

ACÚMULO DE PARTICULADOS ATMOSFÉRICOS E SUA INFLUÊNCIA NOS PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS DE DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS NA CIDADE DE PATOS, PB, BRASIL

Jorge Danilo Zea-Camaño¹, Patrícia Carneiro Souto², Antonio Lucineudo de Oliveira Freire², Jacob Silva Souto², Romualdo Medeiros Cortez Costa², Talytta Menezes Ramos²

¹ Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, Paraná, Brasil. Integrante grupo SocioEcosistemas y Clima Sostenible (Colciencias) - jdzeaca@gmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Patos, Paraíba, Brasil - pcarneirosouto@yahoo.com.br; lucineudofreire@gmail.com; jacob_souto@uol.com.br, romualdocortez@gmail.com; talyttaengflorest@hotmail.com

Recebido para publicação: 13/08/2016 - Aceito para publicação: 20/10/2017

Resumo

Partículas atmosféricas contaminantes em áreas urbanas associadas principalmente com a queima de combustíveis fósseis se depositam, em parte, na superfície das folhas das árvores. Isso promove alterações físicas nas plantas que podem ser analisadas por meio de suas respostas metabólicas. Este estudo objetivou avaliar a eficiência no acúmulo de particulados atmosféricos pela folhagem, assim como determinar a influência dos particulados nos pigmentos fotossintéticos clorofila *a* e *b* e carotenoides em árvores de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore e *Azadirachta indica* A. Juss. localizadas em praças públicas na cidade de Patos, PB. Foram selecionadas árvores localizadas em dez praças públicas com alto e baixo fluxo veicular. O acúmulo de particulados atmosféricos nas folhas das árvores foi quantificado em laboratório e correlacionado com os resultados do teor dos pigmentos fotossintéticos. A determinação dos teores de clorofila *a* e *b* e carotenoides foi realizada segundo o método de Lichtenthaler e Buschmann com leitura em espectrofotômetro. Foi aplicado o teste *t* ($p < 0,05$) para comparação de médias e calculado o coeficiente de correlação de Pearson para avaliar as interações entre as variáveis. Os resultados evidenciam que a espécie *T. aurea* é mais eficiente do que *A. indica* na captura de partículas contaminantes suspensas no ar através de sua folhagem. Não foi demonstrada uma tendência clara da influência do acúmulo de particulados atmosféricos na clorofila *a* e *b* e carotenoides, assim como da influência do fluxo veicular na retenção de particulados atmosféricos por ambas espécies.

Palavras-chave: Poluição atmosférica; fotossíntese; arborização urbana; serviços ecossistêmicos; semiárido brasileiro.

Abstract

Contaminant atmospheric particles in urban areas associated with the burning of fossil fuels are deposited in part on the surface of the trees' leaves; this promotes physical changes in the plants that can be analyzed through their metabolic responses. This study aimed to evaluate the efficiency of the accumulation of atmospheric particulates in the foliage as well as to determine the influence of the particulates in the photosynthetic pigments chlorophyll *a* and *b* and carotenoids in *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore and *Azadirachta indica* A. Juss. located in public squares, in the city of Patos, PB. Trees located in public places with both high and low vehicle traffic were selected. The accumulation of atmospheric particulates in the trees' leaves was quantified in laboratory and correlated with the results of the content of the photosynthetic pigments. The determination of the levels of chlorophyll *a* and *b* and carotenoids was performed according to the method of Lichtenthaler and Buschmann with a spectrophotometer reading. The *t* test was used ($p < 0.05$) to compare means and the Pearson correlation coefficient was calculated to evaluate the interactions between the variables. The results show that the *T. aurea* species is more efficient than *A. indica* at capturing contaminating particles suspended in the air through its foliage. A clear trend of the influence of the accumulation of atmospheric particulates on chlorophyll *a* and *b* and carotenoids has not been demonstrated, as well as the influence of the vehicular flow on the retention of atmospheric particulates by both species.

Keywords: Air pollution; photosynthesis; urban forest; ecosystem services; Brazilian semiarid.

INTRODUÇÃO

Cidades e grandes centros urbanos são, atualmente, o lugar de residência da maioria da população mundial. Essa característica demográfica resulta na transformação de ecossistemas que sofrem severas alterações

pela urbanização e traz problemas ambientais, entre os quais tem destaque a concentração de contaminantes atmosféricos que afetam a saúde dos habitantes (SZUMACHER; MALINOWSKA, 2013).

Entre os contaminantes atmosféricos, a poluição é, sem dúvida, uma das principais problemáticas ambientais urbanas. Ela é causada, principalmente, pela queima de combustíveis fósseis realizada pelos veículos, o que origina a suspensão de partículas compostas por metais pesados e outros elementos tóxicos e afeta a população que está diariamente exposta a elas (AMULYA *et al.*, 2015; DURAN-RIVERA e ALZATE-GUARÍN, 2009; ALCALÁ *et al.*, 2008; ESCOBEDO e CHACALO, 2008). Algumas dessas partículas contaminantes são capturadas e retidas pelas árvores (folhas, frutos, caules, etc.).

A arborização urbana é um elemento importante na melhoria das condições de vida das pessoas, devido dos serviços ecossistêmicos que fornece (MELO *et al.*, 2007), entre eles, o serviço de regulação da qualidade com destaque para a captura e remoção de partículas contaminantes suspensas no ar por meio de seus órgãos, principalmente pelas folhas. No entanto, as árvores apresentam sensibilidade metabólica com contaminantes atmosféricos, que podem, inclusive, danificá-las. Essa característica das árvores faz delas um elemento estrutural com alto potencial bioindicador para a avaliação da contaminação ambiental em ambientes urbanos completamente antropizados (ALCALÁ *et al.*, 2011).

De modo particular, a concentração de pigmentos fotossintéticos através da determinação de parâmetros bioquímicos foliares, como as clorofilas *a* e *b* e os carotenoides em árvores urbanas, fornece informações que podem auxiliar no diagnóstico da contaminação atmosférica (POMPELLI *et al.*, 2013; JOSHI; SWAMI, 2009).

A clorofila desempenha um papel vital nas plantas, porque capta a luz solar e a utiliza para transformar dióxido de carbono, água e sais minerais e em energia para a planta. Alterações na permeabilidade da membrana e na estrutura dos cloroplastos podem afetar o teor dos pigmentos fotossintéticos devido à peroxidação lipídica, auxiliada por aumento na atividade peroxidase. Portanto, o teor de clorofila e a atividade peroxidase podem ser indicadores adequados do estresse em plantas submetidas à contaminação (BAYCU *et al.*, 2006).

As características antes assinaladas sugerem como hipóteses para a presente pesquisa, que o acúmulo e retenção de particulados atmosféricos realizados pelas folhas das árvores de *Tabebuia aurea* e *Azadirachta indica* interferem no teor dos pigmentos fotossintéticos clorofilas *a* e *b* e nos carotenoides. Dessa forma, podem ser usados como elementos de diagnóstico da qualidade do ar nas cidades, uma vez que constituem um indicador da contaminação atmosférica, especialmente, por metais pesados (DHIR *et al.*, 2008). No entanto, algumas espécies são mais sensíveis a contaminantes atmosféricos que outras (ALCALÁ *et al.*, 2008). Essa situação denota a importância de realizar estudos locais e regionais para avaliar, de forma particular, a capacidade bioindicadora de espécies utilizadas na arborização urbana.

O presente estudo objetivou avaliar a eficiência das espécies no acúmulo de particulados atmosféricos pela sua folhagem, assim como determinar a influência destes nos pigmentos fotossintéticos clorofila *a* e *b* e carotenoides em árvores de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore e *Azadirachta indica* A. Juss., localizadas em praças públicas na cidade de Patos, PB.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

O estudo foi desenvolvido na cidade de Patos, PB, situada na mesorregião Sertão Paraibano localizada entre as coordenadas geográficas 07°01'32" de latitude Sul e 37°16'40" de longitude Oeste, com altitude média de 250 m. O município de Patos caracteriza-se por apresentar média anual de 25,5 °C de temperatura e 700 mm de precipitação, com um período de estiagem de entorno de nove meses por ano. De acordo com a classificação climática de Köppen, a região se enquadra no tipo BSh, quente e seco (MELO *et al.*, 2007).

Segundo dados do IBGE (2010), o município de Patos apresenta uma extensão territorial de 473,1 km² e uma população de, aproximadamente, 100.674 habitantes, com área urbana de 5,11 km² onde habita 96,63% da população. Em fevereiro de 2016, Patos, PB registrou frota de 24.235 veículos e 18.611 motocicletas (DETRAN, 2016), além daqueles que passam transitoriamente pela cidade, o que denota alto tráfego veicular.

Locais de coleta e características da vegetação

A coleta de dados, para quantificar a poluição, foi realizada em dez praças da cidade de Patos, PB, sendo cinco delas localizadas em áreas de alto fluxo veicular e as outras cinco, situadas em áreas com baixo fluxo veicular. A identificação e características de cada uma encontram-se na tabela 1. A medição do fluxo veicular foi feita de maneira simultânea no dia 27 de maio de 2015, no período entre 11h30min e 12h30min, quando foram contabilizados todos os veículos e motocicletas que passaram pelo entorno das praças.

Tabela 1. Identificação, localização e características das praças públicas selecionadas para o estudo.
Table 1. Identification, location and characteristics of public squares selected for the study.

Nome da praça	Localização	Latitude Longitude	Calçamento no contorno	Tipo de fluxo	Veículos/hora
Vereador Cícero Sulpino	Bairro Centro	07° 1'43.42"S 37°16'53.29"O	Asfalto		1375
Edivaldo Motta	Bairro Centro	07° 1'48.76"S 37°16'31.70"O	Asfalto		1404
Getúlio Vargas	Bairro Centro	07° 1'27.71"S 37°16'39.07"O	Asfalto	Alto	1498
Miguel Sátiro	Bairro Centro	07° 1'22.47"S 37°16'34.86"O	Asfalto		1561
Alcides Carneiro	Bairro Belo Horizonte	07° 1'4.85"S 37°17'0.16"O	Asfalto		1005
Vereador Joaquim Leitão de Araújo	Bairro Jardim Queiroz	07° 1'20.48"S 37°16'54.66"O	Asfalto		470
Fórum Bivar Olyntho	Bairro Brasília	07° 1'30.68"S 37°16'11.08"O	Asfalto		290
Dom Expedito Eduardo de Oliveira	Bairro São Sebastião	07° 1'7.68"S 37°16'20.19"O	Asfalto	Baixo	163
Joaquim Araújo de Melo	Bairro Noé Trajano	07° 0'34.64"S 37°17'18.42"O	Asfalto e chão		200
Herculano Rodrigues de Oliveira	Bairro Salgadinho	07° 1'26.12"S 37°15'48.09"O	Asfalto e chão		314

A arborização das ruas da cidade de Patos, segundo Melo *et al.* (2007), apresenta cerca de 20 espécies com proporção equilibrada entre nativas e exóticas. Já no caso das praças, que correspondem maiores e melhor cuidadas áreas verdes da cidade, conforme observado na presente pesquisa, apresentam cerca de 30 espécies, entre árvores, arbustos e palmeiras.

O índice de densidade arbórea (IDA), entendido como a razão entre o número total de árvores e a área total, nas dez praças objeto de estudo, é, em média, 1,0%. Já o índice de sombreamento arbóreo (ISA), definido pela razão entre a área total e a área ocupada pela projeção das copas das árvores nas praças e calculado, na presente pesquisa, com auxílio do Software i-tree Canopy®, é em média 62,1% (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização da densidade e sombreamento arbóreo nas praças objeto de estudo.
Table 2. Characterization of tree density and shade in the studied squares.

Praça	Nº total de árvores	Área total (m²)	Área das copas (m²)	IDA (%)	ISA (%)
Vereador Cícero Sulpino	23	1.613	1.170	1,4	72,5
Edivaldo Motta	38	3.622	2.229	1,0	61,5
Getúlio Vargas	27	3.621	2.390	0,7	66,0
Miguel Sátiro	16	1.080	567	1,5	52,5
Alcides Carneiro	51	3.268	2.451	1,6	75,0
Vereador Joaquim Leitão de Araújo	6	1.147	401	0,5	35,0
Fórum Bivar Olyntho	7	1.445	885	0,5	61,2
Dom Expedito Eduardo de Oliveira	4	638	223	0,6	35,0
Joaquim Araújo de Melo	16	1.443	938	1,1	65,0
Herculano Rodrigues de Oliveira	4	427	117	0,9	27,4
Total/média*	192	18.304	11.371	1,0*	62,1*

IDA: Índice de Densidade Arbórea; ISA: Índice de Sombreamento Arbóreo.

Coleta de amostras

A coleta de amostras foi realizada no período de outubro a novembro de 2015. Para isso, foram selecionados, das espécies *Tabebuia aurea* (Bignoniaceae) e *Azadirachta indica* (Meliaceae), 21 indivíduos no conjunto das praças de alto fluxo (Tabela 3). Já nas praças de baixo fluxo, foram selecionados 6 e 13 indivíduos de cada espécie, respectivamente. A variação no número de indivíduos amostrados ocorreu conforme à disponibilidade deles nas praças. Na tabela 3 são apresentadas, também, as informações do DAP médio, altura total média e altura da copa média das árvores amostradas.

Tabela 3. Características das árvores amostradas por praça, espécie e tipo de fluxo.

Table 3. Characteristics of the sampled trees according to square, species and flow type.

Praça	Tipo de fluxo	Nº árvores amostradas	Nome científico	DAP médio (cm)	Altura total média (m)	Altura da copa média (m)
Vereador Cícero Sulpino	Alto	5	<i>Tabebuia aurea</i>	32,1	9,4	3,2
		6	<i>Azadirachta indica</i>	10,2	3,7	1,7
Edivaldo Motta		4	<i>Tabebuia aurea</i>	36,6	11,8	3,0
		2	<i>Azadirachta indica</i>	12,7	5,0	1,9
Getúlio Vargas		4	<i>Tabebuia aurea</i>	51,1	12,0	2,7
		3	<i>Azadirachta indica</i>	9,4	4,7	2,0
Miguel Sátiro		4	<i>Tabebuia aurea</i>	30,8	9,0	2,3
		4	<i>Tabebuia aurea</i>	43,7	10,0	3,4
Alcides Carneiro		10	<i>Azadirachta indica</i>	15,7	4,9	1,6
Vereador Joaquim Leitão de Araújo		4	<i>Azadirachta indica</i>	6,1	2,8	1,9
Fórum Bivar Olyntho	Baixo	1	<i>Azadirachta indica</i>	19,4	5,0	2,1
Dom Expedito Eduardo de Oliveira		3	<i>Azadirachta indica</i>	6,8	3,0	1,8
Joaquim Araújo de Melo		5	<i>Tabebuia aurea</i>	27,6	7,4	2,8
		2	<i>Azadirachta indica</i>	12,0	5,0	1,7
		1	<i>Tabebuia aurea</i>	7,0	3,0	1,6
Herculano Rodrigues de Oliveira		3	<i>Azadirachta indica</i>	10,1	4,0	1,9
TOTAL		61		22,0	6,6	2,2

DAP: diâmetro a altura do peito.

As árvores utilizadas para a presente pesquisa encontram-se localizadas, principalmente, na bordadura das praças onde há maior influência do tráfego veicular.

Características botânicas das espécies objeto estudo

Tabebuia aurea, conforme Lorenzi (2008), é uma espécie nativa do Brasil, com árvores que apresentam: entre 10 e 20 m de altura; 30 e 100 cm de DAP; casca fissurada e cristas descontínuas e sinuosas; copa ampla; folhas compostas, digitadas, opostas, cruzadas e decussadas, com 5 a 7 folíolos cartáceos e lisos; flores amarelo-ouro, reunidas em inflorescências terminais; e fruto tipo silíqua e deiscentes, medindo entre 14 e 18,5 cm de comprimento.

Já a *Azadirachta indica* é uma espécie introduzida no Brasil e que se caracteriza por apresentar: entre 10 e 15 m de altura e 30 e 40 cm de DAP; casca fissurada; copa densa e redonda de 6 a 7 m de diâmetro; folhas compostas, alternas, pinadas e imparipinadas, com folíolos serrados, assimétricos e superfície lisa; flores brancas e fragrantas na forma de racimos; e frutos em drupas pequenas, de cor amarela quando maduros.

Estimativa dos particulados atmosféricos e dos pigmentos fotossintéticos

Em cada árvore selecionada, coletaram-se, aproximadamente, 50 g de folhas à altura do terço médio da copa dos indivíduos. Em seguida, as folhas foram armazenadas em sacolas de polietileno, devidamente identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Campina Grande/Centro de Saúde e Tecnologia Rural, *campus* de Patos, PB.

Para a quantificação dos particulados depositados nas folhas das árvores, foi adaptada a metodologia de Duran-Rivera e Alzate-Guarín (2009) e Vieco-Zapata (2014). Coletou-se uma amostra de nove folhas, em média, dependendo do tamanho dos folíolos, as quais foram posteriormente lavadas com água destilada dentro de béqueres de 500 ml até completar seu volume. A vidraria já se encontrava seca à temperatura ambiente e devidamente identificada e pesada em balança eletrônica de quatro dígitos. Após a lavagem das folhas, para a retirada dos contaminantes, a solução da lavagem sem as folhas foi colocada na estufa a 110 °C durante 72 horas. Após esse período, cada béquer foi retirado da estufa e colocado em repouso até atingir a temperatura ambiente. Depois, foram novamente pesados, estabelecendo, por diferença, a quantidade de particulados retidos, em miligramas.

Os folíolos, após lavagem, foram secos ao ar e fotografados sobre papel branco com régua milimétrica para calibrar a escala. A partir das fotos, foi estimada a área foliar, usando-se o software livre imageJ®. Desse modo, foi obtida a relação de retenção de particulados em microgramas cm⁻².

Para a determinação dos teores de pigmentos fotossintéticos relativos às clorofilas *a* e *b* e carotenoides, foram selecionadas, aleatoriamente, 10 folhas velhas de cada amostra e um folíolo de cada folha. Em seguida,

foram retirados 0,25 g de matéria fresca das folhas, sendo estas processadas segundo o método de Lichtenthaler e Buschmann (2001). Este método consiste em macerar o material em um gral contendo 10 ml de acetona a 80%. Após esse procedimento, adicionou-se novamente acetona a 80% até completar 12 ml, compensando, assim, as perdas por evaporação. As amostras foram centrifugadas durante cinco minutos, sendo coletado o sobrenadante em tubos de Falcon. Em seguida, foram realizadas leituras em espectrofotômetro (Spectrum, modelo SP 1105) nos comprimentos de onda próximos dos comprimentos teóricos 663,2 nm, 646,8 nm e 470 nm, para determinar os teores das clorofilas *a* e *b*, bem como dos carotenoides, respectivamente. Os valores obtidos foram substituídos nas seguintes fórmulas e os resultados convertidos a unidades de miligramas por grama de matéria fresca (mg g⁻¹ MF).

$$\begin{aligned}\text{Clorofila } a \text{ (}\mu\text{g/ml)} &= 12,25 A_{663,2} - 2,79 A_{646,8} \\ \text{Clorofila } b \text{ (}\mu\text{g/ml)} &= 21,50 A_{646,8} - 5,10 A_{663,2} \\ \text{Carotenoides (x+c) (}\mu\text{g/ml)} &= (1000 A_{470} - 1,82 \text{ Clo } a - 85,02 \text{ Clo } b) / 198\end{aligned}$$

em que: A = absorção no respectivo comprimento de onda; Clo = clorofila.

Análise dos dados

Para análise dos dados obtidos no presente estudo, foi utilizado o teste t ($p < 0,05$) para comparação de médias. Para a determinação das interações entre as diferentes variáveis estudadas, foi feita análise de correlação de Pearson. As análises estatísticas foram feitas com auxílio do programa Assistat®.

RESULTADOS

Retenção de particulados em folhas de *Tabebuia aurea* e *Azadirachta indica*

Por meio da análise dos particulados atmosféricos depositados nas folhas das árvores de *Tabebuia aurea* e *Azadirachta indica*, localizadas nas praças de Patos, PB, demonstrou-se a capacidade de retenção das folhas. Observa-se que houve diferenças estatísticas nos resultados entre espécies e tipo de fluxo veicular (Tabela 4).

Tabela 4. Comparação das médias do acúmulo de particulados em folhas de árvores de *Tabebuia aurea* e *Azadirachta indica*, localizadas em praças com diferente fluxo veicular.

Table 4. Comparison of the averages of particulate accumulation in leaves of *Tabebuia aurea* and *Azadirachta indica* trees located in squares with different vehicular flow.

Fluxo veicular	Acúmulo em <i>Tabebuia aurea</i> ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	Acúmulo em <i>Azadirachta indica</i> ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	Acúmulo total de particulados x fluxo ($\mu\text{g cm}^{-2}$)
Alto	29,45 bA	27,98 aA	28,71 b
Baixo	66,37 aA	25,77 aB	38,59 a
Acúmulo total de particulados x espécie ($\mu\text{g cm}^{-2}$)	37,65 A	27,13 B	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e da mesma letra maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$).

Na análise entre espécies, observa-se, ainda na tabela 4, que houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre o acúmulo total de particulados das árvores de *T. aurea* e *A. indica* ($37,65 \mu\text{g cm}^{-2}$ e $27,13 \mu\text{g cm}^{-2}$, respectivamente). Essa diferença se apresenta porque *T. aurea* registrou maior retenção de particulados ($66,37 \mu\text{g cm}^{-2}$) que *Azadirachta indica* ($25,77 \mu\text{g cm}^{-2}$) nas praças de baixo fluxo ($p < 0,05$). Em locais com alto fluxo não foi observada diferença estatística.

Quando analisados os resultados por tipo de fluxo no total, observa-se que houve maior deposição de partículas contaminantes nas folhas das árvores em locais com menor trânsito de veículos do que em locais com alto fluxo veicular ($38,59 \mu\text{g cm}^{-2}$ e $28,71 \mu\text{g cm}^{-2}$, respectivamente) ($p < 0,05$), sendo um resultado inesperado. Esses resultados também são influenciados pelos obtidos para *T. aurea*, que apresentou maior acúmulo de particulados ($p < 0,05$) em praças de baixo fluxo ($66,37 \mu\text{g cm}^{-2}$) do que em locais de alto fluxo ($29,45 \mu\text{g cm}^{-2}$), de modo distinto ao registrado para *A. indica*.

Influência da deposição de particulados nos pigmentos fotossintéticos

Na análise dos pigmentos fotossintéticos por espécie e tipo de fluxo, também não houve uma tendência. Verificou-se, por exemplo, que o teor médio dos pigmentos fotossintéticos avaliados para *T. aurea* diminui

conforme o fluxo veicular aumenta (Tabela 5). No entanto, essa diferença só foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$) para a clorofila **b**.

Tabela 5. Teores médios de pigmentos fotossintéticos em folhas de *Tabebuia aurea* e *Azadirachta indica*, localizadas em praças com diferente fluxo veicular.

Table 5. Average levels of photosynthetic pigments in leaves of *Tabebuia aurea* and *Azadirachta indica* located in squares with different vehicular flow.

Fluxo veicular	Espécie	<i>Tabebuia aurea</i>	<i>Azadirachta indica</i>	Total por tipo de fluxo
Clorofila a (mg g ⁻¹ MF)				
Alto		0,0636 aB	0,1716 aA	0,1176 a
Baixo		0,0766 aB	0,1314 bA	0,1141 a
Total por espécie		0,0665 B	0,1562 A	
Clorofila b (mg g ⁻¹ MF)				
Alto		0,0248 bB	0,0650 aA	0,0449 a
Baixo		0,0319 aB	0,0619 aA	0,0525 a
Total por espécie		0,0264 B	0,0638 A	
Carotenoides (mg g ⁻¹ MF)				
Alto		0,0168 aA	0,0081 aB	0,0124 a
Baixo		0,0172 aA	0,0089 aB	0,0115 a
Total por espécie		0,0169 A	0,0084 B	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e da mesma letra maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$).

No caso da espécie *A. indica*, pode-se observar, ainda na tabela 5, que os resultados têm comportamento diferente de *T. aurea*. O teor de clorofila **a** para o conjunto de árvores sob influência de alto fluxo veicular, por exemplo, foi estatisticamente ($p < 0,05$) superior (0,1716 mg g⁻¹ MF) do que o apresentado para praças com baixo fluxo de veículos (0,1314 mg g⁻¹ MF).

Ao se analisar a correlação do material particulado com os pigmentos fotossintéticos conforme o tipo de fluxo, também não foi detectada uma tendência nos resultados. Observa-se, por exemplo, que nas praças com baixo fluxo de veículos houve correlação negativa entre o acúmulo de particulados e o teor de clorofila **a** (-0,485) e clorofila **b** (-0,345) para *T. aurea*, o que sugere influência direta adversa dos particulados nos pigmentos fotossintéticos (Tabela 4). No entanto, nas praças com alto fluxo, essa correlação foi positiva (Tabela 6).

Tabela 6. Coeficientes de correlação de Pearson entre o acúmulo de particulados e os teores médios de pigmentos fotossintéticos em folhas de *Tabebuia aurea* e *Azadirachta indica*, localizadas em praças com diferente fluxo veicular.

Table 6. Pearson correlation coefficients between the particulate accumulation and average levels of photosynthetic pigments in leaves of *Tabebuia aurea* and *Azadirachta indica* located in squares with different vehicular flow.

Fluxo veicular	Clorofila a	Clorofila b	Carotenoides
<i>Tabebuia aurea</i>			
Baixo	-0,485	-0,345	0,491
Alto	0,385	0,392	0,292
Total	0,307	0,395	0,235
<i>Azadirachta indica</i>			
Baixo	-0,068	0,254	-0,220
Alto	-0,158	0,033	-0,023
Total	-0,083	0,090	-0,064

Ao avaliar *A. indica*, observa-se, ainda na tabela 6, que houve correlação negativa entre o acúmulo de particulados e o teor de clorofila **a** e o teor dos carotenoides, tanto em locais com alto e baixo fluxo veicular quanto no total. Em todos os casos, porém, essa correlação foi bastante fraca. Já para clorofila **b**, a correlação com os particulados foi positiva, mas também baixa.

DISCUSSÃO

Observa-se, na tabela 2, que o IDA de cinco praças é menor que 1. O índice ideal é 1 e valores abaixo de 1 denunciam a carência de vegetação arbórea; o que torna importante adotá-lo na concepção de projetos de arborização urbana. É importante, neste momento, fazer os gestores municipais saberem que o baixo número de árvores e espécies não proporcionará o conforto térmico à população de Patos que frequenta essas praças.

No tocante ao ISA, verifica-se que apenas a Praça Herculano Rodrigues de Oliveira apresentou valor inferior a 30,0%, o que, segundo Lima Neto e Souza (2009), representa um baixo sombreamento na Praça. Estes autores afirmam, ainda, que o índice recomendado é de 30% para áreas onde predomina o comércio e 50% para áreas onde há predomínio de residências.

Retenção de particulados em folhas de *Tabebuia aurea* e *Azadirachta indica*

Conforme os resultados da tabela 4, confirma-se que as folhas das espécies objeto de estudo têm a capacidade de acumular e reter particulados atmosféricos, contribuindo para a melhora da qualidade do ar em ambientes poluídos. Em especial, a espécie *T. aurea* demonstrou maior efetividade na retenção ($37,65 \mu\text{g cm}^{-2}$ em média) em relação a *A. indica* ($27,13 \mu\text{g cm}^{-2}$). No entanto, a superioridade de *T. aurea* é fortemente influenciada pelos resultados obtidos em praças com baixo fluxo veicular.

Neste sentido, o fato da retenção de particulados por *T. aurea* ter sido maior em locais com baixo fluxo veicular ($66,37 \mu\text{g cm}^{-2}$) do que naqueles com alto fluxo ($29,45 \mu\text{g cm}^{-2}$) (Tabela 4), deve-se, provavelmente, à existência de ruas sem calçamento na vizinhança das praças Joaquim Araújo de Melo e Herculano Rodrigues de Oliveira onde as árvores se encontram, e à ação do vento, que promoveu a suspensão de partículas que foram depositadas na folhagem das árvores. É importante ressaltar que o elevado porte dos indivíduos dessa espécie (Tabela 3) atua como barreira, retraindo maior quantidade de particulados.

No entanto, ao se desconsiderar o valor de $66,37 \mu\text{g cm}^{-2}$ registrado em locais de baixo fluxo para *T. aurea*, foi constatada uma média de $27,73 \mu\text{g cm}^{-2}$ para retenção de particulados atmosféricos, considerando os resultados de ambas as espécies. Em estudo similar realizado na cidade de Medellín na Colômbia, após um mês de monitoramento, Vieco-Zapata (2014) encontrou valores médios de retenção de particulados de $28,43 \mu\text{g cm}^{-2}$; $15,43 \mu\text{g cm}^{-2}$ e $29,79 \mu\text{g cm}^{-2}$ para as espécies *Pithecellobium dulce*, *Bauhinia picta* e *Tabebuia chrysantha*, respectivamente.

O serviço ecossistêmico de retenção de particulados que as árvores de *T. aurea* e *A. indica* fornecem é importante para as políticas públicas, pois contribui para a diminuição de doenças cardiorrespiratórias na população. Escobedo e Chacalo (2008), estudando a contribuição da arborização na descontaminação atmosférica no México D.F., relataram que a redução de 1% em O_3 e no material particulado com diâmetro $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) permitiria economizar cerca de 10 milhões de dólares, representados por 3.329 consultas médicas e 419 ingressos no hospital por complicações respiratórias. O material particulado com diâmetro $\leq 10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) é considerado o mais nocivo para a saúde, sendo responsabilidade dos órgãos públicos e da sociedade adotar medidas para sua mitigação e controle e que garantam à população o direito a desfrutar de um ambiente saudável.

De forma semelhante, Nowak *et al.* (2013), em estudo sobre partículas contaminantes com diâmetro $\leq 2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$), para dez cidades dos Estados Unidos de América, demonstraram que as árvores podem remover entre 4,7 e 64,5 toneladas de particulados suspensos no ar, dependendo das características da cidade e de sua arborização. Isso representaria benefícios para os cidadãos valorados entre 1,1 milhões de dólares a 60,1 milhões de dólares.

Para entender as diferenças na eficiência em capturar material particulado pela folhagem de ambas as espécies em estudo, é importante considerar que a captura do material particulado pela vegetação depende de vários fatores como: tipo e concentração de particulados, variáveis climáticas, tamanho e posição das árvores e características morfológicas inerentes a cada espécie (ALCALÁ *et al.*, 2011).

Fatores climáticos locais e característicos da região semiárida, como o período de estiagem no segundo período combinado com ventos, fazem com que as partículas viagem com maior facilidade pela atmosfera, depositando-se em todo tipo de barreiras, como as árvores. Isso pode ter favorecido a retenção de partículas por parte de *T. aurea*, que apresenta árvores de maior porte, particularmente, em locais com maior grau de poluição, seja ela derivada dos veículos ou não.

Com relação às características morfológicas da planta, estas são determinantes na captura de partículas. Particularmente no caso das folhas, a sua capacidade de retenção depende, principalmente, de seu tamanho, consistência, pilosidade e rugosidade. Nesse sentido, de acordo com os dados obtidos no presente estudo, o fato

da espécie *T. aurea* ter sido mais eficiente na captura de material particulado do que a espécie *A. indica* pode ser explicado pela primeira apresentar folíolos de maior tamanho, consistência coriácea e superfície áspera.

Duran-Rivera e Alzate-Guarín (2009), por exemplo, estudando as árvores de cinco espécies localizadas sob o viaduto do Metrô de Medellín (Colômbia), verificaram alta correlação entre o acúmulo de particulados na folhagem e o comprimento da folha (0,819), assim como com a largura \times comprimento (0,652) e o peso seco (0,710). Os autores relatam que folhas com superfície plana e rígida favorecem a deposição dos particulados que são trazidos pelas correntes de ar.

Conforme os resultados da retenção de particulados atmosféricos, sugere-se, portanto, que espécies nativas que se destacam em acumular particulados na sua folhagem, como a *T. aurea*, sejam indicadas para o planejamento da arborização e implantadas em locais de maior concentração de poluentes atmosféricos, como o centro da cidade de Patos.

Influência da deposição de particulados nos pigmentos fotossintéticos

Ao se avaliar a influência dos particulados atmosféricos nos pigmentos fotossintéticos das árvores expostas a distintos níveis de poluição, não foi demonstrada uma tendência de afetação dessas partículas no fotossistema da planta, como tem sido comprovado em outros estudos (MAIOLI *et al.*, 2008; AMULYA *et al.*, 2015).

Vários fatores podem ter incidência nos resultados. Por exemplo, o fato de o teor médio de clorofila *a* em árvores de *A. indica* localizadas em áreas de alto fluxo veicular ter sido superior ($p > 0,05$) ao daquelas localizadas em locais com baixo fluxo (Tabela 5), deve-se, provavelmente, ao fato dessas árvores estarem submetidas a frequentes podas geométricas para controlar o seu crescimento.

As podas constantes propiciam uma renovação contínua da folhagem da árvore, o que pode dar origem à denominada fotossíntese compensatória, a qual representa um aumento na taxa fotossintética pelas folhas remanescentes e folhas de rebrote da planta, fato que pode estar relacionado a uma alteração no balanço hormonal da planta após o corte (GOMIDE *et al.*, 2002).

Os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides também podem ser influenciados pelas características fenotípicas e adaptativas próprias de cada espécie, bem como pela disponibilidade de água no solo (CRESPO *et al.*, 2011). No caso das árvores avaliadas na presente pesquisa, observando-se o fato de que a região semiárida apresenta um período seco de, aproximadamente, sete a nove meses, faz-se necessário o uso da irrigação, que condiciona as respostas fisiológicas da planta em relação às variáveis avaliadas.

Outros fatores de estresse na planta próprios do meio urbano, como a compactação do solo, podas mal conduzidas, injúrias mecânicas e exposição a gases tóxicos (CALFAPIETRA *et al.*, 2015), também podem ter interferido nos resultados. Nesse sentido, a arborização em estudo padece algumas dessas problemáticas, principalmente de solos compactados, como consequência da urbanização e exposição a gases como o O_3 , derivado da queima de combustíveis fosseis pelos veículos e motocicletas que transitam a cidade.

MAIOLI *et al.* (2008) salientam que concentrações muito elevadas de O_3 afetam a capacidade fotossintética da planta, obrigando-a a usar a clorofila *b* como antioxidante e não em sua função fotoquímica e alterando as respostas metabólicas da planta.

No entanto, a apesar da variabilidade nos resultados, foi verificado que o teor médio da clorofila *b* diminui em locais mais poluídos em que o fluxo veicular é maior para *T. aurea* (Tabela 5). O acúmulo contínuo de particulados na folhagem das árvores submetidas à poluição atmosférica em ambientes urbanos causa alterações na concentração da clorofila, devido, principalmente, à obstrução da luz ocasionada pela deposição de partículas contaminantes suspensas no ar na superfície da folha. Isso impede que as folhas aproveitem ao máximo a radiação solar que chega até elas, diminuindo sua capacidade fotossintética e, portanto, seu crescimento (JOSHI; SWAMI, 2009; RODRIGUES *et al.*, 2015).

Lichtenthaler *et al.* (2007), em estudo realizado na Europa, constataram que folhas de árvores sob radiação solar apresentaram maior teor de clorofila *a* e *b* e carotenoides do que aquelas sob condições de sombra, destacando o fato que as folhas, durante seu desenvolvimento, realizam adaptações morfológicas e bioquímicas especiais para o máximo aproveitamento da luz.

Sob o ponto de vista fisiológico, a contaminação atmosférica afeta o potencial fotossintético das plantas. Esse processo resulta de alterações no elétron transportador da fotossíntese no fotossistema II (PSII) ou na assimilação do carbono (CO_2) que a planta faz através dos estômatos, assim como da eficiência fotoquímica e o teor de pigmentos fotossintéticos no PSII, o que, em conjunto, afeta o desenvolvimento da planta (ARENA *et al.*, 2014; DHIR *et al.*, 2008). Entretanto, algumas espécies e, inclusive, indivíduos da própria espécie podem ser mais tolerantes a contaminantes atmosféricos do que outros. Mesmo assim, altas concentrações de elementos químicos podem acarretar danos às árvores e até causar sua morte (ALCALÁ *et al.*, 2008).

CONCLUSÕES

- A espécie *Tabebuia aurea* apresenta maior eficiência na retenção ($p < 0,05$) de particulados atmosféricos contaminantes pela sua folhagem do que a *Azadirachta indica*. No entanto, ambas as espécies podem ser utilizadas para mitigar a poluição ambiental urbana, principalmente em locais com alto tráfego veicular.
- Não foi demonstrada a influência do acúmulo de particulados atmosféricos nos pigmentos fotossintéticos, sendo que a clorofila *a* e *b* e carotenoides presentes nas folhas de *T. aurea* e *A. indica* não apresentam tendência na correlação com o acúmulo de particulados por espécie e tipo de fluxo. Atribui-se esse resultado a fatores externos à planta.
- Foi verificado que o teor médio da clorofila *b* para *T. aurea* diminui em locais em que o fluxo veicular é maior. No entanto, não foi demonstrada uma tendência clara da influência do fluxo veicular na retenção de particulados atmosféricos por ambas as espécies, fato atribuído, principalmente, à interferência de fatores externos próprios do meio urbano como a presença de ruas sem calçamento na vizinhança de algumas praças objeto de estudo e à diferença no porte das árvores.
- É necessário um melhor planejamento urbano para a cidade de Patos frente a baixa capacidade de sombreamento em metade das praças públicas avaliadas.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pela concessão da bolsa de Mestrado para o autor principal e ao programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal de Campina Grande por possibilitar o desenvolvimento da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ALCALÁ, J. J.; SOSA, M.; MORENO, M. ; QUINTANA, G.; MIRANDA, S.; RUBIO, A. Metales pesados en vegetación arbórea como indicador de la calidad ambiental Urbana: ciudad de Chihuahua, México. **Multequina**, v. 17, p. 39-54, 2008.
- ALCALÁ, J. J.; RODRÍGUEZ, J. C.; TISCAREÑO, M. A.; HERNÁNDEZ, A.; TAPIA, J. J.; LOREDO, C.; VILLASEÑOR, E. Mitigación del impacto ambiental del polvo atmosférico a través de *Prosopis laevigata* y *Schinus molle*, San Luis Potosí, México. **Multequina**, v. 18, p. 37-51, 2011.
- AMULYA, L.; KUMAR, N. K. H.; JAGANNATH, S. Air pollution impact on micromorphological and biochemical response of *Tabernaemontana divaricata* L. (Gentianales: Apocynaceae) and *Hamelia patens* Jacq. (Gentianales: Rubiaceae). **Brazilian Journal of Biological Sciences**, v. 2, n. 4, p. 287-294, 2015.
- ARENA, C.; MAIO, A.; NICOLA, F.; SANTORUFO, L.; VITALE, L.; MAISTO, G. Assessment of Eco-Physiological Performance of *Quercus ilex* L. Leaves in Urban Area by an Integrated Approach. **Water Air Soil Pollut**, v. 225, n. 1824, p. 2-12, 2014.
- BAYCU, G.; TOLUNAY, D.; OZDEN, H.; GUNEBAKAN, S. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. **Environmental Pollution**, v. 143, p. 545-554, 2006.
- CRESPO, S. C.; MORENO-CHACÓN, A. L.; ROJAS, A.; MELGAREJO, L. M. Principal Component Analysis of Changes due to Water Stress for Some Osmolytes, Pigments and Antioxidant Enzymes in *Gmelina arborea* Robx. Leaves from Trees Planted in Northern Colombia. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22, n. 12, p. 2275-2280, 2011.
- DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO (DETRAM). **Frota por município, março, 2014**. Disponível em: < http://www.detran.pb.gov.br/index.php/estatisticas/doc_view/515-frota-por-municipio.raw?tmpl=component > Acesso em 6 fevereiro de 2016.
- DHIR, B.; SHARMILA, P.; SARADHI, P. P. Photosynthetic performance of *Salvinia natans* exposed to chromium and zinc rich wastewater. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 20, n. 1, p. 61-70, 2008.
- DURAN-RIVERA, B. Intercepción de partículas suspendidas totales (PST) por cinco especies de árboles urbanos en el Vale de Aburrá. **Revista Facultad Ingeniería Universidad de Antioquia**, n. 47, p. 59-66, 2009.
- ESCOBEDO, F.; CHACALO, A. Estimación preliminar de la descontaminación atmosférica por el arbolado

urbano de la ciudad de México. **Interciencia**, v. 33, n. 1, p. 1-5, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sinopse do censo demográfico, 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=11&uf=00>>. Acesso em 5 de maio de 2015.

GOMIDE, C. A. M.; GOMIDE, J. A.; HUAMAN, C. A. M.; PACIULLO, D. S. C. Fotossíntese, Reservas Orgânicas e Rebrotas do Capim-Mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) sob Diferentes Intensidades de Desfolha do Perfilho Principal. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 6, p. 2165-2175, 2002.

JOSHI, P. C.; SWAMI, A. Air pollution induced changes in the photosynthetic pigments of selected plant species. **Journal Environmental Biology**, v. 30, n. 2, p. 295-298, 2009.

CALFAPIETRA, C.; PEÑUELAS J.; NIINEMETS Ü. Urban plant physiology: adaptation-mitigation strategies under permanent stress. **Trends in plant science**, v. 20, n. 2, p. 72-75, 2015.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5.ed. v.1, Rio de Janeiro: Nova Odessa; Instituto Plantarum, 2008. 384 p.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, p.F4.3.1-F4.3.8, 2001.

LICHTENTHALER, H. K.; AC, A.; MAREK, M. V.; KALINA, J.; URBAN, O. Differences in pigment composition, photosynthetic rates and chlorophyll fluorescence images of sun and shade leaves of four tree species. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 45, p. 577-588, 2007.

LIMA NETO, E. M.; SOUZA, R. M. Índices de densidade e sombreamento arbóreo em áreas verdes públicas de Aracaju, Sergipe. **REVSBAU**, v. 4, n. 4, p. 47-62, 2009.

MAIOLI, O. L. G.; SANTOS, J. M.; REIS JÚNIOR, N. C.; CASSINI, S. T. A. Parâmetros bioquímicos foliares das espécies *Licania tomentosa* (Benth.) e *Bauhinia forficata* (Link.) Para avaliação da qualidade do ar. **Química Nova**, v. 31, n. 8, p. 1925-1932, 2008.

MELO, R. R.; LIRA FILHO, J. A. DE; RODOLFO JÚNIOR, F. R. Diagnóstico qualitativo e quantitativo da arborização urbana no bairro Bivar Olinto, Patos, Paraíba. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 2, n. 1, p. 64-80, 2007.

NOWAK, D. J.; HIRABAYASHI, S.; BODINE, A.; HOEHN, R. Modeled PM_{2.5} removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. **Environmental Pollution**, v. 178, p. 395-402, 2013.

POMPELLI, M. F.; FRANÇA, S. C.; TIGRE, R. C.; OLIVEIRA, M. T.; SACILOT, M.; PEREIRA, E. C. Spectrophotometric determinations of chloroplastidic pigments in acetone, ethanol and dimethylsulphoxide. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 11, n. 1, p. 52-58, 2013.

RODRIGUES, R. A. R.; VAZ, V. C.; SATO, A.; ARRUDA, R. C. O.; CASTRO, W. A. C.; SILVA-MATOS, D. M. Structural leaf changes in trees around a subway air duct. **Revista Árvore**, v. 39, n. 3, p. 417-421, 2015.

SZUMACHER, I.; MALINOWSKA, E. Servicios ecosistémicos urbanos según el modelo de Varsovia. **Revista del CESLA**, n. 16, p. 81-108, 2013.

VIECO-ZAPATA, M. E. **Estimación de la remoción de material particulado por parte de tres especies arbóreas en un corredor vial de Medellín**. 2014. Monografía de Engenharia Ambiental. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Envigado, 2014. 57 p.