectar o ponto de fluorescência mínima  $F_o$ . A fluorescência máxima ( $F_m$ ) foi detectada, tanto com o registrador em velocidade mínima, como em máxima. Obtidos os valores de  $F_o$ ,  $F_m$  e  $F_t$  foram calculadas as eficiências fotoquímicas ( $E_f$ ) e do "quencher" ou dissipador ( $E_q$ ) do PSII, utilizando-se as relações:

$$E_f = (F_m - F_o)/F_m \quad [1]$$

Como  $F_m - F_o$  é igual a  $F_v$ , resulta que,

$$E_f = F_v/F_m \quad [2]$$

$$E_q = (F_m - F_t)/F_o \quad [3]$$

Onde  $F_m$  é a fluorescência máxima,  $F_o$  é a fluorescência mínima,  $F_t$  = fluorescência terminal e  $F_v$  é a fluorescência variável. (Kitagima & Butler, 1975; Butler, 1978; Miranda et al, 1981; Bjorkman & Demmig, 1987; Portes, 1990).

#### Medida de Liberação de $O_2$

A liberação de  $O_2$  pela fotossíntese, ou o seu consumo no escuro, foram quantificados com o uso de um eletrodo de Clark de fase gasosa conectado à mesma câmara porta-amostra usada para medir a fluorescência. O eletrodo foi preparado segundo o manual do fabricante e WALKER, 1986. Para a curva de calibração, obteve-se o zero de  $O_2$  colocando-se uma gota de solução de ditionito de sódio sobre o eletrodo de platina devidamente recoberto com membrana de PTFE. A leitura feita, após aspirar a solução de ditionito de sódio, correspondeu à concentração do  $O_2$  na atmosfera, igual a aproximadamente 21%. O controle da temperatura da câmara e do eletrodo, foi feito com circulador de água com precisão de 0.1 °C.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 encontram-se os valores da fluorescência mínima ( $F_o$ ), máxima ( $F_m$ ), variável ( $F_v$ ) e terminal ( $F_t$ ), a eficiência do "quencher" ou dissipador da fluorescência ( $E_q$ ) e a eficiência fotoquímica ( $E_f$ ), determinadas em plantas pertencentes aos quatro grupos de genótipos de feijão selecionados para estudo. Estatisticamente não houve diferença entre os genótipos para os parâmetros acima citados dentro de cada grupo, a nível de 5%, pelo teste F.

As diferenças observadas nos valores de  $F_o$ ,  $F_m$ ,  $F_v$  e  $F_t$  entre os grupos foram devidas à utilização, no registrador potenciométrico, de amplitudes diferentes para o sinal de fluorescência mantendo-se porém constante o ganho do detector. Estas diferentes escalas de ampliação não alteram os valores de  $E_q$  e  $E_f$ , porque estes são obtidos pela relação entre valores de um

mesmo sinal de fluorescência, portanto, independem da escala de ampliação.

TABELA 2- Fluorescência mínima ( $F_o$ ), máxima ( $F_m$ ) e terminal ( $F_t$ ) e eficiência do "quencher" ou dissipador ( $E_q$ ) e fotoquímica ( $E_f$ ) dos quatro grupos de genótipos de feijoeiro.

Grupo	Genótipo	$F_o$	$F_m$	$F_v$	$F_t$	$E_q$	$E_f$
1	Carioca	3.10	8.20	5.10	2.88	0.648	0.620
	CNF 0480	3.07	7.87	4.80	2.39	0.695	0.608
	CNF 5455	3.03	8.10	5.07	2.82	0.652	0.625
	CNF 4544	3.20	8.03	4.83	2.70	0.663	0.599
	cv(%)					4.2	8.2
2	Carioca-80	4.20	9.53	5.33	3.15	0.669	0.560
	CNF 4844	4.10	8.57	4.47	2.93	0.658	0.519
	CNF 4842	4.03	9.63	5.60	3.10	0.671	0.582
	CNF 4600	4.80	9.35	4.55	3.28	0.649	0.486
	cv (%)					2.4	14.9
3	Carioca-80	2.67	6.43	3.77	2.07	0.675	0.596
	CNF 4786	1.82	4.95	3.13	1.45	0.650	0.633
	CNF 5547	2.97	5.93	2.97	2.00	0.660	0.498
	CNF 5529	2.85	6.70	3.85	2.25	0.658	0.559
	cv (%)					8.1	10.4
4	Carioca-80	1.57	4.96	3.50	1.67	0.662	0.704
	CNF 5598	1.57	5.47	3.90	1.87	0.658	0.711
	CNF 5520	1.50	4.86	3.36	1.72	0.646	0.670
	CNF 5539	1.47	4.65	3.18	1.56	0.663	0.684
	cv(%)					5.5	5.8

Os coeficientes de variação encontrados foram de 2.4 a 8.1% para  $E_q$  e de 5.8 a 14.9% para  $E_f$  (Tabela 3). O fato dos parâmetros associados à emissão da fluorescência ( $F_o, F_m, F_v, F_t, E_q$  e  $E_f$ ) não terem diferido entre os genótipos pode indicar que os materiais testados são geneticamente muito próximos em relação a atividade fotoquímica dentro do processo fotossintético. Embora na presente pesquisa os parâmetros não tenham diferido, em relação a atividade fotoquímica dentro do suas quantificações tem sido, frequentemente, utilizadas em estudos de fisiologia da fotossíntese. Bjorkman & Demmig (1987) mediram a emissão de fluorescência a 77K de espécies dos grupos  $C_3$  e  $C_4$ , e encontraram diferenças na emissão de fluorescência entre as espécies dos diferentes grupos e entre folhas crescidas ao sol e à sombra da mesma espécie. Aqueles autores sugeriram que a determinação da relação  $F_v/F_m$  se constitui em excelente método para a avaliação da atividade fotoquímica do PSII. Mostraram, também, que os valores absolutos para a emissão da fluorescência,  $F_o$  e  $F_m$ , mostraram diferenças significativas entre espécies de plantas  $C_3$ .

Ao quantificar porém as relações  $F_v/F_m$  ( $E_q$ ), Bjorkman & Demmig (1987) encontraram apenas pequenas diferenças entre espécies do mesmo grupo.

Como  $F_m$  é proporcional à quantidade de moléculas de clorofila  $a$  contida no tecido (Miranda et al, 1981), e em vista da pequena variabilidade dos valores de  $F_m$  nas amostras, pode-se deduzir que existe pequena diferença na quantidade de moléculas de clorofila entre os genótipos.

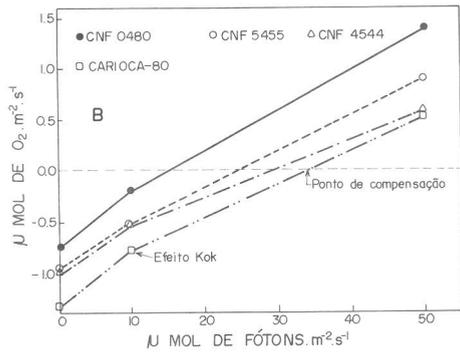
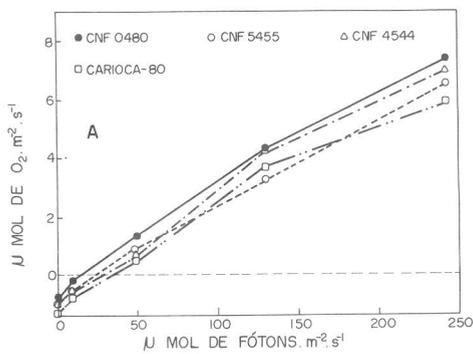


FIGURA 1- Troças de O<sub>2</sub> de quatro genótipos de feijão (Grupo 1) em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em diferentes densidades de fluxo de fótons (A). Pontos de compensação por luz e efeito Kok encontrados em escala expandida (B). Cada ponto da curva é média de três repetições.

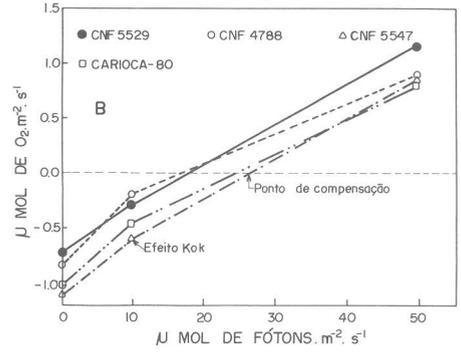
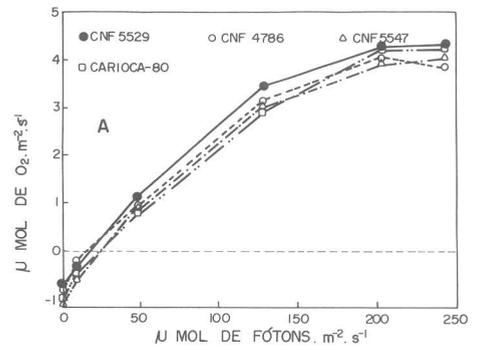


FIGURA 3- Troças de O<sub>2</sub> de quatro genótipos de feijão (Grupo 3) em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em diferentes densidades de fluxo de fótons (A). Pontos de compensação por luz e efeito Kok encontrados em escala expandida (B). Cada ponto da curva é média de três repetições.

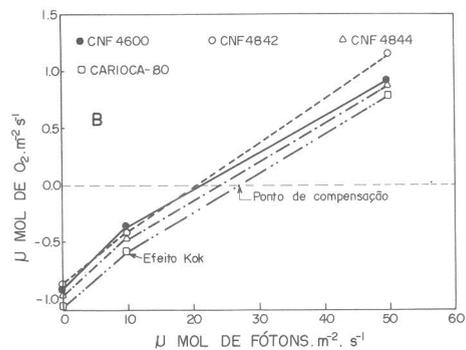
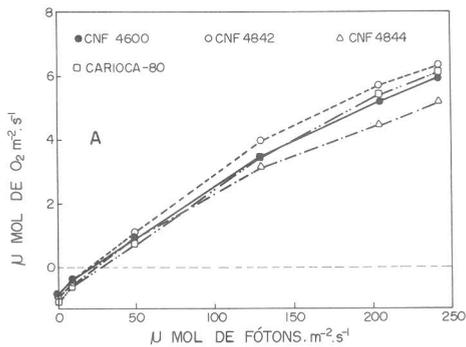


FIGURA 2- Troças de O<sub>2</sub> de quatro genótipos de feijão (Grupo 2), em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em diferentes densidades de fluxo de fótons (A). Pontos de compensação por luz e efeito Kok encontrados em escala expandida (B). Cada ponto da curva é média de três repetições.

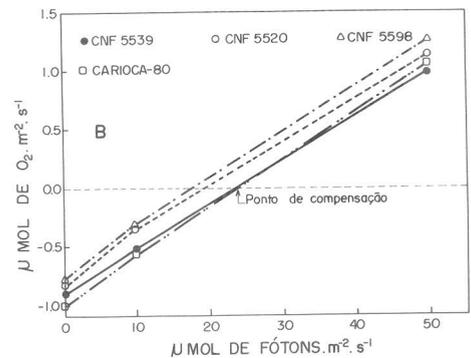
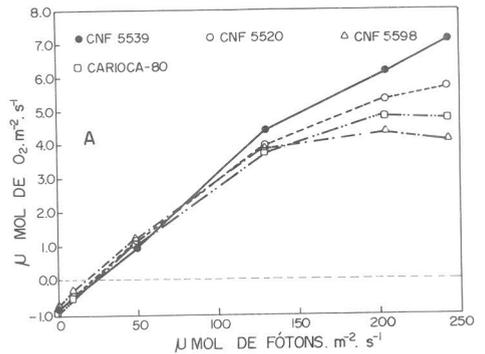


FIGURA 4- Troças de O<sub>2</sub> de quatro genótipos de feijão (Grupo 4) em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , em diferentes densidades de fluxo de fótons (A). Pontos de compensação por luz e efeito Kok encontrados em escala expandida (B). Cada ponto da curva é média de três repetições.

TABELA 3- Trocas de O<sub>2</sub> ( $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) de quatro genótipos de feijão em diferentes densidades de fluxo de fótons.

Grupo	Genótipo	Fluxo de fótons $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$					
		235	205	130	50	10	0
1	Carioca-80	5.950	-	3.657	0.537	-0.780	-1.339
	CNF 0480	7.426	-	4.218	1.403	-0.185	-1.765
	CNF 5455	6.555	-	3.258	0.912	-0.527	-0.946
	CNF 4544	7.032	-	4.226	0.607	-6.531	-0.990
	cv(%)	21.2					25.9
2	Carioca-80	6.189	5.455	3.494	0.787	-6.585	-1.069
	CNF 4844	5.282	4.552	3.199	0.868	-4.471	-0.962
	CNF 4842	6.384	5.765	4.636	1.155	-6.432	-0.873
	CNF 4600	6.041	5.307	3.539	0.925	-6.380	-0.099
	cv(%)	27.3					26.5
3	Carioca-80	4.265	4.236	2.915	0.817	-0,458	-1.020
	CNF 4786	3.864	4.057	3.091	0.905	-0,194	-0.829
	CNF 5547	4.861	3.935	3.050	0.842	-0,597	-1.106
	CNF 5529	4.324	4.225	3.468	1.179	-0.279	-0.722
	cv(%)	29.3					18.6
4	Carioca-80	4.817	4.857	3.770	1.072	-0,564	-1.009
	CNF 5598	4.157	4.382	3.844	1.274	-6.312	-4.755
	CNF 5521	5.751	5.345	3.999	1.154	-0.330	-0.829
	CNF 5539	7.158	6.223	4.431	1.016	-0.516	-0.911
	cv(%)	26.3					18.9

O método da medição da emissão da fluorescência, com a caracterização dos seus parâmetros, embora não tenha expressado características específicas entre os genótipos testados, deve ser melhor explorado em estudos de variabilidade genético-fisiológica, como descrito por outros autores (Paul & Planchon, 1990).

Os resultados da determinação do consumo e da liberação do O<sub>2</sub> nos genótipos de feijão testados são mostrados na Tabela 3. Os coeficientes de variação foram superiores a 15%, para todos os tratamentos (genótipos), valor considerado de médio a alto segundo Gomes (1987). Todos os coeficientes de variação para fotossíntese foram superiores a 26%, enquanto para consumo de O<sub>2</sub> dois valores (grupos 3 e 4) ficaram abaixo deste nível. O maior coeficiente de variação para a fotossíntese chegou a 26,3%, sugerindo que as medidas de consumo de O<sub>2</sub> apresentam variabilidade menor do que as da fotossíntese. Caso encontre-se alguma correlação entre as taxas de consumo de O<sub>2</sub> e a produtividade, seria mais preciso utiliza-las no melhoramento genético em detrimento de se utiliza as taxas fotossintéticas.

As taxas fotossintéticas (liberação de O<sub>2</sub> foram medidas somente até densidade de fluxo de fótons de 235  $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$  valor máximo fornecido pelo arranjo de Leds do equipamento. Muito provavelmente, se medidas tivessem sido feitas em irradiâncias saturantes, em torno de 600-700  $\mu\text{moles}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para feijão (Austin & McLean, 1972; Tanaka & Fujita, 1979; Weis et al, 1987), o comportamento poderia ter sido diferente, especialmente para os grupos 1 e 2 (Fig. 1 e 2), que não apresentaram tendência à saturação no nível de luz de 235  $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Porém os grupos 3 e 4, mesmo nessa densidade relativamente baixa de fluxo

de fótons (235  $\mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , já mostraram tendência a saturação (Fig. 3 e 4). Esta tendência à saturação é atribuída ao fato desses dois grupos de plantas terem sido cultivados numa época em que a radiação que chegava às plantas na casa de vegetação era baixa (meses de maio e junho). Em 28/06/89 um dia nublado, a irradiância máxima observada foi de 113 W  $\text{m}^{-2}$  as 11:19 h. Num dia ensolarado (30/06/89) a energia radiante atingiu 495 WM<sup>2</sup> as 13:48 h. Quando as folhas crescidas no ambiente de baixa luminosidade foram colocadas na câmara de medida, sob luz actínica de 235  $\mu\text{ moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ocorreu possivelmente, fotoinibição (Critchley, 1981; Critchley & Smille, 1981; Powles, 1984).

A partir dos dados de liberação de O<sub>2</sub> (Tabela 3 e Fig. 1 a 4), observe-se que as diferenças entre os tratamentos (genótipos) foram pequenas. Para o consumo de O<sub>2</sub> o mesmo ocorreu.

Embora as diferenças tenham sido pequenas entre os genótipos dentro de cada grupo, é importante considerar que o genótipo Carioca apresentou taxa de consumo de O<sub>2</sub> sempre maior que os demais, com exceção do genótipo CNF 5547, que apresentou taxa -1.106  $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$  superior ao Carioca (-1.020  $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$

No caso específico da cultivar Carioca, reconhecidamente estável em termos de produtividade, esta taxa de consume de O<sub>2</sub> superior àquelas obtidas para os demais genótipos, pode estar associada ao uso mais eficiente do nitrogênio. Tem sido constatado que a aplicação de nitrogênio à planta induz um aumento nessa taxa tão logo o nutriente é absorvido (Weger & Turpin, 1989). Seus resultados sugerem que a respiração (consumo de O<sub>2</sub>) está envolvida no processo de assimilação do nitrogênio, especialmente quando o poder redutor gerado na fotossíntese não está sendo fornecido adequadamente para redução do nitrato, ou mesmo no escuro (Aslam et al, 1979; Aslam & Huffaker, 1982; Ruffy et al, 1984).

O fato de o genótipo Carioca apresentar taxas de consumo de O<sub>2</sub> mais elevadas que a maioria dos genótipos, apesar da menor fotossíntese líquida em certos casos (Tabela 3), poderá significar maior disponibilidade de esqueletos carbônicos, ATP, NADH, e ainda NADPH+ e ferredoxina reduzida (Graham, 1980; Kow et al, 1982; Weger & Turpin, 1989). Isto contribuiria à maior eficiência das reações de redução do nitrato, do nitrito e a assimilação da amônia (Weger et al, 1988; Weger & Turpin, 1989).

Nas figuras 1B, 2B, 3B, 4B, são incluídos os valores dos pontos de compensação de luz dos diferentes genótipos testados. Os valores situaram-se na faixa de 13 a 33  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Tomando a cv Carioca como referência, verifica-se que o ponto de compensação obtido no grupo 1, semeado em novembro (Tabela 1), foi maior do que os obtidos nos demais, havendo um decréscimo constante do 1º para o 4º grupo. Como a disponibilidade de energia luminosa para as plantas decresceu neste mesmo período (do mês de novembro a julho), é provável que os pontos de compensação de luz tenham sido

afetados pela disponibilidade de energia radiante. Isto é, plantas crescidas em ambiente com menor disponibilidade de energia, apresentaram valores de pontos de compensação mais baixos. Apenas o genótipo CNF 5547 apresentou ponto de compensação superior ao Carioca. O do genótipo CNF 5539 foi aproximadamente igual e, dos demais, foram inferiores.

Nas figuras 1 a 3 verifica-se que, aparentemente ocorreu efeito Kok em maior ou menor intensidade em quase todos os genótipos testados. Acredita-se que este efeito, observado pela alteração da inclinação da reta de luz versus fotossíntese líquida em baixas irradiâncias, reflita uma interação entre a respiração e a fotossíntese (Kok, 1949; Sharp et al, 1984). Apenas o último grupo de genótipos analisados (Tabela 1) não apresentou nenhum efeito. Este fato pode estar associado ao efeito de fotoinibição, visto que as taxas fotossintéticas tenderam à saturação em baixas densidades de fluxo de fótons, possivelmente porque os genótipos deste grupo foram cultivados em época (maio, junho) com baixa irradiância, comportando-se como plantas de sombra. Em estudos de eficiência fotossintética, onde se relacionam moles de quanta absorvidos versus moles de O<sub>2</sub> liberados, deve-se evitar esta faixa da reta em que se encontra o efeito Kok, pois os verdadeiros resultados não seriam obtidos.

## CONCLUSÕES

Não foi observada diferença entre os genótipos estudados para fluorescência mínima (F<sub>0</sub>), máxima (F<sub>m</sub>), variável (F<sub>v</sub>) e eficiências do "quencher" ou dissipador (E<sub>q</sub>) e Fotoquímica (E<sub>f</sub>). Os resultados obtidos permitiram detectar apenas diferenças pequenas com relação à liberação (fotossíntese) e consumo de O<sub>2</sub>. Observou-se uma tendência de maior taxa de consumo de O<sub>2</sub> pelo genótipo Carioca em comparação aos demais, excessão feita ao genótipo CNF 5547, que apresentou valores maiores.

## REFERÊNCIAS

- ASLAM, M.; HUFFAKER, R.C. *In vivo* nitrate reduction in roots and shoots of barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings in light and darkness. **Plant Physiology**, 70:1009-1013, 1982.
- ASLAM, M.; HUFFAKER, R.C.; RAINS, D.W.; RAO, K.P. Influence of light and ambient carbon dioxide concentration on nitrite assimilation by intact barley seedlings. **Plant Physiology**, 63:1205-1209, 1979.
- AUSTIN, R.B.; MCLEAN, M.S.M. Some effects of temperature on the rates of photosynthesis and respiration of *Phaseolus vulgaris* L. **Plant Physiology**, 6:41-50, 1972.
- BJORKMAN, O.; DEMMIG, B. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, 170:487-504, 1987.
- BUTLER, W.L. Energy distribution in the photochemical apparatus of Photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology**, 29:345-378, 1978.
- CRITCHLEY, C. Studies on the mechanism of photoinhibition in higher plants. I. Effects of high light intensity on chloroplast activities in cucumber adapted to low light. **Plant Physiology**, 67:1161-1165, 1981.
- CRITCHLEY, C.; SMILLE, R.M. Leaf chlorophyll fluorescence as an indicator of high light stress (Photoinhibition) in *Cucumis sativus* L. **Australian Journal of Plant Physiology**, 8:133-141, 1981.
- FARLOW, P.J.; BYTH, D.E.; KRUGER, N.S. Effect of temperature on seed set and *in vitro* pollen germination in french beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, 19:725-731, 1979.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. São Paulo, Nobel, 1987. 467 p.
- GRAHAM, D. Effects of light on dark respiration. In: Davies, D.D. **The biochemistry of plants: A comprehensive treatise**. London, Academic Press, 1980. v.2, p. 525-579.
- KITAGIMA, M.; BUTLER, W.L. Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. **Biochimica et Biophysica Acta**, 376:105-115, 1975.
- KOK, B. On the interrelation of respiration and photosynthesis in green plants. **Biochimica et Biophysica Acta**, 3:625-631, 1949.
- KOW, Y.W.; ERBES, D.L.; GIBBS, M. Chloroplast respiration. A means of supplying oxidized pyridine nucleotide for dark chloroplastic metabolism. **Plant Physiology**, 69:442-447, 1982.
- MIRANDA, V.; BAKER, N.R.; LONG, S.P. Limitations of photosynthesis in different regions of the *Zea mays* leaf. **New Phytologist**, 89:179-190, 1981.
- MOSS, D.N. Studies on increasing photosynthesis in crop plants. In: Burris, R.H. & BLACK, C.C. eds. **CO<sub>2</sub> and plant productivity**. Baltimore, University Park Press, 1975. p. 31-41.
- MOSS, D.N. Photosynthesis, respiration, and photorespiration in higher plants. In: Tesar, M.B. **Physiological basis of crop growth and development**. Madison, WI: Am. Soc. Agron. and Crop Sci. Soc. Am. 1984. p. 131-151.
- NASYROV, Y.S. Genetic control of photosynthesis on improvement of crop productivity. **Annual Review of Plant Physiology**, 29:215-230, 1978.
- ORMROD, D.P.; WOOLLEY, C.J.; EATON, G.W.; STOBBE, E.H. Effect of temperature on embryo sac development in *Phaseolus vulgaris* L. **Canadian Journal of Botany**, 45:948-950, 1967.
- PAUL, M.H.; PLANCHON, C. Chlorophyll fluorescence as a tool in soybean improvement for N fixation efficiency. **Euphytica**, 45:43-47, 1990.
- PORTES, T.A. **A emissão de fluorescência pela clorofila "a" eo balanço de O<sub>2</sub> como parâmetros de determinação da variabilidade genética condicionantes da produtividade em feijão *Phaseolus vulgaris* L.** Campinas, UNICAMP, 1990. 82p. Tese Doutorado.
- POWLES, S.B. Photoinhibition of photosynthesis induced by visible light. **Annual Review of Plant Physiology**, 35:15-44, 1984.

RUFTY, T.W.; ISRAEL, D.W.; VOLK, R.J. Assimilation of  $^{15}\text{NO}_3^-$  taken up by plants in the light and in the dark. **Plant Physiology**, 76:769-775, 1984.

SHARP, R.E.; MATTHEWS, M.A.; BOYER, J.S. Kok effect and the quantum yield of photosynthesis: Light partially inhibits dark respiration. **Plant Physiology**, 75:95-101, 1984.

TANAKA, A.; FUJITA, K. Growth, photosynthesis and yield components in relation to grain yield of the field bean. **Journal of the Faculty of Agriculture of the Hokkaido University**, Sapporo, 59:145-238, 1979.

WALKER, D. **The use of the oxygen electrode and fluorescence probes in sample measurements of photosyn-**

**thesis.** Sheffield, University of Sheffield, Research Institute for Photosynthesis, 1986. 145 p.

WEGER, H.G.; TURPIN, D.H. Mitochondrial respiration can support  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NO}_2^-$  reduction during Photosynthesis. **Plant Physiology**, 89:409-415, 1989.

WEGER, H.G.; BIRCH, D.G.; EL RIFI, I.R.; TURPIN, D.H. Ammonium assimilation requires mitochondrial respiration in the light. **Plant Physiology**, 86:688-692, 1988.

WEISS, E.; TIMOTHY, J.B.; BERRY, S. Photosynthetic control of electron transport in leaves of *Phaseolus vulgaris*: Evidence for regulation of photosystem 2 by the proton gradient. **Progress in Photosynthesis Research**, 2:553-556, 1987.