

Status nutricional e eficiência no uso de nutrientes em
espécies arbóreas da floresta subtropical no sul do BrasilNutritional status and nutrient use efficiency in
tree species of subtropical forest in southern BrazilMárcia Bündchen¹, Maria Regina Torres Boeger²,
Carlos Bruno Reissmann³ e Sabrina Letícia Couto da Silva⁴**Resumo**

A concentração de nutrientes no tecido foliar e a eficiência no uso de nutrientes (EUN) foram comparadas entre cinco espécies da floresta subtropical no sul do Brasil. As análises foram realizadas a partir de folhas completamente expandidas e saudáveis, coletadas na copa das árvores sob condições similares de posicionamento no dossel e exposição ao sol. Após a secagem e moagem das folhas, os nutrientes P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn foram determinados por espectrometria de emissão óptica de plasma de argônio (ICP OES), N pelo método Kjeldahl e B via azometina – H. A concentração média dos nutrientes foliares foi similar a outros ecossistemas subtropicais, ocorrendo variação interespecífica, indicando a utilização diferenciada destes a partir de um *pool* comum no solo. A eficiência no uso dos macronutrientes foi maior para o P seguido pelo S, Mg, Ca, K e N, enquanto que para os micronutrientes foi maior para o Cu, seguido pelo B, Zn, Fe e Mn. Os elementos P, Mg e S apresentaram maior EUN em todas as espécies. Os resultados evidenciam a existência de diferentes estratégias para aquisição e uso dos elementos essenciais por espécies arbóreas, crescendo no mesmo tipo de solo.

Palavras-chave: Mata Atlântica, utilização de nutrientes, tecido foliar.

Abstract

Leaf nutrient concentration and the nutrient use efficiency (NUE) were compared among five canopy tree species of a subtropical forest in southern Brazil. Healthy and fully expanded leaves were collected under similar conditions such as canopy position and light exposure. Leaves were dried and ground, the macronutrients (N - Nitrogen, P - Phosphorus, K - Potassium, Ca - Calcium, Mg - Magnesium, S - Sulphur) and micronutrients (Cu - Copper, Fe - Iron, Mn - Manganese; Zn - Zinc and B - Boron) were determined by argon-plasma, optical-emission spectrometry (ICP OES), N by Kjeldahl method, and B by azomethine-H way. The mean leaf concentration of nutrients was similar to other subtropical ecosystems but there was a high interspecific variation, indicating that the species use the nutrients differently from a common pool from the soil. The nutrient use efficiency (NUE) sequence was P> S> Mg> Ca> K> N for macronutrients while for micronutrients the sequence was Cu> B> Zn> Fe> Mn. The elements P, Mg and S had higher NUE in all species. These results suggest different strategies to acquire and use of these essential elements for tree species growing in the same soil type. The interspecific differences of NUE can contribute to explain the coexistence of these species in natural forest communities.

Keywords: Atlantic Forest, nutrient use, leaf tissue.

INTRODUÇÃO

A coexistência de espécies arbóreas florestais é mantida pela disponibilidade dos recursos, pela eficiência no uso desses recursos e pela va-

riação interespecífica nos requerimentos para promover e sustentar o crescimento (SILVERTOWN, 2004). Entre os principais recursos que determinam a distribuição das plantas nos ecossistemas terrestres estão: disponibilidade

¹Professora Doutora. IFRS - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. Rua Coronel Vicente, 281, Centro, 90030-040 - Porto Alegre, RS. E-mail: marcia.bundchen@poa.ifrs.edu.br

²Professora Doutora Associada II, do UFPR - Universidade Federal do Paraná, Departamento de Botânica, Setor de Ciências Biológicas. Centro Politécnico, Jardim das Américas, Caixa Postal 19031, 81970-990 - Curitiba, PR. E-mail: rboeger@ufpr.br

³Professor Doutor Sênior. UFPR - Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias. Rua dos Funcionários, 1540, Juvevê, 80035-020 - Curitiba, PR. E-mail: reissman@ufpr.br

⁴Professora Mestre, IFRS - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul. Rua Coronel Vicente, 281, Centro, 90030-040 - Porto Alegre, RS. E-mail: sabrina.silva@poa.ifrs.edu.br

de água, luz e nutrientes. Assim sendo, sob as mesmas condições de clima (pluviosidade, luminosidade e temperatura semelhantes), são os fatores edáficos que exercem pressão seletiva sobre a comunidade vegetal, resultando frequentemente, em adaptações morfofisiológicas nas plantas, que estão relacionadas à estrutura do solo (AERTS; CHAPIN, 2000; WU et al., 2007). Como resultado, a concentração de nutrientes nos tecidos vegetais é determinada, em parte, pelas condições edafoclimáticas, as quais diferem entre os ecossistemas (CALDEIRA et al., 2006; HUANG et al., 2007; LÜ et al., 2011).

Já a eficiência no uso dos nutrientes (EUN) expressa a quantidade de matéria orgânica que é produzida a cada unidade de nutriente que é absorvido pela planta (CHAPIN, 1980) e, desta forma, as plantas que crescem em solos oligotróficos seriam mais eficientes no uso dos nutrientes do que aquelas que crescem em solos férteis (AERTS; CHAPIN, 2000). No entanto, a EUN pode variar entre espécies e também dentro de uma mesma espécie de planta em decorrência das diferenças genótípicas e da interação genótipo-ambiente (BALIGAR et al., 2001; SANTANA et al., 2002).

A floresta subtropical no sul do Brasil está incluída no Bioma Mata Atlântica, abrangendo três principais formações fitoecológicas: a Floresta Ombrófila Densa, a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Decidual (IBGE, 2010). Nestas formações florestais, estudos determinando a concentração foliar de nutrientes (BOEGER et al., 2005, BRUN et al., 2010; CALDEIRA et al., 2006) indicam elevada variabilidade intra e inter-específica, atribuída, em parte, à disponibilidade de nutrientes no solo. No entanto, espécies que ocorrem na mesma área podem apresentar variação na capacidade de absorver e utilizar os nutrientes disponíveis (WOOD et al., 2011), o que tem sido interpretado como uma estratégia de uso complementar de recursos, favorecendo a coexistência das espécies em ecossistemas com elevada biodiversidade (RICHARDS; SCHMIDT, 2010).

Considerando que, as espécies que se desenvolvem sob as mesmas condições de solo e de clima podem diferir com relação aos seus requerimentos nutricionais, no presente trabalho foram avaliadas a concentração foliar e a eficiência no uso dos nutrientes em cinco espécies arbóreas que compõem o dossel da floresta subtropical no sul do Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no Parque Natural Municipal do Vale do Rio do Peixe (JOAÇABA, 2002), localizado no município de Joaçaba, Santa Catarina, Brasil (27°10'41"S e 51°30'17"O, 770 m de altitude), na região de distribuição da floresta subtropical. A área de estudo é um fragmento com cerca de 200 ha, que abriga uma floresta preservada sem histórico de uso agrícola ou desmatamento (RAIMUNDO, 2003). Localiza-se na região de transição entre duas fitofisionomias do bioma Mata Atlântica: a Floresta Estacional Decidual e a Floresta Ombrófila Mista (KLEIN, 1978).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa subtropical, mesotérmico, com temperatura média do mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média do mês mais quente acima de 22 °C (PANDOLFO et al., 2002). A precipitação média anual varia entre 1.500 a 1.700 mm, sem ocorrência de estação seca definida, mas com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão e ocorrência de geadas pouco frequentes no inverno (PANDOLFO et al., 2002). O solo é de origem vulcânica, originado dos derrames basálticos do intervalo Juro-cretássico (aproximadamente entre 185 milhões de anos a 65 milhões de anos atrás) incluídos na Formação Serra Geral (SCHNEIDER et al., 1974).

A caracterização do solo foi realizada a partir de amostras coletadas em cinco pontos distribuídos nas proximidades das árvores amostradas, obtidas com trado holandês manual em quatro profundidades (0-10cm, 10-20cm, 20-30cm e 30-40cm). As amostras de solo foram acondicionadas em embalagens de polietileno perfeitamente vedadas e posteriormente submetidas a análises químicas para diagnóstico nutricional (argila pelo método do densímetro; matéria orgânica por digestão úmida; pH em água 1:1; fósforo e potássio pelo método de Mehlich-1; cálcio e magnésio trocáveis extraídos com KCl 1mol L⁻¹; S-SO₄ extraído com CaHPO₄ 500mg L⁻¹ de P). O solo foi caracterizado como Nitossolo Bruno, com alto teor de argila e pH ácido (Tabela 1).

Na área de coleta do solo foram amostradas cinco espécies arbóreas, características da área de distribuição da Floresta Estacional Decidual e da Floresta Ombrófila Mista (KLEIN, 1972), sendo três delas perenes: *Cupania vernalis* Cambess. (Sapindaceae), *Matayba elaeagnoides* Radlk. (Sapindaceae) e *Nectandra lanceolata* Nees & Mart.

(Lauraceae) e duas decíduas: *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) e *Jacaranda micrantha* Cham. (Bignoniaceae). Foram selecionadas as árvores com altura entre 16 e 20 m, pertencentes ao dossel da floresta na área do estudo, distando entre si de 5 a 10 m. Para cada espécie, foram marcados cinco indivíduos e coletadas aproximadamente 200 folhas maduras, totalmente expandidas, localizadas a partir do quarto verticilo dos ramos, no sentido ápice-base. Foram selecionadas folhas saudáveis, sem sinais de epifilia e de danos por herbivoria, em ramos da copa com completa exposição à radiação solar, de forma a garantir a similaridade das amostras. A coleta foi realizada no final da primavera (novembro de 2009), ascendendo-se as árvores com equipamento de escalada e utilizando podão para o corte dos ramos mais altos. Para as espécies com folhas compostas (*Cupania vernalis*, *Matayba elaeagnoides*, *Cedrela fissilis* e *Jacaranda micrantha*) amostrou-se o folíolo mediano (BONGERS; POPMA, 1990).

Em laboratório, as folhas destinadas à análise química, foram lavadas com água deionizada, secas em estufa a 60 °C e então moídas em moinho para obtenção de um pó homogêneo. As amostras destinadas à análise de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn foram submetidas à digestão nítrico-perclórica, sendo a determinação obtida por espectrometria de emissão óptica de plasma de argônio (ICP OES). O N foi determinado pelo método Kjeldahl e as amostras destinadas à análise do B submetidas à incineração em mufla para análise via azometina - H (BATAGLIA et al., 1983).

A eficiência no uso de nutrientes (EUN) foi calculada de acordo com CHAPIN (1980), baseada na massa seca de 20 folhas por indivíduo (g massa foliar/ g de macronutriente e g massa foliar/ mg de micronutriente). As razões entre os elementos (N e P, N e K, K e P, Zn e Cu e Fe

e Mn) foram calculadas visando verificar o efeito de um nutriente sobre o outro, por meio da avaliação conjunta de dois nutrientes essenciais (CAMPBELL; PLANK, 2000).

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade da variância pelo teste de Levene. Dados que não atenderam aos pressupostos da análise de variância foram logaritmizados. A concentração média de nutrientes, a eficiência no uso dos nutrientes e as razões entre os principais nutrientes foram comparadas entre as espécies, ao nível de 5% de significância, por meio do teste de Tukey considerando um delineamento inteiramente casualizado. Todas as análises foram realizadas com auxílio dos softwares PAST (HAMMER et al., 2001) e SPSS (IBM, 2011).

RESULTADOS

A concentração média dos macronutrientes no tecido foliar foi maior para o N, seguido pelo K, Ca, Mg, S e P (Tabela 2), mas apresentou variações entre as espécies (*Nectandra lanceolata*: N>K>Ca>P>S>Mg, *Matayba elaeagnoides*: N>K>Mg>Ca>S>P e *Cedrela fissilis*: N>Ca>K>Mg>S>P). A concentração foliar de N em *Jacaranda micrantha* foi maior do que nas demais espécies. A concentração de K foi maior nas folhas de *Matayba elaeagnoides* e *Cupania vernalis* e menor em *Jacaranda micrantha* e *Cedrela fissilis*. A concentração de P foi maior nas espécies perenes do que nas decíduas. Em *Cedrela fissilis*, a concentração média de Ca foi 40% maior do que a média geral, por outro lado, a menor concentração de S ocorreu nesta espécie. *Nectandra lanceolata* apresentou a menor concentração de Mg, enquanto que, em *Matayba elaeagnoides*, a concentração foliar deste elemento foi 45% maior em relação à média.

Tabela 1. Valores máximos e mínimos dos atributos químicos do solo do Parque Natural Municipal do Vale do Rio do Peixe, Joaçaba, Santa Catarina, Brasil.

Table 1. Maximum and minimum values of soil chemical traits from Parque Natural Municipal do Vale do Rio do Peixe, Joaçaba, Santa Catarina, Brazil.

Profundidade (cm)	A	MO	pH	P	K	Ca
0-10	60-54	6,0-4,7	5,0-4,1	4,8-3,3	96-63	6,1-0,5
10-20	>60	4,9-3,9	4,8-4,1	3,4-3,0	73-44	2,4-0,2
20-30	>60-59	4,6-3,6	4,6-3,9	3,0-2,5	60-29	1,4-0,2
30-40	>60	4,8-3,3	4,6-4,1	2,8-2,3	55-21	0,7-0,1
	Mg	S	Zn	Cu	B	Mn
0-10	2,8-0,3	25-9,3	6,2-0,9	8,7-4,3	0,9-0,4	100-17
10-20	1,1-0,2	23-8,0	3,5-0,9	11-7,9	1,0-0,5	62-10
20-30	0,8-0,2	23-9,9	2,1-0,5	15-11	0,9-0,3	43-9
30-40	0,5-0,1	23-8,8	1,4-0,4	16-13	0,8-0,4	34-8

A = argila (%), MO = matéria orgânica (%), P = fósforo (mg dm⁻³), K = potássio (mg dm⁻³), Ca = cálcio trocável (cmol dm⁻³), Mg = magnésio trocável (cmol dm⁻³), S = enxofre extraível (mg dm⁻³), Zn = zinco (mg dm⁻³), Cu = cobre (mg dm⁻³), B = Boro (mg dm⁻³) e Mn = manganês (mg dm⁻³).

Tabela 2. Concentração foliar (média ± desvio padrão) de macronutrientes das espécies avaliadas.
Table 2. Leaf concentration (mean ± standard deviation) of macronutrients of species studied.

Espécie	Macronutrientes (g Kg ⁻¹)					
	N	K	P	Ca	Mg	S
<i>Nectandra lanceolata</i>	27,68 (0,98)b	15,08 (1,42)b	1,82 (0,29)a	5,28 (1,35)b	1,4 (0,16)c	1,6 (0,22)ab
<i>Matayba elaeagnoides</i>	28,02 (2,09)b	18,5 (2,89)a	1,46 (0,17)a	4,04 (2,79)b	5,3 (1,05)a	2,04 (0,21)a
<i>Cupania vernalis</i>	26,72 (1,30)b	20,58 (0,70)a	1,82 (0,26)a	7,76 (2,61)ab	3,18 (0,54)b	2,4 (0,27)ac
<i>Jacaranda micrantha</i>	35,56 (2,94)a	7,92 (0,94)c	1,3 (0,1)b	4,44 (2,68)b	2,64 (0,28)b	2,12 (0,49)a
<i>Cedrella fissilis</i>	23,85 (3,05)b	10,35 (1,26)c	1,25 (0,19)b	11,97 (4,5)a	2,62 (0,41)b	1,32 (0,42)b
Média	28,46 (4,31)	14,46 (5,08)	1,5 (0,32)	6,52 (3,7)	3,01 (1,38)	1,89 (0,5)

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A concentração média dos micronutrientes foi maior para o Mn, seguido pelo Fe, Zn, B e Cu (Tabela 3), também variando de acordo com a espécie. Em *Jacaranda micrantha*, a ordem dos elementos foi Mn>Fe>B>Cu>Zn, enquanto que *Cedrela fissilis*, apresentou a seguinte sequência: Fe>Mn>Zn>B>Cu. A espécie *Jacaranda micrantha* apresentou a maior concentração de B, correspondendo a 2,5 vezes a concentração deste elemento em *Cedrela fissilis*, exemplificando a elevada variação interespecífica. Estas duas árvores decíduas também diferiram entre si, com relação aos demais micronutrientes avaliados, exceto Fe. *Jacaranda micrantha* apresentou maior concentração de Cu e menor concentração de Zn, comparativamente com as demais. As duas espécies da família Sapindaceae, destacaram-se pelos elevados valores de Mn em suas folhas, aproximadamente o dobro da média geral de todas as espécies. Por outro lado, *Cedrela fissilis* apresentou a menor concentração foliar deste elemento, com apenas 12% do valor médio geral de Mn.

Os nutrientes P, S e Mg apresentaram maior EUN em todas as espécies. A eficiência no uso dos nutrientes decresceu na seguinte ordem para os macronutrientes P>S>Mg>Ca>K>N, enquanto que para os micronutrientes, a sequência foi Cu>B>Zn>Fe>Mn (Tabela 4).

De modo geral, as espécies decíduas foram mais eficientes no uso dos nutrientes, exceto para N, Mg, Cu e Fe. *Jacaranda micrantha* apresentou a menor eficiência para o uso do N, mas a maior eficiência para K, Ca e Zn, enquanto que *Cedrela fissilis* foi mais eficiente no uso de S, B e Mn. Essas duas espécies também apresentaram os maiores valores de eficiência no uso do P.

Considerando as principais razões entre os nutrientes, as razões N:K e N:P foram maiores em *Jacaranda micrantha* e a razão K:P nas duas espécies da família Sapindaceae (Tabela 5). Entre os micronutrientes, a razão Fe:Mn foi maior em *Cedrela fissilis*, enquanto que a razão Zn:Cu foi mais elevada em *Matayba elaeagnoides* e *Cedrela fissilis* e mais baixa em *Jacaranda micrantha*.

Tabela 3. Concentração foliar (média ± desvio padrão) de micronutrientes das espécies avaliadas.
Table 3. Leaf concentration (mean ± standard deviation) of micronutrients of species studied.

Espécie	Micronutrientes (mg Kg ⁻¹)				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<i>Nectandra lanceolata</i>	16,52 (1,47)bc	14,98 (0,72)b	65 (7,90)c	124,6 (41,12)bc	22,66 (1,06)a
<i>Matayba elaeagnoides</i>	23,16 (2,16)a	6,04 (1,56)c	57,4 (3,58)b	492,6 (167,78)a	31,7 (8,85)a
<i>Cupania vernalis</i>	19,88 (2,73)ab	13,64 (2,02)b	65 (6,5)b	540,8 (177,35)a	24,9 (2,94)a
<i>Jacaranda micrantha</i>	30,26 (8,44)a	25,26 (1,94)a	87,4 (13,72)a	259,6 (132,95)b	10,96 (0,78)b
<i>Cedrella fissilis</i>	12,12 (1,56)c	6,25 (1,82)c	79,5 (18,79)a	35,75 (10,97)c	24,92 (6,4)a
Média	20,5 (7,08)	13,24 (7,2)	71,24 (15,24)	290,4 (228,4)	22,64 (8,09)

Médias seguidas pela mesma letra em cada coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 4. Eficiência no uso de nutrientes média (desvio padrão).**Table 4.** Nutrient use efficiency mean (standard deviation)

	<i>Nectandra lanceolata</i>	<i>Matayba elaeagnoides</i>	<i>Cupania vernalis</i>	<i>Jacaranda micrantha</i>	<i>Cedrella fissilis</i>	Média
N	36,45 (3,84)a	35,85 (2,73)a	37,50 (1,84)a	28,28 (2,45)b	42,12 (3,27)a	35,79 (5,18)
K	66,75 (5,82)c	55,22 (9,38)c	48,64 (1,65)c	127,70 (15,26)a	98,18 (15,21)b	78,51 (32,06)
P	560,35 (87,09)b	692,86 (86,73)ab	558,83 (82,69)b	772,89 (59,56)a	817,31 (139,81)a	674,75 (135,82)
Ca	200,35 (54,09)b	214,59 (86,59)b	139,89 (43,28)b	312,26 (192,46)a	102,39 (38,25)c	196,34 (119,48)
Mg	721,70 (82,39)a	194,66 (38,04)c	321,71 (54,08)b	401,40 (58,99)b	387,91 (58,55)b	402,23 (189,91)
S	635,09 (90,99)ab	494,24 (49,83)b	421,29 (50,83)b	489,94 (99,23)b	824,84 (222,35)a	562,17 (178,14)
B	60,91 (5,32)b	43,49 (4,17)c	51,07 (7,0)b	35,50 (11,09)c	79,96 (9,54)a	53,62 (17,39)
Cu	66,88 (3,14)b	174,51 (44,17)a	74,47 (9,85)b	39,76 (2,88)b	170,58 (52,59)a	103,20 (64,51)
Fe	15,57 (1,88)a	17,47 (1,04)a	15,50 (1,47)a	11,65 (1,64)b	13,09 (4,34)a	14,79 (2,99)
Mn	9,02 (3,92)b	2,19 (0,59)b	2,01 (0,62)b	4,57 (1,91)b	32,49 (13,74)a	9,04 (12,36)
Zn	44,21 (2,14)b	33,36 (8,31)b	40,63 (4,95)b	91,64 (6,97)a	46,70 (14,49)b	50,72 (22,74)

Médias seguidas pela mesma letra em cada linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 5. Razões das concentrações foliares média (desvio padrão) de nutrientes da espécies avaliadas.**Table 5.** Leaf concentration mean ratio (standard deviation) of N:K, N:P, K:P Fe:Mn and Zn:Cu of studied species.

Espécies	N:K	N:P	K:P	Fe:Mn	Zn:Cu
<i>Nectandra lanceolata</i>	2,27 (0,49)bc	18,92 (3,76)bc	8,39 (1,05)b	0,88 (0,45)b	1,49 (0,18)b
<i>Matayba elaeagnoides</i>	1,75 (0,33)b	21,97 (3,79)b	12,75 (2,10)a	0,13 (0,04)c	5,05 (1,56)a
<i>Cupania vernalis</i>	1,63 (0,28)b	18,77 (3,52)b	11,53 (1,39)a	0,15 (0,04)c	2,24 (0,76)b
<i>Jacaranda micrantha</i>	4,13 (1,0)a	31,52 (4,4)a	8,15 (2,59)b	0,54 (0,28)b	0,42 (0,06)c
<i>Cedrella fissilis</i>	2,42 (1,17)bc	19,92 (5,18)c	8,18 (0,95)b	3,39 (1,10)a	3,76 (1,21)a

Médias seguidas pela mesma letra em cada linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

DISCUSSÃO

As concentrações médias dos macronutrientes foliares foram semelhantes àquelas descritas em outros estudos sobre nutrição mineral de plantas, conduzidos em vegetação crescendo em solos férteis, como por exemplo, Vitousek e Sanford (1986) em uma compilação de estudos em florestas tropicais; Martínez-Sánchez (2006), em floresta tropical no México; Palma et al. (2000), em floresta subtropical na Argentina; Reissmann et al. (1999) na Floresta Ombrófila Mista no sul do Brasil e Hase e Fölster (1982) em floresta tropical na Venezuela, sugerindo que as plantas da floresta subtropical do sul do Brasil avaliadas no presente estudo, assim como outras espécies arbóreas crescendo em solos férteis, não experimentam limitações com relação à disponibilidade destes nutrientes.

De modo geral, as espécies estudadas da floresta subtropical no sul do Brasil apresentaram elevada variação interespecífica na concentração foliar dos nutrientes, indicando a utilização diferenciada destes a partir de uma mesma disponibilidade de nutrientes no solo. Segundo Fitter e Hay (2002), as concentrações foliares de N, P e K nas folhas maduras de um grande número de espécies variam significativamente, o que sugere a capacidade das plantas em regular as concentrações internas desses elementos.

A eficiência média no uso dos nutrientes das espécies avaliadas neste estudo foi similar a observada por Winckler et al. (2006) na Floresta Ombrófila Mista Montana no Paraná. A eficiência no uso de N foi inferior aos demais macronutrientes avaliados. Segundo Hirose e Bazzaz (1998), a utilização de uma grande quantidade de N nas folhas resulta no decréscimo da eficiência no uso deste elemento. Entretanto, aumenta a eficiência no uso da radiação fotossinteticamente ativa, uma vez que o N faz parte das proteínas associadas ao aparato fotossintético (HIROSE; BAZZAZ, 1998).

A menor concentração foliar de P nas folhas em relação à concentração determinada na análise do solo indica que, provavelmente, esta não é limitada pela disponibilidade deste elemento, mas decorrente das necessidades de cada espécie. Já a eficiência no uso de P é a mais alta entre os nutrientes estudados, fato geralmente interpretado como uma indicação do papel chave deste elemento no ecossistema (AERTS; CHAPIN, 2000)

A razão N:P em tecidos vegetais tem sido proposta como um indicador limitante no crescimento da vegetação decorrentes destes nutrientes. Razões > 16 indicam que o crescimento é limitado por P, enquanto razões < 14 indicam que o elemento limitante é o N (TESSIER; RAYNAL, 2003). De acordo com essa classificação, as espécies avaliadas em nosso estudo apresen-

taram valores de $N:P > 16$ (18,77 - 31,52), o que, na interpretação de Tessier e Raynal (2003), indicaria que o ambiente é saturado por N e limitado por P. Cabe ressaltar, no entanto, que o tipo de limitação indicada pela razão $N:P$ é dependente não só do valor absoluto da razão, como também dos valores absolutos das próprias concentrações de N e P (AERTS; CHAPIN, 2000) que, neste estudo, são considerados elevados.

Considerando a interação do $N:K$, as espécies, exceto *Jacaranda micranta*, apresentaram valores próximos ao intervalo de 1,2 a 2,2 considerado normal por Campbell e Plank (2000). *Jacaranda micrantha* apresentou a maior concentração foliar de N e, conseqüentemente, a menor eficiência no uso deste elemento. Em razão da demanda diferenciada por N, nesta espécie, as razões $N:K$ e $N:P$ foram significativamente maiores.

Já a menor concentração de N nas folhas de *Cedrela fissilis* condiciona a maior eficiência no seu uso por essa espécie, corroborando os resultados de Hiremath (2000), com relação à eficiência fotossintética no uso do N em *Cedrela odorata*, na Costa Rica.

A concentração significativamente maior de Ca nas folhas de *Cedrela fissilis*, detectada em neste estudo, indica que a espécie apresenta um mecanismo distinto das demais em relação a aquisição e/ou uso deste nutriente. Segundo Mclaughlin e Wimmer (1999), a ampla variação no conteúdo de Ca relatada nos diversos trabalhos que quantificam esse elemento nos tecidos vegetais indica que as plantas podem existir numa grande variedade de condições com relação a disponibilidade de Ca ou ainda, que as plantas apresentam adaptações que promovem a absorção diferenciada de Ca. Por outro lado, segundo Jandl e Herzberger (2001) o alto conteúdo de Ca na biomassa foliar resulta principalmente da elevada concentração de Ca na solução do solo e não de mecanismos mais eficientes de absorção das árvores.

A menor concentração foliar de S foi verificada em *Jacaranda micranta*. O S é um nutriente imóvel e seus valores médios em todas as espécies estudadas foi superior aos valores descritos por Longui et al. (2001) na fração foliar da serapilheira.

Com relação às concentrações foliares de micronutrientes, a concentração foliar média de B foi superior aos requerimentos usualmente descritos para este elemento que variam de 5 a 15 $mg\ kg^{-1}$ (PALLARDY, 2008), mas inferior aos valores descritos por Brun et al. (2010) nas frações foliares de espécies da Floresta Estacional

Decidual. O B é um elemento cujos requerimentos variam muito entre as espécies e a ocorrência de plantas com ampla distribuição geográfica em solos com diferentes concentrações desse elemento indica sua habilidade diferenciada em utilizá-lo ou redistribuí-lo entre os órgãos (APHALO et al., 2002).

O Mn apresentou a maior variação interespecífica, sendo que, nas duas espécies de Sapindaceae foram observados os maiores valores, enquanto a menor concentração de Mn ocorreu em *Cedrela fissilis*. Existem evidências de que a absorção de Mn é metabolicamente controlada, mas em solos com elevada matéria orgânica, sua disponibilidade é aumentada (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1984).

Neste estudo, todas as espécies apresentaram concentração foliar de Fe $< 100\ mg\ kg^{-1}$, enquanto no estudo conduzido por Caldeira et al. (2006), a maioria das espécies avaliadas apresentou concentração foliar de Fe acima de $100\ mg\ kg^{-1}$. A razão $Fe:Mn < 1$ foi evidenciada para todas as espécies, exceto *Cedrela fissilis* que, devido a reduzida concentração foliar de Mn teve uma razão $Fe:Mn = 3,39$. Segundo Barrick e Noble (1993), concentrações foliares de Fe superiores às de Mn não são usuais entre espécies arbóreas nativas.

A concentração foliar de Cu foi similar aos valores determinados por Brun et al. (2010) nas folhas de espécies da Floresta Estacional Decidual, mas a concentração de Zn foi inferior àquela descrita pelos mesmos autores. Zn e Cu são elementos que apresentam interações complexas, sendo descritos tanto efeitos sinérgicos quanto antagônicos, dependendo da espécie e parte da planta avaliada (TANI; BARRINGTON, 2005). No presente estudo, o antagonismo entre estes micronutrientes pode ser percebido, pois a espécie que apresentou a menor concentração de Zn teve também a maior concentração de Cu (*Jacaranda micrantha*) e vice-versa, para as demais espécies. *Jacaranda micrantha* apresentou concentração média de Zn abaixo de $20\ mg\ kg^{-1}$. Esse valor é considerado restritivo ao crescimento em coníferas (REISSMANN; WISNIEWSKI, 2004), grupo diferente das espécies estudadas (angiospermas).

A razão $Zn:Cu$ em *Jacaranda micrantha* ficou muito abaixo do valor considerado adequado para o crescimento das plantas por Malavolta (1980), que é em torno de 3. A relação entre Zn e Cu também foi baixa na maioria das amostras avaliadas por Reissmann et al. (1999) em folhas

de *Ilex paraguariensis* oriundas de plantas crescendo em diversos tipos de solo, inclusive em solo basáltico semelhante ao da área onde foi realizado este estudo, indicando que nas árvores nativas, valores abaixo de 3 podem ser suficientes para suportar o crescimento.

A elevada variação interespecífica nas concentrações foliares da maioria dos macro e micronutrientes indica que as diferenças observadas na concentração foliar decorrem da plasticidade de cada espécie em utilizá-los diferentemente a partir de um *pool* comum no solo. Particularmente, as concentrações foliares de micronutrientes em *Jacaranda micrantha* e *Cedrela fissilis* chamam a atenção, pois, para quatro dos cinco micronutrientes avaliados (B, Cu, Mn e Zn), as concentrações são inversamente proporcionais entre as duas espécies, indicando que, no mesmo grupo funcional (decíduas) as características espécie-específicas determinam sua aquisição.

Os resultados deste estudo corroboram os resultados de Hättenschwiler et al. (2008) que evidenciaram a existência de interações complementares e de diferentes estratégias para aquisição e uso dos elementos essenciais por espécies arbóreas, crescendo no mesmo tipo de solo. A utilização diferenciada dos recursos propicia capacidades competitivas variadas, dependendo do ambiente e de acordo com a plasticidade de cada espécie (HIREMATH, 2000; HUANTE et al., 1995), habilitando espécies com distintas características foliares e requerimentos nutricionais a compartilhar o mesmo habitat (HIKOSAKA, 2004).

O reconhecimento destas diferenças interespecíficas na eficiência de utilização de nutrientes por espécies que tem acesso a uma provisão compartilhada de recursos pode ser uma importante ferramenta na seleção de técnicas de restauração, manejo do solo e de manejo florestal (CUNHA et al., 1993; HUGHES et al., 1999; EWEL; MAZZARINO, 2008).

CONCLUSÕES

Verificou-se variação interespecífica na concentração dos nutrientes foliares, indicando a utilização diferenciada dos elementos pelas espécies a partir de uma mesma disponibilidade do solo. *Jacaranda micrantha* apresentou a maior concentração de N e Cu, *Cedrela fissilis* de Ca e *Matayba elaeagnoides* de Mg.

A eficiência média no uso dos nutrientes foi maior para os elementos P(674,75), S (562,17) e Mg (402,23) e menor para Mn (9,04) e Fe (14,79).

Jacaranda micrantha foi mais eficiente no uso de K, Ca e Zn e menos eficiente no uso de N e Fe, enquanto *Cedrela fissilis* foi mais eficiente no uso de S, B e Mn e *Nectandra lanceolata* no uso de Mg, comparativamente com as demais espécies. *Jacaranda micrantha* e *Cedrela fissilis* também apresentaram maior eficiência no uso de P e *Cedrela fissilis* e *Matayba elaeagnoides* no uso de Cu.

Os resultados deste estudo sugerem a ocorrência de diferentes estratégias de aquisição e uso dos elementos essenciais pelas espécies arbóreas na floresta subtropical no sul do Brasil. As diferenças verificadas entre as espécies avaliadas, com relação às concentrações foliares e à eficiência no uso dos nutrientes, indicam que as espécies utilizam os recursos minerais de modo diferenciado favorecendo a coexistência por meio de compartilhamento desses recursos.

REFERÊNCIAS

- AERTS, R.; CHAPIN, F.S. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research*, London, v. 30, p. 1-67, 2000.
- APHALO P. J.; SCHOETTLE A. W.; LEHTO T. Leaf life span and the mobility of "non-mobile" mineral nutrients - the case of boron in conifers. *Silva Fennica*, Helsinki, v. 36, n. 3, p. 671-680, 2002.
- BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 32, n.7-8, p. 921-950, 2001.
- BARRICK, K. A.; NOBLE, M. G. The Iron and Manganese Status of Seven Upper Montane Tree Species in Colorado, USA, Following Long-Term Waterlogging. *Journal of Ecology*, Oxford, v. 81, n. 3, p. 523-531, 1993.
- BATAGLIA, O. C., FURLANI, A. M. C., TEIXEIRA, J. P. F., FURLANI, P. R.; GALLO, JUNIOR. *Métodos de Análise Química de Plantas*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p. (Boletim Técnico do IAC, v.78.)
- BOEGER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa no Sul do Brasil. *Acta Botânica Brasílica*, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 167-181, 2005.

- BONGERS, F.; POPMA, J. Leaf characteristics of the tropical rain forest flora of Los Tuxtlas, Mexico. **Botanical Gazette**, Chicago, v.151, n.3, p.354-365, 1990.
- BRUN, E.J.; BRUN, F.G.K.; CORRÊA, R. S.; VACCARO, S.; SCHUMACHER, M. V. Dinâmica de micronutrientes na biomassa florestal em estágios sucessionais de Floresta Estacional Decidual, RS, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 307-318, 2010.
- CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F.; SOARES, R. V.; VALÉRIO, A. F. Teores de micronutrientes em espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista Montana – General Carneiro. **Ambiência**, Guarapuava, v. 2, n. 1, p. 29-50, 2006.
- CAMPBELL, C.R.; PLANK, C.O. Foundation for practical application of plant analysis. In: CAMPBELL, C.R. (Ed.) Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States. **Southern Cooperatives Series Bulletin**. 2000. Disponível em: < <http://www.clemson.edu/sera6/scsb394notoc.pdf> > Acesso em: 10 fev. 2013.
- CHAPIN, F. S. The mineral nutrition of wild plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v.11, p.233-60,1980.
- CUNHA, G.C.; GRENDENE, L. A.; DURLO, M. A.; BRESSAN, D. A. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 35-64, 1993.
- EWEL, J. J.; MAZZARINO, M. J. Competition from below for light and nutrients shifts productivity among tropical species. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, Washington, v. 105, n. 48, p. 18836–18841, 2008.
- FITTER, A. H.; HAY, R. K. M. **Environmental Physiology of Plants**. London: Academic Press, 2002. 367p.
- HAMMER, O., HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D.. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**, v.4, n.1, p.1-9, 2001. Disponível em: < http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm >. Acesso em: 07 fev. 2003.
- HASE, H.; FÖLSTER, H. Bioelement inventory of a tropical (semi-)evergreen seasonal forest on eutrophic alluvial soils, Western Llanos, Venezuela. **Acta Oecologica**, Paris, v. 3, n.4, p. 331-346, 1982.
- HATTENSCHWILER, S.; AESCHLIMANN, B.; COUTEAUX, M.-M.; ROY, J.; BONAL, D. High variation in foliage and leaf litter chemistry among 45 tree species of a neotropical rainforest community. **New Phytologist**, Cambridge, v. 179, n. 1, p. 165–175, 2008.
- HIKOSAKA, K. Interspecific difference in the photosynthesis–nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and ecological importance. **Journal of Plant Research**, Tokyo, v. 117, n.6, p. 481–494, 2004.
- HIREMATH, A. J. Photosynthetic nutrient-use efficiency in three fast-growing tropical trees with differing leaf longevities. **Tree Physiology**, Oxford, v. 20, n. 14, p. 937–944, 2000.
- HIROSE, T.; BAZZAZ, F. A. Trade-off between light- and nitrogen-use efficiency in canopy photosynthesis. **Annals of Botany**, London, v. 82, n. 2, p. 195-202, 1998.
- HUANG, J.; WANG, X.; YAN, E. Leaf nutrient concentration, nutrient resorption and litter decomposition in an evergreen broad-leaved forest in eastern China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 239, n. 1-3, p.150-158, 2007.
- HUANTE, P.; RINCÓN, E.; ACOSTA, I. Nutrient Availability and growth Rate of 34 Woody Species from a Tropical Deciduous Forest in Mexico. **Functional Ecology**, Oxford, v. 9, n. 6, p. 849-858, 1995.
- HUGHES, R. F.; KAUFFMAN, J. B.; JARAMILLO, V. J.. Biomass, carbon, and nutrient dynamics of secondary forests in a humid tropical region of México. **Ecology**, Tempe, v. 80, n. 6, p. 1892–1907, 1999.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de Vegetação do Brasil**. 2010. Disponível em:< ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/vegetacao.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2013.
- IBM CORPORATION . **SPSS Statistics**. 2011. Disponível em: < <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/products/statistics/> >. Acesso em: 12 fev. 2013

- JANDL, R.; HERZBERGER, E. Is soil chemistry an indicator of tree nutrition and stand productivity? *Die Bodenkultur*, Viena, v. 52, n. 2, p. 155-163, 2001.
- JOAÇABA. Lei nº. 2800 de 11 de abril de 2002. Cria no município de Joaçaba o Parque Natural Municipal do Vale do Rio do Peixe, com os limites que o delimitam e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.leismunicipais.com.br/legislacao-de-joacaba/24733/lei-2800-2002-joacaba-sc.html> >. Acesso em: 18 de fevereiro de 2013.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. 315 p.
- KLEIN, R. M. Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina. In: REITZ, R. (Org.). **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1978. p.1-24.
- KLEIN, R. M. Árvores nativas da floresta subtropical do Alto Uruguai. *Sellowia*, Itajaí, v.24, n. 1, p. 9-62, 1972.
- LÜ, X. T.; FRESCHET, G. T.; FLYNN, D. F. B.; HAN, X. G. Plasticity in leaf and stem nutrient resorption proficiency potentially reinforces plant-soil feedbacks and microscale heterogeneity in a semi-arid grassland. *Journal of Ecology*, Oxford, v.100, n. 1, p.144-150, 2011.
- McLAUGHLIN, S. B. ; WIMMER, R. Tansley Review No. 104 Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes. *New Phytologist*, Cambridge, v. 142, n. 3, p. 373-417, 1999.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J. L. Leaf and soil nitrogen and phosphorus availability in a neotropical rain Forest of nutrient-rich soil. *Revista de Biologia Tropical*, San Jose, v. 54, n. 2, p. 357-361, 2006.
- PALLARDY, S. G. **Physiology of Woody Plants**. 3ed. Amsterdam: Elsevier, 2008. 454 p.
- PALMA, R. M.; DEFRIERI, R. L.; TORTAROLO, M. F.; PRAUSE, J.; GALLARDO, J. F. Seasonal Changes of Bioelements in the Litter and their Potential Return to Green Leaves in four Species of the Argentine Subtropical Forest. *Annals of Botany*, London, v. 85, n.2, p. 181-186, 2000.
- PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P.; MASSIGNAM, A. M.; PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. CD-Rom.
- RAIMUNDO, M. G. **Estudo do processo de criação de uma unidade de conservação no vale do Rio do Peixe**, SC. 2003. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2003.
- REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Nutritional aspects of pine plantations. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 141-170.
- REISSMANN, C. B.; RADOMSKI, M. I.; QUADROS, R. M. B. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. under different management conditions in seven localities of Paraná state. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v. 42, n. 2, s/p, 1999.
- RICHARDS, A. E.; SCHMIDT, S. Complementary resource use by tree species in a rain forest tree plantation. *Ecological Applications*, Tempe, v. 20, n. 5, p. 1237-1254, 2010.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. *Árvore*, Viçosa, v.26, n.4, p.447-457, 2002.
- SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 28., 1974, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. p.41-65.
- SILVERTOWN, J. Plant coexistence and the niche. *Trends in Ecology and Evolution*, Amsterdam, v. 19, n.11, p.605-611, 2004.
- TANI F. H.; BARRINGTON S. Zinc and copper uptake by plants under two transpiration rates. Part II. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.). *Environmental Pollution*, London, v. 138, n. 3, p. 548-58, 2005.
- TESSIER, J. T.; RAYNAL, D. J. Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, v. 40, n. 3, p. 523-534, 2003.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD JUNIOR, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematic**, Palo Alto, v.17, p. 137-167, 1986.

WINCKLER, M. V.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; WATZLAWICK, L. F. Índice de eficiência de macronutrientes em espécies arbóreas – floresta ombrófila mista montana/Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 3. p. 321-332, 2006.

WOOD, T. E.; LAWRENCE, D.; WELLS, J. A. Inter-specific Variation in Foliar Nutrients and Resorption of Nine Canopy-tree Species in a Secondary Neotropical Rain Forest. **Biotropica**, Washington, v. 43, n. 5, p. 544–551, 2011.

WU, C.; TSUI, C.; HSIEH, C.; ASIO, V. B.; CHEN, Z. Mineral nutrient status of tree species in relation to environmental factors in the subtropical rain forest of Taiwan. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 239, n.1-3, p. 81–91, 2007.

Recebido em 25/09/2012
Aceito para publicação em 12/04/2013