

Plasticidade morfológica de *Calophyllum brasiliense* Camb. (Calophyllaceae) em duas formações de restinga no sul do Brasil

Morphological plasticity of Calophyllum brasiliense Camb. (Calophyllaceae) in resting vegetation in southern Brazil

Barbra Aliane Bächtold
João Carlos Ferreira de Melo Júnior

Universidade da Região de Joinville
Laboratório de Anatomia e Ecologia Vegetal – Departamento de Ciências Biológicas
Rua Paulo Malschitzki, 10
CEP 89219-710 – Joinville – SC – Brasil
Autor para correspondência: jcmelo_wood@hotmail.com

RESUMO

Fatores ambientais podem promover alterações nas características funcionais e estruturais dos organismos a eles expostos. Essa capacidade de variação na fisiologia ou morfologia é conhecida como plasticidade. Em ambientes heterogêneos como a restinga as espécies apresentam grande potencial plástico. O presente trabalho visa avaliar a plasticidade morfológica de *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Calophyllaceae), popularmente conhecido como olandi, em duas formações de restinga do Parque Estadual Acaraí, localizado no município de São Francisco do Sul/SC (48°33' W e 26°17' S). Em cada formação, cinco indivíduos adultos foram selecionados para coleta de folhas de sol e amostras de caule, além da coleta de solo para obtenção de valores nutricionais e de fertilidade. Atributos foliares e de xilema, qualitativos e quantitativos, foram obtidos por meio de material herborizado e preparações histológicas permanentes, respectivamente. Observaram-se diferenças estatísticas significativas para os parâmetros de área foliar, massa seca e índice de condutividade entre as populações. Com base nos dados obtidos, sugere-se que os indivíduos presentes na restinga arbustivo-arbórea estão mais sombreados e têm mais biomassa foliar acumulada, enquanto na floresta de transição *C. brasiliense* apresenta maior investimento em altura e diâmetro do caule. Verificou-se maior plasticidade fenotípica para os parâmetros de massa seca foliar e área foliar. Os parâmetros nutricionais demonstraram alto teor de matéria orgânica na floresta de transição, propiciando alto nível de fertilidade.

Palavras-chave: Olandi; Parque Estadual Acaraí; planície costeira.

ABSTRACT

Environmental factors can cause changes in the structural and functional characteristics of organisms exposed to them. This ability of variation the physiology or morphology is known as plasticity. In heterogeneous environments such as restinga species have large plastic potential. The present study aims to evaluate the morphological plasticity of *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Calophyllaceae), popularly known as Olandi on two restinga vegetation of Acaraí State Park, located in the municipality of São Francisco do Sul/SC (48°33' W and 26°17' S). In each formation, five adults were selected for collection of sun leaves and woods stem in addition to collecting soil to obtain nutritional values and fertility. Leaf and xylem traits, qualitative and quantitative were obtained through herbalized material and permanent histological preparations, respectively. Statistically significant differences were observed for leaf area, dry matter and conductivity parameters among populations. From the data obtained it is suggested that individuals present in the shrub and tree restinga are more shaded and have accumulated more leaf biomass, while in the transition forest *C. brasiliense* has greater investment in height and stem diameter. Greater plasticity was observed for leaf dry matter and leaf area parameters. The nutritional parameters showed high content of organic matter in the transition forest providing a high level of fertility.

Keywords: Olandi; Acaraí State Park; coastal plain.

Recebido: 23 mar. 2015

Aceito: 6 jul. 2015

INTRODUÇÃO

Fatores ambientais podem promover variações nas características funcionais e estruturais dos organismos a eles expostos (GRIME; MACKEY, 2002). Essa capacidade de variação da fisiologia e/ou morfologia que um organismo possui em resposta às condições ambientais é conhecida como plasticidade (VALLADARES et al., 2006).

A heterogeneidade ambiental caracterizada por fatores abióticos como clima, luminosidade, solo, precipitação e altitude é referida como precursora de respostas adaptativas nas plantas (LARCHER, 2000). Tais fatores ambientais variam no tempo e no espaço e podem ser limitantes ao estabelecimento e crescimento da vegetação (BOEGER et al., 2004), o que leva os organismos a desenvolver estruturas especializadas e estratégias anatômicas e/ou fisiológicas que lhes permitem sobreviver nas condições adversas a que o ambiente os expõe (SCHLICHTING; SMITH, 2002).

Logo, espécies com grande potencial para a plasticidade em caracteres ligados à sobrevivência apresentam vantagens adaptativas e de reprodução em ambientes instáveis, heterogêneos ou de transição, o que resulta em uma maior tolerância ambiental e assegura a sobrevivência da espécie (VIA et al., 1995; SULTAN, 2000). Dessa forma, espera-se que uma determinada espécie ou população que ocupe um ambiente heterogêneo apresente grande potencial plástico em suas características fisiológicas e/ou morfológicas (CARDOSO; LOMÔNACO, 2003).

O potencial plástico que algumas espécies apresentam é importante do ponto de vista ecológico, pois possibilita às plantas experimentar habitats distintos, explorar nichos mais ricos em recursos e ampliar suas possibilidades de distribuição geográfica (SULTAN, 2000; BRADSHAW, 2006).

Em ambientes que possuem gradiente edáfico, como as restingas, as plantas tendem a sofrer ajustes estruturais, uma vez que o solo é um importante condicionador e fator limitante para as espécies, principalmente no que se refere à distribuição das fitocomunidades (PEREIRA et al., 2001).

A restinga é um ecossistema geologicamente recente e, como consequência, possui espécies provenientes de outros ecossistemas ou biomas. Desse modo, as espécies que colonizaram a restinga são oriundas de biomas como o cerrado, a caatinga e a própria mata atlântica, porém com variações, por conta das condições diferentes do seu ambiente original (ARAUJO, 2000).

A espécie em estudo, *Calophyllum brasiliense* Camb. (Calophyllaceae), apresenta ampla distribuição na região neotropical, ocorrendo desde o México e Guiana até o Rio Grande do Sul (POTT; POTT, 1994). No Brasil está presente em vários estados e se desenvolve preferencialmente em floresta semidecídua, ombrófila densa, amazônica e no cerrado (REITZ et al., 1978). A ocorrência da espécie em restinga arbustiva é evidenciada em outros trabalhos (SAMPAIO et al., 2005). Alguns estudos destacam a ampla distribuição da espécie, sendo descrita em várias regiões do Brasil, como na floresta ombrófila densa, nas formações aluviais, de terras baixas e baixa-montana (GUIMARÃES et al., 1988), na restinga (HENRIQUES et al., 1986), na floresta estacional semidecidual (CARVALHO et al., 1996), no cerrado, em São Paulo (DURIGAN et al., 1997) e em matas de galeria do Brasil Central (SILVA JÚNIOR et al., 1998).

Assim, este trabalho visa avaliar o potencial plástico de *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Calophyllaceae) em diferentes formações da restinga presente na região litorânea nordeste de Santa Catarina. Acredita-se que o ambiente notadamente heterogêneo da restinga condicione ajustes estruturais nas populações de *C. brasiliense* expressos pela plasticidade morfológica de atributos foliares e caulinares.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende um remanescente de restinga do Parque Estadual Acaraí, localizado na planície costeira do município de São Francisco do Sul, Santa Catarina (48°33' W e 26°17' S). Trata-se de uma unidade de conservação de proteção integral criada pelo Decreto Estadual n.º 3.517 em 2005, com uma área de aproximadamente 6.667 ha, abrangendo a restinga da Praia Grande e todo o complexo hidrológico do Rio Acaraí (figura 1), nascentes do Rio Perequê e a Lagoa do Capivaru (FATMA, 2014). Atualmente agrega o módulo RAPELD do Programa de Pesquisas em Biodiversidade da Mata Atlântica (PPBio-MA), sendo as coletas realizadas em parcelas extras do módulo.

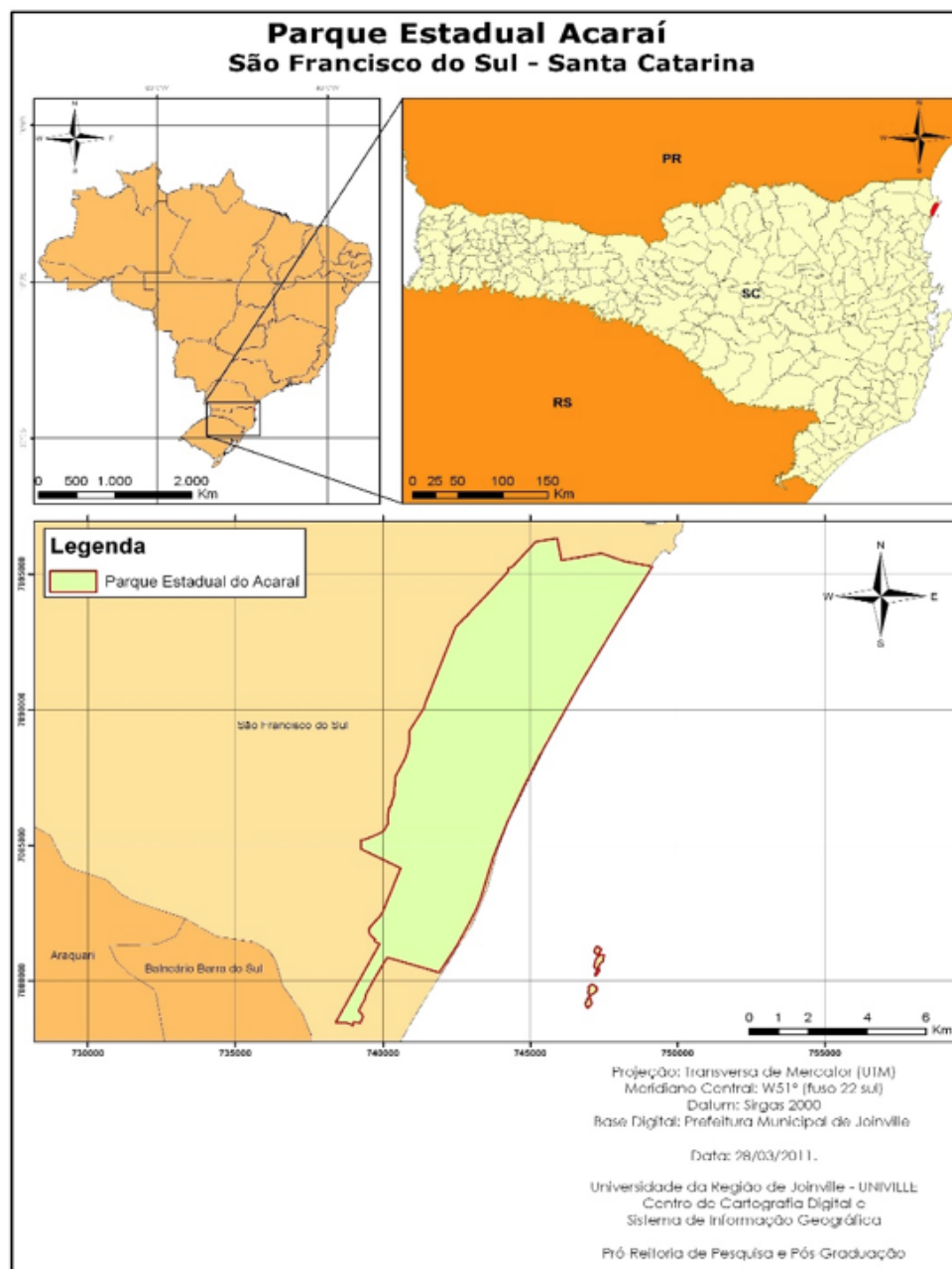


Figura 1 – Localização do Parque Estadual Acaraí, São Francisco do Sul, SC. Fonte: Fatma (2008).

O clima da região é influenciado pela umidade marítima, sendo considerado úmido, com temperatura média anual de 20,3°C e precipitação média de 1.874 mm/ano. Apresenta chuvas bem distribuídas ao longo do ano, além de uma comum ocorrência do vento sul, que traz para a atmosfera a umidade oceânica, tornando o inverno úmido (KNIE, 2002; STCP, 2009).

A cobertura vegetal do parque está compartimentalizada em formações com composição florística e estrutural características que se distribuem desde a região pós-praia até as margens da Lagoa do Capivaru. Dessa forma, destacam-se a restinga herbácea (Rh), a restinga arbustiva (Ra), a restinga arbustivo-arbórea (Raa) e a floresta de transição (Ft) (MELO JÚNIOR, 2015). Este estudo foi realizado nas duas últimas formações citadas.

A espécie selecionada para o estudo, *Calophyllum brasiliense* Cambess. (Calophyllaceae), conhecida popularmente como guanandi ou olandi, é uma árvore perenifólia que atinge até 35 m de altura e 60 cm de diâmetro (CORRÊA, 1984). A seleção da espécie deu-se mediante análise prévia de dados fitossociológicos produzidos para a restinga de São Francisco do Sul, optando-se pela investigação daquela espécie de maior importância na estrutura comunitária do ambiente florestal da restinga (MELO JÚNIOR, 2015).

Para a análise de atributos ambientais, efetuou-se a coleta de solo de cada formação de acordo com a metodologia da Embrapa (2013). A coleta foi realizada em cinco covas de até 10 cm de profundidade, e as amostras foram posteriormente homogeneizadas, para obtenção de uma amostra composta por formação. Avaliaram-se os seguintes parâmetros: matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), alumínio (Al) e hidrogênio (H), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação em bases (V), salinidade, serapilheira e umidade gravimétrica. Em adição, estimou-se a espessura da serapilheira. As análises químicas do solo foram feitas pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

Selecionaram-se populações de *C. brasiliense* nas formações de restinga arbustivo-arbórea e floresta de transição. Em cada formação, foram escolhidos cinco indivíduos adultos, totalizando 10 indivíduos amostrados. De cada indivíduo coletaram-se 25 folhas da copa externa, completamente expandidas e fixadas no 3.º e no 4.º nó, contando do ápice do ramo, além da coleta de madeira de caule. Folhas com lesões provocadas por herbívoros ou patógenos foram desconsideradas da amostragem. A coleta de madeira deu-se por meio de cunha à altura do peito (1,3 m do solo) em indivíduos isolados ou da totalidade do disco em indivíduos perfilhados, totalizando cinco amostras por população.

Os atributos funcionais avaliados para folha foram: área foliar (cm²), obtida por meio de imagem escaneada em escâner de mesa acoplado ao software Sigma Scan Pro-5; massa seca (g), estimada em balança analítica de precisão Shimadzu, modelo AUY220; área específica foliar (AEF), calculada pela razão entre a área foliar e a massa seca das folhas (cm².g⁻¹); largura (mm), espessura (mm) e comprimento do limbo (mm), mensurados com auxílio de paquímetro digital Mitotoyo.

Dos corpos de prova de madeira obtiveram-se seções histológicas nos planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial (n=300). Para o caule, os atributos analisados foram altura máxima do indivíduo amostral (m), diâmetro do tronco à altura do peito (cm), diâmetro tangencial e comprimento dos elementos de vasos (µm) e frequência dos vasos (nº/mm²). Com base nesses atributos foram obtidos os índices de condutividade pela fórmula r^4/F (média dos raios dos elementos de vaso elevada à quarta potência pela frequência de vasos), vulnerabilidade, D/F (densidade do vaso pela frequência do vaso) e mesomorfia (razão entre índice de vulnerabilidade e comprimento do vaso), de acordo com Carlquist (1977).

Os resultados alcançados foram avaliados estatisticamente por meio do Teste t de Student em ambiente R (R Development Core Team, 2014), posteriormente ao teste de normalidade dos dados. Relações entre as variáveis biológicas e os fatores ambientais foram analisadas por meio do teste de correlação de Pearson, confrontando-se os atributos foliares e do xilema com os dados de solo (ZAR, 1999). Obtiveram-se os valores de plasticidade fenotípica para os atributos morfoanatômicos por meio do índice de plasticidade fenotípica (IPF), o qual varia entre 0 e 1 (VALLADARES *et al.*, 2000). Esse método quantitativo da plasticidade fenotípica é calculado por meio da razão da diferença entre a média máxima e a média mínima pela média máxima de determinada variável biométrica (VALLADARES *et al.*, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores nutricionais e de fertilidade do solo mostraram diferenças entre as duas formações (tabela 1). Os valores de matéria orgânica (MO), serapilheira e umidade gravimétrica foram superiores na floresta de transição, bem como os valores de cátions fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). A capacidade de troca catiônica (CTC) consequentemente foi superior na floresta de transição (Ft). Para a restinga arbustivo-arbórea (Raa), registraram-se valores de potencial hidrogeniônico e saturação de bases superiores aos da floresta de transição.

Tabela 1 – Análise de fertilidade do solo nas formações de restinga arbustivo-arbórea (Raa) e floresta de transição (Ft). Legenda: matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), alumínio (Al) e hidrogênio (H), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação em bases (V%), salinidade, serapilheira e umidade gravimétrica. Os valores são a média e o desvio padrão (entre parênteses). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatisticamente significativa com $p < 0,05$.

Fatores ambientais	Formação	
	Raa	Ft
MO (g/dm ³)	14,7 (± 3,8)b	82,7 (± 9,1)a
pH	3,5 (± 1,9)a	3,1 (± 1,7)a
P (mg/dm ³)	1,0 (± 1,0)b	25,7 (± 5,1)a
K (mmolc/dm ³)	1,3 (± 1,1)a	2,3 (± 1,5)a
Ca (mmolc/dm ³)	5,7 (± 2,4)b	7,7 (± 2,7)a
Mg (mmolc/dm ³)	1,0 (± 1,0)b	2,0 (± 1,4)a
H + Al (mmolc/dm ³)	21,7 (± 4,6)b	291,7 (± 17,1)a
SB (mmolc/dm ³)	8,8 (± 2,9)b	13,8 (± 3,7)a
CTC (mmolc/dm ³)	30,5 (± 5,5)b	305,5 (± 17,5)a
V (%)	29,0 (± 5,4)a	4,3 (± 2,07)b
Salinidade (mmolc/dm ³)	0,8 (± 0,9)b	1,9 (± 1,4)a
Serapilheira (espessura em cm)	3,7 (± 1,9)b	7,9 (± 2,81)a
Umidade gravimétrica (%)	14,1 (± 3,7)b	76,2 (± 8,7)a

O alto teor de matéria orgânica obtido na floresta de transição propicia maior fertilidade do solo, a qual pode influenciar estruturalmente a vegetação de restinga (PEREIRA *et al.*, 2001). Os teores elevados de matéria orgânica possibilitam a detenção de reserva dos nutrientes P, Ca, Mg e K, melhoram a capacidade de retenção de água e influenciam o pH (ZECH *et al.*, 1997). O teor de matéria orgânica promove ainda o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), facilitando a troca de cátions essenciais ao crescimento vegetal (Ca, Mg e K) por íons H⁺ e podendo ser a causa da redução do pH nas camadas superficiais do solo onde se verificou maior teor de matéria orgânica e consequentemente maior capacidade de retenção de íons H⁺ (CAMARGO *et al.*, 1999).

O baixo valor de soma de bases apresentado na floresta de transição significa que há pequenas quantidades de cátions, como Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺, saturando as cargas negativas dos colóides e que a maioria delas está sendo neutralizada por H⁺ e Al³⁺, o que pode corroborar para a acidez do solo, contendo até alumínio em nível tóxico às plantas (RONQUIM, 2010). Na floresta de transição os valores de H⁺ e Al³⁺ são muito mais altos do que na restinga arbustivo-arbórea.

Os maiores valores de correlação foram apresentados pelos atributos de área foliar ($r = 0.56$, $p < 0,0001$), massa seca ($r = 0.68$, $p = 0,01$), largura foliar ($r = 0.60$, $p < 0,0001$) e frequência de vasos do xilema ($r = 0.55$, $p < 0,0001$), demonstrando maior correlação com vários fatores ambientais. Os valores atribuídos à correlação para as variáveis massa seca, área, largura e espessura foliar foram positivos para os níveis de pH e V e negativos para os demais parâmetros do solo. O pH alcançou valores baixos nas duas formações, caracterizando o solo como ácido. Estudos sobre a estrutura edáfica de uma floresta inundável em formações florestais de restinga no sudeste do Brasil (MAGNAGO *et al.*, 2010) mostraram resultados similares aos encontrados para os solos florestais e de restinga no Parque Estadual Acaraí, com baixos valores de pH, entre 3,26 e 3,46, caracterizando a área como extremamente ácida.

Assim como os atributos ambientais, as variáveis foliares apresentaram diferenças nos valores analisados entre as formações estudadas (tabela 2). Os valores médios para área foliar, massa seca, comprimento, largura e espessura foliar foram superiores em restinga arbustivo-arbórea. Dos atributos foliares analisados, apenas área foliar específica apresentou valor médio superior na formação da floresta de transição. Esses valores demonstram que *C. brasiliense* apresenta folhas maiores em restinga arbustivo-arbórea quando comparadas às folhas em floresta de transição. Tal situação, apesar de contrária à condição da formação de folhas menores em ambientes mais pobres em nutrientes e água disponível como estratégia de economia de água (VALLADARES; NIINEMETS, 2008), sugere que as plantas mais sombreadas têm maior investimento em biomassa, muito possivelmente em função de os seus indivíduos estarem expostos a menores níveis de luz em função do efeito das plantas

vizinhas, o que mostra que na formação de Raa a luz é um recurso mais limitante do que a baixa disponibilidade hídrica e de nutrientes.

A área foliar específica e o teor de massa seca foliar são variáveis importantes para o estudo da ecologia vegetal, pois estão associados a muitos aspectos do crescimento das plantas e sua sobrevivência, sendo características de estratégias de uso dos recursos (GARNIER *et al.*, 2001; SHIPLEY; VU, 2002). Um valor de área específica foliar alto, como no caso apresentado pelos indivíduos de floresta de transição, significa que a planta possui rápido retorno de investimento e, consequentemente, menor valor de massa seca na folha como resposta à disposição dos recursos luminosos e do solo (POORTER, 1994; MONTEIRO, 2013). Já o menor valor de AEF observado nos indivíduos de restinga pode representar um maior investimento em tecidos mecânicos (ENGLAND; ATTIWILL, 2006). Na identificação de diferentes gradientes o teor de massa seca da folha é considerado menos variável do que a área específica foliar, constituindo um bom indicador de fertilidade do solo de forma independente dos níveis de sombreamento recebidos pela planta (HODGSON *et al.*, 2011).

Comparando os dados foliares com os valores obtidos pelos fatores ambientais do solo, nota-se que em locais com menor disponibilidade de recursos, como é o caso da restinga arbustivo-arbórea, prevalece a estratégia conservativa, na qual a planta investe em crescimento lento, em proteção dos tecidos e fortemente em massa seca, além de apresentar baixa concentração de nutrientes e baixa taxa fotossintética (LE MOS *et al.*, 2011). Logo, em locais com maior disponibilidade de recursos, como a floresta de transição, com altos valores de matéria orgânica e macronutrientes, prevalece a estratégia aquisitiva, em que a planta apresenta crescimento rápido, alta taxa fotossintética e baixo investimento em massa seca por área (DONOVAN *et al.*, 2011). Espécies com valores maiores de área específica foliar exibem uma elevada produtividade e capacidade de crescimento rápido (REICH *et al.*, 1999; LI *et al.*, 2005), o que era esperado para os indivíduos de floresta, uma vez que apresentaram maior valor médio para esse atributo quando comparados aos de restinga arbustivo-arbórea.

Tabela 2 – Valores médios e respectivos desvios padrão (entre parênteses) das variáveis morfoanatômicas da folha e do xilema de *Calophyllum brasiliense* (Calophyllaceae) nas formações de restinga arbustivo-arbórea (Raa) e floresta de transição (Ft). N = 250 (atributos foliares) e n = 300 (atributos do xilema). Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatisticamente significativa com $p < 0,05$.

Variável	Formação	
	Raa	Ft
Altura (m)	5,8 ($\pm$ 2,4)b	6,7 ($\pm$ 2,6)a
Diâmetro (cm)	26,8 ($\pm$ 5,2)b	30,8 ($\pm$ 5,5)a
Massa seca (g)	0,64 (0,17)a	0,36 (0,14)b
Área foliar (cm ²)	40,42 (9,62)a	26,91 (10,19)b
Comprimento foliar (mm)	116,29 (16,35)a	96,53 (20,18)b
Largura foliar (mm)	52,10 (5,3)a	42,46 (7,01)b
Espessura foliar (mm)	0,25 (0,04)a	0,20 (0,04)b
Área específica foliar (cm ² /g)	65,98 (23,9)b	77,43 (15,35)a
Frequência de vasos (mm ²)	7,28 (1,04)b	10,02 (2,75)a
Comprimento de vasos (μ m)	637,18 (115,51)a	549,38 (146,99)b
Diâmetro tangencial do vaso (μ m)	164,16 (23,69)a	157,31 (24,81)b

A fertilidade dos solos pode interferir na estrutura da vegetação de restinga (PEREIRA, 1990) e desempenha papel fundamental na manutenção de ecossistemas costeiros, uma vez que detêm a reserva de nutrientes, melhora a capacidade de retenção de água, influencia o pH e eleva a capacidade de troca catiônica (CTC), evitando a lixiviação de cátions (ZECH *et al.*, 1997). Esses elementos foram maiores na floresta de transição.

Os dados médios de altura e diâmetro (tabela 2) demonstraram maior investimento em crescimento em indivíduos de *C. brasiliense* presentes na floresta de transição. As condições de fertilidade da floresta de transição tornam o crescimento da espécie mais favorável, em virtude dos maiores valores de matéria orgânica e dos macronutrientes P, Ca, Mg e K.

As plantas de floresta de transição são dotadas de folhas com menores valores de massa seca, comprimento e largura, caracterizando folhas menores em área foliar. O menor tamanho da área foliar representa uma estratégia das folhas em condições de baixa fertilidade do solo (JAMES; BELL, 2001; BOEGER; WISNIEWSKI, 2003). Já os indivíduos de *C. brasiliense* da restinga arbustivo-arbórea, ao apresentarem maior investimento em área foliar, ampliam sua área fotossintética e a produção de tecidos de sustentação mecânica, além de reterem por mais tempo os recursos obtidos, como os nutrientes (WILSON *et al.*, 1999).

Em resposta à menor área foliar, as folhas são mais espessas, com mais estratos de tecido fotossintetizante, armazenadores de água, ou presença de tecidos esclerenquimáticos, e nesse caso a menor área foliar não implica uma menor superfície de captação de luz, mas representa um elemento para a prevenção da transpiração (GIVNISH; VERMEIJ, 1976).

Quanto aos atributos da madeira, as médias de comprimento e diâmetro do vaso demonstraram que os vasos do xilema são mais largos em Raa quando comparados aos da Ft. A maior frequência do número de vasos por unidade de área em Ft (tabela 2) evidencia o *trade-off* entre segurança e eficiência no transporte (BAAS *et al.*, 2004). Esses dados possibilitam a obtenção dos índices de mesomorfia, vulnerabilidade e condutividade (tabela 3).

De acordo com os valores encontrados para o índice de mesomorfia, a espécie é xeromorfa em ambas as formações, o que se coaduna à indicação de esclerofilia, em função dos baixos valores de área específica foliar observados. Geralmente plantas que crescem em solos arenosos, que apresentam baixa retenção de água e nutrientes, possuem folhas com características xeromórficas, mesmo que pertençam a ambientes de florestas tropicais (CAO, 2000).

Tabela 3 – Índices de condutividade, mesomorfia e vulnerabilidade hidráulica do xilema de *Calophyllum brasiliense* em restinga arbustivo-arbórea (Raa) e floresta de transição (Ft). Legenda: r = raio do vaso; F = frequência dos vasos; C = comprimento do elemento de vaso; D = diâmetro tangencial do vaso.

Formação	Índice de condutividade (r^4/F)	Índice de mesomorfia (IVxC)	Índice de vulnerabilidade (D/F)
Raa	7019,0	14,5	22,55
Ft	4413,2	8,5	15,69

Os índices de vulnerabilidade e condutividade foram superiores na restinga arbustivo-arbórea. Os indivíduos de *C. brasiliense* nessa formação apresentaram igualmente valores de diâmetro e comprimento de vaso superiores aos de floresta de transição. Vasos com diâmetro maior possuem eficiência na condução, no entanto são mais vulneráveis (DÓRIA, 2014), como demonstra o índice de vulnerabilidade observado para os indivíduos de restinga arbustivo-arbórea.

Para aperfeiçoar a segurança no transporte de água, as plantas usam como estratégia o investimento de vasos numerosos e mais curtos, assim como *C. brasiliense* na floresta de transição, com redução do tamanho, mas com uma maior frequência dos vasos do xilema (BARAJAS-MORALES, 1985). O baixo índice de vulnerabilidade encontrado em *C. brasiliense* na floresta de transição implica uma menor condutividade hidráulica da planta, porém com maior segurança (BAAS *et al.*, 2004).

Segundo Castro *et al.* (2009), em condições de estresse ambiental a planta investe em maior quantidade de vasos de menor diâmetro para diminuir o risco de embolias, já que assim os vasos possuem maior aderência da água em suas paredes, impedindo a formação de bolhas de ar dentro do vaso. Por outro lado, de forma oposta à esperada, os indivíduos de Raa apresentaram maior índice de condutividade e vulnerabilidade, o que aumenta seu risco à cavitação, uma vez que o solo possui baixa disponibilidade hídrica. Acredita-se que a segurança no transporte esteja relacionada a outros atributos do xilema não mensurados neste trabalho.

Estudos demonstram que as variações ambientais refletem nas variações estruturais do lenho, principalmente no que se refere às dimensões dos elementos celulares (BAAS; SCHWEINGRUBER, 1987). As dimensões dos vasos de xilema, como comprimento, diâmetro e frequência de vasos, por exemplo, geralmente possuem forte influência da disponibilidade hídrica (DICKISON, 2000). De acordo com os valores de correlação, a frequência apresenta alta correlação ($r = 0,55$, $p < 0,0001$) com vários parâmetros edáficos, entre eles a umidade gravimétrica. Plantas que crescem sob condições variadas de disponibilidade hídrica têm revelado que elementos de vasos curtos, estreitos, agrupados

e numerosos são características que contribuem para a segurança da condução em plantas (DE MICCO *et al.*, 2008; ANGÉLICO, 2010).

O índice de plasticidade (IP) verificado para os atributos da folha e da madeira de *C. brasiliense* é mostrado na tabela 4. De acordo com Valladares *et al.* (2005), são consideradas muito plásticas as variáveis com IPF superior a 0,6 e não plásticas aquelas cujo IPF é próximo de 0. De acordo com os valores obtidos pelo IPF, todos os atributos foliares e do xilema avaliados exibem baixa plasticidade, com exceção da massa seca foliar e da área foliar, que apresentam valores medianos.

Tabela 4 – Índice de plasticidade (IP) das variáveis de folha e xilema de *Calophyllum brasiliense* nas duas formações de restinga do Parque Estadual Acaraí, São Francisco do Sul.

Atributos da espécie	IPF
Massa seca foliar (g)	0,44
Área foliar (cm ²)	0,33
Comprimento foliar (mm)	0,17
Largura foliar (mm)	0,18
Espessura foliar (mm)	0,20
Área específica foliar (cm ² /g)	0,15
Frequência do vaso (mm ²)	0,27
Comprimento do vaso (μm)	0,14
Diâmetro do vaso (μm)	0,04
Valor médio de IP	0,21

De forma geral, os valores de IP exibidos pela espécie para os atributos avaliados revelam o baixo potencial plástico de suas populações. Mesmo assim, considerando a microescala espacial na qual tais populações se desenvolvem, é possível inferir que os tênues ajustes estruturais observados possibilitam à espécie lidar com as diferentes condições ambientais, tanto espacial quanto temporalmente, produzindo ajustes em caracteres ligados à sobrevivência. Na restinga arbustivo-arbórea, caracterizada como um ambiente de baixa fertilidade e disponibilidade hídrica, há um maior investimento em tecidos mecânicos e folhas mais espessas para melhor aproveitamento da radiação luminosa incidente, além de vasos de maior comprimento e diâmetro. No ambiente florestal, onde há maior disponibilidade de nutrientes advindos da decomposição da matéria orgânica, além de recursos hídricos mais abundantes, a espécie investe em crescimento e produção fotossintética, o que foi evidenciado pela altura e pelo diâmetro do caule dos indivíduos amostrais, além de vasos com menor diâmetro e comprimento, mas com maior frequência e folhas com menor massa seca, porém com maior área específica foliar.

REFERÊNCIAS

- Angélico TS. Anatomia do lenho de caule e raiz de plantas jovens de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae-Mimosoideae) crescendo em diferentes condições edáficas. Botucatu: Universidade Estadual Paulista; 2010.
- Araujo DSD. Análise florística e fitogeográfica das restingas do estado do Rio de Janeiro [tese]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2000.
- Baas P, Ewers FW, Davis SD, Wheeler EA. Evolution of xylem physiology. In: Poole I, Hemsley A (Eds.). Evolution of plant physiology. London: Elsevier Academic Press; 2004. p. 273-295.
- Baas P, Schweingruber H. Ecological trends in the wood anatomy of trees, shrubs and climbers from Europe. IAWA Bulletin. 1987:245-274.
- Barajas-Morales J. Wood structural differences between trees of two tropical forests. IAWA Bulletin. 1985;6:355-364.

Boeger MRT, Alves LC, Negrelle RRB. Leaf morphology of 89 tree species from a lowland tropical rainforest (Atlantic forest) in South Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2004;47(6).

Boeger MRT, Wisniewski C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos da floresta ombrófila densa (floresta atlântica) no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*. 2003;26(1):61-72.

Bradshaw AD. Unravelling phenotypic plasticity – why should we bother? *New Phytologist*. 2006;170:244-248.

Camargo FAO, Santos GA, Guerra JG. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: Santos GA, Camargo FAO (Eds.). *Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese; 1999. p. 27-40.

Cao KF. Leaf anatomy and chlorophyll content of 12 woody species in contrasting light conditions in a Bornean heath forest. *Canadian Journal of Botany*. 2000;78:1245-1253.

Cardoso GL, Lomônaco C. Variações fenotípicas e potencial plástico de *Eugenia calycina* Camb. (Myrtaceae) em uma área de transição cerrado-vereda. *Revista Brasileira de Botânica*. 2003;26:131-140.

Carlquist S. Comparative wood anatomy: systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledonous wood. New York: Springer-Verlag; 1988. 384 p.

Carlquist S. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. *American Journal of Botany*. 1977;64:887-896.

Carvalho DA de, Oliveira-Filho AT de, Vilela E de A. Flora arbustivo-arbórea de mata ripária do médio Rio Grande (Conquista, Estado de Minas Gerais). *Cerne*. 1996;2(2):48-68.

Castro EM de, Pereira FJ, Paiva R. *Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos*. Lavras: Universidade Federal de Lavras; 2009. 234 p.

Corrêa MP. *Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas*. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal; 1984. v. 1-6.

De Micco V, Aronne G, Baas P. Wood anatomy and hydraulic architecture of stems and twigs of some Mediterranean trees and shrubs along a mesic-xeric gradient. *Trees*. 2008;22:643-655.

Dickison WC. *Integrative plant anatomy*. San Diego: Harcourt Academic Press; 2000.

Donovan LA, Maherali H, Caruso CM, Huber H, Kroon H. The evolution of the world wide leaf economics spectrum. *Trends in Ecology and Evolution*. 2011;26:88-95.

Dória LC. Anatomia comparada do lenho de *Tabebuia aurea* (Bignoniaceae) e *Tocoyena formosa* (Rubiaceae) que ocorrem no cerrado e na caatinga. Botucatu: Universidade Estadual Paulista; 2014.

Durigan G, Figliolia MB, Kawabata M, Garrido MA de O, Baitello JB. Sementes e mudas de árvores tropicais. São Paulo: Páginas & Letras; 1997. 65 p.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Brasília: Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2013.

England JR, Attiwill PM. Changes in leaf morphology and anatomy with tree age and height in the broad leaved evergreen species, *Eucalyptus regnans* F. Muell. *Trees Structure and Function*. 2006;20:79-90.

Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina – Fatma. Núcleo de Unidades de Conservação. 2008 [acesso em 2014 August]. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br>.

Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina – Fatma. Núcleo de Unidades de Conservação. 2014 [acesso em 2014 June]. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br>.

Garnier E, Shipley B, Roumet C, Laurent G. A standardized protocol for the determination of specific leaf area dry matter content. *Functional Ecology*. 2001;15:688-695.

Givnish TJ, Vermeij GJ. Sizes and shapes of liane leaves. *Chicago: The American Naturalist*; 1976. v. 110, p. 743-778.

Grime JP, Mackey JML. The role of plasticity in resource capture by plants. *Evolutionary Ecology*. 2002;16(3):299-307.

Guimarães EF, Mautone L, Mattos Filho A de. Considerações sobre a floresta pluvial baixo-montana: composição florística em área remanescente no município de Silva Jardim, estado do Rio de Janeiro. *Boletim FBCN*. 1988;23:45-53.

Henriques RPB, Araujo DSD de, Hav JD. Descrição e classificação dos tipos de vegetação da restinga de Carapebus, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Botânica*. 1986;9(2):173-189.

Hodgson JG, Monteserrat-Martí G, Charles M, Jones G, Wilson P, Shipley B, Sharafi M, Cerabolini BEL, Cornelissen JHC, Band SR, Bogard A, Castro-Díez P, Guerrero-Campo J, Plamer C, Pérez-Rontomé MC, Carter G, Hynd A, Romo-Díez A, Espuny LT, Pla FH. Is leaf dry matter content a better predictor of soil fertility than specific leaf area? *Annals of Botany*. 2011;1-9.

James SA, Bell DT. Leaf morphological and anatomical characteristics of heteroblastic *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* (Myrtaceae). *Australian Journal of Botany*. 2001;49:259-269.

Knie JLW. Atlas ambiental da região de Joinville: complexo hídrico da Baía da Babitonga. 2ª ed. Florianópolis: Fatma/GTZ; 2002. 152 p.

Larcher W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima Artes e Textos; 2000. 531 p.

Lemos P, Kofler S, Macedo MS, García S. Folhas caras ou baratas: estratégias de aquisição e uso de recursos de uma hemiepífita. Universidade de São Paulo; 2011.

Li Y, Johnson DA, Su Y, Cui J, Zhang T. Specific leaf area and leaf dry matter contents of plants growing in sand dunes. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 2005;46:127-134.

Magnago LFS, Martins SV, Schaefer CEGR, Neri AV. Gradiente fitofisionômico-edáfico em formações florestais de restinga no Sudeste do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*. 2010;24(3):734-746.

Melo Júnior JCF. Plasticidade fenotípica e diversidade funcional de comunidades vegetais em gradiente edáfico na restinga do Parque Estadual do Acaraí, São Francisco do Sul, SC [tese]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2015.

Monteiro HA. Influência de traços em taxas demográficas de espécies arbóreas em floresta atlântica no Nordeste do Brasil. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco; 2013.

Pereira MCA, Araujo DSD, Pereira OJ. Estrutura de uma comunidade arbustiva da restinga de Barra de Maricá – RJ. *Revista Brasileira de Botânica*. 2001;24(3):237-281.

Pereira OJ. Caracterização fitofisionômica da restinga de Setiba – Guarapari – Espírito Santo. II Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira. *Anais do 2.º Simpósio sobre Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira*; 1990. v. 3. p. 207-219.

Poorter H. Construction costs and payback time of biomass: a whole plant perspective. In: Roy J, Garnier E (Eds.). *A whole-plant perspective on carbon-nitrogen interactions*. SPB Publishing; 1994. p. 111-127.

Pott A, Pott VJ. *Plantas do Pantanal*. Brasília: Embrapa CPAP/SPI; 1994.

R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014 [acesso em 2015 Feb 23]. Disponível em: <http://www.R-project.org>.

Reich PB, Ellsworth DS, Walters MB, Vose JM, Gresham C, Volin JC, Bowman WD. Generality of leaf trait relationships: a test across six biomes. *Ecology*. 1999;80:1955-1969.

Reitz R, Klein RM, Reis A. Projeto Madeira de Santa Catarina. *Sellowia*. 1978;(28-30):218-224.

Ronquim CC. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite; 2010.

Sampaio D, Souza VC, Oliveira AA, Paulo-Souza J, Rodrigues RR. Árvores da restinga. Guia ilustrado para identificação das espécies da Ilha do Cardoso. São Paulo: Neotrópica; 2005.

Schlichting CD, Smith H. Phenotypic plasticity: linking molecular mechanisms with evolutionary outcomes. *Evolutionary Ecology*. 2002;16:189-211.

Shipley B, Vu TT. Dry matter content as a measure of dry matter concentration in plants and their parts. *New Phytologist*. 2002.

Silva Júnior MC da, Nogueira PE, Felfili JM. Flora lenhosa das matas de galeria no Brasil Central. *Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer*. 1998;2:57-75.

STCP Engenharia de Projetos Ltda. Projeto de Proteção da Mata Atlântica em Santa Catarina. Estudo Antropológico do Parque Estadual Acaraí. Curitiba; 2009.

Sultan SE. Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in Plant Science*. 2000;5:537-542.

Valladares F, Arrieta S, Aranda I, Lorenzo D, Sanchez-Gomez D, Tena D, Suárez F, Pardos JA. Shade tolerance, photo inhibition sensitivity and phenotypic plasticity of *Ilex aquifolium* in continental Mediterranean sites. *Tree Physiology*. 2005;25:1041-1052.

Valladares F, Niinemets Ü. Shade tolerance: a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 2008;39:237-257.

Valladares F, Sanchez-Gomes D, Zavala MA. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. *Journal of Ecology*. 2006;94:1103-1116.

Valladares F, Wright SJ, Lasso E, Kitajima K, Pearey RW. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. *Ecology*. 2000;81:1.925-1.936.

Via S, Gomulkiewicz R, Jong G, Scheiner SM, Schlichting CD, Tienderen PHV. Adaptive phenotypic plasticity: consensus and controversy. *Trends in Ecology and Evolution*. 1995;19(1):212-217.

Wilson PJ, Thompson K, Hodgson JG. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytology*. 1999;143:155-162.

Zar JH. *Biostatistic alanalysis*. 4^a ed. New Jersey: Prentice-Hall; 1999.

Zech W, Senesi N, Guggenberger G, Kaiser K, Lehmann J, Miano TM, Miltner A, Schroth G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*. 1997;79:117-161.