



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Variação temporal de respostas fenotípicas foliares de *Rhizophora mangle* (Rizophoraceae) em manguezal degradado de Santa Catarina, Brasil

Mello¹, Tainara Fernandes; Melo Jr., João Carlos Ferreira^{1,2}

¹ Departamento de Ciências Biológicas, Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) – Rua Paulo Maschitzki, 10, CEP 89219-710, Joinville, SC, Brasil. ² Programa de Pós-Graduação em Saúde e Meio Ambiente, Laboratório de Morfologia e Ecologia Vegetal, joao.melo@univille.br.

Artigo recebido em 24/02/2021 e Aceito em 23/08/2021

RESUMO

O manguezal é um ecossistema halófito, com cerca de 54 espécies de plantas superiores em toda a sua distribuição no globo. Em virtude do contínuo processo de ocupação humana, são alvo de considerável impacto. Objetivou-se caracterizar temporalmente a plasticidade fenotípica da espécie *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) em um bosque de manguezal degradado no município de Joinville, SC. Foram selecionados vinte indivíduos de *R. mangle* nos anos de 2018 e 2019 em um bosque de manguezal no contexto da Baía Babitonga. Nutrição do solo e salinidade foram obtidas por meio de análise química do sedimento. Atributos funcionais das plantas contemplaram caracteres morfoanatômicos. Médias, desvios-padrão e índice de plasticidade foram calculados. A comparação de médias foi realizada por teste t de Student, juntamente com a Análise de Componentes Principais em ambiente R. Os resultados evidenciaram elevação da capacidade de troca catiônica, H + Al e teor de matéria orgânica. Observou-se também variação estrutural temporal em *R. mangle*, indicando um incremento temporal na resistência mecânica e provável longevidade foliar na espécie. Palavras-chave: Atributos funcionais, ajustes estruturais, Baía Babitonga, ecossistema costeiro, manguezal

Temporal variation of leaf phenotypic responses of *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) in degraded mangroves in Santa Catarina, Brazil

ABSTRACT

Mangrove is a halophyte ecosystem, with about 54 superior plant species throughout its distribution on the globe. Due to the continuous process of human occupation, they are subject to considerable impact. The objective of this study was to characterize the phenotypic plasticity of *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae) species in a degraded mangrove in Joinville, SC. Twenty individuals of *R. mangle* were selected in 2018 and 2019 in a degraded mangrove forest in the context of Babitonga Bay. Soil nutrition and salinity were obtained by chemical analysis of the sediment. Functional attributes of the plant included morphoanatomic characters. Means, standard deviations and plasticity index were calculated. The comparison of means was performed by Student's t-test, together with Principal Component Analysis in R environment. The results show an increase in cation exchange capacity, H + Al and organic matter content. It was also observed temporal structural variation in *R. mangle*, which indicates a temporal increase in mechanical resistance and probable leaf longevity in the studied species.

Keywords: Babitonga Bay, coastal ecosystem, functional attributes, mangrove, structural adjustments.

Introdução

O termo manguezal é empregado para designar um grupo florístico de árvores tropicais que, embora pertençam à famílias botânicas taxonomicamente distintas entre si, partilham características estruturais e fisiológicas similares

(Icmbio 2018). As adaptações especiais de que são dotadas permitem que tais espécies cresçam em ambientes abrigados e banhados por águas salobras ou salgadas, com reduzida disponibilidade de oxigênio e substrato inconsolidado (Kilca *et al.* 2019).

Apesar do manguezal ser um ecossistema halófito, ocupado por uma baixa diversidade de espécies arbóreas, é um dos ambientes mais produtivos do mundo, sendo um *hotspot* de biodiversidade e desempenhando um papel vital na sustentabilidade da biodiversidade marinha (Reef *et al.* 2010, Rafique 2018, Ottoni *et al.* 2021). Em âmbito mundial, o manguezal apresenta cerca de 54 espécies vegetais, enquanto no Brasil são conhecidas 7 espécies arbóreas, dentre as quais 3 ocorrem nos manguezais da região sul, sendo estas as espécies: *Avicennia schaueriana* Stapf & Leachman (Acanthaceae), *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn (Combretaceae) e *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae) (Kilca *et al.* 2011, Soares *et al.* 2015, Flora Do Brasil, 2020). Por ser um ambiente de transição entre o mar e continente, tem influência direta da dinâmica das marés, de forma que a variação na intensidade e frequência de inundação resulta em zonas com diferentes níveis de salinidade e graus de estabilidade do substrato (Prado *et al.* 2013). Embora esse ambiente apresente grande valor no controle da erosão costeira, na ciclagem de nutrientes e no habitat para o crescimento e refúgio de diversas espécies de animais (Reef *et al.* 2010, Cuzzuol & Rocha 2012), tem sido constantemente ameaçado.

Ameaças induzidas pelo homem, diretas ou indiretas, constituem fortes pressões sobre o manguezal, por se tratar de um ecossistema aberto cujo funcionamento depende da saúde dos ecossistemas adjacentes (Icmbio 2018). No sul do Brasil, o manguezal da baía Babitonga, localizada na porção norte do Estado de Santa Catarina, representa o maior remanescente deste ecossistema ainda com boas condições de preservação, mas que tem sido historicamente impactado por ações humanas (Kilca *et al.* 2019). O entorno da baía Babitonga abriga 6 municípios que, somados, possuem uma população média de 700.000 habitantes. Nestes municípios destacam-se o maior parque industrial (Joinville) e o segundo sistema portuário (São Francisco do Sul e Itapoá) de Santa Catarina, além de um terminal petrolífero (São Francisco do Sul) (Kilca *et al.* 2019). Com a crescente ocupação territorial, os impactos ambientais no entorno da baía Babitonga têm se manifestado cada vez mais, podendo-se destacar, em razão do fechamento do Canal do Linguado, a alteração na salinidade em ambos os lados do canal, o aumento do acúmulo de sedimentos nos manguezais da porção norte, o acúmulo de areia carregada pelas marés no interior do Canal em Barra do Sul e o assoreamento na região do porto de São Francisco (Kilca *et al.* 2019). As águas apresentam contaminantes agrícolas, industriais e urbanos,

sendo os principais poluentes existentes nos sedimentos dos manguezais os derivados de petróleo, coliformes fecais e metais pesados, concentrados principalmente próximos a Joinville (Kilca *et al.* 2019). Juntamente a isso, espécies bioinvasoras com elevado potencial de ruptura da dinâmica natural desse ecossistema podem intensificar os impactos ambientais (Menezes & Mehlig 2005), tal qual o ocorrido numa área de manguezal da baía Babitonga invadida por uma mariposa exótica de origem asiática (*Hyblaea puera* Cramer, 1777 - Lepidoptera: Hyblaeidae), cuja fase larval, herbívora, é precursora da desfolhação massiva da floresta de manguezal (Menezes & Mehlig 2005). Observações realizadas na Tailândia e na Índia datam infestações da espécie *H. puera* em indivíduos de *Avicennia germinans* na década de 1990 (Murphy 1990). No Brasil documentou-se a primeira ocorrência de *Hyblaea puera* em plantios homogêneos de teca no estado do Mato Grosso em 1997 e 1998 (Biswas 2018). Conforme Melo Jr. *et al.* (2018), a partir de 2016, uma área de aproximadamente 2000ha de manguezais no entorno do município de Joinville foi seriamente ameaçada pela acentuada mortalidade de plantas em razão do estresse provocado pela combinação de diferentes fatores como a alteração da química ambiental somada à herbivoria massiva por *H. puera*.

É sabido que os diversos impactos e as diferenças ambientais em caráter temporal podem modular a expressão do genótipo das espécies, resultando em variações morfofisiológicas entre indivíduos da mesma espécie ou da própria população ao longo do tempo (Luttge 1997). A possibilidade de um genótipo expressar diferentes fenótipos face às mudanças ocorridas no ambiente é conhecida como plasticidade fenotípica (Bradshaw 2006). Em plantas, frequentemente observa-se plasticidade fenotípica na arquitetura dos indivíduos, o que pode explicar o sucesso de uma mesma espécie em se estabelecer e sobreviver em ambientes com recursos distintos e condições muitas vezes adversas (Prado *et al.* 2013). Tendo em vista que os organismos como as plantas são sésseis, ou seja, não têm a possibilidade de selecionar o ambiente em que vivem, a plasticidade fenotípica é bastante comum (Lima & Langaro 2014). Um exemplo de plasticidade fenotípica pode ser notado na sustentação dos indivíduos quando presente em áreas de manguezal com solo mais instável (Prado *et al.* 2013), além de mecanismos para seu desenvolvimento em um ambiente com uma alta variação de salinidade e predação.

Sendo assim, visto que o sul do Brasil apresenta uma vasta cobertura de manguezal sujeita a diversos impactos, dentre os quais a bioinvasão por *Hyblaea puer*, esse trabalho objetivou caracterizar a plasticidade fenotípica em perspectiva temporal da espécie *Rhizophora mangle* em um manguezal degradado no município de Joinville, SC, Brasil.

Material e métodos

Espécie em estudo

Rhizophora mangle L., com o nome popular de mangue-vermelho, pertence à Rhizophoraceae, uma família de distribuição pantropical que inclui 16 gêneros e cerca de 150 espécies (Souza & Lorenzi 2008). No Brasil, ocorrem 4 gêneros e cerca de 15 espécies (Souza & Lorenzi 2008). O mangue-vermelho tem hábito arbóreo, altura média de 6 metros e se desenvolve em ambientes costeiros, sendo geralmente encontrado nas franjas do bosque de manguezal, locais de baixa energia, protegidos, intertidais, com substratos suaves e lamacentos e também crescendo em outros tipos de substratos, como turfa e areia, ocasionalmente, em linhas de costa rochosas e de energia moderada (Odum *et al.* 1982). As plantas desse gênero têm seu desenvolvimento ideal em ambientes com valores de salinidade próximos ou menores de 35 ppm, entretanto podendo tolerar salinidades de até 55 ppm (Novelli & Lacerda 1994).

Possuem adaptações estruturais e fisiológicas associadas às condições limitantes do manguezal, sendo a característica principal do gênero o seu sistema de sustentação, destacado pelos rizóforos e as raízes adventícias que partem dos galhos (Novelli & Lacerda 1994). Suas folhas são opostas, simples, serradas ou crenadas a inteiras, com venação penínervia e estípulas interpeciolares (Costa *et al.* 2017). A germinação das sementes acontece ainda presos às árvores mãe e dão origem a propágulos em forma de lança, cuja viabilidade pode chegar a 12 meses (Novelli & Lacerda 1994).

Área de estudo

O complexo hídrico da baía Babitonga compreende uma região estuarina localizada ao sul do Brasil, na costa norte do Estado de Santa Catarina, cuja extensão territorial é de aproximadamente 160 km² (Kilca *et al.* 2011) e abrange vários municípios em torno da cidade de Joinville, como Araquari, Barra do Sul, Garuva, Itapoá e São Francisco do Sul (Knie 2002). A variação da maré atinge uma amplitude de 2,3 metros, com duração aproximada de seis horas

(Cremer 2006). É contornada em sua porção noroeste pela Serra do Mar e a sudeste pela ilha de São Francisco do Sul (Cremer 2006).

Abriga em maior proporção as maiores extensões do ecossistema de manguezal do sul do Brasil, além de áreas relictuais de florestas ombrófilas, florestas de transição entre a formação ombrófila e florestas de restinga e pequenas extensões de restinga *stricto sensu* (Lacerda 1999, Melo Júnior & Boeger 2015, Melo Júnior *et al.* 2017).

O estudo foi realizado num bosque de manguezal com extensão aproximada de 2000ha, sob as coordenadas geográficas 26°17'93"S 48°47'20"O, localizado na baía Babitonga, município de Joinville, Santa Catarina (Figura 01). Esse bosque foi, entre os anos de 2016 e 2017, severamente atingido por um evento de herbivoria maciça por *Hyblaea puer*, ocasionando em associação com fatores abióticos a alta mortalidade das árvores de manguezal (Melo Júnior *et al.* 2018).

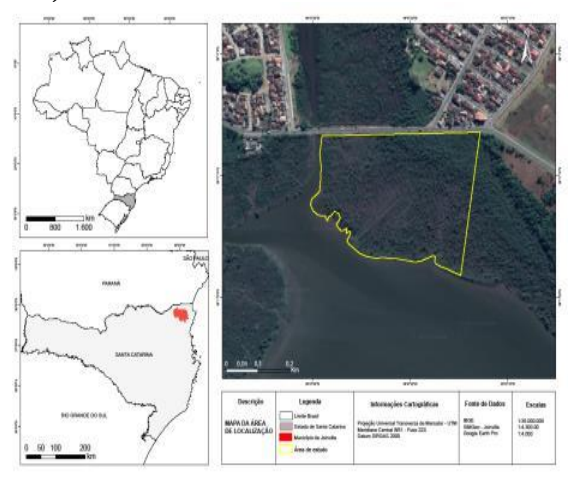


Figura 1. Localização da área de estudo na baía Babitonga, Joinville, Santa Catarina, Brasil

Coleta de material botânico e atributos funcionais foliares

Foram selecionados dez indivíduos amostrais sobreviventes de *Rhizophora mangle* na área de estudo, cuja coleta se deu em intervalo temporal de 1 ano, sendo a primeira coleta realizada em março de 2018 e a segunda em março de 2019. De cada indivíduo foram coletadas 25 folhas totalmente expandidas e expostas ao sol e fixadas nos 3º e 4º nós a partir do ápice dos ramos, das quais 20 folhas foram usadas para a avaliação de atributos morfológicos e 5 aos anatômicos. Foram mensuradas a massa fresca (g), massa seca (g), área foliar (cm²) por meio de imagem digitalizada em scanner de mesa acoplado ao software Sigma Scan Pro (versão 5.0, SPSS Inc., Chicago IL, USA), grau de suculência (g) e área

específica foliar (cm^2) (Perez *et al.* 2013). Os atributos anatômicos consideraram a espessura da epiderme + cutícula nas faces adaxial e abaxial (μm), hipoderme (μm), espessura do parênquima paliádico (μm), espessura do parênquima lacunoso (μm) e espessura total do limbo (μm). Ainda em campo, as amostras foram conservadas em solução fixadora FAA 70% por 48 horas e posteriormente acondicionadas em álcool 70%. As análises anatômicas foram feitas com base nas observações de preparações histológicas permanentes em microscópio óptico Olympus CX 31, obtidas de seções transversais do terço médio da lâmina foliar. Para as preparações permanentes foram feitos cortes histológicos clarificados, emblocados em parafina, seccionados em micrótomo rotatório, corados com azul de toluidina, desidratados em série etílica crescente e montados em resina sintética do tipo verniz vitral (Paiva *et al.* 2006).

Caracterização ambiental

A caracterização ambiental considerou a química do solo, seu *status* nutricional e a salinidade a partir da coleta de 15 amostras de solo em covas de até 15 cm de profundidade, os quais foram homogeneizadas em três amostras compostas e procedidas para os dois períodos de coleta considerados pelo estudo. As amostras foram processadas pelo Laboratório de Análise de

Solos da Epagri, segundo protocolo definido pela Embrapa (2013).

Análise estatística

Foram calculadas a média e o desvio-padrão para todos os atributos funcionais e ambientais estudados. As médias foram comparadas estatisticamente por meio do Teste t de “Student” com $p < 0,05$. A análise de componentes principais (PCA) foi usada para avaliar as variáveis ambientais e os atributos funcionais foliares com maior influência no conjunto de dados. Todas as análises foram feitas em ambiente R (Borcard *et al.* 2011).

Resultados

A caracterização ambiental apresentou diferenças significativas entre as coletas de 2018 e 2019 para todas as variáveis consideradas. A análise química dos solos, mostrada na Tabela 1, evidenciou que ambos os períodos analisados apresentam solo pouco ácido. O solo do período de 2018 apresentou maior teor dos nutrientes cálcio (Ca), fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg), além de maior soma de bases (SB) e salinidade. No ano de 2019 ocorreu o aumento significativo da saturação de alumínio ($\text{H}+\text{Al}$), juntamente com a maior concentração de matéria orgânica (MO), em consequência, com uma maior capacidade de troca catiônica (CTC).

Tabela 1. Análise nutricional do solo em perspectiva temporal (2018-2019) de um bosque de manguezal degradado na baía Babitonga, Joinville, Santa Catarina, Brasil. Legenda: As médias são seguidas dos respectivos desvio-padrão entre parênteses. As letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa ($\alpha \leq 0,05$).

Variável edáfica	Ano de coleta		p
	2018	2019	
Ca (cmolc/dm^3)	5,60 ($\pm 0,49$) a	1,69 ($\pm 2,05$) b	<0,001
CTC (cmolc/dm^3)	25,79 ($\pm 1,01$) b	26,50 ($\pm 1,98$) a	<0,001
H + Al (cmolc/dm^3)	6,20 ($\pm 0,57$) b	10,31 ($\pm 7,11$) a	<0,001
K (cmolc/dm^3)	712,99 ($\pm 64,09$) a	607,60 ($\pm 323,29$) b	<0,001
Mg (cmolc/dm^3)	12,16 ($\pm 1,07$) a	8,98 ($\pm 3,72$) b	<0,001
MO (%)	9,43 ($\pm 0,65$) b	10,00 ($\pm 0,49$) a	<0,001
P (cmolc/dm^3)	44,04 ($\pm 7,61$) a	42,36 ($\pm 4,37$) b	0,006
pH	5,10 ($\pm 0,08$) b	5,17 ($\pm 0,19$) a	<0,001
SB (cmolc/dm^3)	19,58 ($\pm 1,54$) a	16,20 ($\pm 5,26$) b	<0,001
Salinidade (mg/dm^3)	11933,33 ($\pm 410,96$) a	4080,00 ($\pm 1808,05$) b	<0,001

A população de *R. mangle* apresentou diferenças estatisticamente significativas para todos os atributos funcionais morfológicos e anatômicos foliares selecionados entre os dois períodos estudados, com exceção à área foliar (Tabela 2). No ano de 2019, as folhas de *R. mangle* apresentaram maior alocação de biomassa, representada pelo valor de massa seca (MS), juntamente com o aumento na suculência (GS) e massa fresca (MF). Em 2018, foi observado um

incremento em espessura da hipoderme (HIPO) (Figura 02), parênquima paliçádico (PPAL), parênquima lacunoso (PALC) e epiderme de ambas as faces (EPAD e EPAB), resultando em um limbo (LIMBO) mais espesso quando comparado com os resultados obtidos na coleta do ano de 2019, os quais mostraram uma redução significativa para esses atributos anatômicos (Figura 2).

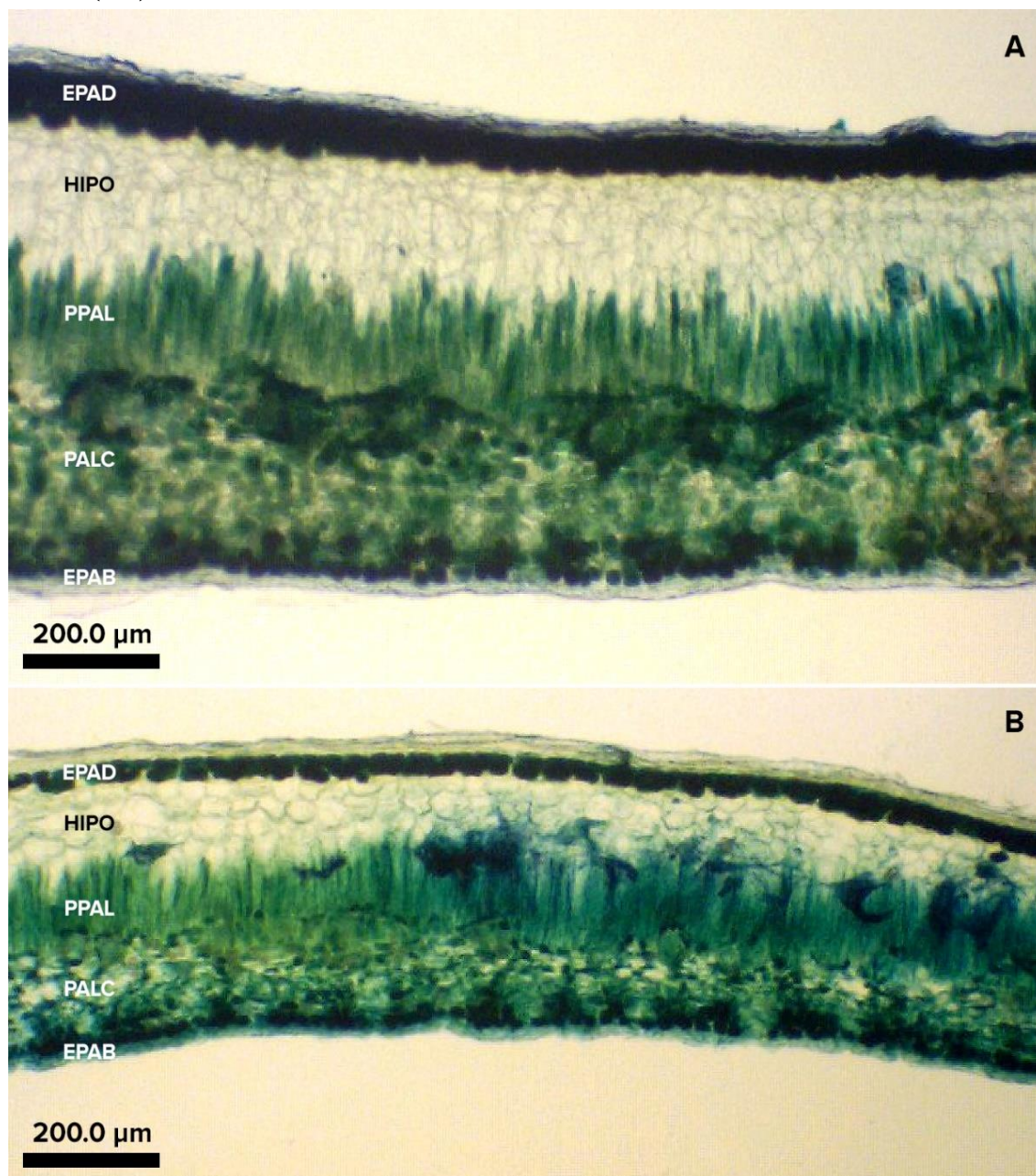


Figura 2. Anatomia foliar de *Rizophora mangle* (Rhizophoraceae) ocorrente em manguezal degradado da baía Babitonga, Joinville, Santa Catarina, Brasil. Legenda: secção transversal do limbo foliar referente às coletas de 2018 (A) e 2019 (B). EPAD: epiderme adaxial; HIPO: hipoderme; PPAL: parênquima paliçádico; PALC: parênquima lacunoso; EPAB: epiderme abaxial.

Tabela 2. Médias e respectivos desvio-padrão dos atributos morfoanatômicos foliares de *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae), em perspectiva temporal (2018-2019), ocorrente num bosque de manguezal degradado na baía Babitonga, Joinville, Santa Catarina, Brasil. Legenda: Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística significativa ($\alpha \leq 0,05$). MF: Massa fresca; MS: Massa seca; GS: Grau de suculência; AR: Área foliar; AEF: Área específica foliar; EPAD: Epiderme adaxial; HIPO: Hipoderme; PPAL: Parênquima paliçádico; PALC: Parênquima lacunoso; EPAB: Epiderme abaxial; LIMBO: Limbo.

Atributo morfoanatômico	Ano de coleta		p
	2018	2019	
MF(g)	1,36 ($\pm$ 0,39) a	1,45 ($\pm$ 0,32) b	0,008
MS (g)	0,47 ($\pm$ 0,14) a	0,50 ($\pm$ 0,11) b	0,062
GS (g)	0,88 ($\pm$ 0,26) b	0,95 ($\pm$ 0,22) a	0,003
AF (cm ²)	22,01 ($\pm$ 6,53) a	22,35 ($\pm$ 4,44) a	0,536
AEF (cm ²)	46,64 ($\pm$ 5,93) a	45,37 ($\pm$ 3,73) b	0,009
EPAD (μ m)	78,21 ($\pm$ 20,44) a	72,10 ($\pm$ 14,03) b	0,0006
HIPO (μ m)	101,32 ($\pm$ 60,84) a	63,81 ($\pm$ 18,68) b	<0,001
PPAL (μ m)	145,11 ($\pm$ 30,65) a	126,37 ($\pm$ 27,81) b	<0,001
PALC (μ m)	185,07 ($\pm$ 42,69) a	151,29 ($\pm$ 32,94) b	<0,001
EPAB (μ m)	16,27 ($\pm$ 3,73) a	14,13 ($\pm$ 2,75) b	<0,001
LIMBO (μ m)	525,97 ($\pm$ 121,84) a	427,71 ($\pm$ 70,27) b	<0,001

A análise de componentes principais (PCA) mostrou que os dois primeiros eixos explicaram juntos 66,34% da variância total dos dados (Figura 3). O eixo principal 1 explicou 36,89% da variância e foi determinado pelos atributos de grau de suculência, massa seca e massa fresca, enquanto o segundo eixo principal explicou 29,44% e foi condicionado pelo atributo limbo da variação total dos dados.

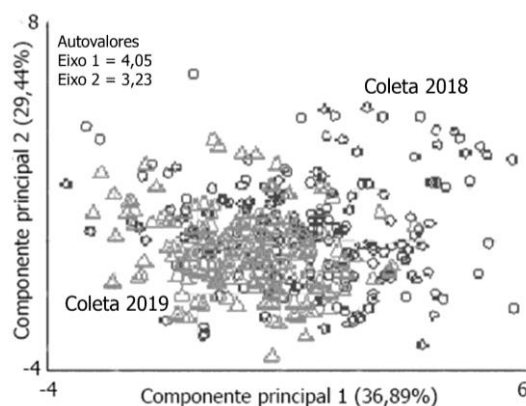


Figura 3. Análise de componentes principais dos atributos morfoanatômicos foliares de *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae), nos períodos de 2018 e 2019, na baía Babitonga, Joinville, Santa Catarina, Brasil. Os dois primeiros eixos principais explicam 36,89% e 29,44% da variância dos dados, respectivamente.

Discussão

O manguezal é um ambiente de baixa energia, cujo solo apresenta elevadas quantidades de matéria orgânica e de sais solúveis em decorrência das inundações de maré (Prada-Gamero *et al.* 2004). Por se tratar de um ambiente de grande instabilidade, as plantas de manguezal se utilizam dos nutrientes de forma oportunista, alocando-os em quantidades diferenciadas (MENDEL, 1984), posto que os teores absorvidos nem sempre se reverterem proporcionalmente em produção de biomassa (Mandi *et al.* 2015).

Após o desfolhamento massivo das populações do manguezal da baía Babitonga, iniciado em 2016 por *H. puera*, observou-se uma grande densidade de plantas mortas (Melo Júnior *et al.* 2018), contribuindo para um aumento da matéria orgânica do solo no ano de 2019. A matéria orgânica está diretamente associada à capacidade de troca catiônica, podendo representar mais de 80% do valor total, sendo responsável pela representação da graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, além de favorecer a manutenção da fertilidade do solo por um prolongado período, entretanto, se grande parte da CTC está ocupada por cátions potencialmente tóxicos como H^+ e Al^{3+} , o solo ficará distrófico, o que foi verificado pelo aumento do teor de H^+ + Al no ano de 2019 (Melo Júnior & Boeger 2015).

A alta variação do teor de sódio, aqui tida como a salinidade, ocorrida entre os anos de coleta, pode ser explicada pelas inundações de água salgada típicas no manguezal (Prada 2004). As oscilações de sódio e cálcio, observadas neste estudo entre 2018 e 2019, corroboram as afirmações de Maksimovic & Ilin (2012). Além do sódio, o cálcio é um dos cátions associados aos solos que mais sofrem influência das marés, sendo diretamente afetado pela salinidade e apresentando maiores concentrações em solos mais salinos (Maksimovic & Ilin 2012). No ano de 2018, foi detectada uma salinidade de 11933,33 mg/dm³ juntamente com um teor de cálcio de 5,60 cmolc/dm³, enquanto no período de 2019 foi constatado um declínio na salinidade com um teor de 4080,00 mg/dm³ concomitantemente com uma queda no teor de cálcio, apresentando 1,69 cmolc/dm³. Em situações de estresse, por exemplo, oscilações nos processos de redução e oxidação do solo devido aos períodos de inundação das marés, que subsequentemente afetam a salinidade, podem interferir diretamente nos processos celulares das plantas (Vidal-Torrado *et al.* 2005). O Ca atua como mensageiro secundário nos ajustes dos processos celulares a esses estímulos ambientais

externos (Vidal-Torrado *et al.* 2005; Reddy *et al.*, 2011). Árvores de manguezal são plásticas e atuam de forma oportunista na utilização de nutrientes quando se tornam acessíveis no ambiente (Reef *et al.* 2010). Uma pesquisa realizada em um manguezal da baía de Guaratuba, litoral do Paraná, mostrou que *R. mangle* apresenta grande eficiência na absorção de Ca, sendo o teor deste nutriente positivamente correlacionado entre o disponível no solo e o alocado na folha (Madi *et al.* 2015). Em adição, o mesmo estudo estabelece que o perfil nutricional foliar de *R. mangle* é caracterizado por $N > Ca > Na > K > S > Mg > P$.

Muitas pesquisas afirmam que a salinidade é um dos principais interferentes relacionado às variações anatômicas foliares. Parida *et al.* (2004) e Nandy *et al.* (2007) observaram que o aumento da salinidade pode levar à diminuição da espessura da epiderme e do mesofilo. Por outro lado, os resultados deste estudo constataram uma resposta em direção oposta. O ano de 2018 foi marcado pelo alto teor de salinidade, juntamente com folhas de maior espessura. No ano de 2019, com o declínio da salinidade, observou-se a redução da espessura da epiderme e dos parênquimas clorofilianos, mostrando uma resposta diferenciada dessa comunidade aos fatores de estresse. Apesar de não ser uma resposta usual na literatura, verifica-se que Bartz *et al.* (2015) em um estudo com variação morfológica de outra espécie de grande ocorrência nos manguezais brasileiros, a *Laguncularia racemosa*, em áreas de manguezal e de transição (manguezal e restinga) apresentaram resultados semelhantes corroborando os resultados obtidos. Indivíduos da área do manguezal, ambiente mais salino do que a área de transição, evidenciaram folhas com maior espessura foliar e massa seca. Ademais, conforme Bartz *et al.* (2015), folhas que expressam baixos valores de área específica foliar alocam mais biomassa em material mecânico em detrimento do tecido fotossintético, o que torna as folhas mais coriáceas e resistentes, resultados que foram verificados no ano de 2019 e que corresponde ao período de recuperação dos indivíduos pós desfolhamento devido à herbivoria por *H. puera*, apresentando aumento significativo da massa seca, grau de suculência e diminuição da área específica foliar.

Apesar deste estudo evidenciar uma diminuição na espessura da epiderme como tecido protetivo, a área específica foliar indica um incremento temporal na resistência mecânica e provável longevidade foliar em decorrência do evento de herbivoria sofrido anteriormente,

mostrando ser uma estratégia física antiherbivoria induzida. Segundo Heerdt e colaboradores (2016), como as folhas com maior dureza são evitadas pelos herbívoros, a área específica foliar pode ser entendida como o elemento de maior controle sobre a sua ação, visto em seu estudo, s qual compararam o grau de herbivoria entre os estratos da copa de *Inga edulis* (Fabaceae), evidenciando que a área foliar específica, atributo também relacionado à radiação incidente, reduziu significativamente no estrato superior, indicando um maior investimento em tecidos mecânicos quando comparado ao estrato inferior, o que, por sua vez, reduziu a taxa de herbivoria no estrato superior da copa da planta e lhe condicionou maior produção fotossintética.

Na população de *R. mangle* aqui estudada, foi observada a indução de defesa antiherbivoria no ano de 2019, isto é, após um ano de desfolhamento causado pela herbivoria de *H. puera*. A defesa induzida baseia-se na resistência física ou química que se expressa apenas após a injúria, podendo atuar diferentemente sobre os herbívoros ou seus inimigos naturais (Correa 2007). As respostas podem ser ágeis ou em outras situações precisam de uma nova estação de crescimento para exibirem resistência (Correa 2007).

Conclusão

Considerando o conjunto de variáveis ambientais e funcionais foliares obtido nesse estudo, é possível sinalizar que além das condições edáficas de caráter distrófico, espécies bioinvasoras podem intensificar os impactos ambientais influenciando na produção de variações estruturais adaptativas exibidas pelas populações de *Rhizophora mangle*.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro cedido ao segundo autor pelo Ministério Público Federal de Santa Catarina e ao Fundo de Amparo à Pesquisa da Universidade da Região de Joinville.

Referências

Bartz, M.C., de Melo Júnior, J.C.F. de., Larcher, L., 2015. Variação morfológica de *Laguncularia racemosa* (L.) CF Gaertn.(Combretaceae) em áreas de manguezal e de transição entre manguezal e floresta de restinga. Biotemas 28, 21-29.

- Borcard, D., Gillet, F., Legendre, P., 2011. Numerical Ecology with R. Springer, New York.
- Bradshaw, A.D., 2006. Unravelling phenotypic plasticity – why should we bother?. New Phytologist 170, 644-648.
- Biswas, O., Panja, B., Garain, P.K., Shah, S.K., Modak, B.K., Mitra, B., 2018. *Hyblaea puera* (Cramer, 1777) [Lepidoptera: Hyblaeidae] Infestation on *Avicennia alba* Blume in Sunderban Biosphere Reserve, West Bengal, India. Proceedings of the Zoological Society 71, 331-335.
- Cremer, M.J., 2006. O estuário da Baía da Babitonga. In: Cremer, M. J., Morales, P. R. D., Oliveira, T.M.N. Diagnóstico ambiental da baía da Babitonga. Editora Univille, 15-19.
- Cremer, M.J., Holz, A.C., Sartori, C.M., Schulze, B., Paitach, R.L., Simões-Lopes, P.C., 2018. Behavior and ecology of endangered species living together: Long-term monitoring of resident sympatric dolphin populations. Advances in marine vertebrate research in Latin America, 477-508.
- Coley, P.D., Bryant, J.P., Chapin, F.S., 1985. Resource availability and plant antiherbivore defense. Science 230, 895-899.
- Corrêa, P. G. Defesas foliares em resposta à herbivoria em espécies lenhosas de restinga, Ipojuca-PE. 2007. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Costa, I.G.C.M., Moreira, A.D.R., Bove, C.P., 2017. Flora do Rio de Janeiro: Rhizophoraceae. Rodriguésia 68, 109-110.
- Cuzzuol, G.R.F., Rocha, A.C., 2012. Interação do regime hídrico com as relações nutricionais em ecossistema manguezal. Acta Botanica Brasilica 26, 11-19.
- Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília.
- Flora Do Brasil, 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br>. Access in: 03 fev. 2020.
- Heerdt, S.T., Melo Junior, J.C.F., 2016. Estratégias de defesa e nível de herbivoria em estratos da copa de *inga edulis* Mart. (Fabaceae) em um fragmento florestal urbano. Acta Botanica Venezuelica 39, 101-117.
- ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018. Atlas dos Manguezais do Brasil. Brasília.
- Kilca, R.V., Alberti, L.A., Souza, A.M., Wolf, L., 2011. Estrutura de uma floresta de mangue na

Baía da Babitonga, São Francisco do Sul, SC. CeN 33, 57-72.

- Kilca, R.V., 2017. Monitoramento do desfoliamento e da mortalidade de manguezais na Baía da Babitonga-SC. Relatório final enviado ao Ministério Público de Joinville. Instituto Vidamar.
- Kilca, R.V., Melo Junior, J.C.F., Esemann-Quadros, K., Larcher, L., Pfuetzenreuter, A. 2019. Os manguezais e marismas da Baía Babitonga: uma síntese. Revista CEPSUL-Biodiversidade e Conservação Marinha 8, eb2019002.
- Knie, J. L. W., 2002. Atlas ambiental da região de Joinville: complexo hídrico da Baía da Babitonga. FATMA/GTZ, Florianópolis, 1-152.
- Lacerda, L.D., 1999. Os manguezais do Brasil. In: Vannucci, M. Os manguezais e nós: uma síntese de percepções. Ed USP, 185-196.
- Lima, D.M.V., Langaro, A.P., 2014. Plasticidade fenotípica: revisão de conceitos, metodologias mais utilizadas e aplicações. Anais do enic 5, 1-6.
- Lüttge, U., 1997. Tropical forests. Physiological ecology of tropical plants, 37-138.
- Mandi, A.P.L.M., Boeger, M.R.T., Reissmann, C.B., 2015. Composição química do solo e das folhas e eficiência do uso de nutrientes por espécies de manguezal. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi 19, 433-438.
- Maksimovic, I., Ilin, Z., 2012. Effects of Salinity on Vegetable Growth and Nutrients Uptake. Irrigation Systems and Practices in Challenging Environments 9, 169-190.
- Mengel, K., 1984. Ernährung und stoffwechsel der pflanze. Gustav Fischer Verlag, 431.
- Melo Júnior, J.C.F., Chaves, M.B., Lorenzi, L., Mouga, D.M.D.S. 2018. Efeito da qualidade ambiental e da herbivoria massiva por *Hyblaea puera* (Lepidoptera) sobre um bosque de manguezal da baía Babitonga, Santa Catarina, Brasil. Univille.
- Melo Júnior, J.C.F., Boeger, M.R.T. 2015. Riqueza, estrutura e interações edáficas em um gradiente de restinga do Parque Estadual do Acaraí, Estado de Santa Catarina, Brasil. Hoehnea 42, 207-232.
- Melo Júnior, J.C.F., Boeger, M.R.T. 2017. Functional traits of dominant plant species of the brazilian sandy coastal plain. International Journal of Current Research 9, 45585-45593.
- Menezes, M.P., Mehlig, U., 2005. Mass defoliation of the mangrove tree *Avicennia germinans* by the moth *Hyblaea puera* (Lepidoptera: Hyblaeidae) in Equatorial Brazil. Ecotropica 11, 87- 88.
- Murphy, D. H., 1990. The recognition of some insects associated with mangroves in Thailand. Four papers on insects and ground mesofauna at Ranong, UNDP/UNESCO, 15-24.
- Nandy, P., Das, S., Ghose, M., Spooner-Hart, R., 2007. Effects of salinity on photosynthesis, leaf anatomy, ion accumulation and photosynthetic nitrogen use efficiency in five Indian mangroves. Wetlands Ecology and Management 15, 347-357.
- Novelli, Y.S., Lacerda, L.D., 1994. Manguezais: Lagoas costeiras, manguezais, marismas, dunas e restingas. Diagnóstico ambiental oceânico e costeiro das regiões Sul e Sudeste do Brasil. Fundespa, 128-347.
- Odum, W.E., Mcivor. T.J., 1982. The Ecology of the Mangroves of South Florida: A Community Profile. US FWS 24, 144.
- Otoni, F.P., Hughes, R.M., Katz, A.M., Rangel-Pereira, F.S., Bragança, P.H.N., Fernandes, R., Palmeira-Nunes, A.R.O., Nunes, J.L.S., Santos, R.R., Piorski, N.M., Rodrigues-Filho, J.L., 2021. Brazilian mangroves at risk. Biota Neotropica 21, e20201172.
- Paiva, J.G.A., Fank-de-Carvalho, S.M., Magalhães, M.P., Graciano-Ribeiro, D., 2006. Verniz vitral incolor 500: uma alternativa de meio de montagem economicamente viável. Acta Botanica Brasilica.
- Parida, A.K., Das, A.B., Mitra, B., 2004. Effects of salt on growth, ion accumulation photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. Trees Struct Funct 18, 167-174.
- Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M.S., Cornwell, W.K., Craine, J.M., Gurvich, D.E., Urcelay, C., Veneklaas, E.J., Reich, P.B., Poorter, L., Wrigh, T. I.J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J.G., De Vos, A.C., Buchmann, N., Funes, G., Quétier, F., Hodgson, J.G., Thompson, K., Morgan, H.D., Ter Steege, H., Van der Heijden, M.G.A., Sack, L., Blonder, B., Poschlod, P., Vaieretti, M.V., Conti, G., Staver, A.C., Aquino, S., Cornelissen, J.H.C., 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany 61, 167-234.
- Prada-Gamero, R.M., Vidal-Torrado, P., Ferreira, T.O., 2004. Mineralogy and physical chemistry of mangrove soils from Iriiri River at the

- Bertioga Channel. Brazilian Journal of Soil Science 28, 233-243.
- Prado, A., Gomes, C.C., Librán, F., Oricchio, F., 2013. Variações na morfologia de sustentação em *Rizophora mangle* (Rizophoraceae) em diferentes condições de inundação do solo. Livro do curso de campo “Ecologia da Mata Atlântica”.
- Quezada, I.M., Gianoli, E., 2006. Simulated herbivory limits phenotypic responses to drought in *Convolvulus demissus* Choisy (convolvulaceae). Polish Journal of Ecology 3, 499-503.
- Rafique, M., 2018. A review on the status, ecological importance, vulnerabilities, and conservation strategies for the mangrove ecosystems of pakistan. Pakistan Journal of Botany 4, 1645-1659.
- Reddy, A.S.N., Ali, G.S., Celesnik, H., Day, I.S., 2011. Coping with stresses: Roles of calcium and calcium/calmodulin-regulated gene expression. The Plant Cell 23, 2010-2032.
- Reef, R., Feller, I.C., Lovelock, C. E., 2010. Nutrition of mangroves. Tree Physiology 30, 1148-1160.
- Silva, M.M.D., Boeger, M.R.T., Melo Júnior, J.C.F., Santos, B.F.S.A., 2017. Antiherbivory defense mechanisms along an environmental gradient in restinga. Acta Botanica Brasilica 31, 583-596.
- Soares, M.L.G., Tognella, M.M.P., Cuevas, E., Medina, E., 2015. Photosynthetic capacity and intrinsic water-use efficiency of *Rhizophora mangle* at its southernmost western Atlantic range. Photosynthetica 53, 464-470.
- Souza, V. C., Lorenzi, H., 2008. Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II. Nova Odessa: Instituto Plantarum.
- Vendramini, F., Díaz, S., Gurvich, D.E., Wilson, P.J., Thompson, K., Hodgson, J.G., 2002. Leaf traits as indicators of resource-use strategy in loras with succulent species. New Phytologist, Oak Ridge 154, 147-157.
- Vidal-Torrado, P., Otero, X.L., Ferreira, T., Souza Júnior, V., Bicego, M., García- González, M.T., Macías, F., 2005. Solos de mangue: Características, gênese e impactos Antrópicos. Edafología 12, 199-244.