

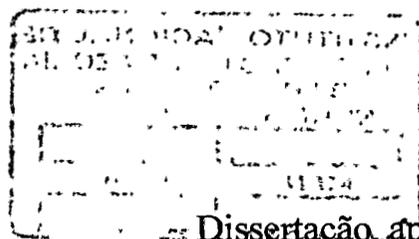
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM

BIBLIOTECA DO INPA

Fontes autotróficas de energia para *Paracheirodon axelrodi*

(Osteichthyes, Characidae) na bacia do médio Rio Negro

BRUCE MARSHALL



Dissertação apresentada ao Programa de Pos-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, área de concentração em Ecologia

MANAUS – AM  
2004

T  
597.045  
M3674

## FICHA BIBLIOGRAFICA

**MARSHALL, Bruce Gavin**

Fontes autotróficas de energia para *Paracheirodon axelrodi* (Osteichthyes, Characidae) na bacia do médio Rio Negro.

Manaus: INPA/UFAM, 2004

61 p.

Dissertação de Mestrado

### **Sinopse:**

Foram investigadas as fontes autotróficas de energia para *Paracheirodon axelrodi* (cardinal tetra) durante um ciclo hidrológico em pequenos tributários na bacia do médio Rio Negro, utilizando-se isótopos estáveis de carbono e nitrogênio e análises de conteúdo estomacal. Os resultados indicam que o cardinal é um onívoro que recebe a maioria da sua energia proveniente da floresta inundada, porém a contribuição das algas se torna uma fonte mais importante durante a vazante-seca.

**Palavras chaves:** peixe ornamental, *Paracheirodon axelrodi* (cardinal), isótopos estáveis de carbono e nitrogênio, fontes autotróficas, nível trófico, dieta, médio Rio Negro.

À minha mãe, Agnes Macaulay Marshall, dedico

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à minha instituição, INPA, e especificamente o Curso de Pós-Graduação em Ecologia, pela oportunidade de aperfeiçoamento acadêmico e profissional por meio deste treinamento.

Ao Dr. Bruce Rider Forsberg, pela orientação, ajuda, apoio, e confiança durante estes últimos dois anos e meio.

Ao Projeto do LBA (Large Scale Bio-Atmosphere Project of the Amazon) pelo apoio financeiro e a estrutura para realizar este projeto, com agradecimento pessoal para Dr. John Melack.

Ao Dr. Ning Labbish Chao, quem me incentivou profissionalmente nesta área de estudo, e ao Projeto Piaba, pelo apoio financeiro e a estrutura para realizar este trabalho.

À Ana Cláudia Lessa, pela paciente leitura e correção do português desta dissertação, e pelo apoio moral.

A Phil Marsteller e sua esposa Ruth, e todo pessoal do Rio Negro Lodge, pelo apoio e a infraestrutura para realizar este trabalho.

À Dra. Ilse Walker, pela grande ajuda na identificação do conteúdo estomacal dos cardinais no laboratório.

Ao colega Mario Thomé Souza, pela ajuda, críticas, sugestões, e discussões que enriqueceram este trabalho.

Ao colega Warley da Costa Arruda, pela grande ajuda de fazer os mapas de localização das coletas.

Ao colega Reynaldo Peleja, pela ajuda na identificação do conteúdo estomacal e pelas sugestões do meu trabalho.

A Rosirene Farias da Silva e Geize Pachêco, pelo apoio administrativo do trabalho.

A Anna Pés, pela ajuda na identificação do conteúdo estomacal.

À Dra. Flávia Costa, pela orientação e ajuda na parte das análises estatísticas deste trabalho.

Ao Thiago Junqueira Izzo, Marcelo Menin, e Fabiano Waldez pela ajuda na aplicação das análises multivariadas neste trabalho.

Ao pessoal do Projeto Piaba em Barcelos, e especialmente para Cleúder, pela ajuda na parte de campo.

À Vivien vanRoy e Lílian Gonzaga pela ajuda na coleta dos cardinais.

Ao Carlos Pinheiro, Admo Carneiro, e Jorge pelo trabalho profissional na coleta de plantas e cardinais no campo.

Aos moradores da Comunidade Daraqua do Rio Itú, em especial o Sr. Manel e a sua esposa Suzete pela hospitalidade.

A Auristela dos Santos Conserva e Dra. Maria Tereza F. Piedade pela identificação das herbáceas aquáticas.

Ao Herbário do INPA pela identificação das plantas.

Ao Dept. de Agronomia no INPA que cedeu o uso do tritorador para processar as plantas.

A Dr. Richard Vogt, pelo empréstimo da garrafa de nitrogênio.

Ao Dr. Marcelo Moreira do Centro de Energia Nuclear para a Agricultura (CENA), pelas análises de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ .

Aos meus colegas do laboratório, pelo intenso intercâmbio e feliz convívio: Alexandre, Carlão, Cláudio, Fernando, João, Juliana, Lauren, Maria, Mario, Reynaldo, Rosy, Sandro, Warley, e Ynglea.

A todas as pessoas aqui não citadas, mas que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço a minha mãe e o meu irmão, Duncan, pelo apoio moral para realizar os meus sonhos.

## ÍNDICE

Página

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Objetivos e Hipóteses .....	11
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	17
2.1 Área de Estudo .....	17
2.2 Métodos no Campo .....	19
2.2.1 Captura dos Peixes .....	19
2.2.2 Coleta dos Grupos de Plantas e Algas .....	20
2.3 Métodos no Laboratório .....	21
2.3.1 Análises de Isótopos Estáveis .....	21
2.3.2 Análises do Conteúdo Estomacal do Cardinal .....	22
2.4 Análise de Dados .....	22
<b>3. RESULTADOS</b> .....	24
3.1 Valores de $\delta^{13}\text{C}$ .....	24
3.2 Valores de $\delta^{15}\text{N}$ .....	27
3.3 Análises de Conteúdo Estomacal .....	30
3.3.1 Análises Descritivas .....	30
3.3.2 Análises Estatísticas .....	34
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	37
4.1 Dieta do Cardinal.....	37
4.2 Fontes Autotróficas de Energia para o Cardinal .....	39
4.3 Indicação de Nível Trófico para o Cardinal .....	44
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	47
<b>6. RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS</b> .....	48
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b> .....	49
<b>8. ANEXOS</b> .....	58

## LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1	Mapa geral da área de estudo .....	12a
Figura 2	Mapa de localização das áreas de coletas .....	12b
Figura 3	Área de coleta 1 – pontos de coleta de cardinal no Ig. Madixí..	13
Figura 4	Área de coleta 2 – pontos de coleta de cardinal nos igarapés do Rio Itú .....	14
Figura 5	Área de coleta 3 – pontos de coleta de cardinal nos Igarapés Barurí e Mamolé .....	15
Figura 6	Área de coleta 4 – pontos de coleta de cardinal nos Igarapés Zamula, Malepuque, e Iraaú .....	16
Figura 7	Relação entre tempo e os valores de todas as coletas de cardinal .....	26
Figura 8	Relação entre os valores médios e os desvios padrões de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ dos cardinais e das plantas .....	29
Figura 9	Relação entre tempo e a ordenação dos itens alimentares nos dois eixos do HMDS .....	34
Figura 10	Distribuição dos itens alimentares ao longo do gradiente das gradiente das coletas feitas entre o pico da cheia e o final da seca .....	36

**LISTA DE TABELAS****Página**

Tabela 1	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) das plantas e dos cardinais .....	25
Tabela 2	Valores de $\delta^{15}\text{N}$ (‰) das plantas e dos cardinais .....	28
Tabela 3	Médias das frequências dos itens alimentares encontrados através das análises de conteúdo estomacal das coletas de cardinal .....	33

## LISTA DE ANEXOS

## Página

Anexo 1	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das amostras de cardinal capturados em habitats diferentes ao longo do ano .....	59
Anexo 2	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das amostras de algas perifíticas .....	60
Anexo 3	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das amostras de folhas de árvore/arbusto dos campos interfluviais .....	61
Anexo 4	Valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das amostras de herbáceas aquáticas .....	61

## RESUMO

As contribuições relativas da energia de diferentes fontes autotróficas (folhas das árvores/arbustos do igapó, folhas das árvores/arbustos dos campos interfluviais, herbáceas aquáticas, perifiton) foram investigadas para o peixe *Paracheirodon axelrodi* (Characidae) em habitats diferentes (igarapé, igapó, e campo interfluvial) durante um ciclo hidrológico na bacia do médio Rio Negro. O método dos isótopos estáveis de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) foi utilizado para traçar o carbono orgânico entre as plantas e o cardinal, e o método dos isótopos estáveis de nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) foi utilizado para indicar o nível trófico do cardinal, em relação às plantas na base da rede alimentar. Também, análises de conteúdo estomacal foram feitas para determinar a dieta do cardinal.

Os valores médios de  $\delta^{15}\text{N}$  das plantas variaram entre 2,49 ‰ para as folhas do igapó e 7,22 ‰ para as herbáceas aquáticas, com uma média de 4,52 ‰ para todos os grupos de plantas. Os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  dos cardinais variaram entre 7,48 e 10,85 ‰, com uma média de 8,65 ‰. Considerando um fator de fracionamento trófico de 3,0 ‰, o cardinal estaria ~1,5 níveis tróficos acima das plantas, ou no nível dos onívoros.

Os valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$  das folhas das árvores/arbustos do igapó, folhas das árvores/arbustos dos campos interfluviais, herbáceas aquáticas, e perifiton foram -30,42; -31,06; -36,22 e -38,73 ‰, respectivamente. Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dos cardinais variaram entre -29,40 e -36,52 ‰ com uma média de -32,78 ‰. Um “two end mixing model” (modelo de mistura de duas fontes) foi utilizado para determinar a contribuição de perifiton para o

**ANEXO 3**

<u>Coleta Folha de Arvore/Arbusto do Campo</u>	<u>Espécie</u>	<u>Data</u>	<u>Habitat</u>	<u><math>\delta^{13}\text{C}</math></u>	<u><math>\delta^{15}\text{N}</math></u>
PA-1	Ischnosiphoncannoidens L. Andersson	07/03	C	-31,92	-2,12
PA-3	Tococa lasiostyla Cogn.	07/03	C	-30,2	6,95
PA-4	Cybianthusamplus (Mez) G. Agostini	07/03	C	-32,79	5,67
PA-5	Becquerelia cymosa Brongn.	07/03	C	-32,28	6,48
PA-6	Leopoldinia pulchra Mart.	07/03	C	-32,54	-0,6
PA-8	Nymphaea amazonum Mart. Zucc.	07/03	C	-27,69	5,81
PA-9	Laetia suaveolens (Poepp.) Benth.	07/03	C	-32,33	1,57
PA-10	Macrolobium multijugum (D.C.) Benth.	07/03	C	-28,74	1,25

**LEGEND**

C = Campo  
F = Floresta/Igapó  
I = Igarapé

**ANEXO 4**

<u>Coleta Herbácea Aquática</u>	<u>Espécie</u>	<u>Data</u>	<u>Habitat</u>	<u><math>\delta^{13}\text{C}</math></u>	<u><math>\delta^{15}\text{N}</math></u>
HÁ-1	Cyperaceae?	11/03	C	-35,93	8,23
HÁ-2	Limnocharis sp?	11/03	C	-29,45	2,86
HÁ-3	?	11/03	C	-39,13	7,64
HÁ-4	?	11/03	C	-40,38	10,16
HÁ-5	Utricularia gibba L.	11/03	C		

## ABSTRACT

The relative contributions from different autotrophic energy sources (flooded forest trees and shrubs, interfluvial swamp trees and shrubs, herbaceous aquatic plants, and periphyton) were investigated for *Paracheirodon axelrodi* (Characidae) in different habitats (stream channel, flooded forest, and interfluvial swamp) during one hydrological cycle (flood and dry seasons) in the Rio Negro river basin. The method of carbon stable isotopes ( $\delta^{13}\text{C}$ ) was utilized to trace the organic carbon as it passed from the plants to the cardinal, and the method of nitrogen stable isotopes ( $\delta^{15}\text{N}$ ) was used to indicate the trophic level of the cardinal, in relation to the plants at the base of the food chain. In addition, stomach content analyses were performed to determine the diet of the cardinal.

The average  $\delta^{15}\text{N}$  values of the plants varied from 2.49 ‰ for tree and shrub leaves of the flooded forest to 7.22 ‰ for herbaceous aquatic plants, with an average for all of these plant groups of 4.52 ‰. The  $\delta^{15}\text{N}$  values for the cardinal ranged from 7.48 to 10.85 ‰, with an average value of 8.65 ‰. Considering a trophic level fractionation factor of 3.0 ‰, the cardinal would be ~1.5 trophic levels above the plants; that is, at the level of the omnivores in the food chain.

The average  $\delta^{13}\text{C}$  values for the flooded forest trees and shrubs, interfluvial swamp trees and shrubs, herbaceous aquatic plants, and periphyton were -30.42, -31.06, -36.22, e -38.73 ‰, respectively. The  $\delta^{13}\text{C}$  values for the cardinal ranged from -29.40 to -36.52 ‰ with an average of -32.78 ‰. A two-end mixing model was applied to determine the periphyton contribution for the cardinal during the hydrological cycle. The two end members used

were the flooded forest trees and shrubs (-30.42 ‰) and periphyton (-38.73 ‰). Considering a trophic level fractionation factor of 1.5 ‰ for the cardinal (based on the  $\delta^{15}\text{N}$  results), the average periphyton contribution was 28.40 ‰. This result indicates that on average the flooded forest is the principal autotrophic energy source for the cardinal. However, it was shown that the periphyton contribution varied seasonally between March (at the end of the dry season) and November (the falling water period of the following flood cycle). In March, the average was 19.49 ‰ and in November the average was 41.16 ‰, suggesting that algae production in the interfluvial swamp areas during high water could be an important energy source for the cardinal.

The stomach content analyses demonstrated that cardinal tetras feed mainly on microcrustaceans and insect larva. However, during the period of falling water the presence of algae in their diets becomes much more pronounced, suggesting some evidence of selective herbivory.

## 1. INTRODUÇÃO

*Paracheirodon axelrodi* (cardinal tetra) da Família Characidae é um peixe de pequeno porte (< 35 mm) que ocorre predominantemente nos tributários do médio e alto Rio Negro e em algumas partes da bacia do Rio Orinoco (Harris & Petry, 2001). O cardinal é uma espécie muito importante para a indústria de peixes ornamentais na região, constituindo acima de 80% do volume de peixes ornamentais comercializados na bacia do Rio Negro (Chao *et al.*, 2001). A bacia do médio Rio Negro é a maior área de pesca de peixe ornamental da Amazônia, e o município de Barcelos é o principal posto de comércio, sendo que esta atividade contribui com mais de 60% da renda deste município (Prang, 2001). O manejo eficaz da indústria de peixes ornamentais necessita que a pescaria das espécies principais, e especificamente as populações do cardinal, seja sustentável ao longo tempo. O cardinal tem um período de vida curto (12-16 meses (Geisler & Annibal, 1986)), portanto os estoques podem ser repostos rapidamente desde que bem manejados (Chao *et al.*, 2001). Entretanto, existe uma falta de informação biológica sobre o cardinal na natureza, inclusive suas estratégias de alimentação e as fontes autotróficas que suportam a cadeia alimentar da espécie.

Como muitos outros peixes, o cardinal depende dos recursos das florestas sazonalmente inundadas para se alimentar (Harris & Petry, 2001). A disponibilidade de alimento é determinado pelo acesso dos peixes para as planícies inundadas, que, em vez, depende do nível da água. Quando o nível da água sobe durante a enchente/cheia, os peixes podem entrar nas florestas alagadas e utilizar uma grande disponibilidade de itens de alimento, eg., fitoplâncton, perifíton, plantas herbáceas aquáticas e terrestres, folhas e frutos da floresta, invertebrados aquáticos, invertebrados terrestres, e para os predadores, outros peixes (Junk *et al.*, 1997). Quando o

nível da água desce durante a vazante/seca, os peixes são forçados de voltar para os canais dos igarapés e rios, a onde uma maior concentração de peixes competem para uma menor disponibilidade de alimentos.

Considerando que os canais dos rios e igarapés são habitats com pouca produção autóctona (Junk *et al.*, 1997), os alimentos que vem das florestas alagadas se tornam uma fonte muito importante. Pesquisas realizadas em pequenos igarapés e florestas alagadas da bacia do Rio Negro, utilizando marcadores de fósforo ( $^{32}\text{P}$ ) e observações de comportamento alimentar, indicaram que a floresta é a principal fonte de energia para os micro e macroorganismos aquáticos associados as camadas de liteira nestes sistemas, inclusive pequenos peixes (Walker *et al.*, 1991; Walker, 1995). As conclusões destes estudos mostraram que a cadeia alimentar nestes ambientes começa com os fungos aquáticos decompondo a liteira submersa e, em menor grau de importância, com a produção de algas perifíticas onde existe luz suficiente para o desenvolvimento destas plantas (Walker, 1987; 1995).

Na área do baixo e médio Rio Negro, as folhas caem principalmente durante a estação de baixa pluviosidade (agosto – dezembro), e são decompostas por fungos (*Imperfecti*, *Ingoldian fungi*, *Hyphomycetes*; Rosset *et al.*, 1982) que as colonizam em grande quantidade. Na época da cheia do Rio Negro, quando a camada de liteira na floresta alagada está submersa, os fungos conseguem decompor as folhas nas condições superácidas (até pH 3.5) e anaeróbicas (até <2.0 mg/L de oxigênio dissolvido). Os fungos, sucessivamente, são os alimentos preferidos das larvas de Quironomídeos, a comida principal dos predadores bênticos, como o cardinal (Walker, 1985; Walker *et al.*, 1991). Walker (2004), por meio de análises do conteúdo dos estômagos de cardinais capturados nos igarapés e no igapó em vários tributários do médio Rio Negro, observou que o cardinal, nestes ambientes, é principalmente um predador de

pequenas presas invertebradas, comendo predominantemente microcrustáceos e larvas de Quironomídeos.

Entretanto, além da energia alóctone que vem da floresta, existe evidência, nos sistemas de água preta, da produção de fitoplâncton (Rai, 1978; Hardy, 1980; Walker, 1995) e perifiton (Goulding *et al.*, 1988; Forsberg *et al.*, 2001). Por serem ricas em vitaminas, as algas são uma fonte importante de alimento na cadeia alimentar para os peixes juvenis, diretamente ou indiretamente via os invertebrados aquáticos (Putz e Junk, 1997). Devido aos baixos níveis de nutrientes nas águas pretas, já é conhecido que há uma menor produção de fitoplâncton e perifiton nas florestas alagadas destes sistemas em comparação as várzeas das águas brancas (Sioli, 1955, 1968; Fittkau *et al.*, 1975, Junk, 1984). Putz (1997) encontrou valores de fitoplâncton no Rio Negro que alcançaram somente 10% da produção de fitoplâncton encontrada nas lagoas de águas brancas. Também, a produção de perifiton nos lagos de águas pretas foi 30% da produção encontrada nos lagos de águas brancas (Putz, 1997). Entretanto, dependendo da época, é possível que a produção de perifiton nas águas pretas seja subestimada.

O perifiton utiliza substratos submersos e tipicamente incluem diatomas e algas azuis-verdes, verdes e vermelhas filamentosas (Power, 1984). As áreas extensas de floresta inundada no Rio Negro oferecem grandes quantidades de folhas e galhos submersos para o desenvolvimento de perifiton, mas a luz é um fator limitante (Goulding *et al.*, 1988; Putz & Junk, 1997). Estas florestas são relativamente densas, com copa fechada, permitindo baixa penetração de luz (<10%) (Putz e Junk, 1997). Portanto, a produção de perifiton nestes ambientes tende a ser limitada à zona de interface com o canal do igarapé, lago ou rio, onde a disponibilidade de luz é maior (Goulding *et al.*, 1988). Castro (1999), demonstrou que a distribuição de algas perifíticas em florestas alagadas do Rio Jaú, um

tributário do médio Rio Negro, era restrita a uma zona estreita na margem entre a floresta e o canal do rio. Em uma análise das características dos canais do sistema fluvial do Rio Jaú, Forsberg *et al.* (2001) observaram que a produção de algas aumentou significativamente quando o tamanho do igarapé superou 10 m de largura, devido a um aumento significativo na abertura do dossel e na maior disponibilidade de luz.

A produção de algas pode ser considerável também nas regiões interfluviais nos dois lados do médio e Rio Negro, desde que estas áreas formam lagos grandes e rasos de águas transparentes durante a época da cheia. As regiões interfluviais são conhecidas como 'campos' e são caracterizadas por um dossel baixo (<20 m) e aberto, tipicamente constituído de palmeiras jará (*Leopoldinia pulchra*) e buriti (*Mauritia flexuosa*), e plantas de aninga (*Montrichardia arborescens*), zaruzaru (*Cyperus ligularis*) e arumã (*Ischnosiphon sp.*) (Prang, 2002). As maiores regiões interfluviais estão situadas entre os Rios Aracá e Padauri, Demini e Jufaris, e Cuiuni e Jurubaxi, além de outros campos que existem nas cabeceiras de vários igarapés desta região, especialmente na margem esquerda do Rio Negro. Estes campos interfluviais estão situadas em áreas topograficamente baixas e pobremente drenadas (Goulding *et al.*, 1988), que na seca ficam inundados ou pelo menos encharcados. Os padrões de produção neste habitat não são conhecidos, mas a entrada da matéria orgânica (folhas, frutas, sementes) da vegetação parece ser mais baixa do que no sistema de igapó (Forsberg, comunicação pessoal). Entretanto, a produção de algas perifíticas deveria ser maior nos campos interfluviais do que no sistema de igapó, devido à maior disponibilidade de luz penetrando a coluna de água nestas grandes áreas abertas.

Para os cardinais, o começo da enchente e a expansão do habitat aquático correspondem aos seus movimentos laterais para o igapó, nas margens dos igarapés e tributários menores do Rio Negro, e as migrações

longitudinais (Geisler & Annibal, 1986) que podem incluir deslocamentos até os campos nas regiões interfluviais. Nos igapós e campos, os cardinais podem espalhar-se, procurar-se refúgio, se reproduzir e se alimentar (Prang, 2002). Não existem estudos sobre os campos interfluviais ou as populações de peixes que utilizam estas áreas, mas acredita-se que estes campos, durante a época da cheia, servem como lugares de desenvolvimento para os filhotes de cardinal nascidos entre março e junho (Geisler & Annibal, 1986; Harris e Petry, 2001). Também, o isolamento sazonal dos campos cria distribuição descontinuada de habitats, o que pode aumentar a heterogeneidade genética das populações de peixes (Rosenqvist *et al.*, 2002). No caso dos cardinais, não é conhecido se existem sub-populações que ficam nestas áreas o ano inteiro ou se os peixes somente utilizam os campos durante a enchente e depois descem até as bocas dos igarapés durante a vazante.

De qualquer maneira, as migrações ou movimentos do cardinal estão diretamente relacionadas com a mudança no nível da água (Geisler & Annibal, 1986; Prang, 2002; observações pessoais). Independente da época ou habitat, os cardinais sempre são encontrados em biótopos sombreados de baixa profundidade de água (20-40 cm); de baixa ou nula correnteza; com a presença de plantas aquáticas (e.g. zaruzaru (*Cyperus ligularis*), jará (*Leopoldinia pulchra* Mart.) e arumã (*Ischnosiphon sp.*)) e muito folhiço (Geisler & Annibal, 1986; Prada-Pedreiros, 1992; observações pessoais). Não importa se o nível de água está subindo ou descendo, os cardinais, que normalmente se agrupam em cardumes, sempre acompanham estas mudanças procurando seu biótopo preferido onde este existe em cada época. Schwartz (1962) descreveu o cardinal como habitante de água rasa que muda de habitat em função de variações sazonais no nível da água.

Portanto os cardinais, como muitos outros peixes, parecem explorar a variação espacial e temporal na qualidade de habitats durante o período da

enchente, aproveitando os abrigos e alimentos disponíveis, nas fases iniciais de desenvolvimento dos juvenis (Junk, Bayley & Sparks, 1989; Bayley, 1973; Bayley, 1988; Welcomme, 1985). Durante a época chuvosa a variedade e a disponibilidade de alimento é mais abundante devido à maior acessibilidade à floresta alagada (Winemiller, 1993; Winemiller, 1998). Durante a época seca, os recursos alimentares se tornam menos abundantes devido a diminuição do ambiente aquático e a maioria dos peixes não se alimenta, ou come somente o suficiente para manter seu metabolismo básico (Lowe-McConnell, 1964, 1975; Welcomme, 1979; Junk & Welcomme, 1990).

Como mencionado anteriormente, existe pouco conhecimento sobre a maneira como o cardinal utiliza os recursos da floresta, e como este uso e a disponibilidade destes recursos variam durante seu ciclo de vida e durante o ciclo hidrológico. Para investigar os padrões de alimentação de um peixe, as análises de conteúdo estomacal podem mostrar o que foi ingerido a curto prazo, mas não necessariamente o que foi digerido e assimilado nos tecidos do peixe a longo prazo. Também, sempre tem uma parte do conteúdo estomacal que está em alto estado de decomposição e que não pode ser identificado. Assim, estes resíduos são classificados como “detrito”, que pode incluir pedaços de fungos, bactérias, protozoários e algas, ou também os restos de outro peixes (Goulding *et al.*, 1988).

Para complementar as análises de conteúdo estomacal, o uso de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio pode oferecer um meio alternativo e mais eficiente para investigar as relações tróficas entre as plantas e os animais em ecossistemas aquáticos, pois permite identificar diretamente a contribuição das diferentes fontes de energia (Peterson & Fry, 1987).

## Isótopos Estáveis

A metodologia se baseia na identificação de fontes autotróficas de carbono a partir da comparação da razão isotópica de carbono ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , expresso como ‰ em  $\delta^{13}\text{C}$ ) de consumidores e plantas, e na identificação dos níveis tróficos de organismos heterotróficos a partir da comparação da razão isotópica de nitrogênio ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ , expresso com ‰ de  $\delta^{15}\text{N}$ ) entre plantas e animais. As abundâncias naturais de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio nos consumidores refletem a assimilação ao invés da ingestão, e podem servir como traçadores de energia nos ecossistemas onde as fontes autotróficas potenciais possuem composições de isótopos distintas (Peterson & Fry, 1987).

A metodologia de isótopos estáveis tem sido amplamente utilizada em estudos de cadeia trófica na bacia Amazônica (Adis & Victoria, 2001; Araújo-Lima *et al.*, 1986; Benedito-Cecílio & Araújo-Lima, 2002; Benedito-Cecílio *et al.*, 2000; Forsberg *et al.*, 1993; Leite *et al.*, 2002; Padovani, 1994; Waichman, 1996; Yossa *et al.*, 1998). Nos ecossistemas aquáticos da várzea Amazônica, Forsberg *et al.* (1993) encontraram valores médios de  $\delta^{13}\text{C}$ : -33,3, -28,8, -27,6, -26,2, e -12,8‰ para fitoplâncton, as folhas das árvores e arbustos da floresta inundada, macrófitas aquáticas  $\text{C}_3$ , perifiton e as macrófitas  $\text{C}_4$  respectivamente. A variação isotópica entre estas plantas, que se deve a fatores físico-químicos e metabólicos, possibilitou o uso de isótopos estáveis para o estudo das cadeias tróficas nestes sistemas (Araújo-Lima *et al.*, 1986; Forsberg *et al.*, 1993; Fernandes, 1997; Padovani, 1992; Waichman, 1996).

A composição isotópica dos produtores primários é determinada pela composição isotópica da sua fonte de carbono, e também pela forma com que o  $\text{CO}_2$  atmosférico é fixado. Assim, no caso das plantas terrestres, a composição isotópica da principal fonte que controla o ciclo de carbono na

natureza, o  $\text{CO}_2$  atmosférico, é praticamente constante (-7,8 ‰) (O'Leary, 1981). Devido à uma diferente via bioquímica do processo de fotossíntese, as plantas  $\text{C}_3$  são mais empobrecidas em  $^{13}\text{C}$  do que as plantas  $\text{C}_4$ . Conseqüentemente, os tecidos de plantas  $\text{C}_3$ , como as árvores, possuem um valor médio de  $\delta^{13}\text{C} = -27\text{‰}$ , enquanto as plantas  $\text{C}_4$ , que são principalmente gramíneas, têm um valor médio de -12‰ (Farquhar *et al.*, 1989; Keeley & Sandquist, 1992; Martinelli *et al.*, 1991; Lajtha & Marshall, 1994).

As plantas aquáticas mostram maior variabilidade em seu conteúdo isotópico do que as plantas terrestres. Padrões de variação distintos existem para plantas aquáticas emergentes e submersas. As plantas emergentes mostram um padrão similar ao das plantas terrestres com a maior parte da variação associada ao tipo de fotossíntese ( $\text{C}_3$  ou  $\text{C}_4$ ). No caso das plantas aquáticas submersas, com exceção de poucas espécies que apresentam o sistema CAM (sigla em inglês para "Metabolismo do Ácido Crassuláceo"), a maioria é do tipo fitosintético  $\text{C}_3$  (Boutton, 1991). O valor isotópico destas plantas varia principalmente em função da razão de isótopos de  $\text{CO}_2$  dissolvidos na coluna de água. A razão de isótopos de  $\text{CO}_2$  na água é bastante variável, representando uma mistura de  $\text{CO}_2$  derivado da atmosfera e do carbonato dissolvido e da respiração e decomposição de diversos grupos de plantas e animais (Boutton, 1991; Finlay, 2001; Hecky & Hesslein, 1995; Keeley & Sandquist, 1992; Martinelli *et al.*, 1991). Estudos com isótopos realizados nos últimos vinte anos na várzea da Amazônia Central têm revelado aspectos importantes sobre o caminho da energia. As macrófitas, apesar de sua abundância nas águas brancas, são pouco assimiladas pelos herbívoros e detritívoros aquáticos (Araújo-Lima *et al.*, 1986; Forsberg *et al.*, 1993; Padovani, 1992). A maioria do carbono oriundo deste grupo de plantas é assimilado por bactérias, que emitem o carbono diretamente para a atmosfera na forma de  $\text{CO}_2$  (Waichman, 1996).

Por outro lado, os materiais vegetais derivados de plantas C3 (especialmente frutas e sementes de árvores e algas inteiras) foram identificados como sendo a principal fonte autotrófica de carbono para os peixes adultos (Araújo-Lima *et al.*, 1986; Forsberg *et al.*, 1993) e camarões (Padovani, 1992) na Amazônia Central.

No Rio Orinoco, na Venezuela, Hamilton *et al.* (1992) também demonstraram que algas são uma fonte importante de energia autotrófica para os consumidores nas planícies alagadas dominadas pelas plantas vasculares. Os isótopos estáveis de carbono e nitrogênio mostraram que as dietas da maioria dos peixes eram baseadas principalmente no fitoplâncton e nas algas perifíticas. Os autores sugeriram que a produção de algas nas planícies alagadas deve ser mais alta do que se estimava antes e que as algas poderiam ser uma melhor fonte de nutrição do que as outras plantas. Segundo Forsberg *et al.* (1993), as análises nutricionais das plantas nas planícies amazônicas mostraram que as algas são seletivamente ingeridas e assimiladas por uma grande variedade de peixes, devido à fácil digestibilidade e alto teor protéico, quando comparado com os outros grupos de plantas analisadas (folhas, frutos, e sementes da floresta inundada e as macrófitas (C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>)) dentro de um habitat aonde o carbono que vem das plantas vasculares é muito mais abundante no sistema.

Uma grande vantagem dos isótopos estáveis de carbono é que as composições de isótopos de matéria orgânica mudam relativamente pouco durante a decomposição, sendo possível determinar as fontes de energia para os consumidores (Fry & Sherr, 1984; Benner *et al.*, 1987), comparando o tecido muscular dos peixes com o tecido das plantas. Em geral, ocorre um pequeno enriquecimento de carbono dos animais em relação à dieta (na ordem de 1‰), por absorção e liberação preferencial de um dos isótopos, com a tendência de aumentar cumulativamente em <sup>13</sup>C

com aumento do nível trófico (DeNiro & Epstein, 1978; Fry & Sherr, 1984; Peterson & Fry, 1987; Post, 2002; Vander Zanden & Rasmussen, 2001).

A razão de isótopos estáveis do nitrogênio nos tecidos de um organismo pode indicar seu nível trófico com relação às plantas no início da sua cadeia trófica. Em geral, o animal apresenta valores de  $\delta^{15}\text{N}$  mais enriquecidos em  $^{15}\text{N}$  do que as plantas na base da sua cadeia, devido a incorporação seletiva do  $^{15}\text{N}$  sobre  $^{14}\text{N}$  nos tecidos animais (DeNiro & Epstein 1981, Minagawa & Wada 1984). Estudos isotópicos de várias cadeias tróficas têm mostrado um enriquecimento de 3-5‰ em  $\delta^{15}\text{N}$  entre níveis tróficos (DeNiro & Epstein, 1981; Minagawa & Wada 1984, Peterson & Fry, 1987; Vander Zanden & Rasmussen, 2001), com uma média de  $3,0 \pm 2,6\text{‰}$  (variação = -0,5 a 9,2‰). Entretanto, a utilidade de  $\delta^{15}\text{N}$  como indicador de nível trófico depende da variação isotópica entre plantas. Em sistemas onde esta variação é alta, o método pode produzir resultados confusos.

## 1.1 Objetivos e Hipóteses

### Objetivos:

- (1) Identificar as principais fontes autotróficas de carbono para o cardinal tetra (*Paracheirodon axelrodi*).
- (2) Investigar se as fontes autotróficas de carbono para o cardinal mudam entre habitats diferentes (igarapé, igapó, e campo interfluvial).
- (3) Investigar se as fontes autotróficas de carbono para o cardinal mudam entre a cheia e a seca.
- (4) Investigar mudanças na dieta dos cardinais com o tempo e o habitat.
- (5) Identificar o nível trófico do cardinal.

### Hipóteses nulas:

- (1) A principal fonte autotrófica para o cardinal é a floresta alagada.
- (2) Não há diferença nas fontes autotróficas de carbono para o cardinal entre habitats diferentes.
- (3) Não há diferença nas fontes autotróficas de carbono para o cardinal entre a cheia e a seca.
- (4) Não há variação na dieta do cardinal entre habitats.
- (5) Não há variação na dieta do cardinal entre a cheia e a seca.

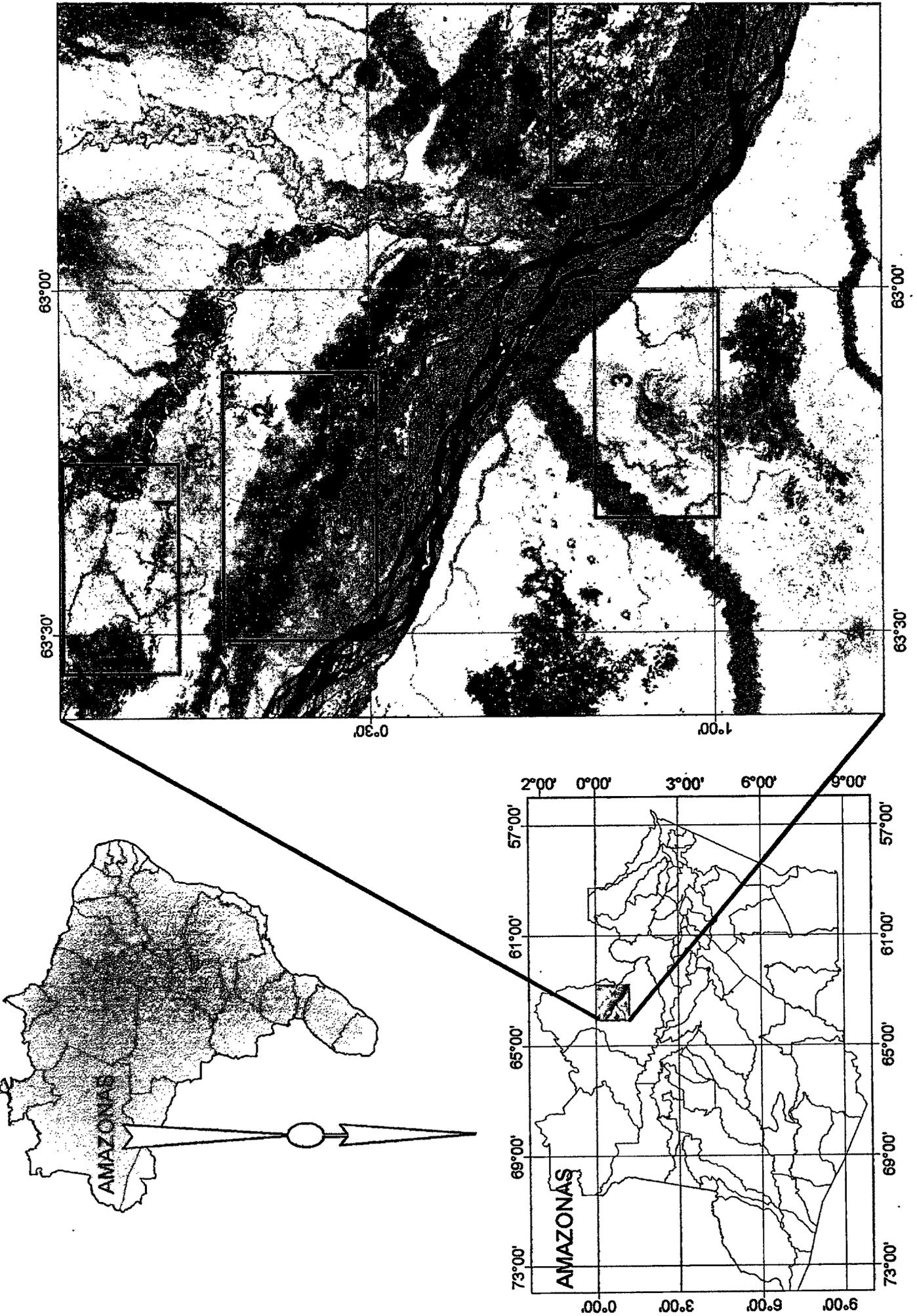
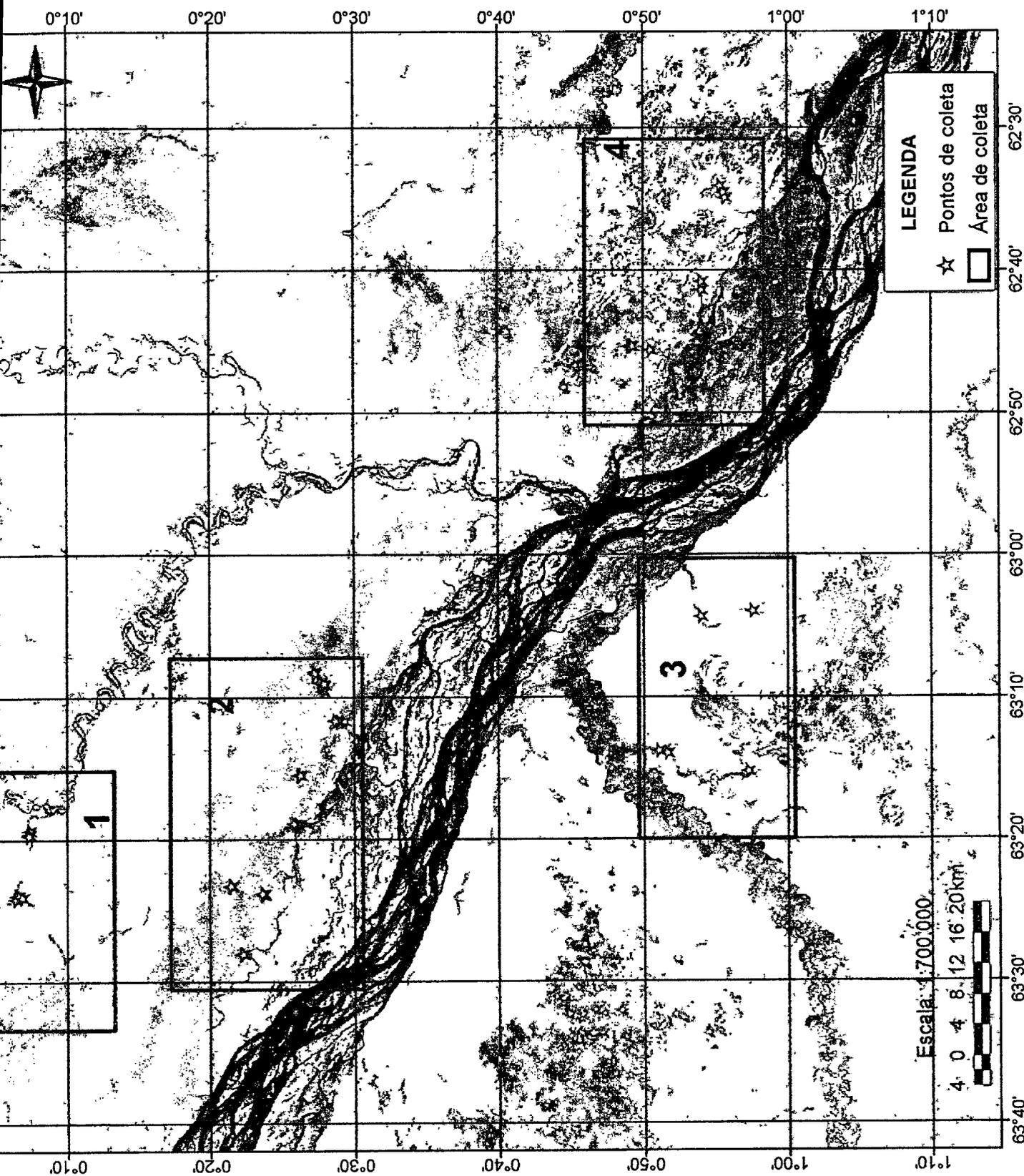


Figura 01 - Mapa geral da área de estudo



63°40' 63°30' 63°20' 63°10' 62°50' 62°40' 62°30'

Figura 02 - Mapa de localização das áreas de coleta

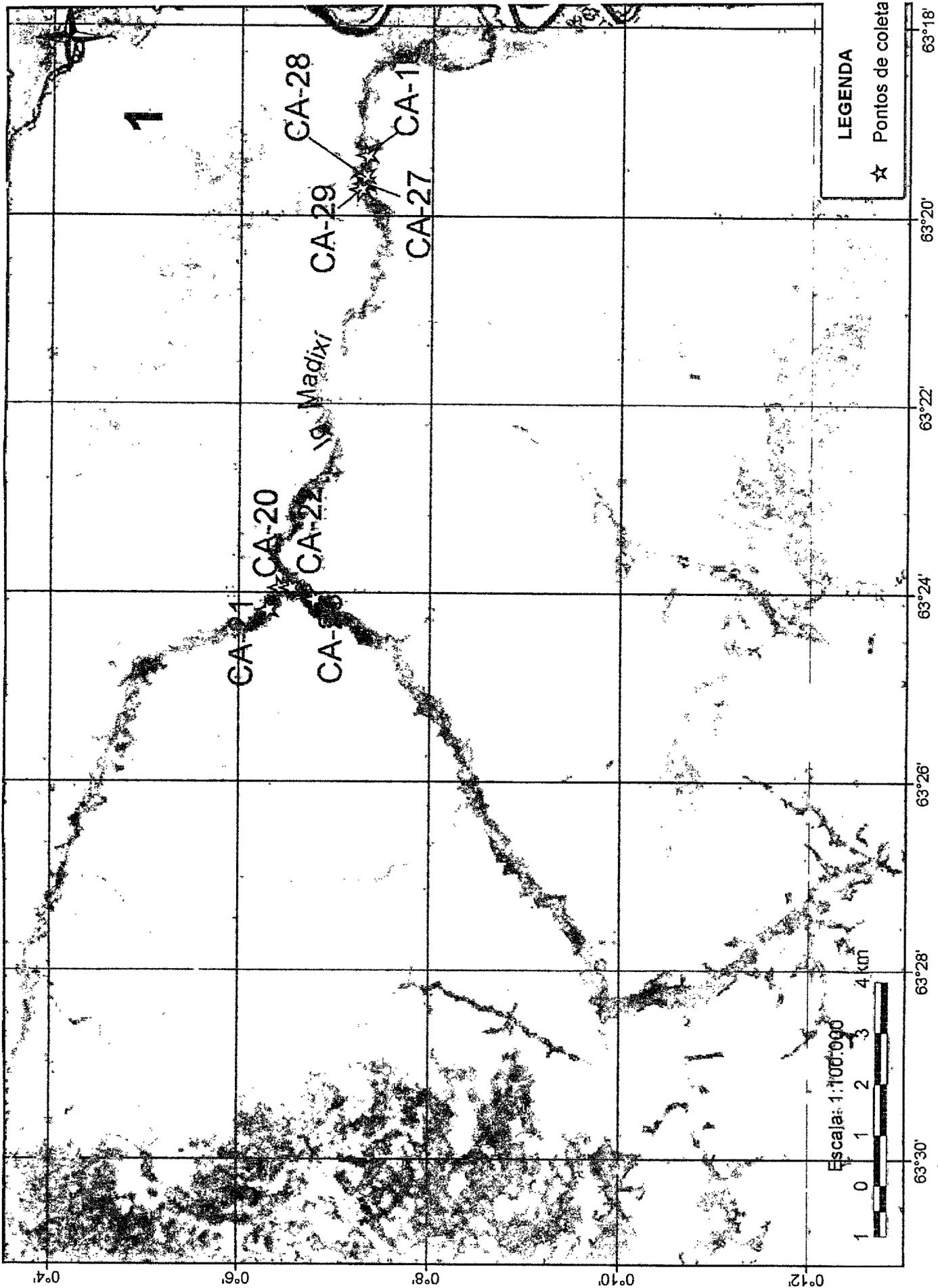


Figura 03 - Área de coleta 1 - pontos de coleta de cardinal no Ig. Madixi

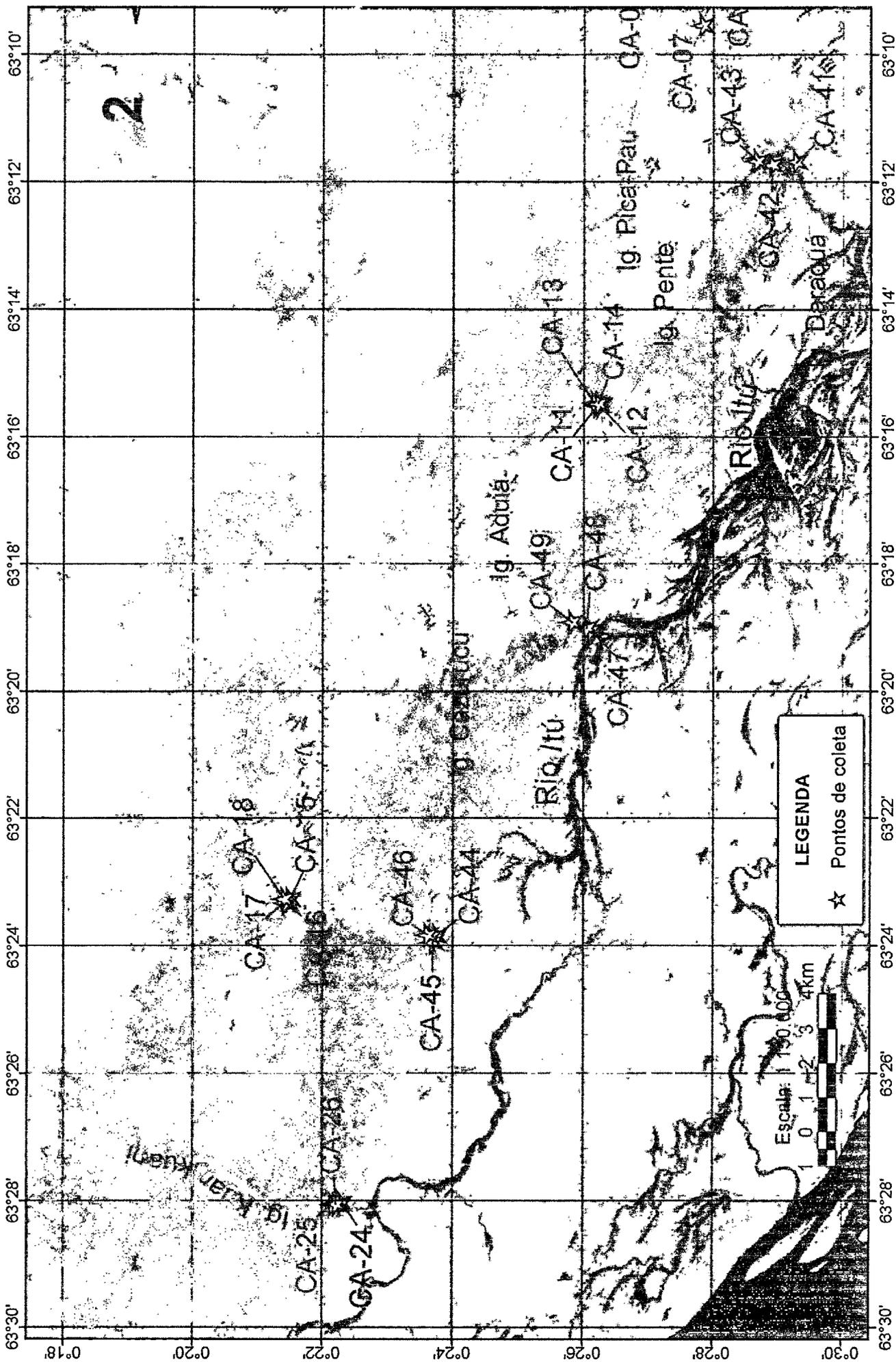


Figura 04 - Área de coleta 2 - pontos de coleta de cardinal nos igarapés do Rio Itú



Figura 05 - Área de coleta 3 - pontos de coleta de cardinal nos igarapés Baruri e Mamolé

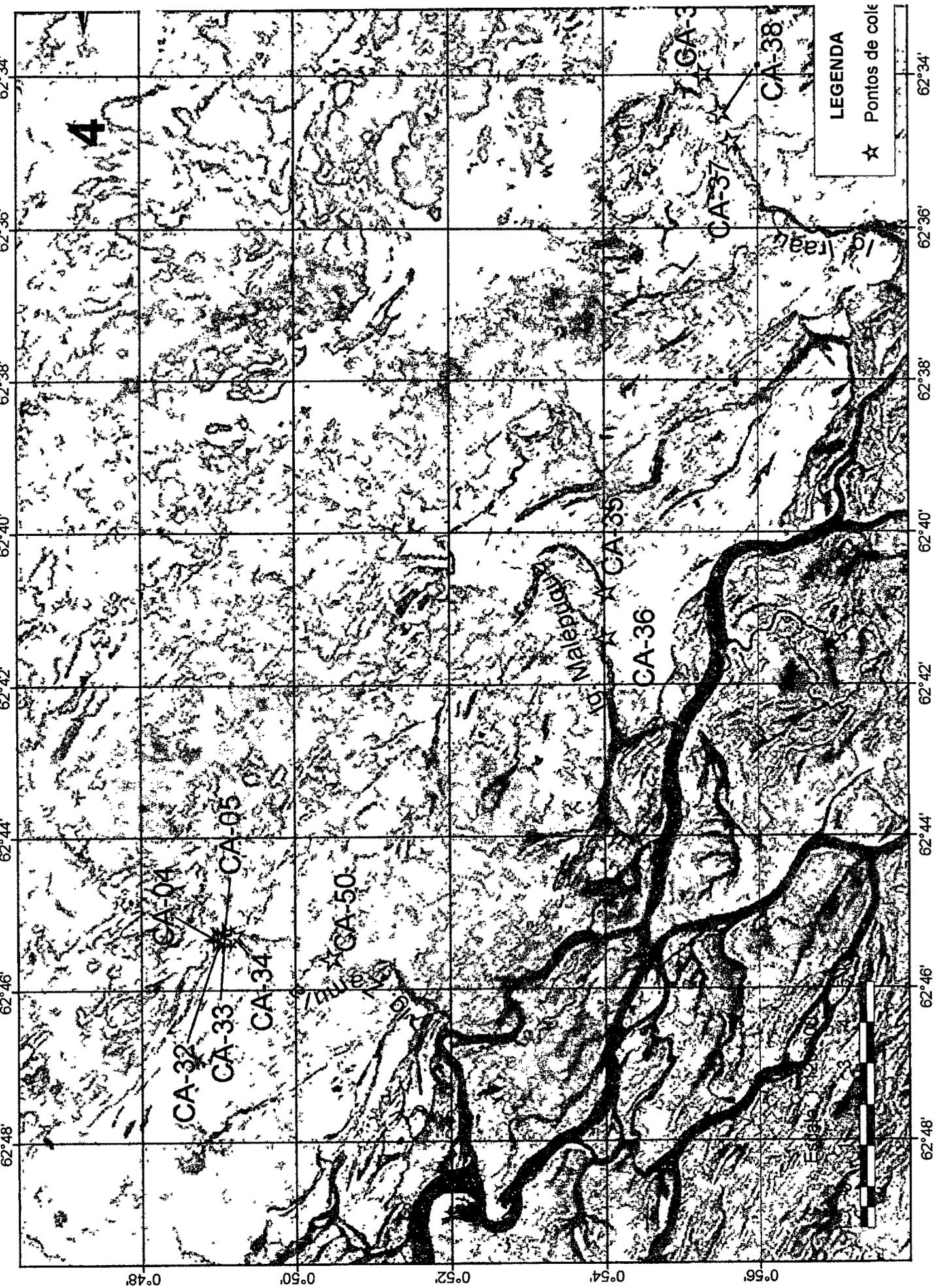


Figura 06 - Área de coleta de cardinal nos igarapés Zamula, Malepuque e Iraáçu

## 2. MATERIAS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

O Rio Negro é um sistema fluvial composto predominantemente pelas águas pretas e ácidas (Sioli, 1967). A cor preta da água é devido aos altos níveis de ácidos fúlvicos e húmicos derivados da decomposição da matéria orgânica e drenagem da água terrestre das extensas áreas de podzols hidromórficos que existem na bacia (Klinge, 1965). As afluentes e tributários do médio Rio Negro drenam solos pobres, portanto, suas águas possuem baixas concentrações de sais e minerais dissolvidos. O Rio Negro tem uma larga planície de inundação coberta por floresta sazonalmente alagada (igapó), que é uma floresta relativamente densa e sombreada. A área inundada varia em relação à cota do rio que sobe 6-8 metros em um ciclo monomodal (Forsberg *et al.*, 1998). Muitos tributários do Rio Negro atravessam esta planície nos seus trechos inferiores. Extensas áreas de campos alagados são encontradas nas regiões interfluviais entre alguns destes tributários. Estes campos são cobertos por vegetação arbórea e herbácea de baixa estrutura e são inundados sazonalmente em função predominantemente a variação regional de pluviosidade (a região recebe 2400-2700 mm de precipitação por ano (Walker *et al.*, 1995)). No período da cheia, o Rio Negro, seus igapós, os tributários e os campos interfluviais ficam interligados, permitindo o movimento de organismos entre estes habitats. No período da seca, a maior parte das florestas de igapó e os campos estão secos e isolados do sistema fluvial.

As coletas de peixes, perifiton e plantas foram feitas em quatro áreas separadas na bacia do médio Rio Negro (Fig. 1, Fig. 2). Estas quatro áreas foram escolhidas porque todas possuem uma região interfluvial nas cabeceiras dos igarapés, onde campos inundados se formam durante a época chuvosa.

Área de Coleta 1 - Igarapé Madixí, tributário do Rio Aracá, é um igarapé de água transparente que disponibiliza muita produção de herbáceas aquáticas e algas perifíticas, especialmente durante a cheia. O igarapé é drenado por uma região interfluvial muito grande, com áreas extensas de campo aberto nas cabeceiras (Fig. 3).

Área de Coleta 2 – Rio Itú possui vários igarapés de drenagem, e todos fazem conexão com uma região interfluvial enorme. Durante a cheia, os igarapés ficam alagados com áreas extensas de igapó nas margens e campos inundados nas cabeceiras que atingem acima de 5 metros de profundidade. No final da seca, a profundidade média no canal dos igarapés é reduzida a apenas 30-40 cm. As áreas de igapó secam quase completamente, e os campos, que provavelmente guardam um pouco de água, ficam inacessíveis por rota fluvial.

Nesta bacia, coletas foram feitas nos igarapés Kuanikuani, Cazurucu, Aduá, Pente, Daraquá e Pica-Pau (Fig. 4).

Área de Coleta 3 – Esta área consiste dos igarapés Barurí e Mamolé que drenam uma grande região interfluvial (Fig. 5). O Barurí e o Mamolé são igarapés de terra firme com muita correnteza, que possuem poucas áreas de igapó nas margens, mas são alargados em campos numerosos e profundos nas cabeceiras. Durante a seca, a maior parte das florestas de igapó seca, mas os campos ficam alagados com acesso interligando aos igarapés.

Área de Coleta 4 – Coletas nesta área foram feitas nos igarapés Zamula, Iraaú e Malepuque (Fig. 6). O Zamula é um igarapé com muito material orgânico em decomposição no canal do igarapé, grandes áreas de igapó nas margens do igarapé durante a cheia e formação de campos estreitos e profundos nas cabeceiras.

As coletas no Igarapé Iraaú somente foram feitas no final da seca quando o nível da água estava muito baixo e a água era transparente. Os cardinais coletados foram encontrados na beira do igarapé em colunas de água 20-30 cm, no meio de muito folhicho.

O Malepuque é um igarapé que possui um canal bem definido, com pouco material orgânico grosso em decomposição. As coletas somente foram feitas na seca quando a água era transparente, o nível da água estava muito baixo, e os cardinais foram capturados no meio do igarapé em 30 cm de profundidade.

## **2.2 Métodos no Campo**

### **2.2.1 Captura dos peixes**

As coletas de cardinais foram feitas entre junho de 2003 e março de 2004 (autorização do IBAMA Nº 025/2003 e a prorrogação Nº 005/2004). Os cardinais foram encontrados em habitats distintos (igarapé, igapó, e região interfluvial), dependendo da época do ano. Especificamente, seis coletas foram feitas durante três períodos:

(1) durante a cheia

- no começo de junho
- no fim de julho

(2) começo para o meio da vazante

- no começo de setembro
- no começo de outubro
- no meio de novembro

(3) final da seca

- no começo de março

Os peixes foram coletados usando rapichés (dip-nets; armadilhas feitas de nylon e fibra, em formato horizontal e usado manualmente) nos igarapés na seca, e cacurís (armadilhas feitas de nylon e fibra, em formato vertical e fixadas na água) nos igapós e nos campos das regiões interfluviais na cheia.

Para as análises de isótopos estáveis, foi necessário coletar um mínimo de 10 peixes para cada amostra. Depois, os peixes foram congelados e transportados para o laboratório no INPA.

Para as análises estomacais, 10 peixes para cada amostra foram coletados e os peixes foram preservados no campo usando álcool e foram transportados para ser analisados no Laboratório de Ecossistemas Aquáticas no INPA.

### **2.2.2 Coleta dos grupos de plantas e algas**

As amostras de folhas das árvores e arbustos do igapó foram coletadas por aluno de doutorado no INPA Mario Thomé-Souza, no médio Rio Negro durante todas as estações do ano.

As amostras de folhas das árvores e arbustos e das herbáceas aquáticas dos campos interfluviais foram coletadas durante a cheia e o começo da vazante.

Todas as amostras de folhas e herbáceas foram coletadas manualmente e armazenadas separadamente. Uma parte das amostras, depois de ter sido retirado material suficiente para as análises de isótopos, foi levada para a identificação no herbário do INPA.

As algas perifíticas foram coletadas manualmente e separadas dos demais detritos e substratos. As amostras do perifiton foram congeladas no campo e transportadas para o laboratório no INPA para serem processadas.

## 2.3 Métodos no Laboratório

Amostras de plantas e algas perifíticas foram lavadas com água de torneira; em seguida lavadas em uma solução de 1 mol/L HCl, enxaguadas com água deionizada, e depois secas em estufa a 60°C. Depois da secagem o material foi macerado em cadinho de porcelana até se obter um fino pó. Para os peixes, somente o músculo da região lombar de cada peixe foi retirado, depois secado na estufa, e processado como descrito (Forsberg *et al.*, 1993). Em seguida, as amostras foram acondicionadas em frascos de vidro para análises posteriores dos isótopos estáveis.

### 2.3.1 Análises de Isótopos Estáveis

Para o processamento das análises isotópicas, as amostras foram enviadas para o Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) em Piracicaba, SP. Para cada análise, 10 mg de amostra é queimada a 550°C por 3 horas juntamente com óxido de cobre (CuO) num recipiente fechado. O CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub> liberado neste processo é purificado e concentrado numa linha criogênica sob vácuo. Depois, o CO<sub>2</sub> é analisado para δ<sup>13</sup>C, e o N<sub>2</sub> é analisado para δ<sup>15</sup>N em um espectrômetro de massa (Finnegan Mat, Bremen, Alemanha). Um padrão secundário calibrado ao PDB limestone é utilizado para calibrar o carbono, e para o nitrogênio, o N<sub>2</sub> atmosférico (Forsberg *et al.*, 1993).

Os resultados foram calculados pelas equações:

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \frac{[(^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{amostra}}) - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{PDB}})]}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{PDB}})} \times 1000$$

$$\delta^{15}\text{N}(\text{‰}) = \frac{[(^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{amostra}}) - (^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{PDB}})]}{(^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{PDB}})} \times 1000$$

Todas as amostras foram analisadas em triplicatas e a precisão das análises é de 0.3‰ para carbono e 0.5 ‰ para nitrogênio (Forsberg *et al.*, 1993).

### **2.3.2 Análise do Conteúdo Estomacal do Cardinal**

No laboratório, os estômagos dos peixes foram retirados por meio de um corte ventral e longitudinal. O estômago do cardinal é relativamente grande e volumoso, em comparação ao intestino, que é relativamente estreito e curto. Somente os estômagos dos peixes foram analisados e não os intestinos, pois o conteúdo do intestino geralmente estava muito digerido. Os conteúdos dos estômagos foram analisados utilizando-se um microscópio binocular de aumento 8-30x, para separar os conteúdos dos estômagos em categorias funcionais (por ex., micro-crustáceos, larvas, mesofauna, algas), com o método de presença/ausência de cada categoria funcional sendo aplicada para fazer as análises.

A identificação do conteúdo estomacal incluiu fragmentos reconhecíveis das presas e plantas encontradas. O conteúdo foi classificado em “detrito animal” quando não houve condições para identificar os fragmentos que tinham a aparência de tecidos musculares, membranosos, e protéicos. “detrito vegetal” incluiu os fragmentos de fibras de plantas, pedaços de epiderme de madeira, e algas em decomposição.

O conteúdo estomacal de cada amostra (10 peixes) foi analisado utilizando a índice de frequência das categorias funcionais.

### **2.4 Análise de Dados**

Na identificação das principais fontes autotróficas de carbono do cardinal, um “two-end mixing model” foi utilizado para determinar a porcentagem de carbono de cada ‘end-member’ (fonte autotrófica) que o

cardinal recebeu durante as coletas, por meio dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dos cardinais e das plantas.

Para investigar se as fontes autotróficas de carbono do cardinal mudaram entre os habitats (igarapé, igapó, e campo), e ao longo do ano, uma ANOVA foi utilizada por meio do GLM (General Linear Model) no programa SYSTAT.

Dissimilaridades em dieta entre as coletas foram resumidas utilizando o método de HMDS (Hybrid Multidimensional Scaling), que é uma variação híbrida do MDS (Multidimensional Scaling), implementado do PATN (Pattern Analysis Package) (Belbin, 1992). No método do HMDS, a 'metric multidimensional scaling' é aplicada para a região onde se presume que exista uma relação linear entre as distâncias (dissimilaridades) do input e do output, e a 'non-metric multidimensional scaling' é aplicada acima desta região. As dissimilaridades dos itens alimentares entre as coletas foram calculadas pelo índice Bray-Curtis. As ordenações foram feitas somente em duas dimensões, devido à insuficiência de replicação para fazer os testes inferênciados com mais que dois eixos.

Para determinar a variação entre os dois eixos do HMDS em relação aos habitats e ao tempo, uma ANOVA foi utilizada por meio do GLM (General Linear Model) no programa SYSTAT.

Para determinar a importância relativa das algas como fonte de carbono para o cardinal, utilizou-se o modelo de mistura com duas fontes ("two end-member mixing model"), Martinelli, 1986; Forsberg *et al.*, (1993). Agrupou-se as folhas do igapó e as folhas do campo para construir um "end-member" e o outro membro foi constituído pelo perifiton:

$$\% \text{ perifiton} = 1 - \frac{\delta^{13}\text{C}_{\text{cardinal}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{perifiton}}}{\delta^{13}\text{C}_{\text{folha}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{perifiton}}} \times 1000$$

onde:

- $\delta^{13}\text{C}_{\text{folha}}$  é o valor médio de  $\delta^{13}\text{C}$  das folhas do igapó e as folhas do campo (as herbáceas aquáticas não foram incluídas para construir o “end-member” devido a grande variação em seus valores)
- $\delta^{13}\text{C}_{\text{perifiton}}$  é o valor médio de  $\delta^{13}\text{C}$  do perifiton
- $\delta^{13}\text{C}_{(\text{cardinal})}$  é o valor médio de  $\delta^{13}\text{C}$  dos cardinais, e
- % perifiton é a porcentagem do carbono do peixe derivado do perifiton.

Para identificar o nível trófico do cardinal, a média dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  das plantas foi comparada com a média dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  dos cardinais, considerando um enriquecimento de 3.0 ‰ por nível trófico. Para investigar se o nível trófico dos cardinais mudava ao longo do ano e entre habitats, uma ANOVA foi utilizada por meio do GLM (General Linear Model) no programa SYSTAT.

O nível de significância adotado para testes estatísticos foi  $\alpha = 0.05$ , mas as probabilidades calculadas geralmente foram apresentadas.

Resultados descritivos foram apresentados como média e erro padrão, e no caso dos itens alimentares encontrados através das análises de conteúdo estomacal dos cardinais, informações descritivas foram incluídas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Valores de $\delta^{13}\text{C}$

Os valores médios e desvios padrão do  $\delta^{13}\text{C}$  do perifiton, folhas de floresta inundada (igapó), folhas de plantas dos campos nas regiões

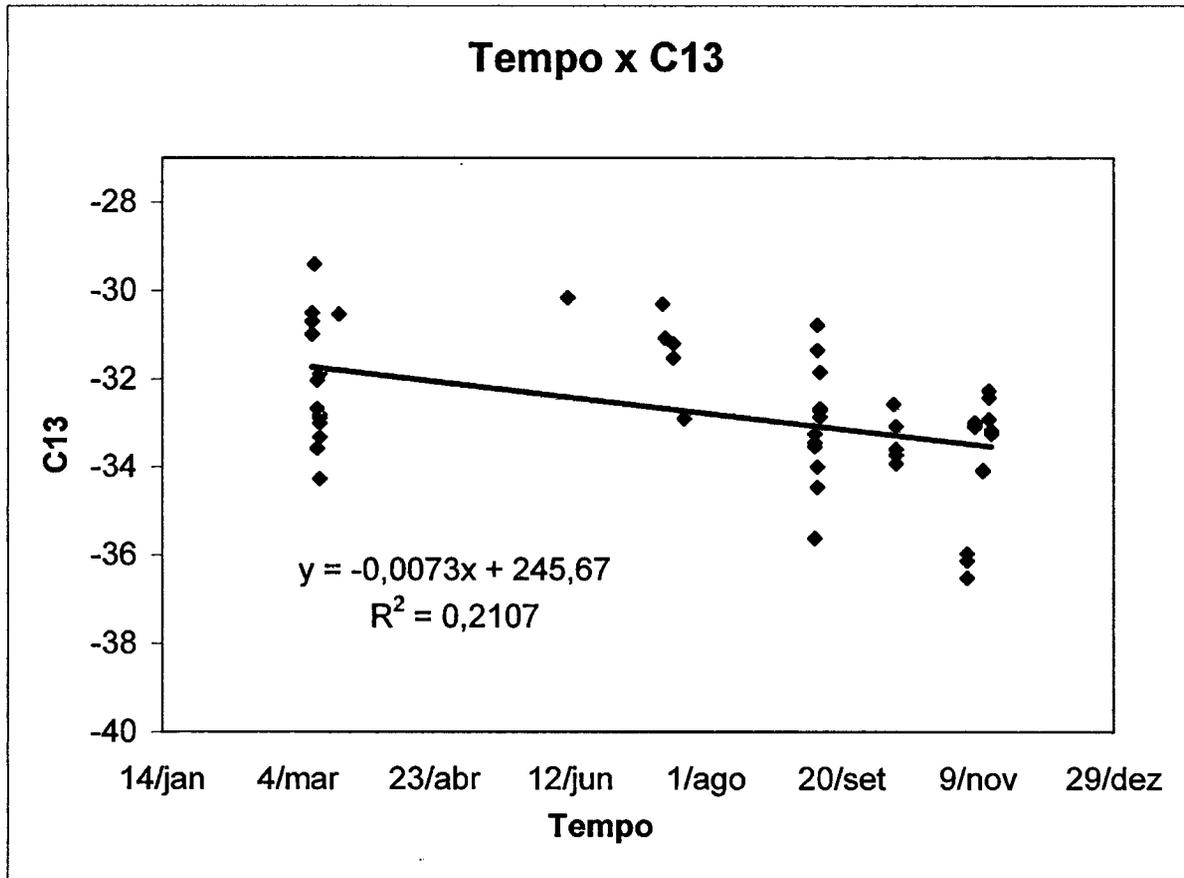
interfluviais, e as plantas herbáceas aquáticas foram  $-38,73 \pm 3,17 \text{ ‰}$ ,  $-30,42 \pm 1,67 \text{ ‰}$ ,  $-31,06 \pm 1,95 \text{ ‰}$  e  $-36,22 \pm 4,89 \text{ ‰}$ , respectivamente (Tabela 1).

O valor de  $\delta^{13}\text{C}$  do cardinal variou entre  $-36,52$  a  $-29,40 \text{ ‰}$ , com média e desvio padrão de  $-32,78 \pm 1,55 \text{ ‰}$  (Tabela 1). Se discriminarmos os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  por habitat, o valor médio de  $\delta^{13}\text{C}$  nos igarapés foi  $-32,82 \pm 1,74 \text{ ‰}$ ,  $-32,94 \pm 0,80 \text{ ‰}$  no igapó e  $-32,60 \pm 1,69 \text{ ‰}$  no campo. Não houve uma diferença significativa entre os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dos cardinais nos diferentes habitats mas houve uma diferença significativa para os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dos cardinais em relação a tempo (ANOVA,  $F = 11,482$ ,  $P = 0,001$ ) (Fig. 7).

**Tabela 1.** Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) das plantas e dos cardinais.

N = número de amostras, SD = desvio padrão, Mín = valor mínimo, Máx = valor máximo.

Plantas	N	Média	SD	Mín	Máx
Perifiton	12	-38,73	3,17	-43,11	-34,03
Folha do igapó	35	-30,42	1,67	-33,43	-26,35
Folha do campo	8	-31,06	1,95	-32,79	-28,74
Herbáceas Aquáticas	4	-36,22	4,89	-40,38	-29,35
<b>Cardinal</b>	<b>50</b>	<b>-32,78</b>	<b>1,55</b>	<b>-36,52</b>	<b>-29,40</b>



**Fig. 7.** Relação entre tempo e os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de todas as coletas de cardinal.

Na aplicação do modelo de mistura com duas fontes (“two end-member mixing model”), aonde uma fonte era as folhas e a outra era o perifiton, o valor médio de  $\delta^{13}\text{C}$  dos cardinais foi determinado através das análises isotópicas e com a aplicação de um fracionamento trófico de 1‰ para cada nível trófico acima dos produtores primários (Fry & Sherr, 1984). A correção por nível trófico dos cardinais foi baseada nas análises de conteúdo estomacal (Walker, 2004; esta pesquisa) e os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  dos cardinais (esta pesquisa). Herbívoros e detritívoros que consomem principalmente matéria orgânica são considerados um nível trófico acima das plantas (Forsberg *et al.*, 1993). Visto que o cardinal é um onívoro que come principalmente micro-crustáceos e larvas de insetos, assim como algas filamentosas e diatomas bênticas e epifíticas, o nível trófico do cardinal seria pelo menos 1,5 níveis acima das plantas.

A contribuição média do perifiton durante o ano para os cardinais foi de 28,40 %, com consideração de um fracionamento trófico de 1,5‰. Este resultado indica que, em média, a floresta foi a principal fonte de carbono para os cardinais. Embora, de menor importância, a contribuição de perifiton para o carbono do cardinal variou sazonalmente, aumentando consistentemente durante o ano entre março e novembro. Em março, o valor médio foi 19,49 %, e em novembro o valor médio foi 41,16 %.

### 3.2 Valores de $\delta^{15}\text{N}$

Os valores médios e desvio padrões de  $\delta^{15}\text{N}$  dos cardinais, perifiton, folhas de floresta inundada (igapó), folhas de plantas dos campos, e as plantas herbáceas aquáticas foram  $8,65 \pm 0,81$  ‰,  $4,02 \pm 2,28$  ‰,  $2,49 \pm 2,12$  ‰,  $4,49 \pm 3,52$  ‰, e  $7,22 \pm 3,10$  ‰, respectivamente (Tabela 2).

Não houve uma diferença significativa entre os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  dos cardinais em relação a tempo ou entre habitats quando todos os dados foram analisados juntos (ANOVA). Porém, quando os dados do igapó

foram analisados separadamente, um efeito significativo de tempo foi encontrado (teste de regressão linear,  $F = 15,733$ ,  $P = 0,003$ ). Estes resultados sugerem que o nível trófico dos cardinais variava com tempo somente no igapó.

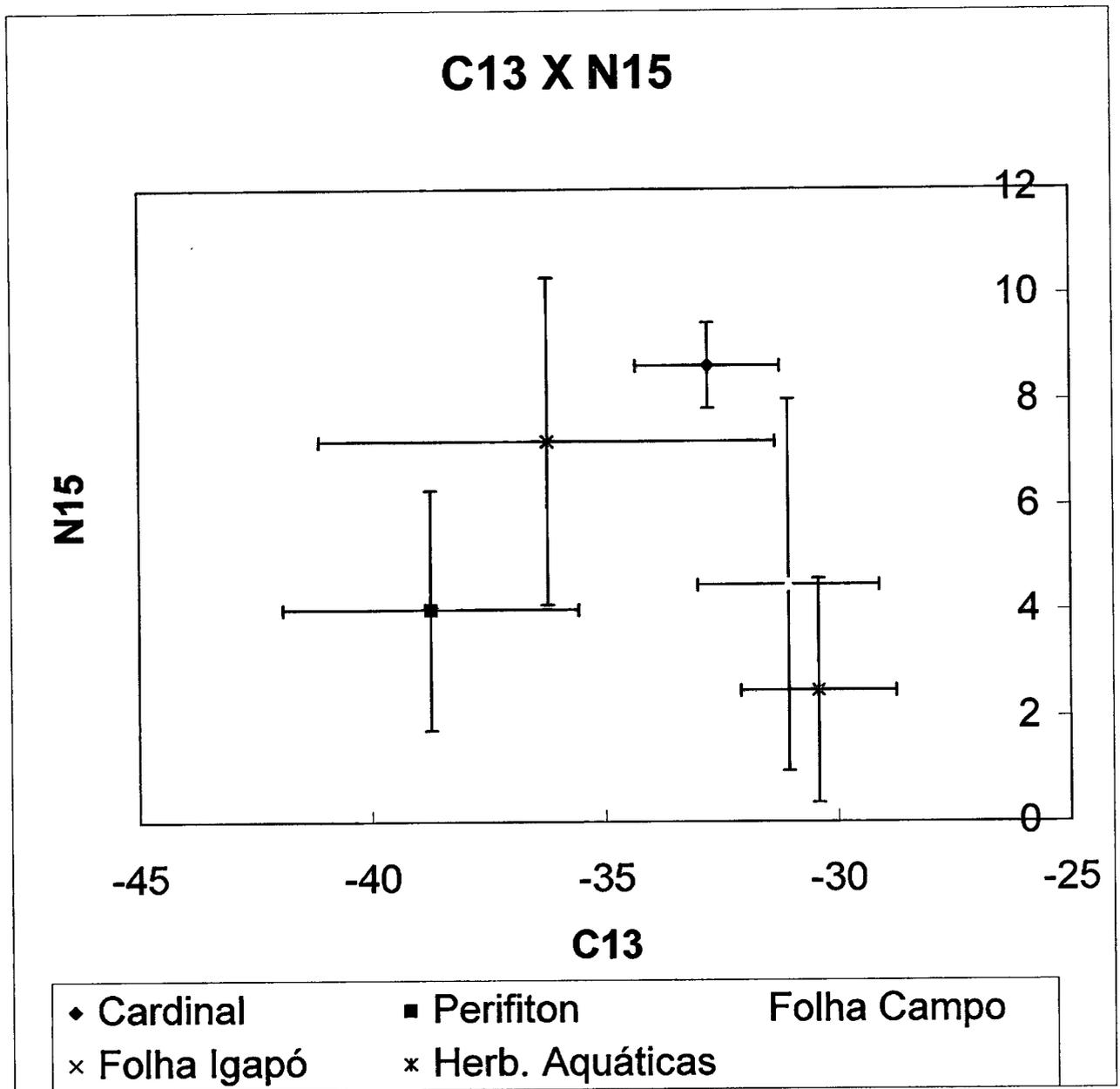
Devido a grande variação nos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  das plantas, o nível trófico exato dos cardinais em relação aos produtores primários foi difícil de ser estabelecido. Entretanto, a variação dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  dos cardinais foi pequena. A variação isotópica das plantas pode ser reduzida utilizando um valor médio dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de todas as plantas (4,55 ‰). Considerando um fracionamento trófico de 3,0 ‰ (DeNiro e Epstein, 1981; Minagawa e Wada, 1984), o posicionamento trófico do cardinal seria ~1,5 níveis tróficos acima das plantas.

Quando mostrados os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  de todas as plantas e animais juntos (Fig. 8), é possível concluir que o cardinal recebe a maior parte da sua energia da floresta e se alimenta em um nível perto da base da rede alimentar.

**Tabela 2.** Valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) das plantas e dos cardinais.

N = número de amostras, SD = desvio padrão, Mín = valor mínimo, Máx = valor máximo.

<b>Plantas</b>	<b>N</b>	<b>Média</b>	<b>SD</b>	<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
Perifiton	12	4,02	2,28	-1,58	6,66
Folha do igapó	35	2,49	2,12	-1,4	6,03
Folha do campo	10	4,49	3,52	-2,12	6,95
Herbáceas Aquáticas	4	7,22	3,10	2,86	10,16
<b>Cardinal</b>	<b>50</b>	<b>8,65</b>	<b>0,81</b>	<b>7,48</b>	<b>10,85</b>



**Fig. 8.** Relação entre os valores médios e os desvios padrões de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  dos cardinais e das plantas.

### **3.3 Análises de Conteúdo Estomacal**

#### **3.3.1 Análises Descritivas**

As frequências de ocorrência dos itens alimentares encontrados no conteúdo estomacal das amostras de cardinal são apresentadas na Tabela 3.

A tabela foi estruturada desta maneira devido a predominância de microcrustáceos, larvas de Diptera, mesofauna e algas encontrados nos estômagos.

As categorias funcionais incluíram:

##### **Microcrustáceos:**

A grande maioria encontrada foi de Cladocera da família Daphnidae, subfamília Moininae (31%). Dos Copepodas, a ordem Calanoida foi encontrada em maior quantidade do que a ordem Cyclopoida. Dos outros Microcrustáceos, foi encontrado uma mistura de indivíduos das subclasses Branchiopoda (da ordem Diplostraca, subordem Conchostraca), Ostracoda, Branchiura, e Malostraca (da ordem Amphipoda).

##### **Larvas Diptera:**

Predominantemente larvas de quironomídeos foram encontradas, mas também larvas das famílias Tanyderidae e Ceratopogonidae foram observadas nos estômagos.

##### **Outras Larvas:**

Pequenas larvas de Coleoptera (principalmente da família Psephenidae) e Ephemeroptera foram encontradas, junto com algumas pós-larvas de Plecoptera (Peltoperlidae) e Hoptera (Naucoridae).

**Outros Insetos:**

Adultos Diptera (mosquito – Culicidae) e pequenas aranhas e formigas foram encontrados, o último tipo demonstrando que insetos terrestres que caem na água também são capturados pelos cardinais.

**Outras presas:**

Esta categoria inclui alguns indivíduos de Oligochaetes e Oribatidae, um camarão pequeno, e escamas de peixe; o último demonstrando que os cardinais se alimentam também dos peixes mortos.

**Mesofauna:**

Relativamente grandes frequências de Thecamoebae (especialmente Arcellidae, também Nebeliidae) e Rotifera (34%).

**Ovos:**

Foram encontrados poucos ovos, porém a maioria parecia de origem invertebrada, provavelmente dos microcrustáceos. Também, uns ovos de peixe foram encontrados.

**Algas:**

As colônias de diatomas unicelulares (principalmente Tabellaria, mas também Navicularia, Fragilaria, Synedra e Pinnularia) foram encontradas. As outras algas foram difíceis de identificar, mas provavelmente algas verdes unicelulares como Characium e Ankistrodesmus, e algas azul-verde como Spyrogyra foram reconhecidas. As algas filamentosas como Nodularia e Tribonema (Xanthophyceae) foram encontradas e as vezes em grandes quantidades.

Outras algas filamentosas encontradas foram:

- Microspora e Bulbochaete (Chlorophyceae)
- Lemanea (Rhodophyceae)
- Oscillatoria, Lyngbya, Phormidium (Myxophyceae)
- Anabaena, Aphanizomenon e Gloeotrichia (Myxophyceae)

**Detritos:**

A maioria dos detritos encontrados foi de origem animal (49%), e a presença de fibras musculares e outros tecidos protéicos que obviamente foram fragmentos de organismos, foi observada com muita regularidade. Algumas vezes, não foi possível se identificar nada, pois tudo dentro do estômago estava em alto estado de decomposição.

Em menor parte, detritos vegetais foram encontrados (17 %), incluindo pedaços de material orgânico, fungos em decomposição e pedaços de frutas.

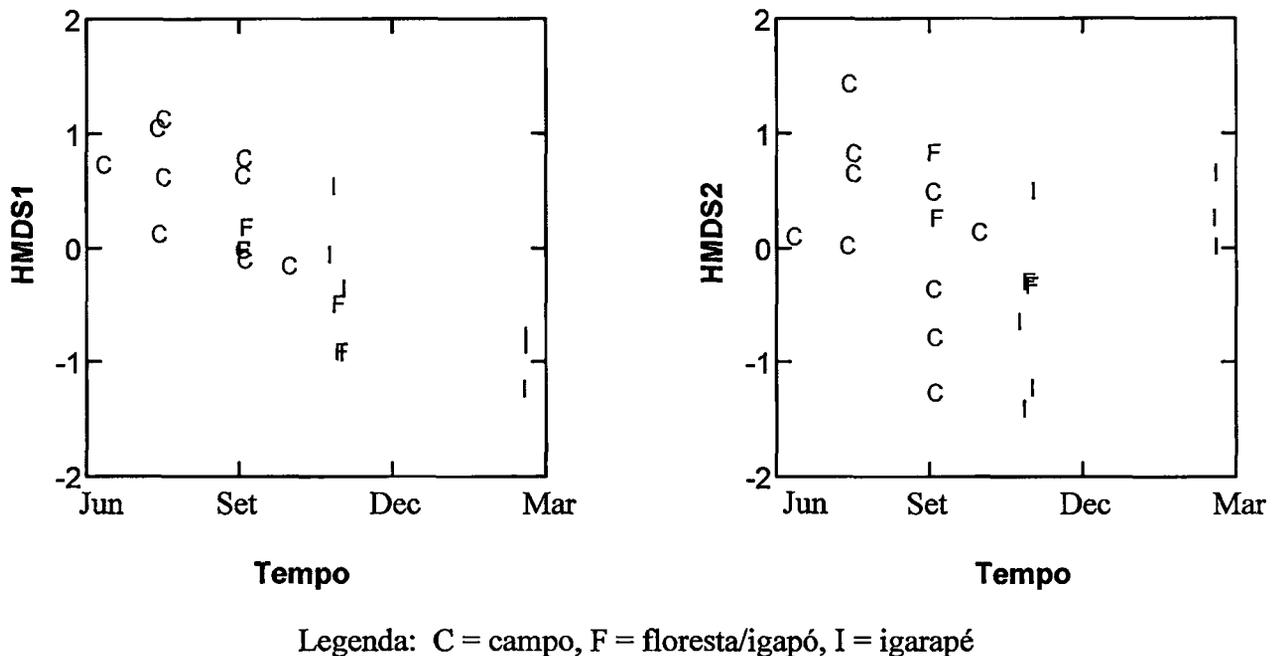
**Tabela 3.** Médias das freqüências dos itens alimentares encontrados no conteúdo estomacal das coletas de cardinal.

Col.	Data	H	# n	Cl	Cop	Outr mc	Quir	Outr Dip larv	Outr larv	Outr Ins	Outr Pres	Meso	Ovo	Al	Det ani	Det veg	
CA-1	12/jun	C	9	.2	0	.11	.33	.22	.11	.11	0	.33	0	.22	.44	.22	
CA-2	16/jul	C	10	.1	0	0	.5	0	0	.1	0	.5	0	.3	.3	.1	
CA-3	17/jul	C	9	.33	0	0	0	.11	.11	0	0	1	0	.44	.22	0	
CA-4	21/jul	C	10	.8	.4	.1	.4	.1	0	.4	0	.4	0	0	.2	0	
CA-5	21/jul	C	9	.78	.22	0	.33	.11	0	.11	0	.67	0	.33	.44	.33	
CA-7	10/set	C	9	.44	0	.11	.56	.11	0	0	0	.22	0	.11	.89	.56	
CA-8	10/set	C	10	.7	0	.2	.3	.2	.1	0	.4	.4	.2	.6	.4	.4	
CA-9	10/set	I	10	.7	.5	.3	.6	.2	0	.2	.3	.9	.1	.8	.3	.2	
CA-11	11/set	C	9	0	.11	0	.67	0	.11	0	.11	.22	.11	.11	.44	0	
CA-14	11/set	C	10	0	0	0	.5	0	0	0	.4	0	0	0	.6	0	
CA-15	12/set	I	9	.56	0	.22	.67	0	0	.11	.22	.22	0	.78	.33	.22	
CA-20	10/out	C	9	.44	.22	.56	.56	0	.22	0	.33	.11	0	.56	.33	.33	
CA-24	5/nov	Ig	10	0	.1	0	.6	0	0	0	.5	.1	0	.3	.4	.4	
CA-28	08/nov	Ig	10	0	0	.1	.2	0	0	.2	0	0	0	.1	.7	0	
CA-30	11/nov	I	10	.33	0	.3	.2	0	0	0	.3	.4	0	.1	.2	0	
CA-33	12/nov	I	10	.1	0	0	.1	0	0	0	.5	.1	0	.8	.7	.4	
CA-34	13/nov	Ig	9	0	0	0	0	0	.11	0	.44	.11	.11	0	1	0	
CA-35	14/nov	Ig	10	.5	0	.1	.3	0	.1	.1	.4	.6	.1	.9	.5	0	
CA-43	11/mar	Ig	10	.2	0	.1	0	0	.4	0	.2	.1	0	1	.6	0	
CA-45	12/mar	Ig	9	.44	.44	.89	0	0	0	0	.33	.33	0	.67	.56	.11	
CA-47	12/mar	Ig	11	.18	.27	.36	0	0	0	.09	.54	.18	.09	.45	.73	.36	
Total:		202		peixes													
Médias em Freq:																	
				.31	.1	.16	.32	.05	.06	.07	.22	.34	.03	.41	.49	.17	

<b>Legenda:</b>	<b>CA</b>	- Coletas
	<b>H</b>	- Habitat
	<b>#n</b>	- # de peixes por coleta
	<b>Cl</b>	- Cladocera
	<b>Cop</b>	- Copepoda
	<b>Outr mc</b>	- Outros microcrustáceos
	<b>Quir</b>	- Quironomídeos
	<b>Outr Dip larv</b>	- Outras Diptera larvas
	<b>Outr larv</b>	- Outras larvas
	<b>Outr Ins</b>	- Outros insetos
	<b>Outr Pres</b>	- Outras presas
	<b>Meso</b>	- Mesofauna
	<b>Ovo</b>	- Ovos
	<b>Al</b>	- Algas
	<b>Det ani</b>	- Detrito animal
	<b>Det veg</b>	- Detrito vegetal

### 3.3.2 Análises Estatísticas

A ordenação das coletas em relação a dieta, feita em dois eixos do HMDS, explicou ~74% da variação na matriz de associação ( $r^2 = 0,74$ ). Houve uma mudança gradual na composição de itens alimentares em relação ao tempo, que se tornou mais forte começando em junho durante o pico da cheia (Fig. 9). Os deslocamentos dos cardinais entre diferentes habitats durante o ano foram acompanhados por mudanças significativas na dieta. A composição da dieta do cardinal foi significativamente diferente entre coletas em relação a tempo (MANOVA, Pillai-Trace = 0,448,  $P = 0,016$ ), habitat (MANOVA, Pillai-Trace = 0,618,  $P = 0,022$ ), e a interação entre tempo e habitat (MANOVA, Wilks-Lambda = 0,495,  $P = 0,037$ ).

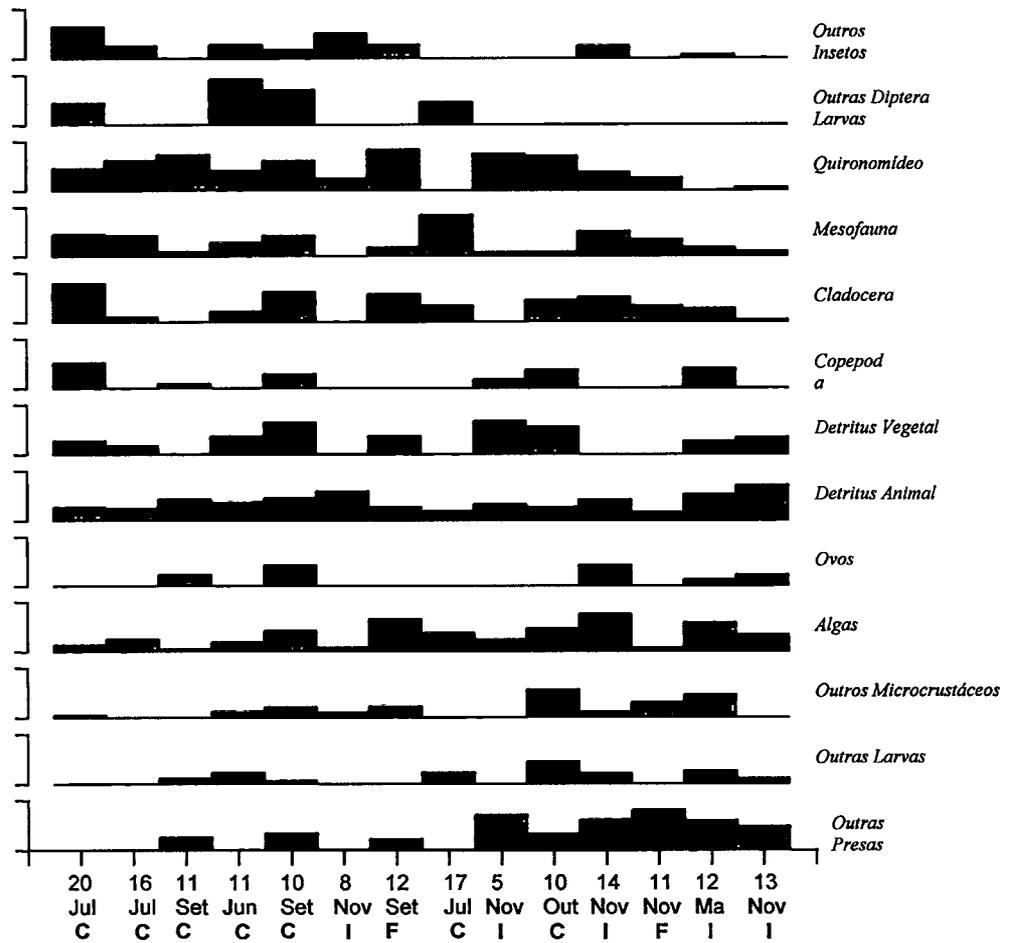


**Figura 9.** Relação entre tempo e a ordenação dos itens alimentares nos dois eixos do HMDS

O eixo HMDS1 mostrou menos variação do que o HMDS2, e, portanto, foi utilizado na distribuição dos itens alimentares ao longo do gradiente das coletas (Fig. 10). Houve uma mudança gradual entre os itens alimentares principais que foram consumidos pelos cardinais durante o pico da cheia e o começo da vazante, e os itens principais consumidos durante o final da vazante e a seca. Durante o pico da cheia e começo da vazante, os cardinais se alimentaram predominantemente das larvas de inseto (principalmente os Quironomídeos), da mesofauna (ie. Rotíferas) e dos microcrustáceos (Cladoceras e Copepodas). Durante o final da vazante e a seca, os cardinais ainda se alimentaram dos Quironomídeos e dos microcrustáceos, porém a dieta incluiu uma maior proporção de algas, detritos animais e vegetais, e outras presas (principalmente restos de peixes mortos).

Esta variação na dieta refletiu a mudança no habitat dos cardinais ao longo do tempo, com estes ocupando os campos e igapós durante a cheia/início da vazante e os igarapés durante o final da vazante/seca.

## Seqüência das coletas segundo ordenação em HMDS



Legenda: C = campo, F = floresta/igarapé, I = igarapé

**Fig. 10.** Distribuição dos itens alimentares ao longo do gradiente das coletas feitas entre o pico da cheia até o final da seca.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Dieta do Cardinal

As análises de conteúdo estomacal mostraram que o cardinal é um onívoro que prefere se alimentar de microcrustáceos, larvas de insetos, e mesofauna, mas também consome algas e detritos. Walker (2004) encontrou muito menos algas (12% em uma amostra de 80 cardinais) que microcrustáceos (47,5%) e larvas Dipteras (43,8%). Porém, o estudo teve algumas limitações que restringem a generalização das conclusões: primeira, os peixes foram capturados somente entre julho e outubro; e segunda, as coletas foram feitas nos igarapés e no igapó perto da boca dos igarapés, sem amostras dos campos nas regiões interfluviais onde os recursos alimentares podem ser diferentes. A porcentagem de cardinais encontrados com algas neste trabalho foi muito maior (41% em uma amostra de 202 cardinais) e os cardinais foram capturados ao longo do ano, não somente nos igarapés e no igapó, mas também nos campos das regiões interfluviais.

O HMDS mostrou que existiu uma diferença significativa entre os itens do conteúdo estomacal em relação a tempo, rejeitando a hipótese nula número 5 (que não há variação em dieta entre a cheia e a seca). A relação se tornou especialmente forte quando a data foi mudada para começar em junho-julho, no pico da cheia, quando os peixes aproveitam bem a expansão dos habitats aquáticos. Devido a grande quantidade de alimento disponível nas florestas alagadas durante esta época, e também devido às baixas densidades de peixes em relação à área inundada, o crescimento é máximo nesta época. Muitos peixes das florestas alagadas atingem 80% do seu crescimento anual entre o começo da enchente e o pico da cheia

que estudou os peixes do Lago Redondo na Amazônia, as piabas *Cheirodon* são predominantemente herbívoras, pois se alimentam principalmente das diatomas bênticas e epifíticas, junto com as cladoceras. Goulding *et al.* (1988) freqüentemente encontrou perifiton e fitoplâncton nos estômagos dos peixes do Rio Negro, listando 29 espécies que possuíam >25% (por volume) de algas filamentosas e 18 espécies com >25% de algas unicelulares nas suas dietas. Eles classificaram o cardinal como detritívoro, devido a grande porcentagem de detritos vegetais encontrados na dieta.

Estas conclusões, determinadas através das observações no campo ou pelas análises de conteúdo estomacal, podem oferecer informações importantes sobre as estratégias de alimentação de uma espécie de peixe. Entretanto, as análises de conteúdo estomacal disponibilizam uma visão “instantânea” dos padrões de alimentação do peixe em curto prazo, e podem mostrar simplesmente o material que foi ingerido e não necessariamente assimilado. É útil complementar as análises de conteúdo estomacal com as análises de isótopos estáveis, que indicam mais claramente as fontes autotróficas da energia assimilada em longo prazo.

#### **4.2 Fontes Autotróficas de Energia para o Cardinal**

Os resultados indicaram que a principal fonte de energia autotrófica para o cardinal é a floresta alagável, o que significa que a hipótese nula numero 1 (que a principal fonte autotrófica para o cardinal é a floresta alagada), foi aceita. As florestas inundadas (igapó) do médio Rio Negro contribuem com material orgânico para o sistema fluvial principalmente na forma de liteira fina (folhas, etc.). Considerando a grande quantidade deste material que entra nos sistemas aquáticos (entre 5-7 t/ha/ano nas florestas alagadas (Adis *et al.*, 1979; Franken *et al.*, 1979.)), não é de surpreender observar que o maior fluxo de energia do cardinal é proveniente desta

fonte. Entretanto, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  do cardinal, depois de uma correção para enriquecimento trófico, indicaram que ao longo do ano ocorreu uma diminuição da energia que veu através da floresta, e aumentou a contribuição da energia que veu das algas. O modelo de mistura com duas fontes mostrou que a contribuição do perifiton variou entre 19,49 % em março até 41,16 % em novembro, com uma média para todas as coletas do ano de 28,40 %. O fato que o  $\delta^{13}\text{C}$  dos cardinais variou significativamente com tempo reforçou esta conclusão e forneceu a base estatística para rejeitar a hipótese número 3 (que não há diferença nas fontes autotróficas de carbono do cardinal entre a cheia e a seca). A falta de uma diferença nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dos cardinais entre habitats, impediu a rejeição da hipótese nula 2 (que não há diferença nas fontes autotróficas de carbono do cardinal entre habitats diferentes) e indicou que a mudança isotópica temporal não dependeu do habitat onde o peixe foi capturado. Isto não quer dizer necessariamente que a cadeia trófica do cardinal ou a fonte de carbono não muda quando ele migra entre habitats, mas que o efeito destas mudanças sobre a composição isotópica dos peixes não é percebido instantaneamente. O  $\delta^{13}\text{C}$  de um peixe capturado num igarapé no final do período da enchente pode refletir mais as fontes autotróficas existentes nos campos interfluviais onde ele estava no mês anterior do que as do igarapé onde ele se encontra no momento. A identificação das fontes autotróficas de carbono de um peixe migrador é complicada, requerendo informações sobre a dinâmica migratória do peixe, a variação temporal nas suas fontes autotróficas e a taxa de reciclagem do carbono nos seus tecidos.

Foi possível aplicar o uso do modelo de mistura com duas fontes devido a grande diferença isotópica entre dois grupos de plantas (“end members”): perifiton e as folhas das árvores/arbustos do igapó (Tabela 1). Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  das folhas do igapó foram similares àqueles encontrados em outros estudos das planícies alagadas na Amazônia (Araújo-Lima *et al.*,

1986; Hedges *et al.*, 1986; Forsberg *et al.*, 1993). Estes valores mostraram uma variação pequena, devido à baixa variação na composição isotópica do CO<sub>2</sub> atmosférico (O'Leary, 1981), a principal fonte inorgânica de carbono destas plantas. Pela mesma razão, os valores e a variação de  $\delta^{13}\text{C}$  das folhas do campo foram muito parecidos com aqueles do igapó.

Em contraste, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  das algas perifíticas variaram mais e foram mais empobrecidos em  $^{13}\text{C}$  do que as folhas do igapó e do campo. Esta diferença se deve a duas razões: primeira, a razão isotópica do CO<sub>2</sub> dissolvido varia muito devido a mistura variável de CO<sub>2</sub> com características isotópicas distintas, derivado de fontes distintas (atmosfera, respiração microbiana, carbonatos no solo). Segunda, a limitação na difusão e assimilação de CO<sub>2</sub> pode reduzir a expressão da fracionização enzimática dos isótopos de carbono durante a fixação de carbono (O'Leary, 1981; Farquhar *et al.*, 1989), resultando numa maior variação isotópica nos tecidos da planta.

As herbáceas aquáticas tiveram valores isotópicos intermediários entre os das algas perifíticas e folhas das árvores/arbustos do igapó e do campo. Os valores isotópicos variaram bastante, o que pode refletir a variação nas fontes de carbono inorgânico destas plantas quando elas passaram entre fases emergentes (fonte: CO<sub>2</sub> atmosférico) e submersas (fonte: CO<sub>2</sub> dissolvido). Estas herbáceas aquáticas foram poucas amostradas, sendo encontradas somente em um campo interfluvial (Ig. Madixí) onde a água era muito transparente, o que deve ter facilitado o crescimento destas plantas. Entretanto, pela quantidade de biomassa encontrada, ficou claro que este grupo de plantas, quando presente, pode contribuir em quantidades significativas de energia para a cadeia trófica aquática e, portanto, deve ser considerada em futuros estudos.

Em termos de algas, a produção geralmente aumenta durante a enchente/cheia devida o crescimento de perifiton nas margens do igapó

(Castro, 1999) e nos campos alagados nas regiões interfluviais (Forsberg e Marshall, observações pessoais). Florescimentos de perifiton foram vistos em vários campos durante a enchente/cheia, crescendo nos substratos de galhos e plantas herbáceas aquáticas. No Rio Jaú, Castro (1999), consistentemente encontrou os maiores florescimentos de algas epifíticas no pico da cheia, quando o nível da água estava estável e houve uma maior disponibilidade de substrato submerso. Também, outros fatores como a transparência da água e a abertura do dossel foram importantes em termos da grande produção de perifiton nesta época (Castro, 1999). Assim, nas florestas de igapó, o florescimento de ficoperifiton localizou-se principalmente nos cinco primeiros metros dentro do igapó e até uma profundidade de dois metros.

Durante a vazante, algas perifíticas em decomposição contribuíram muito em material orgânico particulado fino que seria incorporado nos organismos filtradores. Também, como comentado anteriormente, a produção perifítica nos igarapés aumentou na seca, devido a baixa correnteza e a boa transparência da água. Em igarapés tropicais na Austrália, Bunn (1986; 1993) mostrou que as microalgas bênticas, particularmente diatomas, são importantes para as cadeias tróficas dos igarapés de floresta, apesar dos baixos níveis de produtividade primária e a grande entrada de carbono alóctone no sistema. Os herbívoros e detritívoros aquáticos se alimentam preferencialmente de materiais vegetais de alta qualidade (como algas, frutas e sementes), e tendem a evitar materiais de baixo valor nutritivo como folhas da floresta (Bunn, 1992; Hamilton et al. 1992; Forsberg et al. 1993). Boyd (1973), pesquisando 13 espécies de algas, observou que o conteúdo protéico delas variou entre 10 e 46% do peso seco, com as maiores concentrações ocorrendo em *Euglena* e três algas azul-verdes, *Anabaena*, *Microcystis* e *Aphanizomenon*.

Na Califórnia, Finlay (2001) encontrou correlação positiva entre o tamanho da bacia de drenagem e a influência das algas no  $\delta^{13}\text{C}$  dos consumidores. Nas bacias de drenagem  $>10 \text{ km}^2$ , o  $\delta^{13}\text{C}$  dos consumidores indicaram uma maior contribuição de algas do que fontes de carbono terrestres, apesar do fato que a maioria da matéria orgânica foi derivada das fontes terrestres. Esta tendência reflete a maior entrada de luz e potencial de fotossíntese em canais maiores e também o aumento de áreas alagáveis com potencial para produção de algas.

No Rio Orinoco, na Venezuela, Hamilton *et al.* (1992) notaram que as algas foram assimiladas pelos herbívoros e detritívoros aquáticos em uma proporção muito maior do que sua contribuição relativa para a produção primária do ecossistema. Forsberg *et al.* (1993), na várzea da Amazônia Central, também encontraram uma grande contribuição de fitoplâncton no balanço de carbono em muitas espécies de peixes, apesar da sua pequena representatividade na produção regional.

Para o cardinal, o aumento na utilização de carbono proveniente das algas durante a vazante/seca é uma mistura de alimentação direta e assimilação indireta. A taxa de assimilação de carbono em qualquer organismo varia dependendo da taxa de crescimento e da taxa metabólica. Uma alteração isotópica durante uma fase de crescimento rápido pode ser atribuída à uma diluição da proporção anterior devido ao novo tecido de uma composição isotópica diferente. O "turnover" metabólico de carbono que envolve substituição de tecido velho por novo, também pode resultar em uma alteração na composição isotópica de um organismo (Jardine *et al.*, 2003). No caso do cardinal, não é conhecida a taxa metabólica, a taxa de crescimento ou a relação entre o tamanho do peixe e a taxa de ingestão de carbono das diferentes fontes autotróficas. Por isso, se torna difícil tentar explicar a grande variação de valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dos cardinais encontrados no mesmo habitat e na mesma data.

Entretanto, considerando que os cardinais com os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mais negativos (-36,52 ‰) foram encontrados em um igarapé com baixo nível de água em novembro, poderemos especular que estes peixes tinham acabado de descer dos campos onde a produção autóctone estava sustentando a cadeia trófica do peixe. Por outro lado, o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  mais positivo (-29,4 ‰) do cardinal foi encontrado também em um igarapé no final da seca (em março), o que pode indicar que a ciclagem de carbono de algas para floresta nestes cardinais foi concluído.

### 4.3 Indicação de Nível Trófico para o Cardinal

Utilizando os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  dos cardinais e as plantas (folhas do igapó, folhas do campo, as herbáceas aquáticas e perifiton), e considerando um fracionamento trófico de 3,0 ‰ (DeNiro & Epstein, 1981), o cardinal estaria ~1,5 níveis tróficos acima das plantas, o que seria equivalente a um onívoro. Considerando os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  encontrados na literatura (Estep & Vigg, 1985; Fry, 1991; Keough *et al.*, 1996; Vander Zanden & Rasmussen, 1999; Harvey & Kitchell, 2000; Beaudoin *et al.*, 2001; Fisher *et al.*, 2001; Jepsen & Windemiller, 2002) para produtores primários (2 - 5 ‰), herbívoros (5 - 8 ‰), onívoros (8 - 10 ‰), e predadores piscívoros (10 - 14 ‰), o valor médio dos cardinais (8,65 ‰) também estaria na faixa dos onívoros. A baixa variação nos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  que foi encontrada para todos os cardinais coletados nos diferentes habitats e em épocas diferentes do ano indica que o nível trófico desta espécie é bastante estável e não é muito afetado devido às variações sazonais nos alimentos disponíveis.

Existe uma boa concordância também entre o nível trófico indicado pela análise dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  e o nível apontado pelos resultados das análises de conteúdo estomacal. Entretanto, neste estudo, não há valores de  $\delta^{15}\text{N}$  dos alimentos principais do cardinal, que são os microcrustáceos

(principalmente cladoceras) e as larvas de insetos. Calheiros (2003), no Rio Paraguai, no Pantanal, encontrou um valor médio para Quironomídeos de 6.0 ‰ e um valor médio para zooplâncton de 6.3 ‰. France *et al.* (1996), em lagos no Canadá, encontraram valores de  $\delta^{15}\text{N}$  para cladoceras entre 2 e 6 ‰. Hamilton *et al.* (1992), no Rio Orinoco, encontraram valores de  $\delta^{15}\text{N}$  para invertebrados pelágicos e bênticos entre 4, 5 e 9 ‰. Nestes últimos dois estudos, estas variabilidades foram explicadas pela grande onivoria que estes organismos utilizam para se alimentar.

De um outro lado, a variação nos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  das plantas cria dificuldade de estabelecer um valor médio que seja confiável para comparar os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  dos cardinais. Os valores médios de  $\delta^{15}\text{N}$  das plantas variaram entre 2,49 ‰ (folha do igapó) e 7,22 ‰ (herbáceas aquáticas), com grandes variações também nos valores entre as plantas em cada grupo. Estas variações são devidas em parte à variabilidade dos habitats alagados, e em outra parte, às diferenças no metabolismo de nitrogênio nas plantas (Martinelli *et al.*, 1992).

Todas as plantas podem assimilar  $\text{NO}_3$  e  $\text{NH}_3$  do solo ou água; entretanto, somente as plantas que são fixadoras de nitrogênio conseguem reduzir  $\text{N}_2$  e incorporá-lo em seus tecidos. A abundância de  $^{15}\text{N}$  destas duas fontes geralmente é diferente, com sais inorgânicos sendo tipicamente mais enriquecidos em  $^{15}\text{N}$  do que  $\text{N}_2$ . Portanto, as plantas que assimilam nitrogênio exclusivamente como sais normalmente têm uma razão de  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  diferente das plantas que assimilam nitrogênio em ambas as formas (Rennie *et al.*, 1976; Shearer *et al.*, 1978; Ledgard *et al.*, 1984; Shearer & Kohl, 1989).

O nível de variação nos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  encontrado nas plantas neste estudo é similar àquele mostrado para plantas da várzea por Martinelli *et al.* (1992). Martinelli *et al.* atribuíram esta grande variabilidade às variações no metabolismo de nitrogênio pelas plantas. É provável que as causas da

variação observada no presente estudo sejam similares. Apesar desta variabilidade, foi possível utilizar os dados isotópicos de plantas para estimar o nível trófico do cardinal trabalhando com o valor médio.

Um outro aspecto a considerar nestas análises de  $\delta^{15}\text{N}$  é a mudança em  $\delta^{15}\text{N}$  entre dieta e consumidor, que pode ser significativamente menor do que a média de 3,0‰ utilizado em vários estudos como fator de fracionamento trófico (DeNiro & Epstein, 1981; Peterson & Fry, 1987) e aqui nesta pesquisa. McCutchan *et al.* (2003) observaram que a mudança trófica média para N ( $\Delta\delta^{15}\text{N}$ ;  $\Delta$  denota a mudança na taxa isotópica entre a dieta e o consumidor) foi significativamente mais baixa para os consumidores que se alimentaram de invertebrados ( $+ 1,4 \pm 0,2\text{‰}$ ) e plantas ou algas ( $+ 2,2 \pm 0,3 \text{‰}$ ), do que nas dietas com teor mais alto de proteína, vertebrados, micróbios ( $+ 3,3 \pm 0,26\text{‰}$ ). Um valor médio se for aplicado para todos os consumidores, ia subestimar a posição trófica para os animais se alimentando dos invertebrados e superestimar a posição trófica para os animais que se alimentam dos vertebrados (os maiores predadores) (McCutchan *et al.*, 2003). Neste caso, entretanto, um valor médio pode ser apropriado para um onívoro como o cardinal que consome uma mistura de algas, detritos, insetos, e até os restos de outros peixes.

## 5. CONCLUSÕES

- (1) A principal fonte autotrófica do cardinal é a floresta.
- (2) As fontes autotróficas do cardinal não mudam significativamente entre habitats (igapó, campo interfluvial, igarapé).
- (3) Existe uma mudança nas fontes autotróficas do cardinal ao longo do ano, com a contribuição das algas se tornando uma fonte mais importante durante a vazante. Considerando a grande entrada de energia da floresta alagada para o sistema aquático, a importância das algas mostra uma certa seletividade do cardinal para este grupo de plantas.
- (4) As análises de conteúdo estomacal do cardinal mostram que existe um gradiente dos itens alimentares consumidos entre o pico da cheia e a seca, que também está relacionado com a mudança de habitat ao longo do ano.
- (5) O cardinal é um onívoro que se alimenta principalmente de microcrustáceos e larvas de insetos, mas também utiliza as algas ao mesmo tempo. A dependência nas algas bêmicas e filamentosas parece se tornar mais importante durante a vazante, e especialmente na seca quando os cardinais estão confinados nos canais dos igarapés.

## 6. RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

### Na bacia do médio Rio Negro:

- melhorar as estimativas da produção primária, especialmente nos campos interfluviais, sendo necessário avaliar a importância relativa das fontes de carbono para a seletividade dos herbívoros/detritívoros.
- estudar a qualidade nutricional das plantas aquáticas.
- estudar os níveis tróficos intermediários entre o cardinal e as plantas na base da rede alimentar.
- fazer coletas mais intensivas com melhor representação temporal e espacial das plantas e animais.
- estudar as migrações do cardinal, tentando traçar os movimentos dele e relacionando-os com os padrões de inundação.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Adis, J.; Furch, K. & Irmeler, U. (1979). Litter production of a Central Amazonian blackwater inundation forest. *Tropical Ecology* **20**, p.236-245.
- Adis, J.; Victória, R.L. (2001). C<sub>3</sub> or C<sub>4</sub> macrophytes: A specific carbon source for the development of semi-aquatic and terrestrial arthropods in central Amazonian River-Floodplains according to  $\delta^{13}\text{C}$  values. *Isotopes Environment Health Studies* **37**, p. 193-198.
- Araujo-Lima, C.A.R.M.; Forsberg, B.R.; Victoria, R.L. & Martinelli, L.A. (1986). Energy sources for detritivorous fishes in the Amazon. *Science* **234**, 1256-1258.
- Bayley, P.B. (1973). Studies on the migratory characin, *Prochilodus platensis* Holmberg 1889, (Pisces, Characoidei) in the River Pilcomayo, South America. *J. Fish Biology* **5**, 25-40.
- Bayley, P.B. (1988). Factors affecting growth rates of young tropical fishes: seasonality and density-dependence. *Env. Biol. Fishes* **21**, 127-142.
- Bayley, P.B. (1995). Understanding large river-floodplain systems. *Bioscience* **45(3)**, 153-158.
- Beaudoin, C.P.; Prepas, E.E.; Tonn, W.M.; Wassenaar, L.I.; & Kotak, B.G. (2001). A stable carbon and nitrogen isotope study of lake food webs in Canada's Boreal Plain. *Freshwater Biology* **46**, p.465-477.
- Belbin, L. (1992). PATN: pattern analysis package. CSIRO, Canberra, Australia.
- Benedito-Cecílio, E.; Araújo-Lima, C.A.R.M.; Forsberg, B.R.; Bittencourt, M.M. & Martinelli, L.A. (2000). Carbon Sources of Amazonian fisheries. *Fisheries Management and Ecology* **7**, p.305-315.
- Benedito-Cecílio, E. & Araújo-Lima, C.A.R.M. (2002). Variation in the carbon isotope composition of *Semaprochilodus insignis*, a detritivorous fish associated with oligotrophic and eutrophic Amazonian rivers. *Journal of Fish Biology* **60(6)**, p.1603-1607.

- Benner, R., Fogel, M.L., Sprague, E.K., & Hodson, R.E. (1987). Depletion of  $^{13}\text{C}$  in lignin and its implications for stable isotope studies. *Nature* **329**, 708-710.
- Boutton, T.W. (1991). Stable carbon isotope ratios of natural materials: II. Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environments. In: Coleman, D.C. & Fry, B. (Ed.). *Carbon Isotope Techniques*, New York: Academic Press, cap.11, p.173-185.
- Boyd, C.E. (1973). Amino acid composition of freshwater algae. *Arch. Hydrobiol.* **72**, p.1-9.
- Bunn, S.E. (1986). Origin and fate of organic matter in Australian upland streams. In: P. DeDecker & W.D. Williams (eds), *Limnology in Australia*, CSIRO, Melbourne & W. Junk, The Hague, pp. 277-91.
- Bunn, S.E. (1992). Up the creek without a backbone: aquatic invertebrates. *Wildlife Australia* **29**, p.8-10.
- Bunn, S.E. (1993). Riparian-stream linkages: research needs for the protection of in-stream values. *Australian Biologist* **6**, p.46-51.
- Calheiros, D.F. (2003). Influência do pulso de inundação na composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) das fontes primárias de energia na planície de inundação do rio Paraguai (Pantanal – MS). Tese de Doutorado, CENA, USP, Piracicaba, 164 p.
- Castro, J.G.D. (1999). Biomass, biodiversidade e fatores abióticos controladores do bloom de ficoperifiton do canal central do Rio Jaú na época da cheia, Parque Nacional do Jaú-Amazônia Central. Tese de doutorado INPA/FUA, Manaus, 175 p.
- Chao, N.L., Prang, G. & Petry, P. (2001). Projeto Piaba – a manutenção e o desenvolvimento sustentável da pescaria de peixes ornamentais na bacia do Rio Negro, Amazonas, Brasil. In: *Conservation and Management of Ornamental Fish Resources of the Rio Negro Basin, Amazônia, Brazil – Project Piaba*, EDUA, Manaus, pp. 3-7.
- DeNiro, M.J. & Epstein, S. (1978). Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **42**, p.495 -506.
- DeNiro, M.J. & Epstein, S. (1981). Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **45**, p.341-351.

- Estep, M.L.F. & Vigg, S. (1985). Stable carbon and nitrogen isotope tracers of trophic dynamics in natural populations and fisheries of the Lahontan Lake system, Nevada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **42**, p.1712-1719.
- Farquhar, G.D.; Ehleringer, J.R. & Hubick, K.T. (1989). Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **40**, p.503-537.
- Finlay, J.C. (2001). Stable-carbon-isotope ratios of river biota: implications for energy flow in lotic food webs. *Ecology* **82**(4), p.1052-1064.
- Fisher, S.J.; Brown, M.L. & Willis, D.W. (2001). Temporal food web variability in an upper Missouri River backwater: energy origination points and transfer mechanisms. *Ecol. Freshw. Fish* **10**, p.154-167.
- Fernandes, C.C. (1997). Lateral migration of fishes in Amazon floodplains. *Ecology of Freshwater Fish* **6**, 36-44.
- Forsberg, B.R., Araujo-Lima, C.A.R.M., Martinelli, L.A., Victoria, R.L. & Bonassi, J.A. (1993). Autotrophic carbon sources for fish of the central Amazon. *Ecology* **74**(3), 643-652.
- Forsberg, B.R., Castro, J.G.D., Cargnin-Ferreira, E. & Rosenqvist, A. (2001). The structure and function of the Negro River ecosystem: insights from the Jaú Project. In: Conservation and Management of Ornamental Fish Resources of the Rio Negro Basin, Amazonia, Brazil – Project Piaba, EDUA, Manaus, pp. 125-144.
- France, R.; Westcott, K.; del Giorgio, P.; Klein, G. & Kalff, J. (1996). Vertical foodweb structure of freshwater zooplankton assemblages estimated by stable nitrogen isotopes. *Research of Population Ecology* **38**(2), p.283-287.
- Franken, W.; Irmiler, U. & Klinge, H. (1979). Litter fall in inundation, riverine and terra firme forests of Central Amazonia. *Tropical Ecology* **20**, p.226-235.
- Fry, B. & Sherr, E.B. (1984).  $\delta^{13}\text{C}$  measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contributions in Marine Science* **27**, 13-47.
- Fry, B. (1991). Stable isotope diagrams of freshwater food webs. *Ecology* **72**, p.2293-2297.

- Geisler, R. & Annibal, S.R. (1986). Ecology of the cardinal-tetra *Paracheirodon axelrodi* (Pisces, Characoidea) in the river basin of the Rio Negro/ Brazil as well as breeding-related factors. *Animal Research and Development* **23**, 7-39.
- Goulding, M., Carvalho, M.L. & Ferreira, E.G. (1988). Rio Negro, rich life in poor water. Academic Publishing, The Netherlands.
- Hamilton, S.K., Lewis, W.M. Jr., & Sippel, S.J. (1992). Energy sources for aquatic animals in the Orinoco river floodplain: evidence from stable isotopes. *Oecologia* **89**, 324-330.
- Hardy, E.R. (1980). Composição de zooplâncton em cinco lagos da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, **10**, 577-610.
- Harris, P. & Petry, P. (2001). Preliminary report on the genetic population structure and phylogeography of cardinal tetra (*Paracheirodon axelrodi*) in the Rio Negro Basin. In: Conservation and Management of Ornamental Fish Resources of the Rio Negro Basin, Amazônia, Brazil – Project Piaba, EDUA, Manaus, pp. 205-225.
- Harvey, C.J. & Kitchell, P.C. (2000). A stable isotope evaluation of the structure and spatial heterogeneity of a Lake Superior food web. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **57**, p.1395-1403.
- Hecky, R.E. & Hesslein, R.H. (1995). Contributions of benthic algae to lake food webs as revealed by stable isotope analysis. *Journal of North America Benthological Society*, **14**(4), p.631-653.
- Hedges, J.I.; Clark, W.A.; Quay, P.D.; Richey, J.E.; Devol, A.H. & Santos, U.M. (1986). Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. *Limnology and Oceanography* **31**, 717-738.
- Jardine, T.D.; McGeachy, S.A.; Paton, C.M.; Savoie, M. & Cunjak, R.A. (2003). Stable isotopes in aquatic systems: sample preparation, analysis, and interpretation. *Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 2656*, p.1-28.
- Jepsen, D.B. & Winemiller, K.O. (2002). Structure of tropical river food webs revealed by stable isotope ratios. *Oikos* **96**, p.46-55.
- Junk, W.J.; Soares, Maria G.M. & Saint-Paul, U. (1997). The fish. *Ecological Studies Vol. 126*, p. 385-408, Junk (ed) The Central Amazon Floodplain, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Junk, W.J. & Welcomme, R.L. (1990). Wetlands and shallow continental water bodies. **1**, p.491-524, SPB Academic Publishing bv, The Hague, The Netherlands.
- Junk, W.J.; Bayley, P.B. & Sparks, R.E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Fisheries and Aquatic Sciences* **106**, p.110-127.
- Keeley, J.E. & Sandquist, D.R. (1992). Carbon: freshwater plants. *Plant, Cell and Environment* **15**, p.1021-1035.
- Keough, J.R.; Sierszen, M.E. & Hagley, C.A. (1996). Analysis of a Lake Superior coastal food web with stable isotope techniques. *Limnology and Oceanography* **41(1)**, p.136-146.
- Klinge, H. (1965). Podzol soils in the Amazon Basin. *J. Soil Sci.* **16**, 96-103.
- Lajtha, K. & Marshall, J.D. (1994). Sources of variation in the stable isotopic composition of plants. In: Lajtha, K., Michener, R.H. (Ed.) *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, **1**, p.1-21.
- Ledgard, S.F.; Freney, J.R. & Simpson, J.R. (1984). Variations in natural enrichment of  $^{15}\text{N}$  in the profiles of some Australian Pasture Soils. *Aust J Soil Res.* **22**, p.155-164.
- Leite, R.G.; Araújo-Lima, C.A.R.M.; Victória, R.L. & Martinelli, L.A. (2002). Stable isotope analysis of energy sources for larvae of eight fish species from the Amazon floodplain. *Ecology of Freshwater Fish* **11(1)**, p.56-63.
- Lowe-McConnell, R.H. (1964). The fishes of the Rupununi savanna district of British Guiana, Pt. 1. Groupings of fish species and effects of the seasonal cycles on the fish. *Zoological Journal of the Linnean Society* **45**, p.103-144.
- Lowe-McConnell, R.H. (1975). *Fish communities in tropical freshwaters (their distribution, ecology and evolution)*. Longman Inc., New York.
- McCutchan, J.H. Jr.; Lewis, W.M. Jr.; Kendall, C. & McGrath, C.C. (2003). Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen and sulfur. *Oikos* **102**, 378-390.

- Marlier, G. (1967). Hydrobiology in the Amazon region. In H Lent (ed.), *Atas do Simposio sobre a Biota Amazônica* (Conselho Nacional de Pesquisas, Rio de Janeiro), **3**, 1-7.
- Martinelli, L.A. (1986). Composição química e isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) de sedimentos de várzea e suas interações com alguns rios da bacia Amazônica. Dissertação de mestrado, USP, Piracicaba, 214 p.
- Martinelli, L.A.; Devol, A.H.; Victória, R.L. & Richey, J.E. (1991). Stable carbon isotope variation in  $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$  plants along the Amazon River. *Nature* **353**, p.57-59.
- Martinelli, L.A.; Victória, R.L.; Trivelin, P.C.O.; Devol, A.H. & Richey, J.E. (1992).  $^{15}\text{N}$  Natural abundance in plants of the Amazon River floodplain and potential atmospheric  $\text{N}_2$  fixation. *Oecologia* **90**, p.591-596.
- Matthes, H. (1964). Les poissons du lac Tumba et de la region d'Ikela. *Ann Mus Afr Centr Zool* **126**, 1-204.
- Minagawa, M. & Wada, E. (1984). Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains: further evidence and the relation between  $\delta^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **48**, p.1135-1140.
- O'Leary, M.H. (1981). Carbon isotope fractionations in plants. *Phytochemistry* **20**(4), p.553-567.
- Padovani, C.R. (1992). Determinação das fontes autotróficas de carbono para camarões em um lago de várzea da Amazônia Central. Dissertação de Mestrado, CNPq/INPA/FUA Manaus – Amazonas, Brasil, 72 p.
- Pedreros-Prada, S. (1992). Abundância e distribuição do cardinal tetra, Paracheirodon axelrodi (Pisces, Characidae) e diversidade dos peixes nas planícies inundáveis de tributários do médio rio Negro, Amazonas, Brasil. Dissertação de Mestrado, INPA/FUA, Manaus.
- Peterson, B.J. & Fry, B. (1987). Stable isotopes in ecosystem studies. *Annual Review on Ecology and Systematics* **18**, p.293-320.
- Post, D.M. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods and assumptions. *Ecology*, **83**(3), p.703-718.
- Power, M.E. (1984). Grazing responses of tropical freshwater fishes to different scales of variation in their food. In: *Evolutionary ecology of*

neotropical freshwater fishes, Thomas M. Zaret (ed.), Dr. W. Junk Publishers, The Hague, The Netherlands, p.25-37.

- Prang, G. (2001). Aviamento and the ornamental fishery of the rio Negro, Brazil: Implications for sustainable resource use. In: Conservation and management of ornamental fish resources of the rio Negro basin, Amazônia, Brazil - Project Piaba
- Prang, G. (2002). A caboclo society in the middle Rio Negro Basin: ecology, economy, and history of an ornamental fishery in the State of Amazonas, Brazil. PhD thesis, Wayne State University, Detroit, Michigan, pp.186-190.
- Putz, R. (1997). Periphyton communities in Amazonian black and whitewater habitats: Community structure, biomass and productivity. *Aquatic Sciences* **59**(1).
- Putz, R. & Junk, W.J. (1997). Phytoplankton and Periphyton. *Ecological Studies* Vol. **126**, p. 207-219, Junk (ed) The Central Amazon Floodplain, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Rai, H. (1978). Distribution of carbon, chlorophyll-a and pheo-pigments in the black water lake ecosystem of Central Amazon Region. *Arch. Hydrobiol.* **82**, 74-87.
- Rennie, D.A.; Paul, E.A. & Johns, L.E. (1976). Natural nitrogen-15 abundance of soil and plant samples. *Can. J. Soil Science* **56**, p.43-50.
- Rosenqvist, A., Forsberg, B.R., Pimentel, T., Rautes, Y.A. & Richey, J.E. (2002). The use of spaceborne radar data to model inundation patterns and trace gas emissions in the central Amazon floodplain. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. **23**, No. **7**, 1303-1328
- Rosset, J., Barlocher, F. & Oertli, J.J. (1982). Decomposition of conifer needles and deciduous leaves in two Black Forest and two Swiss Jura streams. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* **67**, 695-711.
- Shearer, G.; Kohl, D.H. & Chien, S.H. (1978). The nitrogen-15 abundance in a wide variety of soil. *Soil Science Soc. Am. J.* **42**, 899-902.
- Shearer, G. & Kohl, D.H. (1989). Estimates of N<sub>2</sub> fixation in ecosystems: the need for and basis of the <sup>15</sup>N natural abundance method. In: Rundel P.W.; Ehleringer, J.R. & Nagy, K.A. (eds),. Stable isotopes in ecological research, Springer-Verlag, New York, p.342-374.

- Sioli, H. (1967). Studies in Amazonian waters. Atas do simpósio sobre a biota amazônica. *Limnologia*, 39-50.
- Swartz, H.W. (1962). Eine Reise in das Land des Roten Neon. *Tropische Fische* p.437-446.
- Vander Zanden, M.J. & Rasmussen, J.B. (2001). Variation in  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies. *Limnology and Oceanography* **46(8)**, p.2061-2066.
- Waichman, A.V. (1996). Autotrophic carbon sources for heterotrophic bacterioplankton in a floodplain lake of central Amazon. *Hydrobiologia* **341**, p.27-36.
- Walker, I. (1985). On the structure and ecology of the microfauna in the central amazonian forest stream "Igarapé da Cachoeira". *Hydrobiologia*, **122**, 137-152.
- Walker, I. (1987). The biology of streams as part of Amazonian forest ecology. *Experientia* **43**, 279-287.
- Walker, I., Henderson, P.A. & Sterry, P. (1991). On the patterns of biomass transfer in the benthic fauna of an amazonian blackwater river, as evidenced by  $^{32}\text{P}$  label experiment. *Hydrobiologia* **215**, 153-162.
- Walker, I. (1995). Amazonian streams and small rivers. In: Tundisi, J.G.; Bicudo, C.E. & Tundisi, Matsumura-Tundisi, T. (Eds.). *Limnology in Brasil*. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, pp.167-193.
- Walker, I. (2004). The food spectrum of the cardinal-tetra (*Paracheirodon axelrodi*, Characidae) in its natural habitat. *Acta Amaz.* Vol. **34**, no. **1**, Manaus.
- Welcomme, R.L. (1979). *Fisheries ecology of floodplain rivers*. Longman, London.
- Welcomme, R.L. (1985). River fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper (Rome)* **262**, 1-330.
- Winemiller, K.O. (1993). Reproductive seasonality in livebearing fishes inhabiting rainforest streams. *Oecologia* **95**, 266-276.
- Winemiller, K.O. (1998). Effects of seasonality and fish movement on tropical river food webs. *Oecologia* **53**, (Supplement A), 267-296.

Yossa, M.I. & Araújo-Lima, C.A.R.M. (1998). Detritivory in two Amazonian fish species. *Journal of Fish Biology* **52**, p.1141-1153.

## 8. ANEXOS

**ANEXO 1**

<b>Coleta Cardinal</b>	<b>Data 2003-04</b>	<b>Habitat</b>	<b><math>\delta^{13}\text{C}</math></b>	<b><math>\delta^{15}\text{N}</math></b>	<b>Legend</b>
CA-1	11/jun	C	-30,16	8,27	C = Campo
CA-2	16/jul	C	-30,31	10,21	
CA-3	17/jul	C	-31,07	10,85	F = Floresta/Igapó
CA-4	20/jul	C	-31,2	8,36	
CA-5	20/jul	F	-31,52	7,5	I = Igarapé
CA-6	24/jul	I	-32,9	8,59	
CA-7	10/set	C	-33,53	7,16	
CA-8	10/set	C	-35,62	7,56	
CA-9	10/set	F	-33,45	8,36	
CA-10	10/set	F	-33,24	7,91	
CA-11	11/set	C	-34	8,06	
CA-12	11/set	C	-30,78	9,9	
CA-13	11/set	C	-34,46	8,05	
CA-14	11/set	C	-31,35	10,17	
CA-15	12/set	F	-32,86	8,16	
CA-16	12/set	F	-32,66	7,56	
CA-17	12/set	F	-31,84	8,09	
CA-18	12/set	F	-32,71	7,75	
CA-19	9/out	I	-32,57	8,93	
CA-20	10/out	C	-33,72	9,28	
CA-21	10/out	C	-33,6	9,85	
CA-22	10/out	C	-33,93	9,31	
CA-23	10/out	C	-33,07	9,68	
CA-24	5/nov	I	-36,13	8,84	
CA-25	5/nov	I	-35,97	9,22	
CA-26	5/nov	I	-36,52	8,71	
CA-27	8/nov	F	-32,99	9,45	
CA-28	8/nov	I	-33,03	9,61	
CA-29	8/nov	I	-33,09	9,56	
CA-30	11/nov	F	-34,07	9,23	
CA-31	11/nov	F	-34,1	9,01	
CA-32	13/nov	C	-32,26	8,23	
CA-33	13/nov	F	-32,92	8,14	
CA-34	13/nov	I	-32,42	8,21	
CA-35	14/nov	I	-33,18	8,17	
CA-36	14/nov	I	-33,24	7,99	
CA-37	9/mar	I	-30,985	7,48	
CA-38	9/mar	I	-30,51	7,89	
CA-39	9/mar	I	-30,69	7,99	
CA-40	10/mar	I	-29,4	9,42	
CA-41	11/mar	I	-33,58	7,96	
CA-42	11/mar	I	-32,03	8,26	
CA-43	11/mar	I	-32,66	8,39	
CA-44	12/mar	I	-31,88	9,03	
CA-45	12/mar	I	-33,32	8,82	
CA-46	12/mar	I	-34,28	8,96	
CA-47	12/mar	I	-33	8,83	
CA-48	12/mar	I	-32,89	8,5	
CA-49	12/mar	I	-32,81	8,55	
CA-50	19/mar	I	-30,53	8,66	

**ANEXO 2**

<b><u>Coleta Perifiton</u></b>	<b><u>Data</u></b>	<b><u>Habitat</u></b>	<b><u><math>\delta^{13}\text{C}</math></u></b>	<b><u><math>\delta^{15}\text{N}</math></u></b>
AA-1	07/03	C	-41,08	-1,58
AA-2	07/03	C	-38,25	6,39
AA-3	07/03	C	-36,04	3,03
AA-4	07/03	C	-34,03	5,31
AA-5	07/03	C	-36,87	5,39
AA-6	07/03	C	-34,26	6,66
AA-7	07/03	C	-36,34	4,2
AA-10	07/03	C	-40,65	3,22
AA-12	07/03	C	-42,71	3,66
AA-13	07/03	C	-40,78	2,6
AA-15	07/03	C	-40,66	3,09
AA-16	07/03	C	-43,11	6,27

**LEGEND****C = Campo****F = Floresta/Igapó****I = Igarapé**

cardinal. As duas fontes foram as folhas do igapó (-30,42 ‰) e perifiton (-38,73 ‰), e considerando um fracionamento trófico de 1,5 ‰ para o cardinal (baseado nos resultados de  $\delta^{15}\text{N}$ ), a contribuição média do perifiton foi 28,40 %. Este resultado indica que, em média a floresta foi a principal fonte de carbono para os cardinais. Embora, a contribuição do perifiton para o carbono do cardinal tenha variado sazonalmente, aumentando consistentemente durante o ano entre março (no final da seca) e novembro (na vazante). Em março, o valor médio foi 19,49 %, e em novembro o valor médio foi 41,16 %, que sugere que a alta produção de perifiton durante a cheia nos campos interfluviais pode ser uma fonte de energia importante para a cadeia trófica do cardinal .

As análises de conteúdo estomacal mostraram que o cardinal se alimenta predominantemente de microcrustáceos e larvas de inseto, porém, durante a vazante as algas se tornaram um recurso alimentar mais presente em sua dieta. Isso possivelmente demonstra evidência de seletividade dos cardinais para algas durante este período.