

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA**

**VARIAÇÕES TEMPORAIS E ESPACIAIS NA
COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DE PRODUTORES
PRIMÁRIOS E CONSUMIDORES NO
ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS, RS**

MARLUCY COELHO CLAUDINO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia Biológica da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Miranda Garcia

**RIO GRANDE
Julho 2012**

ÍNDICE

RESUMO	2
I. INTRODUÇÃO	4
II. MATERIAIS E MÉTODOS	7
III. RESULTADOS	13
IV. SÍNTESE DOS RESULTADOS	19
V. LITERATURA CITADA.....	21
VI. APÊNDICE: MANUSCRITO — “Stable isotopes reveal seasonal and between-habitats changes on relative importance of food sources and trophic pathways in a SW Atlantic estuary”, formatado para o periódico Oecologia.....	26

RESUMO

Esta dissertação é composta de uma parte introdutória em português e de um apêndice escrito na língua inglesa intitulado “Stable isotopes reveal temporal and between-habitats changes on relative importance of food sources and trophic pathways in a SW Atlantic estuary”, submetido a um periódico científico internacional. A dissertação foi realizada no âmbito do programa Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (sítio 8) com o objetivo de avaliar a variação mensal, sazonal e espacial na composição isotópica (C, N) de fontes alimentares basais, como produtores primários e outras fontes como biofilme, matéria orgânica particulada em suspensão (POM) e no sedimento (SOM), e de consumidores, como invertebrados e peixes. O estudo dessas variações isotópicas permitiu inferir sobre a estrutura e dinâmica da teia alimentar no estuário da Lagoa dos Patos (ELP). Fontes alimentares basais e consumidores foram coletados mensalmente durante um ano em um canal de marisma (E1) e em um plano de lama (E2) do ELP. Em geral, a média dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ das fontes basais e consumidores foram significativamente maiores ($p < 0,10$) no plano de lama quando comparado com o canal de marisma, o que poderia ser explicado por diferenças na ocorrência de produtores primários entre esses habitats. Por exemplo, pradarias de fanerógamas, e macroalgas, com maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ (10,6‰ e 14,4‰, respectivamente) ocorreram exclusivamente no plano de lama. Tais diferenças entre os habitats nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ na base da cadeia alimentar, aparentemente, resultaram em um padrão semelhante para vários consumidores (principalmente invertebrados), que também apresentaram maiores valores de $\delta^{13}\text{C}$ no plano de lama. Em

contraste, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foram estatisticamente superiores ($p < 0,10$) no canal de marisma do que no plano de lama para os produtores primários e consumidores, tal diferença poderia estar associada com a poluição por resíduos enriquecidos em ^{15}N . Variações temporais nos isótopos estáveis de C e N também foram estatisticamente significativas ($p < 0,10$) tanto na escala mensal como sazonal, para várias fontes alimentares basais e consumidores, que apresentaram valores mais elevados durante a primavera e o verão. POM, SOM e plantas com fotossíntese do tipo C_4 (e.g., *Ruppia maritima*), parecem ser as principais fontes de carbono para os consumidores neste estuário subtropical, com biofilme e macroalgas sendo localmente importante durante as estações mais quentes. A análise isotópica forneceu fortes evidências de que plantas com fotossíntese C_3 , como *Scirpus maritimus*, apesar de sua elevada biomassa, não constituem fontes de carbono importantes para os consumidores aquáticos estudados no canal de marisma. Esse resultado parece ser corroborado por estudos prévios que sugerem que o detrito orgânico gerado por essas plantas é retido e utilizado por consumidores terrestres na parte superior da marisma.

Palavras chave: Cadeia trófica, Marisma, Peixes, Crustáceos decápodes, isótopos estáveis

I. INTRODUÇÃO

Os estuários estão entre os ecossistemas mais produtivos do mundo e possuem uma dinâmica trófica complexa devido a sua diversidade de habitats e de produtores primários, os quais estão sujeitos a influências das variações hidrológicas e físico-químicas que ocorrem em várias escalas de tempo (Kennish 1986). Segundo Day e colaboradores (1989), a cadeia detritívora apresenta uma grande importância nos estuários como fonte de alimento que, juntamente com a cadeia de pastagem e a eficiente ciclagem de nutrientes, sustentam diversas espécies de predadores de topo, assim como grandes pescarias.

Uma abordagem tradicional no estudo das teias alimentares estuarinas tem sido a análise das relações alimentares dos consumidores por meio da inspeção do conteúdo estomacal (ACE) dos organismos, principalmente de peixes (Whitfield 1988). Embora frutífera em muitos aspectos (Pasquaud *et al.* 2007) essa abordagem possui limitações importantes, pois o material encontrado no estômago pode ser refratário ao processo digestivo e não ter valor nutricional para a espécie (Jepsen & Winemiller 2002). Além disso, uma grande quantidade de detrito orgânico geralmente é encontrada no conteúdo estomacal de peixes estuarinos, o que dificulta a identificação das presas (Whitfield 1988). Um método alternativo no estudo de teias alimentares é a análise da composição natural de isótopos estáveis que podem revelar as relações tróficas entre os consumidores e sua posição trófica na cadeia alimentar (Fry 2006).

Os isótopos são átomos de um mesmo elemento que possuem diferente número de nêutrons como, por exemplo, o carbono (^{12}C , ^{13}C) e o nitrogênio (^{14}N , ^{15}N). As razões atômicas entre essas formas ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) podem ser utilizadas para identificar as fontes orgânicas desses materiais para os produtores e também para conhecer os caminhos subseqüentes da matéria, na medida em que transitam entre os vários consumidores (Fry 2006). Um grande número de trabalhos foram realizados no estuário da Lagoa dos Patos (ELP) empregando o método da ACE (Garcia et al. 2005, Figueiredo & Vieira 2005, Mai et al. 2006, Mendoza-Carranza & Vieira 2008), mas poucos estudos foram realizados utilizando isótopos estáveis (AIE) (Abreu et al. 2006; 2007, Garcia et al. 2007). Os estudos prévios com base na AIE revelaram aspectos importantes sobre a teia alimentar do ELP. Abreu e colaboradores (2006) comparam a composição isotópica de organismos em duas enseadas do ELP e encontraram diferenças significativas nas razões isotópicas do nitrogênio ($\delta^{15}\text{N}$), com um aumento dos valores numa enseada próxima a emissão de esgotos domésticos e industriais, sugerindo a ocorrência de um processo de eutrofização no local. Por outro lado, a partir da análise isotópica dos peixes e das principais fontes de carbono orgânico, Garcia et al. (2007) encontraram evidências da ocorrência de subsídio lateral de carbono entre as teias alimentares da porção estuarina e límnic da Lagoa dos Patos. É importante ressaltar, entretanto, que esses estudos pioneiros com isótopos estáveis no ELP (Abreu et al. 2006, Garcia et al. 2007) tiveram como foco as variações espaciais na composição isotópica das fontes alimentares basais e dos consumidores. Portanto, existe

uma carência de informações sobre a variabilidade temporal na composição isotópica dos organismos no ELP.

A hidrodinâmica da Lagoa dos Patos apresenta variações sazonais dependentes das descargas fluviais e circulação de ventos, que em conjunto, influenciam as mudanças do nível da água e salinidade na sua região estuarina (Moller & Fernandes 2010). Essas variações temporais na hidrodinâmica e em fatores abióticos no estuário, como temperatura e salinidade, estão associadas com variações sazonais na composição e abundância dos produtores primários e dos consumidores (Seeliger & Odebrecht 2010). Os peixes, por exemplo, apresentam marcados picos sazonais de abundância, com maiores valores na primavera e verão e queda brusca no inverno (Vieira et al. 1998).

Tais variações temporais na composição e abundância dos produtores primários e consumidores no ELP possivelmente irão influenciar as variações isotópicas observadas nos organismos. Estudos da variabilidade temporal na composição isotópica dos organismos em outros estuários têm demonstrado que as variações sazonais são pronunciadas e importantes (Carlier et al. 2007, Zeng et al. 2008).

Nesse contexto, a presente dissertação buscou avançar o conhecimento sobre a variabilidade espacial e temporal (mensal e sazonal) da composição isotópica de produtores primários e consumidores do estuário da Lagoa dos Patos e suas implicações para a estrutura e dinâmica da teia alimentar na região. A presente dissertação teve os seguintes objetivos: 1) Investigar a composição isotópica das fontes alimentares basais, como produtores primários e outras fontes orgânicas como matéria orgânica particulada em

suspensão (POM) e no sedimento (SOM) e biofilme, e dos consumidores, como invertebrados e peixes, em dois habitats estuarinos (canal de marisma e plano de lama) ao longo do ano; 2) Comparar a composição isotópica das fontes alimentares basais e consumidores e inferir possíveis elos tróficos entre os mesmos; 3) Determinar a posição trófica dos consumidores e suas possíveis variações espaciais e temporais.

II. MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Lagoa dos Patos, localizada na planície costeira do extremo Sul do Brasil (Fig. 1A - ANEXO), é uma das maiores lagoas costeiras do mundo (Kjerfve 1986). Ela se conecta ao mar por um canal de 800 m de largura e 18 m de profundidade fixado por dois molhes convergentes de aproximadamente 4 km de extensão que asseguram a abertura da barra (Moller & Fernandes 2010). A zona estuarina ocupa cerca de 10% do total da lagoa (1022,7 km²), sendo em sua maioria caracterizada por zonas rasas (< 2 metros) (Seeliger & Kjerfve 2001). Muitas dessas zonas rasas são colonizadas por pradarias de fanerógamas, enquanto as margens intermareais são recobertas por marismas que interagem por processos físico-químicos e biológicos, tornando-se ambientes vitais para o funcionamento do estuário (Costa 1998). A hidrodinâmica da Lagoa dos Patos apresenta variações sazonais dependentes das descargas fluviais e circulação de ventos que, em conjunto, influenciam as mudanças do nível da água e salinidade na sua região estuarina (Moller & Fernandes 2010).

Em geral, os maiores valores de salinidade são comuns durante o verão e outono, devido ao fluxo de água doce abaixo dos valores médios anuais. Em contrapartida, os valores mais baixos de salinidade são comuns durante o inverno e primavera, quando a vazão de água doce aumenta devido a precipitação acima das médias mensais (Garcia 1997). Muitas dessas zonas rasas são colonizadas por pradarias de fanerógamas (dominadas por *Ruppia maritima*), enquanto as margens intermareais são recobertas por marismas, principalmente *Spartina densiflora* e *Scirpus maritimus* (Costa 1998). Os principais organismos fitoplanctônicos no ELP incluem diatomáceas, dinoflagelados e cianobactérias que seguem padrões sazonais como resultado das condições meteorológicas que governam a disponibilidade de nutrientes, e os regimes de salinidade e luz (Odebrecht & Abreu 1998). O mesolitoral das marismas é colonizado por organismos aquáticos e terrestres, mas dominado pelo caranguejo onívoro *Neohelice granulata*, que habita tocas escavadas entre os caules e raízes das plantas. Essa espécie atua na fragmentação e remobilização da biomassa subterrânea das macrófitas e, conseqüentemente, influenciam decisivamente na reciclagem de matéria orgânica nas marismas. As marismas também são habitadas por juvenis de várias espécies de importância comercial, como o camarão rosa e a tainha.

Amostragens e processamento

Os dados foram obtidos através de amostragens mensais realizadas de março de 2010 a fevereiro de 2011, em duas enseadas do estuário da Lagoa dos Patos, sendo a primeira em um canal de marisma próximo à desembocadura do estuário (E1) e a outra em um plano de lama às margens

da Ilha das Pombas (E2) (Fig. 1B - ANEXO). As amostras foram obtidas em duplicata para cada espécie dos principais produtores primários: macrófitas (a macega *Spartina densiflora*, a junça-A *Scirpus maritimus*, a junça-B *Scirpus olneyi* e o junco *Juncus acutus*), macroalga (*Rhizoclonium riparium*), fanerógama submersa (*Ruppia maritima*), e outras fontes alimentares basais como biofilme, matéria orgânica particulada em suspensão (POM) e matéria orgânica particulada no sedimento (SOM). Os produtores primários foram coletados manualmente e com ajuda de tesouras. O biofilme foi coletado por meio de raspagens no caule submerso de *Scirpus maritimus* e, posteriormente, inspecionado em estereomicroscópio para remover possíveis fragmentos do caule. POM foi obtido com a filtragem de aproximadamente 0,25 a 1 litro de água recolhida em cada local (E1 e E2) em filtros de fibra de vidro (0,75 µm). A fim de obter uma amostra de SOM, removemos cerca de 2 cm de sedimento superficial utilizando um cano plástico (10 cm de diâmetro) e uma faca.

Dentre os consumidores foram selecionadas as espécies dominantes e representativas da macrofauna da região (Seeliger & Odebrecht 1998): peixes (o peixe-rei *Atherinella brasiliensis*, o barrigudinho *Jenynsia multidentata* e a tainha *Mugil liza*), macrocrustáceos decápodes (o caranguejo *Neohelice granulata*, o siri-azul *Callinectes sapidus* e o camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis*) e outros invertebrados infaunais (o tanaidáceo *Kalliapseudes schubartii* e o poliqueta *Laeonereis acuta*). Os peixes e macrocrustáceos decápodes foram coletados com o uso combinado de rede de arrasto de praia e rede de emalhe (Garcia et al. 2006), enquanto os organismos da infauna foram coletados através um tubo de PVC (10cm de diâmetro; área 0,0078m²),

com profundidade de enterramento de 20cm e, posteriormente, peneirados numa malha de 500 μ m (Pinto & Bemvenuti 2003). Todo material biológico coletado foi acondicionado em sacos plásticos e preservado em gelo até serem transferidos ao laboratório, aonde foram armazenados em freezer até o seu processamento (Jardine et al. 2003, Garcia et al. 2007, Hoeinghaus et al. 2011).

Após o descongelamento e antes da extração do tecido, cada amostra animal e vegetal foi cuidadosamente inspecionada para remover epífitas nos filamentos de algas e folhas de fanerógamas, ossos ou escamas em tecidos de peixes, e qualquer outro material aderido a amostra. Depois foi extraído o tecido alvo de cada produtor primário e consumidor: folhas e filamentos da fanerógama (*Ruppia maritima*) e da macroalga (*Rhizoclonium riparium*), respectivamente, tecido muscular antero-dorsal e abdominal (aproximadamente 5g cada amostra) de peixes e macrocrustáceos decápodes, respectivamente. Organismos da infauna foram processados inteiros devido à dificuldade em extrair apenas o tecido alvo (e.g., músculo) de organismos muito pequenos (<1mm). Cada amostra foi lavada em água destilada e colocada individualmente em uma placa de vidro (Petri) (previamente esterilizada com banho de HCl por 24h) e levada a estufa (60°C) por 48h. Após, foi macerada (pistilo e grau) e sub-amostras foram pesadas em cápsulas de estanho ultra-puras (Costech, Valencia, CA) e enviadas ao *Stable Isotope/Soil Biology Laboratory, University of Geórgia*, EUA, para determinação da razão isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$). Os resultados são expressos em notação delta: $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N} = [(R_{\text{amostra}}/R_{\text{padrão}}) - 1] * 1000$, onde $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ or ${}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$. O material padrão para

o carbono foi Pee Dee Belemnite (PDB) e o padrão de nitrogênio foi o nitrogênio atmosférico. Desvios-padrão de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ de análises replicadas foram 0,17 e 0,18, respectivamente.

Processamento: acidificação e extração lipídica

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ podem ser menores em amostras com elevado conteúdo de carbono inorgânico (p.ex., SOM, POM), sendo que a acidificação é uma forma de corrigir esse problema (Jardine et al. 2003). Para avaliar esse possível efeito em nosso estudo, amostras de SOM foram subdivididas em dois tratamentos: um recebeu acidificação (AC) e outro não (N-AC). O processo de acidificação consistiu em adicionar aproximadamente 2 ml de HCl 1M a sub-amostras de sedimento, já processadas, deixar efervescer e secar em estufa a 60°C por 18h (Ryba 2002). Os resultados não revelaram diferenças significativas (Student's t-test, $n = 28$, $p > 0.30$) nos valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ entre os tratamentos AC e N-AC, porém revelaram alterações nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ ($p < 0,01$). Portanto, concluímos que as amostras de SOM e POM possuem baixo conteúdo de carbono inorgânico e optamos por utilizar somente os valores das amostras não-acidificadas de SOM e POM e não acidificar as demais amostras de origem animal e vegetal. Além disso, o nosso teste de acidificação mostrou que este processo tem um efeito indesejado nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ em nossas amostras, uma vez que a razão isotópica do nitrogênio das amostras acidificadas foram alteradas quando comparadas aquelas que não foram acidificadas ($p < 0,05$).

Amostras com elevado conteúdo de lipídio podem apresentar valores menores de $\delta^{13}\text{C}$, pois esse tecido tende a ser menos enriquecido em ^{13}C do que outros tecidos. Em alguns casos a extração de lipídios ou correções matemáticas podem ser usadas para controlar esse efeito. (Jardine et al. 2003). Segundo Post et al. (2007), quando as amostras de animais aquáticos apresentam menos de 5% de conteúdo lipídico que corresponde a uma razão C:N<3,5, não é necessário fazer correções para lipídios. Considerando que a maioria de nossos consumidores (>90%) possuem valores de C:N menores que 3,5 (Tabela 1), não aplicamos extração ou correções matemáticas para os lipídios. Além do mais, a extração de lipídios pode causar enriquecimento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$, especialmente quando as amostras possuem baixo teor lipídico (Ingram et al. 2007).

Análise de dados

Os padrões temporais (mensal e sazonal) e espaciais (E1 e E2) nas razões isotópicas das fontes alimentares basais e dos consumidores foram investigados primeiramente por meio de representações gráficas (*biplots*) (Fry 2006). A fim de testar hipóteses sobre as diferenças espaciais e temporais nos valores de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ e C:N foi utilizado uma PERMANOVA de três vias aninhada. O modelo estatístico consistiu de 3 fatores: Estações (4 níveis, fixo), local (2 níveis, fixos e cruzado com estações) e meses (12 níveis, aleatórias, aninhados em estações). A PERMANOVA foi realizada nas matrizes de distância euclidiana e os dados foram transformados pela raiz quadrada. Comparações par a par de matrizes foram feitas com a estatística t-

PERMANOVA quando as diferenças significativas ($p < 0,10$) foram observadas. A significância estatística dos resultados da PERMANOVA foram avaliados a partir de um procedimento de permutação ($n = 9.999$) dos resíduos num modelo reduzido (Anderson 2001). Os cálculos e os testes foram realizados no +PERMANOVA para PRIMER E-software (Anderson et al. 2008). Estações foram consideradas da seguinte forma: outono (março, abril, maio), inverno (junho, julho, agosto), primavera (setembro, outubro, novembro) e verão (dezembro, janeiro, fevereiro).

Distribuições isotópicas de nitrogênio foram utilizadas para estimar posições tróficas dos consumidores segundo a equação: $TP = \lambda + (\delta^{15}N_{\text{predador}} - \delta^{15}N_{\text{tainha}})/F$, onde λ é o nível trófico dos consumidores que estimam a base da teia alimentar (neste caso, $\lambda = 2$ porque foi utilizado um consumidor primário, no caso a tainha *Mugil liza*, que se alimenta principalmente de microalgas), $\delta^{15}N_{\text{predador}}$ é a assinatura de nitrogênio do consumidor sendo avaliado, e F é o fracionamento de nitrogênio por nível trófico (Post 2002). O fracionamento isotópico utilizado para o $\delta^{15}N$ foi $2,54 \pm 0,11$ (Vanderklift & Ponsard 2003).

III. RESULTADOS

Mudanças espaciais e temporais na composição das amostras

Foram analisadas 224 amostras de nove fontes alimentares basais, 303 amostras de seis espécies de consumidores (peixes: 163 e crustáceos: 140) e 90 amostras de duas espécies de organismos infaunais em duas enseadas rasas (E1 e E2) do estuário da Lagoa dos Patos (ELP) ao longo do ano (Tabela 1 ANEXO). Algumas fontes (a macega *Spartina densiflora* (C4), a junça-A

Scirpus maritimus, POM e SOM) foram coletadas em ambos os habitats, enquanto outras ocorreram somente no canal de marisma (E1) próximo a desembocadura do estuário (o junco *Juncus acutus* (C3) e biofilme) ou no plano de lama (E2) na porção central do estuário (a junca-B *Scirpus Olneyi* (C₃), a fanerógama *Ruppia maritima* e a macroalga *Rhizoclonium riparium*). As fontes analisadas também variaram durante o ano em cada local (Fig. 2 - ANEXO). No canal de marisma E1, a maioria das fontes estavam disponíveis e foram coletadas ao longo do ano. Amostras de POM foram coletadas mensalmente, mas sua composição isotópica (C e N) não pode ser determinada de junho a dezembro por insuficiência de material acumulado no filtro. Em contraste, no plano de lama apenas três fontes ocorreram durante todo ano (a junca-A, a macega e SOM), enquanto a macroalga e a fanerógama não foram encontradas durante o outono. Do mesmo modo que no canal de marisma (E1), amostras de POM não puderam ter sua composição isotópica determinada de junho a dezembro por insuficiência de material acumulado no filtro.

Em contraste com a variação na composição de espécies das fontes entre os locais, as mesmas espécies de macro-consumidores foram coletadas em ambas as enseadas (E1 e E2), tanto para os peixes (o peixe-rei *Atherinella brasiliensis*, o barrigudinho *Jenynsia multidentata* e a tainha *Mugil liza*) quanto para os crustáceos decápodes (o siri-azul *Callinectes sapidus*, o camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* e o caranguejo *Neohelice granulata*) e infauna (o tanaidáceo *Kalliapseudes shulbartii* e o poliqueta *Laeonereis acuta*) (Tabela 1 - ANEXO).

Variabilidade espacial e temporal na composição isotópica

Em geral, houve relativamente baixa (<3‰) variação mensal no $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para as fontes basais, tanto no canal de marisma (E1) quanto no plano de lama (E2) (Fig. 2 - ANEXO). Produtores primários com vias fotossintéticas C_3 (as junças A e B e o junco) e C_4 (macega e pradaria) tiveram valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ menores e maiores, respectivamente, com menos de 2‰ variação em seus valores médios ao longo do ano (Fig. 2 - ANEXO). SOM e POM também mostraram relativamente baixa (<2‰) variação mensal em seus valores de $\delta^{13}\text{C}$. Em contraste, o biofilme mostrou a mais pronunciada variação mensal (~6‰), com valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ que variam de -27,2‰ a -16,6‰ em junho e novembro, respectivamente. Em comparação com os isótopos de carbono, a média dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ das fontes alimentares basais apresentaram maior variação mensal ao longo do ano.

As médias dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ da junça-A, em particular, mostrou a variação mais pronunciada dentre as fontes alimentares basais, com valores médios de 3‰ a 9‰ em agosto e novembro, respectivamente, em ambos os ambientes. POM e a fanerógama *R. maritima* também tiveram uma variação significativa em seus valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ ao longo do ano, apresentando valores maiores em janeiro-fevereiro e outubro, respectivamente. A magnitude de variação mensal da relação C:N variou entre as fontes alimentares basais. O junco mostrou a maior variação na relação C:N ao longo do ano (de 30 a 90), ao passo que SOM, POM e a fanerógama tiveram a menor variação (<2). As maiores médias da relação C:N (> 20) foram observados para as de marisma

(macega, junca-A e o junco), enquanto os menores valores foram encontrados no SOM e POM (Fig. 3 - ANEXO).

Em geral, os consumidores tiveram uma variação temporal semelhante as fontes alimentares basais, com a maioria das espécies mostrando menos de 3‰ de variação mensal em seus valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ ao longo do ano (Fig. 3 - ANEXO). As exceções foram o barrigudinho, a tainha e o camarão-rosa que tiveram uma variação temporal mais pronunciada, especialmente nos seus valores de $\delta^{13}\text{C}$, que mostraram uma tendência de aumento de setembro a fevereiro em ambos os locais. Em relação a relação C:N, a maioria dos consumidores tiveram um valor médio de cerca de 3,5 ao longo do ano, com exceção do tanaidáceo *Kalliapseudes shubartii* e do poliqueta *Laeonereis acuta* que mostraram uma variação de 4 a 6 ao longo do ano (Fig. 3 - ANEXO).

Padrões espaciais e temporais no $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foram avaliados por uma PERMANOVA de três vias aninhada, composta pelos fatores estações, local e meses (Tabela 2 - ANEXO), que revelou diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,10$) para várias fontes alimentares basais e consumidores que ocorreram em ambos os locais. Diferenças significativas entre locais foram encontradas para os valores de carbono de todas as fontes basais (Tabela 2 - ANEXO) e para a maioria dos consumidores (Tabela 3 - ANEXO). Em geral, as fontes e consumidores apresentaram valores médios de $\delta^{13}\text{C}$ maiores no plano de lama (E2) do que no canal de marisma (E1). Já as diferenças temporais, foram significativas para as macrófitas (*Spartina densiflora* e *Scirpus maritimus*) e para todas as espécies de peixes, sendo essas diferenças significativas ($p <$

0,10) relacionadas principalmente as estações mais quentes (primavera e verão).

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ também foram significativamente diferentes entre os locais ($p < 0,10$). Com exceção da tainha e do camarão rosa, todos os consumidores (Tabela 3 - ANEXO) e uma fonte alimentar basal (*Scirpus maritimus*) (Tabela 2 - ANEXO) apresentaram valores maiores no canal de marisma E1 comparado ao plano de lama E2. Em contraste com a variação espacial, todas as fontes basais (com exceção do SOM) tiveram variação temporal significativa no $\delta^{15}\text{N}$, com maiores valores médios ocorrendo nas estações mais quentes.

Não houve diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,10$) nos valores de C:N na escala espacial e temporal para a maioria das fontes alimentares basais e consumidores. As exceções foram o POM, os invertebrados infaunais e o siri-azul, que mostraram diferenças entre os locais, enquanto o barrigudinho, o camarão rosa e o tanaidáceo que apresentaram variações temporais nos valores médios de C:N (Tabelas 2 e 3 - ANEXO).

$\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ biplots para fontes alimentares basais e consumidores

Dentre as potenciais fontes de recursos para os consumidores, pode-se observar pela figura 4 (ANEXO) que as fontes C_3 (*Scirpus maritimus*, *Jucus acutus* e *Scirpus Olney*) apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais distantes dos consumidores com diferenças médias variando de 9,1‰ na E1 a 13,4‰ na E2. Em contraste, POM, SOM e plantas C_4 (-21‰ a -10‰) e, em algumas estações biofilme e macroalgas, tiveram os valores mais próximos aos

consumidores (-25,7‰ a -19,7‰ e -15,6‰ a -10,1‰ respectivamente). Em geral, esse padrão, permite inferir que a principal fonte de carbono para esses consumidores não é derivada de plantas de marismas C₃, mas sim de uma mistura composta principalmente por POM, SOM e plantas C₄, e com uma contribuição de biofilme e macroalgas em alguns locais e estações do ano. Por exemplo, um banco de macroalgas dominado por *Rhizoclonium riparium* surgiu durante o inverno no plano de lama (mas não no canal de marisma) e, seus valores de $\delta^{13}\text{C}$ semelhantes ao dos consumidores, sugerem que este produtor primário também pode ter contribuído com carbono para a teia trófica no plano de lama. Da mesma forma, o biofilme aderido à superfície submersa dos talos de *S. maritimus* foi encontrado durante todo o ano no canal de marisma (mas não no plano de lama) e, seus valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram semelhantes ao dos consumidores durante a primavera e verão, também sugerem a contribuição dessa fonte de carbono para a teia trófica local. Além disso, a amplitude de variação das médias dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ dos consumidores dobrou (de 5‰ para 10‰) entre as estações mais frias (outono-inverno) e quentes (primavera-verão), o que parece estar relacionado com diferenças sazonais na importância relativa das fontes alimentares basais para estes consumidores em cada habitat estudado.

A posição trófica dos consumidores foi muito semelhante entre as estações do ano e os locais, com exceção do siri-azul e do barrigudinho que mostraram, ao longo do ano, maior nível trófico no canal de marisma E1 do que no plano de lama E2. Diferenças estatisticamente significativas nos níveis tróficos ocorreram durante o outono e inverno para o siri-azul ($p < 0,01$) e

apenas durante o inverno para o barrigudinho ($p < 0,01$). O camarão rosa teve um nível trófico mais elevado no inverno em ambos os locais ($p < 0,05$). A tainha e o caranguejo tiveram os mais baixos níveis tróficos, enquanto o peixe-rei foi o consumidor com o maior nível trófico dentre os consumidores estudados (Fig. 5 - ANEXO).

IV. SÍNTESE DOS RESULTADOS

Os resultados mostram que ocorrem variações espaciais e temporais na composição isotópica das fontes alimentares basais e dos consumidores no estuário da Lagoa dos Patos. A presença de algumas fontes, como fanerógamas submersas e macroalgas de deriva, podem variar sazonalmente e ocorrer apenas em locais favoráveis ao seu desenvolvimento no estuário e sua presença pode influenciar a composição isotópica dos consumidores, na medida em que esses produtores primários são consumidos na cadeia alimentar. As razões isotópicas ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) dessas fontes também variam durante o ano, possivelmente devido as variações ambientais e/ou aos processos de senescência.

A variabilidade mensal dos valores isotópicos é pequena para a maioria das espécies, no entanto, são observadas diferenças significativas espaciais e sazonais nos valores de C e N das fontes alimentares basais e consumidores. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ são maiores na enseada E2 do que na E1, provavelmente devido a diferenças na composição de espécies de fontes basais (principalmente devido a presença de fanerógamas e macroalgas na E2), enquanto o padrão oposto ocorre para o $\delta^{15}\text{N}$, com valores maiores na E1

(possivelmente associado a poluição), Já as variações sazonais foram mais relacionadas a estações quentes (Primavera e Verão) e frias (Outono e Inverno). As diferenças no nível trófico dos consumidores entre habitats provavelmente refletem o fato dos maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$ terem sido encontrados na E1. Como era esperado, as espécies iliófaga e detritívora ocuparam os menores níveis tróficos.

Os valores isotópicos (C, N), bem como a relação C:N, encontrados para as fontes alimentares basais e consumidores corroboraram a hipótese de que POM, SOM e plantas C_4 , e macroalgas de deriva e biofilme em algumas ocasiões e locais, são as principais fontes de carbono no ELP. Apesar da sua abundância nas margens habitats estudados, as plantas de marisma com metabolismo fotossintético C_3 (*Scirpus maritimus*, *Juncus acutus*, *Scirpus olneyi*) parecem não constituir fontes de carbono importantes para os consumidores aquáticos estudados. Essa hipótese parece ser corroborada por estudos prévios que sugerem que o detrito orgânico gerado por essas plantas é retido e utilizado por consumidores terrestres na parte superior da marisma. Futuros estudos experimentais sobre o efeito da senescência e decomposição das plantas de marisma sobre sua composição isotópica, bem como estudos envolvendo múltiplos isótopos estáveis (C, N, S), seriam necessários para avaliar as hipóteses propostas e avançar o conhecimento sobre a estrutura e dinâmica da teia alimentar no ELP.

V. LITERATURA CITADA

- Abreu PC, Ballester ELC, Odebrecht C, Wasielesky Jr W, Cavalli RO, Granéli W, Anésio A (2007) Importance of Biofilm as Food Source for Shrimp (*Farfantepenaeus paulensis*) Evaluated by Stable Isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$). *J Exp Mar Biol Ecol* 347: 88-96
- Abreu PC, Costa CSB, Bemvenuti CE, Odebrecht C, Graneli W, Anésio AM (2006) Eutrophication processes and trophic interactions in a shallow estuary: Preliminary results based on stable isotope analysis ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$). *Estuar Coast* 29:277-285
- Anderson MJ, Gorley RN, Clarke KR (2008) PERMANOVA for PRIMER: guide to software and statistical methods. PRIMER-E Ltd. Plymouth, United Kingdom
- Anderson MJ (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Aust. Ecol.* 26:32-46
- Carlier A, Riera P, Amouroux J, Bodiou J, Escoubeyrou K, Desmalades M, Caparros J, Gré'Mare A (2007) A seasonal survey of the food web in the Lapalme Lagoon (northwestern Mediterranean) assessed by carbon and nitrogen stable isotope analysis. *Est, Coast Shelf Sci* 73: 299-315
- Costa CSB (1998) Plantas de Marismas e Terras Alagáveis In: Seeliger U, Odebrecht C (eds) Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. *Ecocientia*, Rio Grande, pp 25- 29
- Day JW, Hall CAS, Kemp WM, Yanez-Arancibia A (1989) *Estuarine ecology*, John Wiley and Sons, New York

- Figueiredo GM, Vieira JP (2005) Diel feeding, daily food consumption and the predation impact of whitemouth croaker (*Micropogonias furnieri*) in an estuarine environment. *Mar Ecol* 26(2):130-139
- Fry B 2006 *Stable Isotope Ecology*, Springer, New York
- Garcia AM, Hoeninghaus DJ, Vieira JP, Winemiller KO (2007) Isotopic variation of fishes in freshwater and estuarine zones of a large subtropical coastal lagoon. *Est, Coast Shelf Sci* 73:399-408
- Garcia AM, Hoeninghaus DJ, Vieira JP, Winemiller KO, Marques DMLM, Bemvenuti MA (2006) Preliminary examination of food web structure of Nicola Lake (Taim Hydrological System, south Brazil) using dual C and N stable isotope analyses. *Neo Ichth* 4:279-284
- Garcia AM, Geraldi RM, Vieira JP (2005) Diet composition and feeding strategy of the southern pipefish *Syngnathus folletti* in a widgeon grass bed of the Patos Lagoon Estuary, RS, Brazil. *Neo Ichth* 3:427-432
- Garcia CAE (1997) Hydrographic Characteristics In: Seeliger U, Odebrecht C, Castello JP (Eds) *Subtropical Convergence Environment The Coast And Sea In The South Western Atlantic*, 1edn. Springer, Berlin pp 18-20
- Hoeninghaus DJ, Vieira JP, Costa CS, Bemvenuti CE, Winemiller KO, Garcia AM (2011) Estuary hydrogeomorphology affects carbon sources supporting aquatic consumers within and among ecological guilds. *Hydrobiologia* 673:79-92
- Ingram T, Matthews B, Harrod C, Stephens T, Grey J, Markel R, Mazumder A (2007) Lipid extraction has little effect on the $\delta^{15}\text{N}$ of aquatic consumers. *Limnol Oceanogr* 5:338–343

- Jardine TD, McGeachy SA, Paton CM, Savoie M, Cunjak RA (2003) Stable isotopes in aquatic systems: sample preparation, analysis, and interpretation. *Can Manuscr Rep Fish Aquat Sci* 2656
- Jepsen DB, Winemiller KO (2002) Structure of tropical river food webs revealed by stable isotope ratios. *Oikos* 96:46-55
- Kennish MJ (1986) *Ecology of Estuaries*. CRC Press Inc, Florida, USA
- Kjerfve B, (1986) Comparative oceanography of coastal lagoons In: Wolfe DA (Ed) *Estuarine Variability* Academic Press, Orlando, pp 63-81
- Mai ACG, Garcia AM, Vieira JP (2006) Ecologia alimentar do barrigudinho *Jenynsia multidentata* (Jenyns, 1842) no estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. *Comunicações do Museu Ciência Tecnologia (PUC/RS)* 19:3-18
- Mendoza-Carranza M. Vieira J (2008) Whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* (Desmarest, 1823) feeding strategies across four southern Brazilian estuaries. *Aquatic Ecology* 42: 83-93
- Moller OO, Fernandes EH (2010) Hidrologia e hidrodinâmica In: Seeliger U, Odebrecht C (Eds) *O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações*. FURG, Rio Grande, pp 17-27
- Odebrecht C, Abreu PCA (1998) Microalgas In: Seeliger U, Odebrecht C (eds) *Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil*. Ecoscientia, Rio Grande, pp 36-40
- Pasquaud S, Lobry J, Elie P (2007) Facing the necessity of describing estuarine ecosystems: a review of food web ecology study techniques. *Hydrobiologia* 588:159-172

- Pinto TK, Bemvenuti CE (2003) Efeitos de estruturas construídas pela macrofauna bentônica escavadora nas associações da meiofauna. *Acta Limnologica Brasiliensia* 15:41-51
- Post DM (2002) Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology* 83:703–718
- Post DM, Layman CA, Arrington DA, Takimoto G, Quattrochi J, Montaña CG (2007) Getting to the fat of the matter: models, methods and assumptions for dealing with lipids in stable isotope analyses. *Oecologia* 152:179-89
- Ryba SA, Burgess RM (2002) Effects of sample preparation on the measurement of organic carbon, hydrogen, nitrogen, sulfur, and oxygen concentrations in marine sediments. *Chemosphere* 48:139-147
- Seeliger U, Odebrecht C (2010) O estuário da Lagoa dos Patos: um século de transformações. FURG, Rio Grande
- Seeliger U, Kjerfve B (2001) Coastal Marine Ecosystems of Latin America, 1edn. Springer, New York
- Seeliger U, Odebrecht C (1998) Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. *Ecoscintia*, Rio Grande
- Vanderklift MA, Ponsard S (2003) Sources of variation in consumer-diet $\delta^{15}\text{N}$ enrichment: a meta-analysis. *Oecologia* 136:169-182
- Vieira JP, Castello JP, Pereira LE (1998) Ictiofauna In: Seeliger U, Odebrecht C (eds) Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. *Ecoscintia*, Rio Grande pp 60-68
- Whitfield, AK (1988) The fish community of the Swartvlei estuary and the influence of food availability on resource utilization. *Estuaries*, 11:160-170

Zeng QF, Kong FX, Zhang EL, Tan X, Wu XD (2008) Seasonality of stable carbon and nitrogen isotopes within the pelagic food web of Taihu Lake. *Ann Limnol - Int J Lim* 44:1-6

Table 1 Mean values (± 1 SD) of total length (TL, mm), $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and C:N of consumers and food sources collected in the marsh creek (E1) and the mudflat (E2) of Patos Lagoon estuary across seasons (Autumn, Winter, Spring, Summer). Uppercase letters 'a' and 'b' denote plants with C3 and C4 photosynthesis, respectively. POM: suspended particulate organic matter, SOM: particulate organic matter in the sediment.

	Marsh creek (E1)																															
	Autumn				Winter				Spring				Summer																			
	n	TL	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C:N	n	TL	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C:N	n	TL	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	C:N																	
CONSUMERS																																
Fishes																																
<i>Atherinella brasiliensis</i>	10	74.3	± 25.6	-16.1	± 0.7	14.0	± 0.8	3.4	8	69.4	± 23.8	-15.3	± 0.5	13.7	± 1.3	3.4	2	72.5	± 2.1	-15.4	± 0.4	14.7	± 0.2	3.5	3	54.7	± 11.2	-14.1	± 1.3	12.7	± 0.1	3.4
<i>Jenynsia multidentata</i>	9	47.1	± 17.0	-16.8	± 0.9	13.0	± 0.5	3.4	8	41.8	± 13.3	-16.4	± 2.0	13.4	± 0.6	3.5	2	52.0	± 4.2	-21.0	± 1.2	12.0	± 1.5	3.4	8	60.8	± 17.7	-16.0	± 1.0	13.3	± 0.3	3.4
<i>Mugil liza</i>	9	47.2	± 23.1	-17.4	± 1.9	10.8	± 0.9	3.6	12	71.8	± 36.4	-16.2	± 2.4	10.2	± 1.7	3.5	12	68.25	± 37.3	-16.2	± 2.6	9.7	± 1.2	3.5	8	86.0	± 37.8	-12.9	± 2.5	10.1	± 1.0	3.4
Invertebrates																																
<i>Callinectes sapidus</i>	12	58.2	± 28.3	-15.9	± 1.3	12.0	± 1.0	3.4	3	45.3	± 9.0	-16.3	± 1.3	12.5	± 0.2	3.3	4	71.3	± 15.6	-14.0	± 2.0	11.5	± 1.1	3.3	8	77.6	± 32.5	-16.1	± 1.6	11.5	± 0.5	3.3
<i>Farfantepenaeus paulensis</i>	1	60.0		-16.7		12.1		3.3	4	37.0	± 5.0	-14.6	± 2.8	12.6	± 0.4	3.4	4	33.1	± 6.6	-19.7	± 4.5	11.1	± 1.2	3.5	9	54.0	± 16.9	-15.8	± 1.8	11.9	± 0.5	3.3
<i>Neohelice granulata</i>	4	24.3	± 5.6	-16.7	± 0.5	9.5	± 0.5	3.4	6	29.5	± 2.4	-16.9	± 1.0	9.7	± 0.8	3.4	5	26.8	± 2.4	-18.4	± 1.2	9.3	± 1.5	3.5	6	27.2	± 3.4	-18.2	± 2.5	9.2	± 1.0	3.4
<i>Kaillapeudes schubarti</i>	6			-16.6	± 0.2	8.5	± 0.3	3.3	7			-16.4	± 0.2	8.4	± 0.3	4.8	6			-16.2	± 0.1	8.4	± 0.4	4.4	6			-15.8	± 0.6	7.2	± 1.2	4.4
<i>Laeoneis acuta</i>	6			-15.2	± 0.5	11.0	± 0.8	3.4	8			-14.6	± 0.7	12.0	± 0.3	4.1	7			-14.8	± 0.8	11.9	± 0.4	4.0	5			-15.2	± 0.6	11.2	± 0.6	4.2
FOOD SOURCES																																
Biofilms																																
<i>Juncus acutus</i> ^a	2			-21.7	± 1.8	7.9	± 0.2	9.1	3			-25.7	± 1.5	8.0	± 1.5	22.3	5			-20.2	± 2.6	7.6	± 1.3	8.2	2			-19.7	± 0.1	8.2	± 0.2	9.4
POM	5			-28.1	± 0.6	3.6	± 1.0	53.2	6			-27.5	± 1.4	4.4	± 1.6	42.8	6			-27.7	± 0.5	5.5	± 1.4	64.4	6			-27.6	± 0.8	5.5	± 1.3	68.6
<i>Scirpus maritimus</i> ^a	6			-20.5	± 0.9	1.4	± 1.6	4.5	6								3			-19.9	± 1.0	6.1	± 0.7	9.1	3			-19.9	± 1.0	6.1	± 0.7	9.1
SOM	5			-27.7	± 0.6	6.7	± 0.9	28.7	6			-28.7	± 0.7	5.7	± 2.1	32.3	6			-26.9	± 0.6	8.7	± 0.8	20.7	6			-26.4	± 1.0	7.7	± 0.5	25.7
<i>Spartina densiflora</i> ^b	6			-17.8	± 1.1	6.4	± 0.9	9.5	6			-17.9	± 0.5	7.2	± 0.9	9.9	5			-18.4	± 0.7	6.6	± 1.5	9.0	6			-17.3	± 1.1	6.1	± 1.0	2.6
	3			-12.2	± 0.3	6.0	± 1.6	51.2	6			-12.9	± 0.2	6.1	± 1.3	47.2	6			-12.6	± 0.5	7.0	± 1.1	46.1	6			-12.1	± 0.4	7.1	± 0.7	51.7
	Mudflat (E2)																															
CONSUMERS																																
Fishes																																
<i>Atherinella brasiliensis</i>	7	54.7	± 36.7	-16.0	± 0.8	12.3	± 0.4	3.5	6	66.2	± 42.7	-15.6	± 0.5	13.1	± 0.5	3.5	5	57.0	± 19.8	-16.5	± 1.9	10.9	± 1.2	3.3	8	52.0	± 15.8	-14.0	± 1.1	12.5	± 0.9	3.3
<i>Jenynsia multidentata</i>	10	45.6	± 15.8	-16.7	± 0.9	11.2	± 1.1	3.4	3	46.0	± 15.4	-17.1	± 1.8	10.0	± 0.5	3.5	5	57.0	± 19.8	-16.5	± 1.9	10.9	± 1.2	3.3	11	45.0	± 13.7	-11.0	± 2.2	10.3	± 2.3	3.3
<i>Mugil liza</i>	4	33.3	± 8.4	-17.0	± 2.0	10.4	± 0.2	3.6	6	37.0	± 6.4	-15.2	± 2.5	9.5	± 1.3	3.6	6	33.3	± 5.3	-16.3	± 1.6	9.3	± 1.0	3.5	6	42.7	± 21.3	-13.9	± 4.8	8.6	± 0.6	3.4
Invertebrates																																
<i>Callinectes sapidus</i>	10	59.9	± 26.9	-14.8	± 1.5	9.8	± 0.7	3.5	9	34.4	± 13.5	-13.4	± 0.7	9.5	± 0.6	3.5	9	65.4	± 33.8	-13.4	± 1.0	10.0	± 0.6	3.4	5	66.6	± 32.6	-11.8	± 2.2	10.4	± 0.6	3.2
<i>Farfantepenaeus paulensis</i>	8	73.3	± 27.0	-12.6	± 1.5	10.0	± 0.8	3.3	3	35.8	± 3.5	-14.6	± 1.6	11.9	± 0.4	3.4	3	34.0	± 2.0	-14.2	± 5.2	11.1	± 0.9	3.4	9	57.1	± 21.1	-10.7	± 1.5	9.9	± 1.4	3.2
<i>Neohelice granulata</i>	6	30.7	± 4.6	-12.7	± 1.6	8.7	± 0.9	3.3	6	32.2	± 2.3	-13.2	± 1.7	8.8	± 1.2	3.5	2	30.0	± 1.4	-12.9	± 0.9	8.6	± 1.3	3.4	4	30.2	± 2.9	-13.6	± 0.9	8.4	± 0.3	3.3
<i>Kaillapeudes schubarti</i>	4			-16.0	± 0.4	7.2	± 0.2	6.0	6			-15.9	± 0.6	7.3	± 0.3	5.6	6			-15.6	± 0.9	7.2	± 0.3	5.0	3			-15.8	± 1.0	7.3	± 0.2	5.1
<i>Laeoneis acuta</i>	3			-14.0	± 1.7	7.8	± 0.7	5.0	6			-13.5	± 1.7	8.1	± 0.9	4.8	7			-14.1	± 1.3	9.1	± 1.4	4.3	4			-12.9	± 1.6	9.9	± 1.6	4.1
FOOD SOURCES																																
POM																																
<i>Rhizoclonium riparium</i>	6			-19.5	± 1.3	1.8	± 1.6	4.1	5			-13.1	± 2.0	6.7	± 1.2	11.6	2			-10.1	± 0.2	6.7	± 0.1	8.9	3			-18.4	± 0.4	6.6	± 0.3	7.9
<i>Ruppia maritima</i>	6								6			-10.7	± 1.2	6.0	± 0.8	11.1	8			-10.8	± 0.6	8.3	± 1.4	10.2	4			-10.5	± 1.4	7.3	± 0.4	12.7
<i>Scirpus maritimus</i> ^a	5			-28.1	± 0.6	5.7	± 0.8	18.1	6			-27.0	± 1.1	4.0	± 2.1	26.3	4			-26.9	± 0.4	8.4	± 0.8	24.0	6			-25.2	± 0.9	7.0	± 0.5	31.7
<i>Scirpus olneyi</i> ^a	2			-28.0	± 1.1	6.0	± 1.2	27.0	3			-28.0	± 1.1	6.0	± 1.2	27.0	3			-26.5	± 0.6	6.8	± 0.4	29.2	6			-26.7	± 1.0	6.0	± 0.5	25.9
SOM	4			-14.8	± 1.0	6.1	± 0.8	9.8	6			-14.6	± 1.2	7.4	± 0.6	9.0	6			-14.8	± 1.2	7.0	± 0.8	9.0	6			-14.7	± 1.1	6.2	± 1.4	9.0
<i>Spartina densiflora</i> ^b	5			-12.3	± 0.3	6.2	± 0.7	49.9	6			-12.2	± 0.6	4.5	± 0.6	44.6	6			-12.1	± 0.6	6.7	± 0.5	39.2	6			-12.1	± 0.2	6.2	± 0.5	55.9

Table 2 Results from PERMANOVA analyses for differences in $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ and C:N ratios for each basal food sources considering Location (marsh creek and mudflat), Season and Month and PERMANOVA pair-wise tests for seasons (1-Autumn; 2-Winter; 3-Spring; 4-Summer) when $p < 0.10$. Values in bold denote significant differences ($p < 0.10$).

		$\delta^{15}\text{N}$			$\delta^{13}\text{C}$			C:N ratios					
		df	P(perm)	P(MC)	Pairwise test	df	P(perm)	P(MC)	Pairwise test	df	P(perm)	P(MC)	Pairwise test
SOM	Location	1	0.4919	0.4757		1	0.0001	0.0001		1	0.2273	0.2248	
	Season	3	0.3489	0.3586		3	0.7433	0.7354		3	0.3669	0.376	
	Month	8	0.0038	0.0042		8	0.0533	0.0516		8	0.421	0.4381	
<i>Scirpus maritimus</i>													
	Location	1	0.0648	0.0672		1	0.0131	0.0107		1	0.5812	0.5886	
	Season	3	0.0018	0.0059	1,3 - 1,4 - 2,3 - 2,3	3	0.0023	0.0075	1,3 - 1,4 - 2,3 - 2,4	3	0.1315	0.1308	
	Month	8	0.0894	0.0924		8	0.0287	0.0262		8	0.0896	0.0875	
<i>Spartina densiflora</i>													
	Location	1	0.1072	0.1101		1	0.1043	0.0979		1	0.559	0.5667	
	Season	3	0.0656	0.0546	2,3 - 2,4	3	0.0437	0.0486	2,4	3	0.2783	0.2773	
	Month	8	0.0006	0.0001		8	0.8224	0.826		8	0.0264	0.0248	
POM													
	Location	1	0.6561	0.662		1	0.0838	0.0749		1	0.3021	0.2871	
	Season	1	0.0962	0.0443	1,4	1	0.7003	0.4571		1	0.094	0.0013	1,4
	Month	3	0.0534	0.0348		3	0.0004	0.0005		3	0.1742	0.1791	

Table 3 Results from PERMANOVA analyses for differences in $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ and C:N ratios for each consumer considering Location (marsh creek and mudflat), Season and Month and PERMANOVA pair-wise tests for seasons (1-Autumn; 2-Winter; 3-Spring; 4-Summer) when $p < 0.10$. Values in bold denote significant differences ($p < 0.10$).

	$\delta^{15}\text{N}$			$\delta^{13}\text{C}$			C:N ratios					
	df	P(perm)	P(MC)	Pairwise test	df	P(perm)	P(MC)	Pairwise test	df	P(perm)	P(MC)	Pairwise test
<i>Atherinella brasiliensis</i>												
Location	1	0.022	0.0199		1	0.5881	0.5731		1	0.6208	0.6191	
Season	3	0.0632	0.0347	1,3 - 2,4 - 3,4	3	0.0861	0.0646	1,4 - 2,4	3	0.2738	0.2267	
Month	6	0.7139	0.7302		6	0.0224	0.0217		6	0.0717	0.0727	
<i>Jenynsia multidentata</i>												
Location	1	0.0298	0.0222		1	0.0099	0.0061		1	0.9131	0.9227	
Season	3	0.3529	0.329		3	0.003	0.0015	1,3 - 1,4 - 2,3 - 2,4 - 3,4	3	0.0135	0.0048	1,2 - 1,4 - 2,3 - 2,4
Month	8	0.1799	0.1731		8	0.1271	0.1228		8	0.1208	0.1226	
<i>Mugil liza</i>												
Location	1	0.4137	0.4135		1	0.7483	0.7466		1	0.8063	0.7976	
Season	3	0.1595	0.127		3	0.0128	0.0167	1,4 - 2,4 - 3,4	3	0.5955	0.5587	
Month	8	0.4953	0.4926		8	0.6734	0.679		8	0.1748	0.1739	
<i>Farfantepenaeus paulensis</i>												
Location	1	0.1866	0.1553		1	0.0202	0.0001		1	0.6179	0.5971	
Season	3	0.2663	0.2577		3	0.2284	0.228		3	0.0021	0.0004	1,2 - 1,4 - 2,4 - 3,4
Month	8	0.001	0.0007		8	0.0001	0.0003		8	0.6055	0.5985	
<i>Callinectes sapidus</i>												
Location	1	0.0005	0.0001		1	0.0029	0.0005		1	0.0442	0.0258	
Season	3	0.8769	0.8855		3	0.398	0.3948		3	0.152	0.1371	
Month	8	0.4159	0.4179		8	0.0073	0.0079		8	0.0171	0.0141	
<i>Neohelice granulata</i>												
Location	1	0.0548	0.0383		1	0.0083	0.0052		1	0.7061	0.7029	
Season	3	0.253	0.2166		3	0.1618	0.1303		3	0.3711	0.368	
Month	8	0.9495	0.944		8	0.6266	0.6272		8	0.2448	0.2329	
<i>Kalliapseudes shubartii</i>												
Location	1	0.1113	0.0978		1	0.1446	0.1613		3	0.0643	0.0476	1,3 - 1,4 - 2,3
Season	3	0.9313	0.789		3	0.4692	0.4683		8	0.0074	0.0068	
Month	8	0.0001	0.0001		8	0.0003	0.0003		3	0.7466	0.7478	
<i>Laeonereis acuta</i>												
Location	1	0.0001	0.0001		1	0.0486	0.0447		1	0.0215	0.0199	
Season	3	0.1302	0.1329		3	0.525	0.5243		3	0.2859	0.2942	
Month	8	0.261	0.253		8	0.0109	0.0085		8	0.0091	0.0084	

Figure legends

Fig 1 Map of South America showing in detail the Patos Lagoon (A) and its estuarine zone with the location of the studied habitats (B); a marsh creek near the connection of the estuary with the sea (E1) and a mudflat in the central portion of the estuary (E2).

Fig 2 Monthly variation in mean values (\pm SE) of carbon ($\delta^{13}\text{C}$), nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) and C:N ratios of basal food sources collected in the marsh creek (E1: full lines) and in the mudflat (E2: dotted lines) of Patos Lagoon estuary.

Fig 3 Monthly variation in mean values (\pm SE) of carbon ($\delta^{13}\text{C}$), nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) and C:N ratios of decapod crustaceans and fish collected in the marsh creek (E1: full lines) and in the mudflat (E2: dotted lines) of Patos Lagoon estuary.

Fig 4 Carbon and nitrogen stable isotope bi-plots (mean \pm SD) of basal food sources (squares) and consumers (circles) collected in the marsh creek (E1: continuous line for sources and filled circles for consumers) and in the mudflat (E2: dashed line for sources and open circles for consumers) of Patos Lagoon estuary across the seasons (autumn, winter, spring, summer). Species codes: Fish, ATHBRA (*Atherinella brasiliensis*), JENMUL (*Jenynsia multidentata*) and MUGLIZ (*Mugil liza*), Decapod crustaceans, CALSAP (*Callinectes sapidus*), FARPAU (*Farfantepenaeus paulensis*) and NEOGRA (*Neohelice granulata*).

Fig 5 Seasonal mean values (\pm SE) of trophic levels of decapod crustaceans (*Callinectes sapidus*, *Farfantepenaeus paulensis* and *Neohelice granulata*) and fish (*Atherinella*

brasiliensis, *Jenynsia multidentata* and *Mugil liza*) collected in the marsh creek (E1) and in the mudflat (E2) of Patos Lagoon estuary.

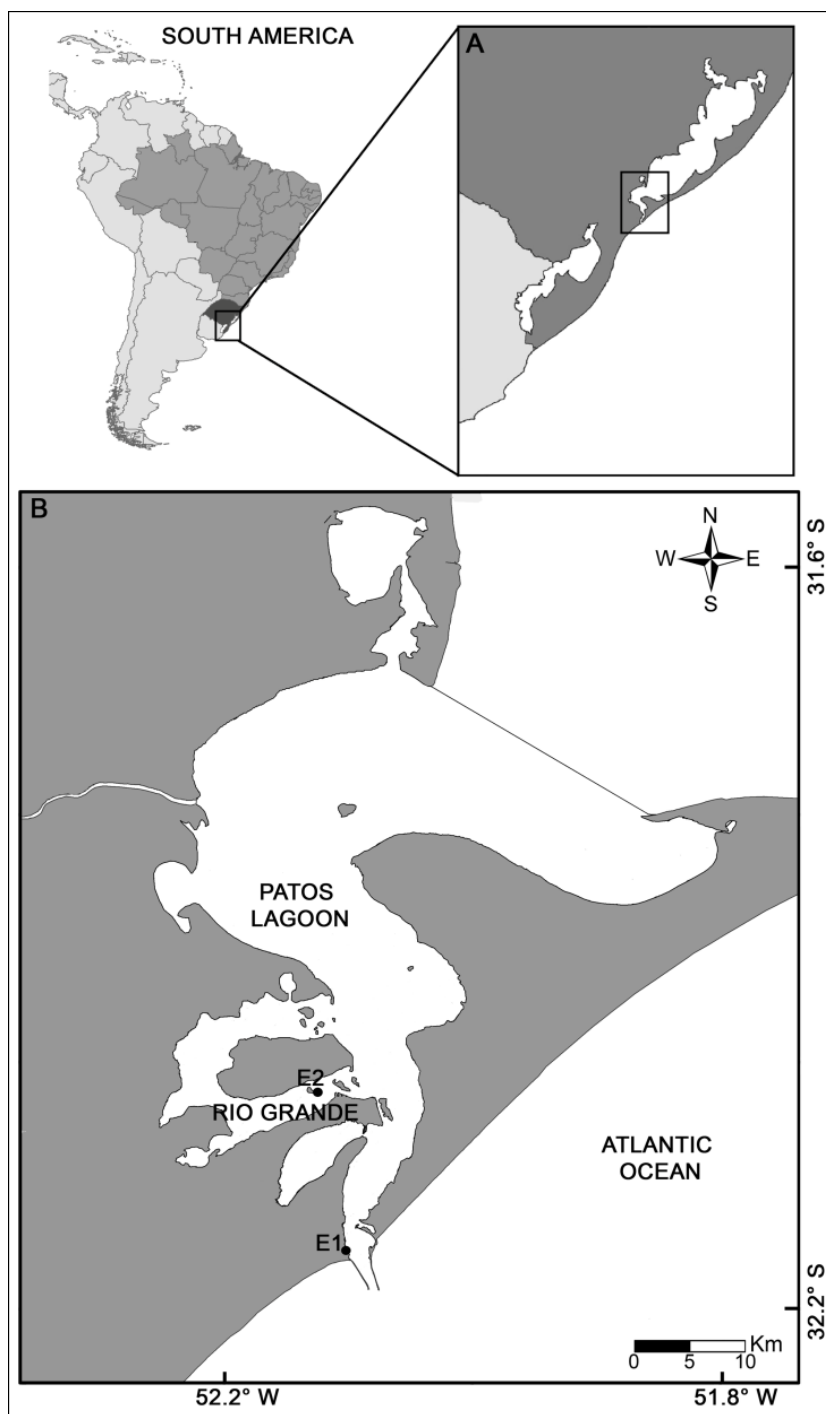


Fig 1

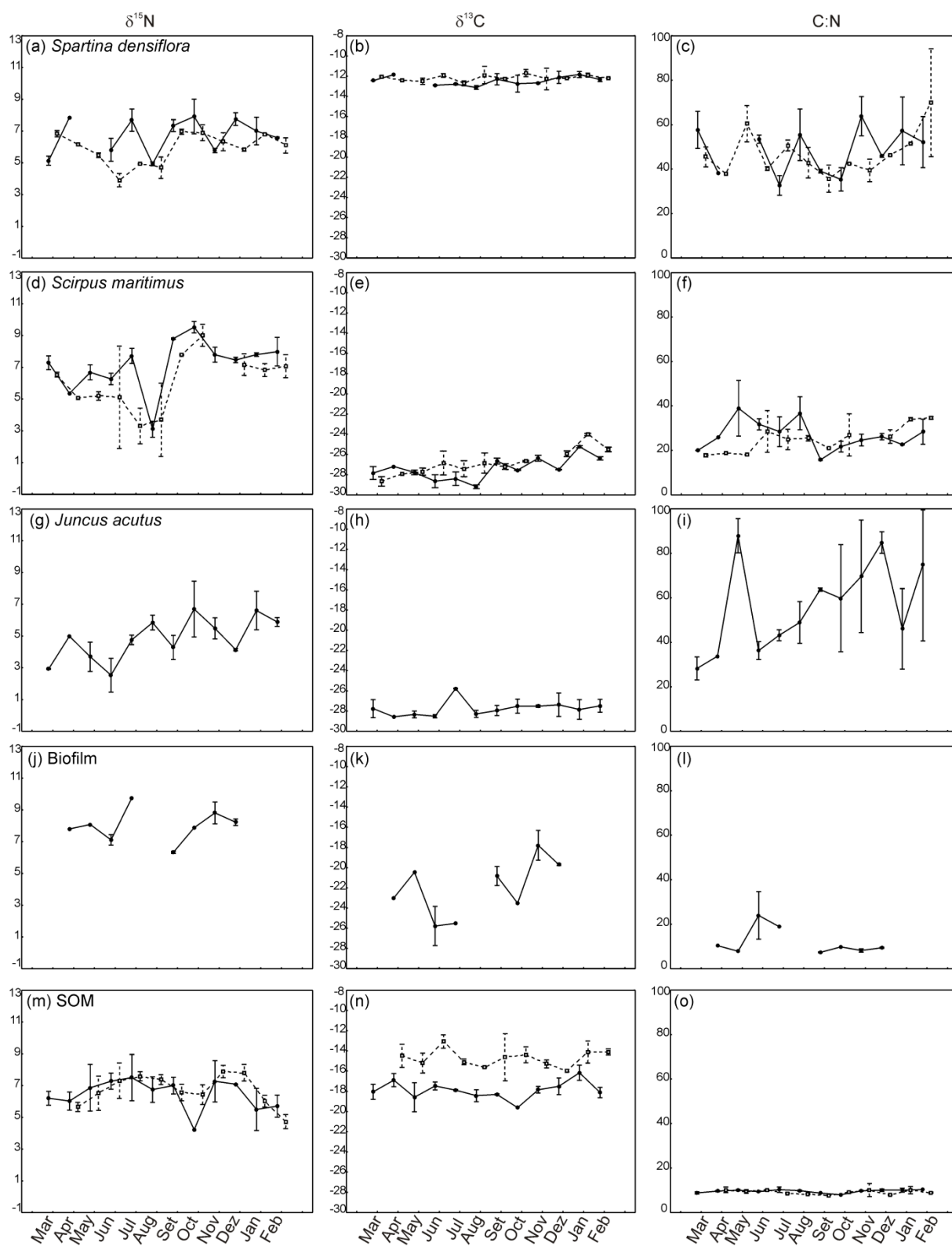


Fig 2

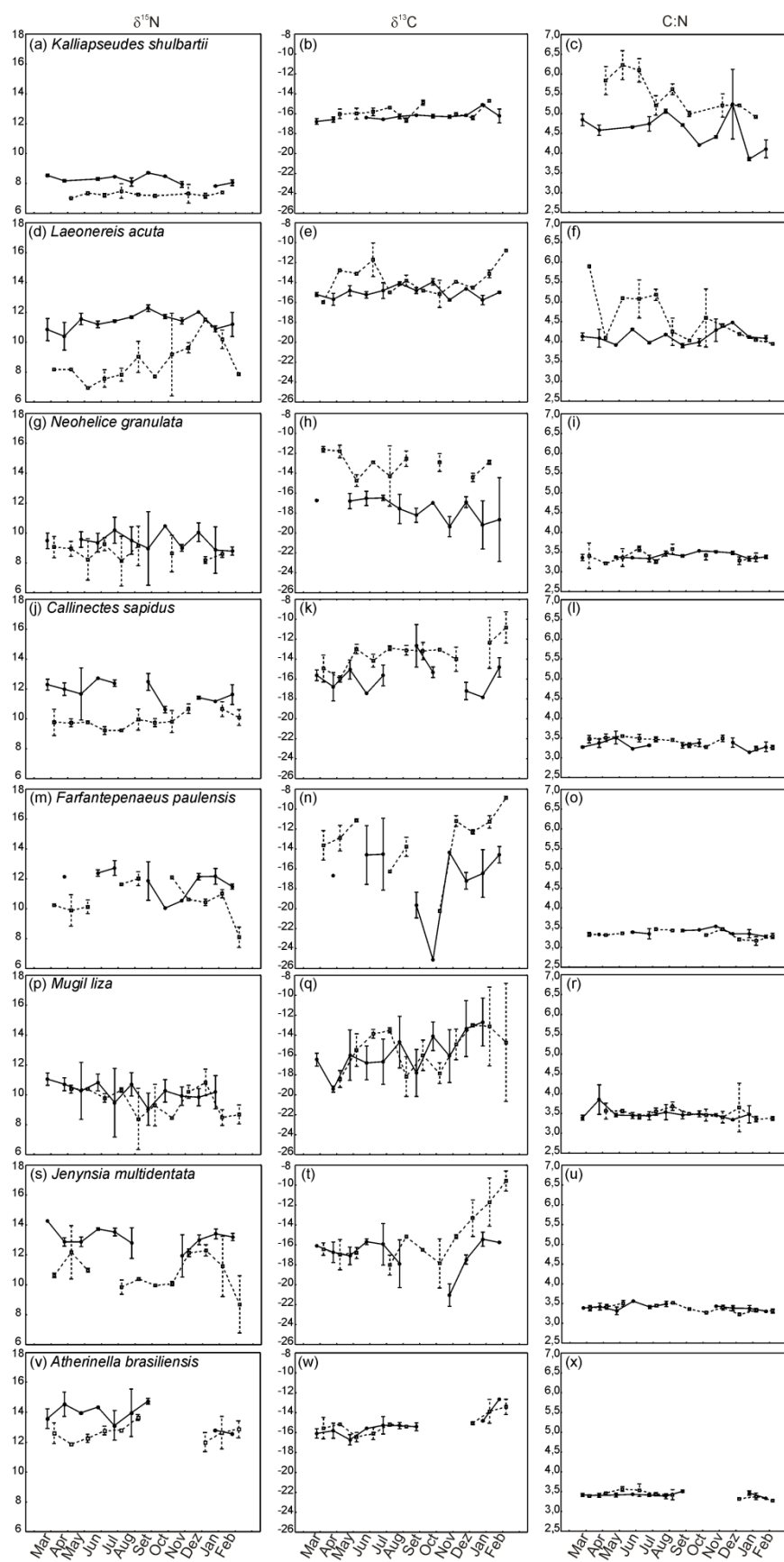


Fig 3

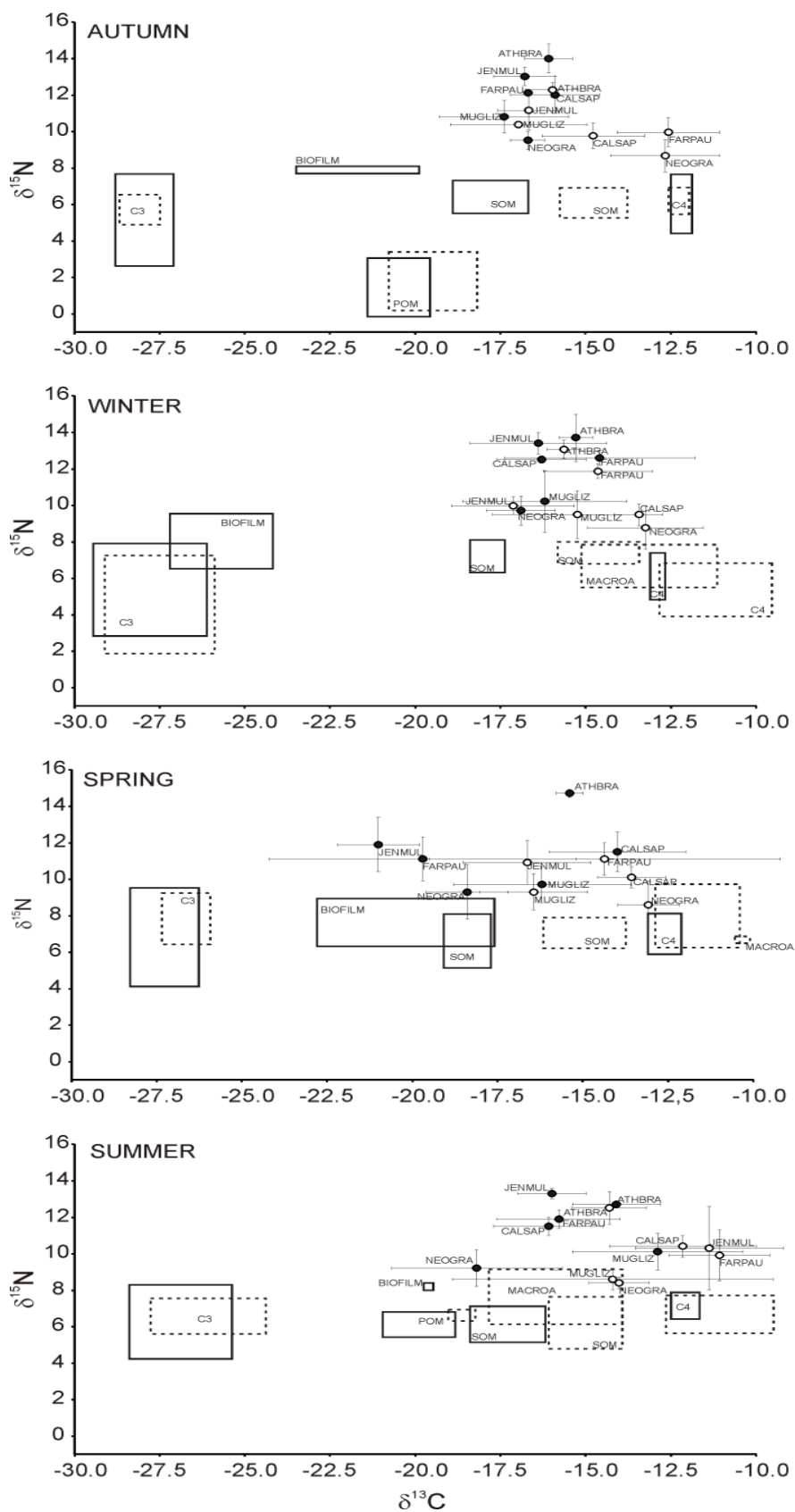


Fig 4

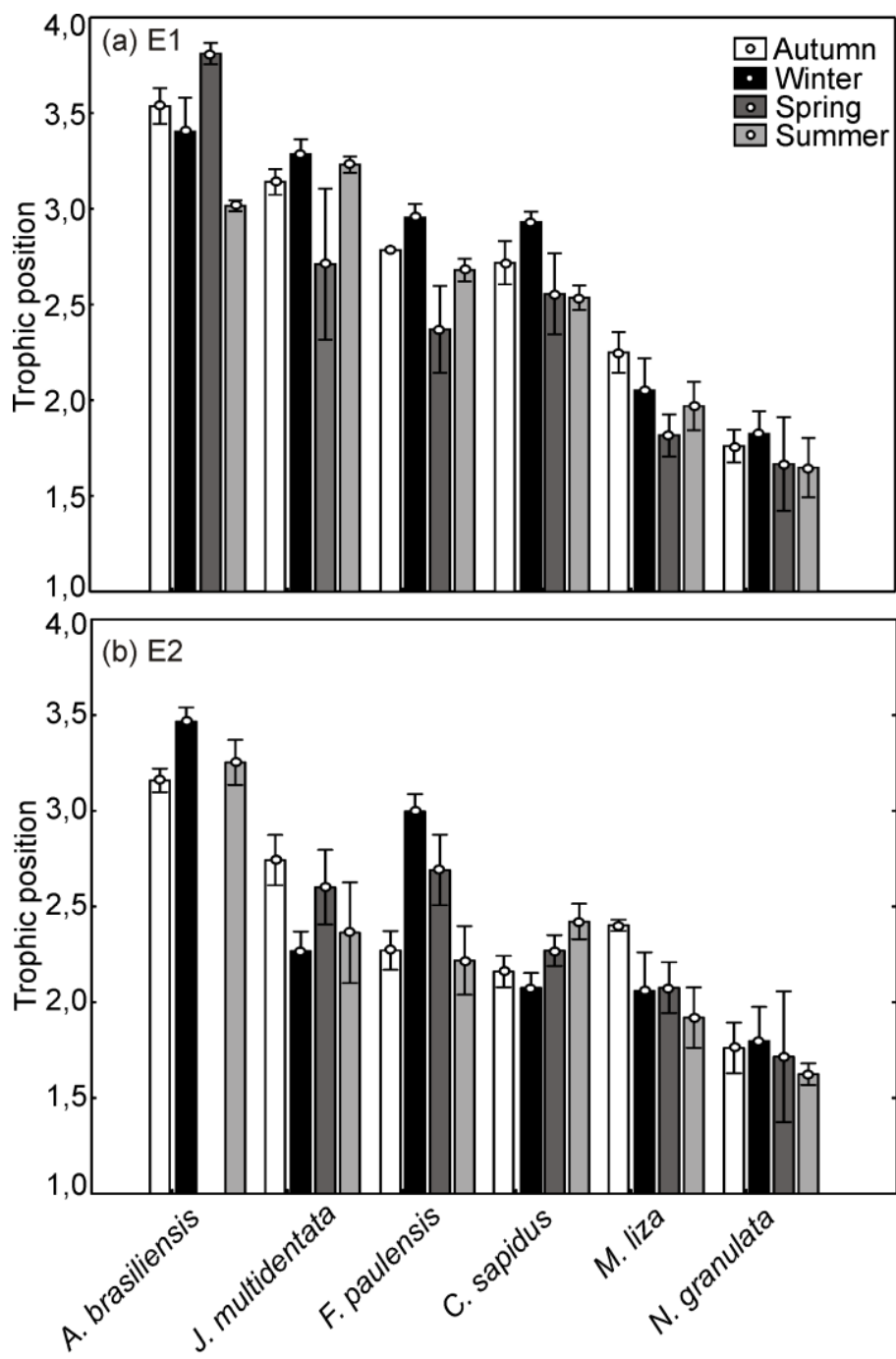


Fig 5