

Efeito do NO₂ atmosférico em *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae/Papilionoideae) no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Carla Cristine Müller^{1*}, Armando Molina Divan Júnior² e Maria Teresa Raya-Rodriguez³

Recebido em: 07 de março de 2007

Aceito em: 12 de setembro de 2007

RESUMO: (Efeito do NO₂ atmosférico em *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae/Papilionoideae) no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Os veículos automotores são responsáveis por emissões significativas de óxidos de nitrogênio (NO_x). Dentre estes, o NO₂ tem um papel importante na formação de reações na atmosfera causadoras de smog fotoquímico, podendo ser prejudicial à saúde, agricultura e materiais, quando em concentrações elevadas. O objetivo deste trabalho foi investigar o efeito produzido pelas concentrações ambientais de NO₂ em *Phaseolus vulgaris* L. cv. Irai, por meio da possível relação entre a atividade da enzima Nitrato Redutase (NR) e as concentrações atmosféricas do NO₂. As plantas foram expostas em três locais de amostragem, situados a distâncias crescentes de uma via de tráfego urbano intenso. A concentração de NO₂ no ar foi determinada através do método de Griess-Saltzman. O ponto mais próximo da avenida apresentou a concentração mais elevada (45,8 µg.m⁻³). Aos 20, 50 e 70 dias de exposição, as plantas foram analisadas quanto à atividade da enzima NR, biomassa total, área foliar, atividade fotossintética (curva de resposta à pressão parcial de CO₂) e clorofilas *a* e total. As concentrações encontradas de NO₂ atmosférico não apresentaram efeito significativo sobre os parâmetros analisados.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, dióxido de nitrogênio, monitoramento ativo, poluição atmosférica, bioindicadores.

ABSTRACT: (Effects of nitrogen dioxide on *Phaseolus vulgaris* in urban environment). The vehicles are responsible for significant emissions of nitrogen oxides (NO_x). Among them, NO₂ has a huge importance in the formation of the atmospheric reactions that cause the photochemical smog, and can become hazard to the health, agriculture and materials in general, when they are in high concentrations. The objective of present work was to investigate the effect produced by the environmental concentrations of NO₂ in *Phaseolus vulgaris* L. cv. Irai, through the possible relation between the activity of the Nitrate Reductase (NR) enzyme and the atmospheric concentrations of NO₂. The plants were exposed in three sample places, located at increasing distances of a very intense urban traffic way. The concentration of NO₂ in the air was determined by the Griess-Saltzman method. The nearest point to the avenue presented the highest concentration (45.8 µg m⁻³). In the 20, 50 and 70 days of exposition, the plants were analyzed by the activity of their NR enzyme, total biomass, leaf area, photosynthetic activity (A/C_i response) and chlorophyll *a* and total. The concentrations of atmospheric NO₂ found did not present a significant effect over the analyzed parameters.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, nitrogen dioxide, biomonitoring, air pollution, bioindication.

INTRODUÇÃO

A emissão de grande quantidade de gases poluentes para a atmosfera é responsável pela redução da qualidade do ar nos grandes centros urbanos. Entre os poluentes encontrados, os mais importantes são o ozônio (O₃), o dióxido de nitrogênio (NO₂), o dióxido de enxofre (SO₂), o monóxido de carbono (CO) e as partículas em suspensão (Knorst 2000; Klumpp *et al.* 2001).

Os óxidos de nitrogênio, assim como o CO, SO₂, oxidantes totais, hidrocarbonetos totais e partículas, são parâmetros principais em medidas rotineiras de controle da qualidade do ar. Constituem-se indicadores potenciais da alteração da composição do ar (Branco & Murgel 1997). A qualidade do ar pode ser avaliada utilizando-se métodos físico-químicos, porém, estes resultados não permitem conclusões imediatas sobre os impactos das concentrações ambientais destes poluentes nos seres vivos. Assim, o uso de bioindicadores é a metodologia mais indicada para a detecção de efeitos de poluentes atmosféricos sobre os organismos (Klumpp *et al.* 2001).

A poluição atmosférica pode originar-se de dois tipos

principais de fontes: estacionárias e móveis (SMAM 2000). As fontes estacionárias são as indústrias, incineradores e a queima de combustíveis em caldeiras. As fontes móveis, ou seja, os veículos automotores, merecem atenção especial, pois são altamente poluidoras e em número crescente. A queima de combustíveis fósseis libera para a atmosfera grande quantidade de substâncias, como gás carbônico (CO₂), hidrocarbonetos, SO₂, etano, álcoois, CO e óxidos de nitrogênio (NO e NO₂). Veículos pesados movidos a óleo diesel (ônibus e caminhões), apresentam como característica maior pressão e temperatura na câmara de combustão, implicando uma maior produtividade de óxidos de nitrogênio. Os demais poluentes são emitidos em baixas concentrações (Branco & Murgel 1997; Melchior 2000).

No meio ambiente, o NO₂ é um dos principais compostos envolvidos na formação do smog fotoquímico (SMAM 2000; Baird 2002; Costa & Costa 2004), o qual resulta de reações catalíticas na presença de radiação solar, nas quais o NO₂ é transformado em NO e oxigênio atômico reativo. Este combina-se com o oxigênio atmosférico (O₂), resultando em O₃ (Larcher 2000).

1. Bacharelanda do Curso de Ciências Biológicas, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

2. Técnico de Laboratório do Centro de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

3. Professora do Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

*Autor para contato. E-mail: ccmuller@terra.com.br. Endereço: Av. Engº José Maria de Carvalho, 217. CEP 91360-080. Porto Alegre, RS.

Em seres humanos, a principal entrada de substâncias nocivas presentes no ar ocorre pela via aérea (Knorst 2000). Após inalação de gases poluentes, o local de deposição vai depender da concentração do gás, solubilidade, duração da exposição, frequência e profundidade da respiração e potencial reativo do gás. As pessoas mais suscetíveis aos poluentes do ar são crianças, idosos, portadores de asma ou doença pulmonar crônica, tabagistas e pessoas com cardiopatia crônica.

A emissão de NO_2 acima dos limites definidos pela Resolução CONAMA 03/90, também pode provocar irritação nos olhos e mucosas em geral, anemia devido à formação da meta hemoglobina, além de enfisema pulmonar. Nos pulmões, ele é precursor de substâncias cancerígenas, como as nitrosaminas, que podem levar ao câncer de pulmão (Branco & Murgel 1997; SMAM 2000).

Em plantas, o NO_2 pode entrar nas folhas através das aberturas estomáticas e, também, difundir-se rapidamente através da cutícula. Quando em contato com o fluido extracelular, na parede celular, o NO_2 dissolve-se, formando os ácidos fortes HNO_2 e HNO_3 , que se dissociam em nitrito e nitrato, respectivamente. Estes íons podem ser absorvidos ativamente pelas células vivas e utilizados pela planta, como fonte de nitrogênio, na síntese protéica (Stulen *et al.* 1998; Larcher 2000;

Raya-Rodriguez 2000; Siegwolf *et al.* 2001).

Este poluente pode induzir a atividade da enzima Nitrato Redutase (NR), atuando como um mecanismo de detoxificação da planta. Um maior teor de proteínas solúveis é produzido, interferindo no metabolismo normal da planta. Assim, estes efeitos podem ser usados para quantificar o estresse produzido pela poluição atmosférica em plantas bioindicadoras, pois há relação entre a atividade da NR e as concentrações ambientais do poluente NO_2 (Stulen *et al.* 1998; Raya-Rodriguez 2000; Siegwolf *et al.* 2001).

Esta enzima participa do metabolismo do nitrogênio das plantas, catalisando a redução de nitrito a nitrato, ou seja, o primeiro passo da assimilação desse nutriente (Larcher 2000). Em plantas do gênero *Phaseolus*, a redução do nitrato ocorre, principalmente, nas folhas, com baixa atividade da NR em raízes e nódulos. A espécie *P. vulgaris* apresenta cerca de 95% da atividade total da NR localizada nas folhas (Silveira *et al.* 2001). Assim, a atividade da NR pode ser elevada nesses órgãos, devido ao aumento do aporte de nitrogênio promovido pela poluição atmosférica (Stulen *et al.* 1998; Raya-Rodriguez 2000; Siegwolf *et al.* 2001).

Em experimento com *P. vulgaris* cv. Strike, Sánchez *et al.* (2004) concluíram que o feijoeiro é uma planta altamente sensível a níveis elevados de nitrogênio.

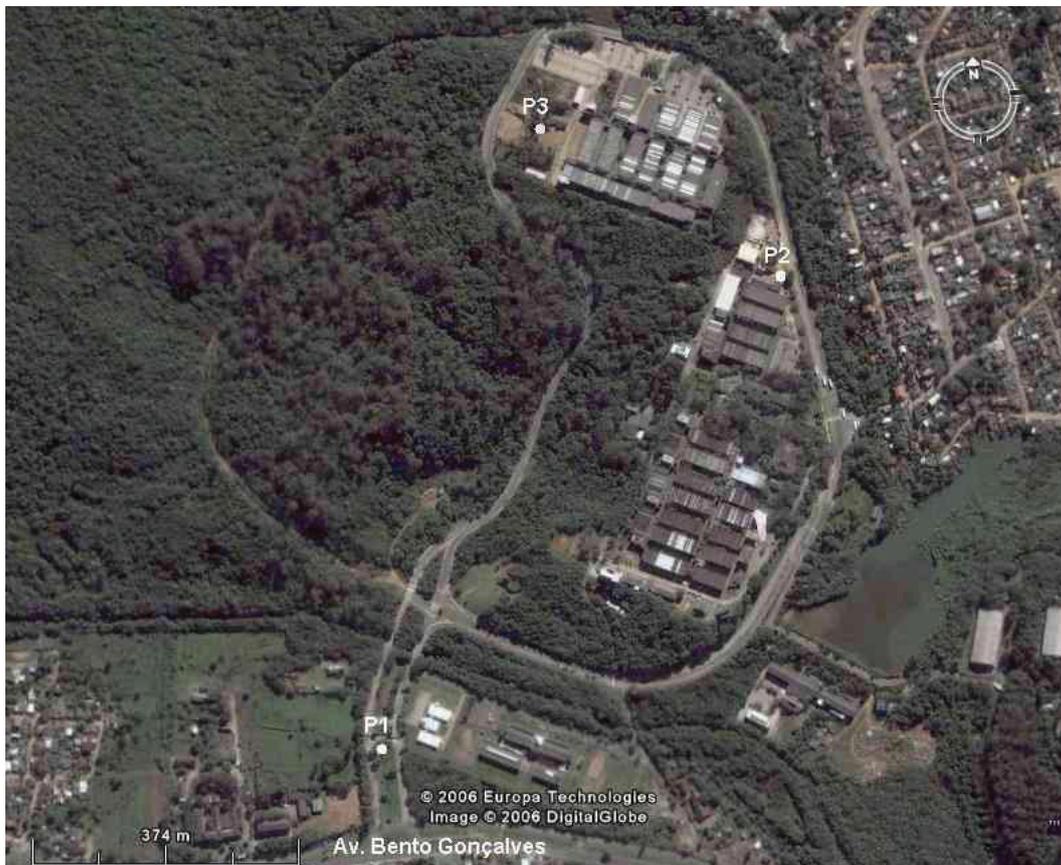


Figura 1. Imagem do Campus do Vale da UFRGS, Porto Alegre, indicando a localização dos três pontos de amostragem (P1, P2 e P3) em relação à Avenida Bento Gonçalves (Fonte: Google Earth). **P1:** 30° 04' 30,2''S, 51° 07' 27,5''W; **P2:** 30° 04' 11,0''S, 51° 07' 04,5''W; **P3:** 30° 04' 02,0''S, 51° 07' 16,4''W.

Silveira *et al.* (2001) relatam que *P. vulgaris* apresenta uma resposta positiva entre a atividade da NR e o aumento dos níveis de nitrato exógeno.

Assim, o NO₂ é uma fonte de nitrogênio para as plantas, quando em altas concentrações (Stulen *et al.* 1998; Siegwolf *et al.* 2001), mas pode causar lesões, como a acidificação das folhas (Larcher 2000). O NO₂ também exerce efeito tóxico, inibindo a fotossíntese através da redução da condutância estomática (Siegwolf *et al.* 2001) e reduzindo, significativamente, a resistência do vegetal ao ataque das pragas (Branco & Murgel 1997).

Este estudo teve como objetivo investigar o efeito produzido pelas concentrações ambientais de NO₂ em *Phaseolus vulgaris* L. cv. Iraí, por meio da possível relação entre a atividade da enzima NR e as concentrações atmosféricas do NO₂. Para isso pretendeu-se identificar um gradiente de concentração desse poluente em uma via urbana, correlacionar a concentração do NO₂ do ar com a atividade da enzima NR, bem como determinar os efeitos do poluente sobre as plantas em períodos de curta (20 dias) e longa duração (50 e 70 dias).

MATERIAL E MÉTODOS

Os pontos de amostragem foram distribuídos em três locais (Fig. 1) no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS (30° 04' 30,2''S/51° 07' 27,5''W). Os critérios para escolha dos locais de amostragem levaram em conta a possível existência de um gradiente de concentração de NO₂ entre os pontos, a disponibilidade de energia elétrica para os amostradores de ar e a segurança para os suportes com as plantas bioindicadoras. O ponto 1 (P1) foi localizado junto ao pórtico de entrada do Campus, à 100 m da Avenida Bento Gonçalves, importante via de ligação entre as cidades de Porto Alegre e Viamão, com concentração de NO₂ provavelmente maior do que nos demais pontos, devido a proximidade com a avenida. O ponto 2 (P2), no portão de entrada da Prefeitura Universitária do Campus, localizado em posição intermediária entre P1 e P3, a 800 m de distância do P1 e 100 m do P3. O ponto 3 (P3), junto ao setor de vigilância do Bloco IV, nas proximidades do Morro Santana, 1,0 km distante do P1, e supostamente sofrendo pouca ou nenhuma influência das emissões veiculares provenientes da Avenida Bento Gonçalves.

A análise do NO₂ atmosférico foi realizada nos mesmos locais de exposição das plantas, através do método químico de Griess-Saltzman (ASTM 1987). No P1, foram realizadas 30 horas de amostragem, realizadas 4 horas no dia 20/05/2004, 6 horas no dia 01/06/04 e 10 horas em cada um dos dias 25/06/2004 e 17/08/2004. Já nos outros pontos, a duração da amostragem foi de 18 horas, sendo 9 horas em cada um dos dias 27/07/2004 e 03/08/2004 para o P2 e nos dias 28/07/2004 e 05/08/2004 para o P3.

A amostra de ar foi aspirada a uma vazão de 0,4 L.min⁻¹ através de um amostrador de ar (Ambiotec, modelo AA-1), em frasco borbulhador de vidro com difusor

sinterizado em intervalos de 45 min. A intensidade da coloração avermelhada do azo-corante formado foi lida em espectrofotômetro UV-Visível (Varian, modelo Cary 1E) a 550 nm, após um tempo mínimo de reação de 15 min, expressando-se os resultados em µg.m⁻³.

Os dados relativos ao fluxo de veículos automotores na Avenida Bento Gonçalves foram obtidos junto a Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC), da cidade de Porto Alegre, que mantém um radar fixo situado na Avenida Bento Gonçalves nº 8083 (identificação Pardal Bento 01P). Este equipamento faz o controle de velocidade e registro de infrações, além de armazenar informações de contagem volumétrica e classificatória do tráfego. O fluxo de tráfego é contabilizado de hora em hora, durante as 24 horas do dia.

Nos três pontos de amostragem foram expostas seis plantas de *Phaseolus vulgaris* cv. Iraí, feijoeiro. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação, em vasos plásticos individuais. O solo utilizado foi do tipo Chernossolo Háplico órtico típico (Streck *et al.* 2002) e misturado com areia lavada na proporção 2:1.

Os vasos foram encaixados em placas de isopor com capacidade para seis vasos cada, dispostas sobre um reservatório de água. Cada vaso recebeu duas cordas de nylon sedoso que saíam pelo fundo do vaso e mergulham na água, umidificando o solo. Cada conjunto foi colocado em um suporte de madeira com dimensões de 45 cm por 65 cm e 85 cm de altura do nível do solo.

A exposição das plantas foi feita no dia oito de junho de 2004. Neste momento, duas plantas, que permaneceram na casa de vegetação, foram submetidas ao conjunto de análises ao qual as plantas expostas também o foram, servindo como controle. Após 20 dias, 50 dias e ao final do ciclo de vida da planta, dois vasos foram retirados de cada ponto para avaliação dos seguintes parâmetros: biomassa total, área foliar, atividade fotossintética, clorofila e atividade da enzima NR.

A análise da atividade da enzima NR foi determinada através da concentração de nitrito formada em solução, adaptada do método de Klumpp *et al.* (1989). Vinte discos foliares (5 mm de diâmetro) foram extraídos, em duplicata, da segunda folha trifoliolada e colocados em tubos de ensaio contendo 5 ml de solução Tampão Fosfato de Sörensen pH 7,5 KNO₃ 0,1 M Isopropanol 1%. Os tubos foram colocados em um dessecador no qual foi feito vácuo por 1 min por três vezes seguidas. Após, os tubos foram incubados à 30°C em banho-maria, no escuro, por um período de 10 a 30 min. Após cada um destes tempos, foi retirada uma alíquota de 1 ml, a qual foi adicionado 1 ml de Sulfonilamida 1% em HCl 1 N e 1 ml de N-(1-Naphtyl)etilenodiamina dihidroclorida 0,01%. A leitura foi feita em fotômetro (Merck, modelo SQ300) a 540 nm, após 30 min de reação. A atividade da enzima foi expressa em µmoles NO₂ · h⁻¹ g⁻¹ MF.

A biomassa total das plantas foi obtida através de peso seco. As plantas foram separadas em folhas, caule e raízes e, então, colocadas em estufa a 60°C por sete dias. A seguir, foi feita a pesagem. A área foliar foi determinada

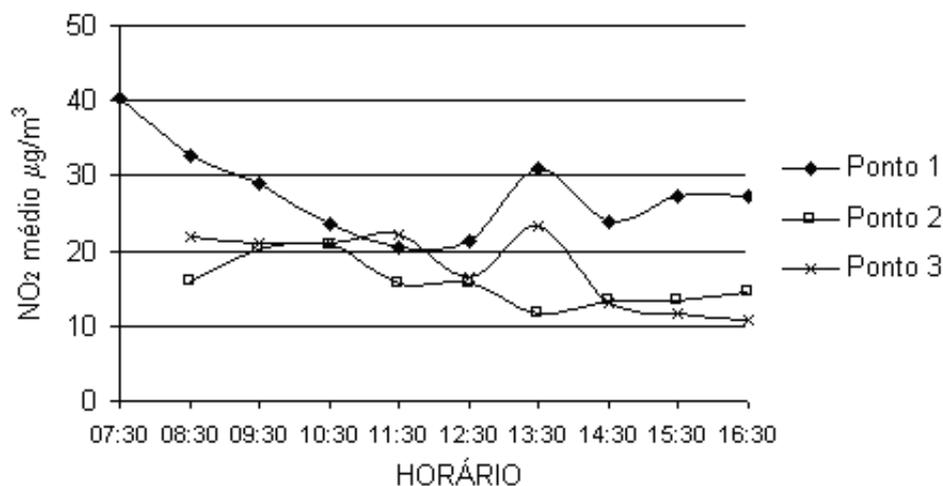


Figura 2. Variação diária da concentração média de NO₂ atmosférico nos três pontos de amostragem ao longo do Campus do Vale da UFRGS.

através da medição direta das folhas, utilizando um medidor de área portátil (Licor, modelo LI-3000).

A atividade fotossintética foi analisada com um analisador de gases por infravermelho (Ciras-2), através da curva de resposta da fotossíntese à pressão parcial de CO₂, utilizando o software Ciras 2 – RCS V 1.01. A partir do ajuste dos dados da atividade fotossintética à equação proposta por Prado & De Moraes (1997), foi calculado o valor da atividade fotossintética máxima ($A_{m\acute{a}x}$).

A análise do pigmento clorofila foi adaptada da metodologia proposta por Knudson *et al.* (1977). Cinco discos foliares (7 mm de diâmetro) foram extraídos da segunda folha trifoliolada e acondicionados em frascos escuros contendo 5 ml de etanol 96%. A leitura foi realizada em espectrofotômetro digital (Micronal, modelo B342II) a 649 nm e 665 nm, após um período de extração de 15 dias. As concentrações de clorofilas *a* e total foram expressas em mg.g⁻¹ de peso seco.

Os dados foram submetidos à Análise da Variância (ANOVA) após aleatorização ($p < 0,05$) mediante o emprego do software Multiv, versão 2.1.1.

RESULTADOS

A maior concentração de NO₂ atmosférico foi encontrada no P1, nas proximidades da Avenida Bento Gonçalves (100 m) (Tab. 1). Porém, não foi constatada a existência de um gradiente de concentração de NO₂ atmosférico ao longo do Campus do Vale, uma vez que não foi encontrada diferença significativa na concentração desse poluente entre P2 e P3 (Fig. 2). A concentração de NO₂ no P1 apresentou diferença significativa com os demais ($p = 0,0001$), apresentando estreita relação com

Tabela 1. Concentração de NO₂ atmosférico (µg.m⁻³) nos três pontos de amostragem.

| Ponto | Média | Mínima | Máxima |
|-------|-------|--------|--------|
| P1 | 27,67 | 16,91 | 45,79 |
| P2 | 15,63 | 9,74 | 23,89 |
| P3 | 17,89 | 7,44 | 34,18 |

Horas de amostragem: P1: 30 horas; P2 e P3: 18 horas

o fluxo de veículos (Fig. 3), ou seja, sua principal fonte emissora.

A atividade da enzima NR, durante todo o período de exposição, foi semelhante em todos os pontos de amostragem (Fig. 4). A atividade máxima ocorreu aos 50 dias de exposição, podendo ser considerado o tempo ótimo para a avaliação da sua atividade máxima, em *P. vulgaris* (Tab. 2). As plantas do P1 apresentaram atividade de $3,95 \pm 0,27 \text{ NO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, no P2, $4,71 \pm 1,27 \text{ NO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ e no P3, $4,20 \pm 0,94 \text{ NO}_2 \cdot \text{h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$.

As plantas apresentaram um aumento na biomassa total, aos 20 e 50 dias, seguida de uma redução, aos 70 dias de exposição (Tab. 3). A análise estatística dos dados não indicou uma diferença significativa entre a biomassa das plantas nos três pontos de amostragem. Contudo, observou-se diferença significativa entre os períodos de exposição 50 e 70 dias ($p = 0,0254$). Já a atividade fotossintética máxima (Tab. 4) não apresentou diferença significativa entre os pontos de amostragem, durante todo o período de exposição.

O teor de clorofilas (*a* e total) foi semelhante nos três pontos de amostragem, não apresentando diferença significativa entre eles (Tab. 5). Porém, houve diferença significativa entre os períodos de exposição de 50 e 70 dias (clorofila *a*: $p = 0,0122$; clorofila total: $p = 0,0150$).

Não foi possível medir a atividade fotossintética, nem avaliar o teor de clorofila aos 70 dias de exposição, devido à área foliar insuficiente para a realização das análises.

DISCUSSÃO

O NO₂ atmosférico é um poluente diretamente

Tabela 2. Atividade da enzima NR (moles NO₂.h⁻¹.g⁻¹.MF) nos três pontos de amostragem.

| Ponto | Média | Mínima | Máxima |
|-------|-------|--------|--------|
| P1 | 3,08 | 1,52 | 4,63 |
| P2 | 3,46 | 1,62 | 5,98 |
| P3 | 2,22 | 1,44 | 5,14 |

n=6; por ponto de amostragem

Tabela 3. Biomassa (peso seco, g) e área foliar (cm²) nos três pontos de amostragem.

| Ponto | Biomassa | | | Área Foliar | | |
|-------|----------|--------|--------|-------------|--------|--------|
| | Média | Mínima | Máxima | Média | Mínima | Máxima |
| P1 | 0,6070 | 0,4320 | 0,9290 | 33,29 | 2,98 | 85,45 |
| P2 | 0,7942 | 0,5988 | 1,1688 | 49,50 | 5,16 | 110,58 |
| P3 | 0,5876 | 0,4501 | 0,9126 | 30,75 | 2,21 | 76,67 |

n=6; por ponto de amostragem

relacionado às emissões de veículos automotores, ou seja, a sua principal fonte emissora (Branco & Murgel 1997; Melchior 2000). Portanto, o P1 apresentou a maior concentração desse poluente, devido a sua proximidade com a rodovia.

A ausência de um gradiente na concentração de NO₂ ao longo dos pontos P1, P2 e P3, talvez tenha sido devido às obras de reparação de parte do Anel Viário e construção de um estacionamento próximo ao P3, com a presença de trânsito de caminhões no local durante o período de amostragem.

Hargreaves *et al.* (2000) realizaram um estudo em relação à variação local e sazonal dos níveis de NO₂, em Rothamsted, Inglaterra, e constataram que a concentração do NO₂ era maior próximo a uma estrada e, à medida que se distanciava desta, a concentração se reduzia. A 80 m de distância da estrada, a concentração média encontrada foi de 43,5 µg NO₂ m⁻³. No presente estudo, P1, localizado à 100m da Avenida Bento Gonçalves, apresentou concentração máxima de 45,8 µg NO₂ m⁻³.

Tabela 4. Atividade Fotossintética (µmol.m⁻¹.s⁻¹) nos três pontos de amostragem.

| Ponto | Atividade Fotossintética | | |
|-------|--------------------------|--------|--------|
| | Média | Mínima | Máxima |
| P1 | 13,85 | 11,86 | 15,63 |
| P2 | 18,63 | 10,41 | 30,91 |
| P3 | 16,39 | 14,66 | 18,08 |

n=4; por ponto de amostragem

Comparando a variação diária da concentração de NO₂ no P1 com o fluxo de veículos na Av. Bento Gonçalves, pode-se constatar que a maior concentração de NO₂ coincidiu com o pico no fluxo de veículos no início da manhã (7h30min) (Fig. 3). Um segundo pico de NO₂ mais baixo que o primeiro foi observado no horário das 13h30min, o qual também coincidiu com o aumento de fluxo de veículos neste período. O primeiro pico coincide com o horário em que grande parte do fluxo de veículos na Av. Bento Gonçalves origina-se da cidade de Viamão, em direção à cidade de Porto Alegre, pois esta avenida é uma importante rota de ligação entre as duas cidades. Já o segundo pico, registrado em horário de maior intensidade solar, em que a concentração desse poluente poderia

ser menor, há intenso fluxo de veículos indo e vindo ao Campus, tanto de pessoas que saem para almoçar e retornam, como também alunos que saem ao final das aulas do turno da manhã, quanto alunos que chegam para aulas no turno da tarde. Assim, com o aumento do fluxo de veículos, também aumentou a concentração de NO₂ nesse ponto.

De modo geral, o NO₂ apresenta baixa toxicidade para as plantas, ocorrendo, freqüentemente, junto com outros poluentes mais fitotóxicos (De Temmerman *et al.* 2004). Os efeitos do NO₂ podem ser observados somente quando as plantas são expostas a concentrações elevadas do poluente, como relatado por Zeevaart (1974). Nesse trabalho, a atividade da NR, em *P. vulgaris*, foi elevada em plantas submetidas a concentrações de 7656 e 22968 µg m⁻³, concentrações estas muito superiores às encontradas no presente trabalho. Donagi & Goren (1979) avaliaram o efeito do NO₂, em *P. vulgaris*, emitido por uma fábrica. As plantas apresentaram necrose nas folhas em concentrações ambientais de 3828 µg m⁻³ (máxima) e 574 µg m⁻³ (mínima).

Por isso, a ausência de diferença significativa na atividade da NR entre os pontos estudados, talvez se deva aos baixos níveis de NO₂, insuficientes para provocar alteração na atividade da enzima na espécie estudada, mesmo no P1, onde a concentração de NO₂ atmosférico foi, significativamente, mais alta (45,8 µg m⁻³).

O NO₂ absorvido através das aberturas estomáticas e utilizado como fonte de nitrogênio (Stulen *et al.* 1998; Larcher 2000; Raya-Rodriguez 2000; Siegwolf *et al.* 2001), representa um aporte adicional deste elemento para as plantas, podendo-se reverter em incremento da biomassa das plantas (Larcher 2000; Siegwolf *et al.* 2001). Os resultados obtidos não indicaram, porém, aumento diferencial na biomassa das plantas analisadas, mesmo no P1, onde a concentração de NO₂ foi a mais elevada. Esses resultados confirmam a baixa concentração de NO₂ encontrada, não tendo sido suficiente para incorporação do nitrogênio às estruturas das plantas.

O ciclo de vida de *P. vulgaris* cv. Irai é de, aproximadamente, 75 dias. Na fase adulta, encontramos a maior biomassa (representada aos 50 dias de exposição). No período de senescência, a biomassa pode sofrer redução, devido a abscisão foliar (70 dias de exposição).

Tabela 5. Teores de clorofila *a* e total (mg.g⁻¹) nos três pontos de amostragem.

| Ponto | Clorofila <i>a</i> | | | Clorofila total | | |
|-------|--------------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
| | Média | Mínima | Máxima | Média | Mínima | Máxima |
| P1 | 2,44 | 1,19 | 3,68 | 7,46 | 3,17 | 11,44 |
| P2 | 1,75 | 0,92 | 3,13 | 6,05 | 3,37 | 10,46 |
| P3 | 2,15 | 1,15 | 4,60 | 7,49 | 4,60 | 10,53 |

n=4; por ponto de amostragem

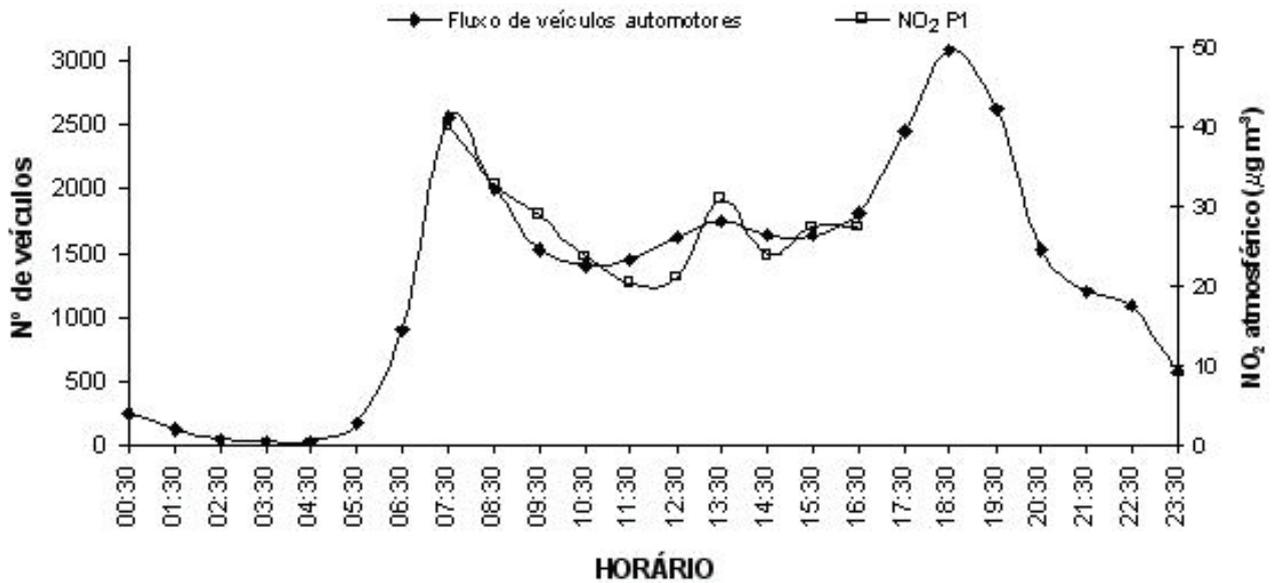


Figura 3. Variação diária da concentração média de NO₂ atmosférico no Ponto 1 em relação ao fluxo de veículos na Av. Bento Gonçalves (dados do Pardal Bento 01P, dia 09 de julho de 2004, fornecido pela EPTC, Porto Alegre).

As baixas temperaturas podem ter contribuído para a redução na biomassa, no final do período em que as plantas ficaram expostas (outono), bem como o encharcamento do solo. Devido às chuvas abundantes, o solo permaneceu encharcado durante vários dias, dificultando a aeração e suprimento de oxigênio para as raízes. Segundo Aidar (2003), o desenvolvimento vegetativo do feijoeiro é prejudicado em condições de excesso de água no solo, sendo estes, inadequados para o seu plantio.

A concentração de NO₂ atmosférico encontrada não causou efeito sobre a atividade fotossintética das plantas expostas, nem sobre a concentração de clorofilas *a* e total. As concentrações encontradas desse poluente foram baixas, como já discutido anteriormente, talvez não sendo suficiente para afetar a atividade fotossintética e os teores de clorofila, assim como ocorreu na atividade da enzima NR.

Plantas expostas às fontes emissoras de NO_x podem apresentar concentrações foliares dos pigmentos

fotossintéticos, clorofilas *a* e *b*, mais altas, pois o nitrogênio proveniente desses poluentes pode ser utilizado na síntese de clorofila, sem implicar em aumento da taxa de fotossíntese, isto é, embora haja um maior teor de clorofila, ocorre diminuição da eficiência do uso desse pigmento na fotossíntese (Moraes 2000).

Conclui-se que o ambiente atmosférico no Campus do Vale não apresentou contaminação por NO₂. O valor máximo encontrado está abaixo do valor máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 03/90, não oferecendo riscos para a saúde e o ambiente. Também não foi verificada relação entre a concentração de NO₂ atmosférico e a atividade da enzima NR, utilizando o feijoeiro como planta terrestre bioindicadora, talvez devido às baixas concentrações encontradas de NO₂.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores e colegas do Laboratório de Bioindicação Vegetal, pelo auxílio durante todas as etapas da realização deste trabalho.

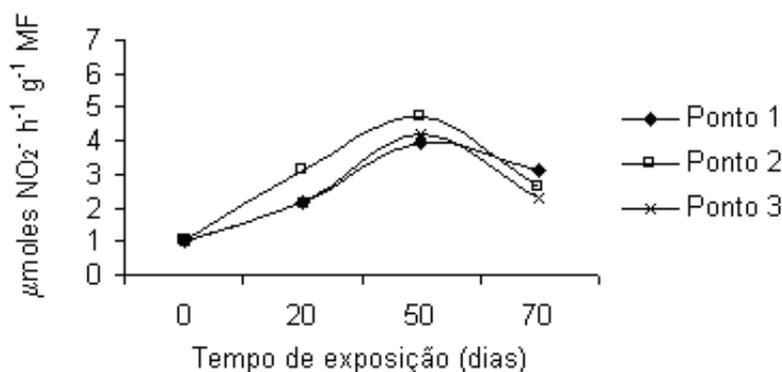


Figura 4. Atividade média da enzima Nitrato Redutase em *Phaseolus vulgaris* antes de expostas e aos 20, 50 e 70 dias de exposição das plantas nos três pontos de amostragem.

REFERÊNCIAS

- AIDAR, H. 2003. Cultivo do Feijoeiro Comum. *Embrapa Arroz e Feijão. Sistemas de Produção*. Embrapa. Versão eletrônica. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/>>. Acesso em: 30 out. 2004.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1987. *Standard Test Method for NITROGEN DIOXIDE CONTENT OF THE ATMOSPHERE* (Método Griess-Saltzman, segundo N-1214a de julho de 1987 da Refinaria Alberto Pasqualini) – D 1607 – 76.
- BAIRD, C. 2002. *Química Ambiental*. 2 ed. Porto Alegre: Bookman. 622p.
- BRANCO, S. M. & MURGEL, E. 1997. *Poluição do ar*. São Paulo: Moderna. 87p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 1990. *Resolução CONAMA N.º 003, de 28 de junho de 1990*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 1º ago. 2004.
- COSTA, M. A. G. & COSTA, E. C. 2004. *Poluição Ambiental: herança para gerações futuras*. Santa Maria: Orium. 254p.
- DE TEMMERMAN L. et al. 2004. Biomonitoring of air pollutants with plants – considerations for the future. In: KLUMPP, A., ANSEL, W. & KLUMPP, G. (Ed.). *Urban Air Pollutin, Bioindication and Environmental Awareness*. Germany. p. 337-373.
- DONAGI, A. E. & GOREN, A. 1979. Use of Indicator Plants to Evaluate Atmospheric Levels of Nitrogen Dioxide in the Vicinity of a Chemical Plant. *Environmental Science & Technology*, 13(8): 986-989.
- HARGREAVES, P. R., LEIDI A., GRUBB, H. J., HOWE, M. T. & MUGGLESTONE, M. A. 2000. Local and seasonal variations in atmospheric nitrogen dioxide levels at Rothamsted, UK, and relationship with meteorological conditions. *Atmospheric Environment*, 34(6): 843-853.
- HUNT, R. 1990. *Basic Growth Analysis*. Londres: Unwin Hyman. p.112.
- KLUMPP, A., KÜPPERS, K. & GUDERIAN, R. 1989. Nitrate reductase activity of needles of norway spruce fumigated with different mixtures of ozone, sulfur dioxide and nitrogen dioxide. *Environmental Pollution*, 58: 268-271.
- KLUMPP, A., ANSEL, W., KLUMPP, G. & FOMIN, A. 2001. Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede européia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet). *Revista Brasileira de Botânica*, 24(4): 511-518.
- KNORST, M. M. 2000. Poluição Atmosférica e Saúde Humana. In: ZURITA, M. L. L. & TOLDO, A. M. (Ed.). *A Qualidade do Ar em Porto Alegre*. Porto Alegre: SMAM. 103 p.
- KNUDSON, L. L., TIBBITTS, T. U. & EDWARDS, G. E. 1977. Measurement of Ozone Injury by Determination of Leaf Chlorophyll Concentration. *Plant Physiology*, 60: 606-608.
- LARCHER, W. 2000. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RiMa. 531p.
- MELCHORS, D. J. A. 2000. Qualidade do Ar e os Combustíveis. In: ZURITA, M. L. L. & TOLDO, A. M. (Ed.). *A Qualidade do Ar em Porto Alegre*. Porto Alegre: SMAM. 103 p.
- MORAES, R. M., DELITTI, W. B. C. & MORAES, J. A. P. V. 2000. Respostas de indivíduos jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn. À poluição aérea de Cubatão, SP: fotossíntese líquida, crescimento e química foliar. *Revista Brasileira de Botânica*, 23(4): 441-447.
- PRADO, C. H. B. A. & de MORAES, J. A. P. V. 1997. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. *Photosynthetica*, 33(1):103-112.
- RAYA-RODRIGUEZ, M. T. 2000. O Uso de Bioindicadores para Avaliação da Qualidade do ar em Porto Alegre. In: ZURITA, M. L. L. & TOLDO, A. M. (Ed.). *A Qualidade do Ar em Porto Alegre*. Porto Alegre: SMAM, 103 p.
- SÁNCHEZ, E., RIVERO, R. M., RUIZ, J. M. & ROMERO, L. 2004. Changes in biomass, enzymatic activity and protein concentration in roots and leaves of green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike) under high NH₄NO₃ application rates. *Scientia Horticulturae*, 99: 237-248.
- SIEGWOLF, R. T. W., MATYSSEK, R., SAURER, M., MAURER, S., GÜNTHARDT-GOEG, M. S., SCHMUTZ, P. & BUCHER, J. B. 2001. Stable isotope analysis reveals differential effects of soil nitrogen and nitrogen dioxide on the water use efficiency in hybrid poplar leaves. *New Phytologist*, 149: 233-246.
- SILVEIRA, J. A. G., MATOS, J. C. S., CECATTO, V. M., VIEGAS, R. A. & OLIVEIRA, J. T. A. 2001. Nitrate reductase activity, distribution, and response to nitrate in two contrasting *Phaseolus* species inoculated with *Rhizobium* spp. *Environmental and Experimental Botany*, 46: 37-46.
- STRECK, E. V., KAMPF, N., DALMOLIN, R. S. D., KLAMT, E., NASCIMENTO, P. C., SCHNEIDER, P. 2002. *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 126p.
- STULEN, I., PEREZ-SOBA, M., DE KOK, L. J. & VAN DER EERDEN, L. 1998. Impact of gaseous nitrogen deposition on plant functioning. *New Phytologist*, 139: 61-70.
- SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE. 2000. A Poluição Atmosférica. In: ZURITA, M. L. L. & TOLDO, A. M. (Ed.). *A Qualidade do Ar em Porto Alegre*. Porto Alegre: SMAM. 103 p.
- ZEEVAART, A. J. 1974. Induction of nitrate reductase by NO₂. *Acta Bot. Neerl*, 23(1): 345-345.