

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

FELIPE LEONARDO SANTOS SHIBUYA

**O ninho de João-de-barro (*Furnarius rufus*) é uma câmara de incubação**

CURITIBA

2012

FELIPE LEONARDO SANTOS SHIBUYA

**O ninho de João-de-barro (*Furnarius rufus*) é uma câmara de incubação**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. James Joseph Roper

CURITIBA

2012



Ministério da Educação  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
Setor de Ciências Biológicas  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO



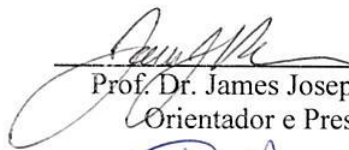
## PARECER


Os abaixo-assinados, membros da banca examinadora da defesa da dissertação de mestrado, a que se submeteu **Felipe Leonardo Santos Shibuya** para fins de adquirir o título de Mestre em Ecologia e Conservação, são de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do trabalho de conclusão do candidato.

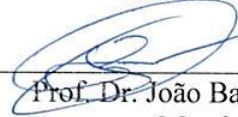
Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação.

Curitiba, 17 de fevereiro de 2012.


BANCA EXAMINADORA:

  
Prof. Dr. James Joseph Roper  
Orientador e Presidente

  
Prof.ª Dra. Regina Helena Ferraz Macedo  
Membro

  
Prof. Dr. João Batista de Pinho  
Membro

Visto:

  
Prof.ª Dra. Lucélia Donatti  
Coordenadora do PPG-ECO

*A mente que se abre a uma nova ideia  
jamais voltará ao seu tamanho original*

Albert Einstein

## **Agradecimentos**

Agradeço ao meu orientador, James Joseph Roper, pela ajuda ao longo desses dois anos que, através das nossas inúmeras discussões, me fez aprender e questionar.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior que, através do Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais, concedeu a bolsa de mestrado.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação. Em especial à coordenadora, professora Lucélia Donatti, e à secretária, Valéria Romeiro, que me ajudaram imensamente, especialmente nos trâmites como representante discente, podendo conciliar a atividade junto à pesquisa.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, especialmente ao André Andrian Padial, Luís Fernando Fávaro, Maurício Osvaldo Moura, Rosana Moreira da Rocha e Sabrina Borges Lino Araújo pela ajuda, através das conversas e sugestões.

À banca avaliadora, professora Regina Helena Ferraz Macedo, da Universidade de Brasília, e professor João Batista de Pinho, da Universidade Federal de Mato Grosso, pelas valiosas contribuições.

Ao Sistema Meteorológico do Paraná, em nome do Osmar Stringari, por ceder os dados de temperatura da Estação Meteorológica do Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná.

Aos amigos Talita Vieira Braga, Ricardo Augusto Serpa Cerboncini e Rafaela Bobato pela ajuda em campo, fundamental para a execução deste trabalho.

Aos meus pais, Mario e Vera, pelo apoio, carinho e dedicação, sem os quais eu não chegaria até aqui.

A todos os amigos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente à Fernanda Fernandes Cordeiro de Lima, Carolina Yumi Shimamoto, Cristina Gandra e Leonardo Chaves Borges Cardoso, os meus sinceros agradecimentos.

## Sumário

<b>Resumo</b> .....	6
<b>Abstract</b> .....	8
<b>Introdução</b> .....	10
<b>Material e Métodos</b> .....	13
<i>Área de estudo</i> .....	13
<i>Espécie estudada</i> .....	15
<i>Experimento</i> .....	15
<i>Análises</i> .....	18
<b>Resultados</b> .....	19
<b>Discussão</b> .....	23
<b>Bibliografia</b> .....	28

## Resumo

Durante a fase reprodutiva das aves, a incubação e a alimentação muitas vezes geram *trade-offs*, que devem ser resolvidos para garantir uma reprodução bem sucedida. A necessidade de manter uma temperatura relativamente constante e elevada para os ovos e os ninhos pode exigir dos adultos intervalos de tempo extensos sobre o ninho e, portanto, menos tempo para forragear, tornando este *trade-off* decisivo neste período. Uma adaptação para manter a temperatura do ninho constante, pode proporcionar benefícios importantes para os indivíduos, especialmente em áreas onde os recursos também podem ser limitantes. O João-de-barro (*Furnarius rufus*) constrói seu ninho em forma de forno, utilizando como material base o barro. A função desse ninho nunca foi determinada, sendo este o objetivo do presente trabalho, com a hipótese de que a sua função principal é fornecer uma câmara de incubação. Durante a estação reprodutiva de 2010, e com ninhos experimentais em 2011, termômetros mediram as temperaturas em ninhos no campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. O regime de temperatura neste local não reflete o da região de origem do João-de-barro, e por isso os ninhos foram divididos em dois tratamentos. Ninhos construídos a céu aberto, onde receberam sol contínuo, foram classificados como tratamento sol, e aqueles construídos na sombra de árvores ou edifícios, tratamento sombra. Um termômetro foi colocado no interior do ninho e outro fora, sempre em área sombreada, evitando a luz solar direta, e as medições foram realizadas a cada 10 minutos. Foi previsto que as temperaturas internas em ninhos de sol ficariam mais altas e mais constantes. Através de ANOVA de medidas repetidas e teste *t* pareado, corroborou-se que as temperaturas foram mais altas e mais constantes nos ninhos de sol, comparando os tratamentos e a posição dos termômetros, sendo que a diferença de temperatura aumentou com o passar da temporada reprodutiva. A

predação, uma hipótese alternativa, nunca ocorreu nos ninhos monitorados, sendo que a estrutura do ninho não impede o acesso de pequenos predadores, como mamíferos e cobras. Assim, concluiu-se que o ninho do João-de-barro age como uma câmara de incubação, ajudando a solucionar o *trade-off* entre incubar e forragear.

Palavras chave: *trade-off* incubar-forragear, função do ninho, temperatura de incubação, *Furnarius rufus*, câmara incubatória.

## Abstract

Incubation and foraging are often trade-offs that must be resolved for successful reproduction in birds. The trade-off may be important because the need for maintaining a relatively constant and high temperature for the eggs and dependent offspring may require extensive time intervals on the nest and, therefore, less time for foraging. An adaptation that helps maintain the temperature of the nest may provide important benefits, especially in regions where resources may also be limiting. The Rufous Hornero (*Furnarius rufus*) builds large mud nests reminiscent of ovens. The function of these nests has never been determined, and here we test the hypothesis that its main function is to provide an incubation chamber. During the 2010 breeding season, and with experimental nests in 2011, we placed thermometer data loggers in nests on the campus of the Federal University of Paraná. The temperature regime here does not reflect that of the region of origin of the Hornero, and so we divided nests into two natural treatments. Nests that were built in the open, where they received continuous sunshine (sun treatment), and those built in the shade of trees or buildings (shade). A thermometer was placed in the nest cavity and outside and beneath the nest (to avoid direct sunlight) and temperature was measured every 10 min. We predicted more constant temperatures in nests and higher temperatures in nests in the sun. Using Repeated Measures Analysis of Variance and t-tests, we found that temperatures were more constant in nests, and higher in sunny nests (compared to both, outside and shaded nests), and as the season progressed (higher ambient temperatures) the difference increased. Nest predation (an alternative hypothesis) never occurred and we suggest that the nest would not prevent small mammals or snakes from entering. Thus, we conclude that the large mud nest of the Rufous Hornero is an incubation chamber that help resolve the incubation-foraging trade-off.

Keywords: incubation-foraging trade-off, nest function, incubation temperature, *Furnarius rufus*, incubation chamber.

## Introdução

A fase reprodutiva em aves demanda alto gasto energético, pois nesse período os adultos necessitam construir ninhos, realizar postura, incubar e cuidar dos ninhegos (Lack 1968). Dentre estas atividades, a incubação e a sobrevivência dos adultos podem ser conflitantes, comprometendo a integridade dos indivíduos, inclusive dos filhotes, resultando até em mortalidade (Martin 1987, Conway & Martin 2000a). O fator que mais influencia o conflito entre reprodução e sobrevivência é a disponibilidade de recursos alimentares (Martin 1987), pois quando estes são limitantes podem resultar em inibição da formação de ovos nas fêmeas, pausas na postura (O'Connor 1979) e interrupção da reprodução (Ricklefs 1974).

Na fase de incubação as necessidades energéticas dos pais e as necessidades térmicas do embrião em desenvolvimento estão sobre um patamar de equilíbrio, e uma alteração nesta relação pode resultar em perda para ambas as partes (Conway & Martin 2000a). Enquanto incubam os adultos não podem forragear e, quando forrageiam, o tempo do intervalo que ficarem fora do ninho poderá atrasar ou prejudicar o desenvolvimento embrionário, pois a temperatura do ovo pode ficar abaixo da necessária para que o desenvolvimento ocorra (Webb 1987, Conway & Martin 2000b). Assim, se a disponibilidade de recursos interferir neste equilíbrio, poderá gerar para os adultos um *trade-off* entre incubar e se alimentar (Conway & Martin 2000a). Entretanto, esta interferência deve ser comum entre as espécies, pois se todos os indivíduos estão se reproduzindo a fim de maximizar o seu *fitness*, conseqüentemente a quantidade de recursos alimentares disponível estará em declínio. Em espécies cuja incubação é realizada por apenas um membro do casal, comumente fêmeas, o desgaste sofrido por este indivíduo é consideravelmente maior por conta desta atividade (Drent *et al.* 1985, Conway & Martin

2000a, Cresswell *et al.* 2004), porém esta informação para as espécies cujo cuidado é biparental é desconhecida (Auer *et al.* 2007), entretanto, a mesma lógica é esperada.

Ninhos têm uma variedade de funções, incluindo controle de microclima e proteção contra predação, especialmente em ninhos fechados (Verner 1965, Leonard & Picman 1987, Conway & Martin 2000b). Mas, estas funções podem gerar uma ampla variedade de formas, que deve ser devido a uma grande variedade de condições ambientais, de fontes de predação, entre outros. A família Furnariidae, pertencente aos Passeriformes, possui uma ampla distribuição geográfica, e também uma grande variedade de formas de ninhos (Sick 1997). Nesta família, até a diversidade de ninhos pode funcionar como informação sobre sua evolução (Zyskowski & Prum 1999). O ninho do João-de-barro (*Furnarius rufus*, Gmelin 1788), em forma de forno, destaca a evolução da variedade e complexidade dos ninhos dessa família e é construído com barro úmido e palha e, após seco, tem a consistência de um adobe, com paredes que podem ter de três a quatro centímetros de espessura, sendo a câmara interior separada por uma entrada estreita (Sick 1997).

A escolha do sítio de nidificação é outro importante fator que reflete no sucesso reprodutivo das aves, pois as características do local, como por exemplo, altura, presença de vegetação e temperatura, podem influenciar nas taxas de predação da espécie (e.g. Roper 2000, Göth 2007). Estudos sobre a caracterização de locais de nidificação para o João-de-barro são inexistentes, porém sabe-se que há preferência de construção dos ninhos em áreas abertas, sendo as copas de árvores e arbustos evitados pelo casal (Hermann & Meise 1965). Por habitar áreas de campo, com vegetação arbórea espaça e domínio de gramíneas, o João-de-barro ao expandir sua área de distribuição pode ter sofrido diminuição de áreas adequadas para construção de seu ninho, utilizando outros locais para sua construção, sendo que estes podem não oferecer as condições necessárias para o

sucesso da prole, como a temperatura ideal para o desenvolvimento do embrião, caso o ninho se comporte como uma câmara de incubação (Conway & Martin 2000b).

O João-de-barro é uma das espécies mais conhecidas no Brasil. Ocorre nas áreas de campo entre o Rio Grande do Sul até Alagoas, além de outros países da América do Sul, como Argentina, Bolívia, Paraguai e Uruguai (Sick 1997). Contudo, esse padrão de distribuição nem sempre foi tão amplo quanto o atualmente conhecido. Existiam grandes lacunas na distribuição desta espécie, porém devido ao desmatamento das florestas e consequente transformação destas em áreas campestres, o João-de-barro expandiu sua área de ocorrência. No Paraná, acredita-se que a colonização é recente, possivelmente após os anos 50, provocada pelo aumento das áreas abertas decorrentes do desmatamento no estado (Anjos 1998). Ainda, a descrição de três subespécies de *Furnarius rufus* no Brasil, que não tinham registros para a região paranaense, corroboram as informações da expansão geográfica, sendo: *F. rufus rufus* que ocorreria no meridional-extremo, no estado do Rio Grande do Sul; *F. rufus badius* registrado no leste-meridional, entre o sul de São Paulo e o norte da Bahia, e no centro-oriental, em Minas Gerais e no sul de Goiás; e *F. rufus commersoni*, ocorrendo no centro-oeste, em Mato Grosso, mais precisamente no vale dos Rios Paraguai e Cuiabá (Pinto 1978).

A expansão da distribuição geográfica em aves, assim como em qualquer outro organismo, pode gerar mudanças na fisiologia e no comportamento de uma espécie, já que cada uma possui características específicas para a ocupação de um determinado habitat (Sick 1997). Assim, a ocupação de uma nova área poderá refletir nos processos ecológicos e evolutivos da população que está ampliando sua distribuição. Contudo, estudos que discutem a expansão não focam seus objetivos nos aspectos anteriormente citados. No Brasil, grande parte dos trabalhos aborda somente as novas áreas de registro da espécie, resultando apenas no conhecimento da direção para onde a espécie está expandindo e não

quais consequências tal processo acarretará (e.g. Cestari & Pacheco 2010, Macarrão *et al.* 2011, Macarrão 2011). Apenas recentemente um estudo realizado com João-de-barro trouxe inferências sobre o resultado da ocupação de novas áreas na reprodução dessa espécie (Rodriguez & Roper 2011).

Baseado nestas informações, o objetivo deste estudo é testar a hipótese de que o ninho de João-de-barro se comporta como uma câmara de incubação em uma área diferente de sua distribuição original, considerando que a escolha do local de nidificação pode influenciar a termodinâmica do ninho. Desta forma, espera-se: i) que a temperatura interna dos ninhos localizados em áreas de sol seja maior comparada à externa e aos ninhos na sombra; ii) que a temperatura interna dos ninhos ao sol seja mais constante comparada à interna dos ninhos à sombra; e iii) que o tempo de incubação e de permanência total do ninhego no ninho seja menor nos ninhos ao sol. Estas características do ninho como câmara incubatória poderão beneficiar os adultos que, ao diminuir o tempo de incubação estarão liberados para realizarem outras atividades, como o forrageio.

## **Material e Métodos**

### *Área de Estudo*

O estudo foi realizado durante o período reprodutivo do João-de-barro, entre junho de 2010 a janeiro de 2011, no Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná e seu arredor (25°41'67''S, 49°13'33''W), em Curitiba, Paraná, Brasil (Figura 1). A região possui clima subtropical úmido, mesotérmico e sem estação seca, sendo o verão ameno e o inverno moderado, apresentando um período de estiagem normalmente entre o outono e o inverno (Maack 1981), com temperatura máxima de 32,5°C e mínima de -1,3°C (IPPUC 2001).

O Campus Centro Politécnico apresenta diferentes ambientes, como áreas abertas, edificadas e fragmentos de floresta secundária, sendo este último o único não ocupado pela espécie estudada. No entorno do campus estão localizadas residências, praças e terrenos baldios, nos quais o João-de-barro também se encontra, já que nessas áreas a oferta de alimento, como ração para animais domésticos, e locais para nidificação, como postes e árvores, são abundantes (observação pessoal).

No campus há uma estação meteorológica do Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), da qual as temperaturas foram usadas para obter dados independentemente deste estudo, para fornecer informações sobre o clima da região. Ainda, estes dados foram utilizados para examinar como a temperatura nos tratamentos dos ninhos, explicado posteriormente, diferiu do ambiente geral.

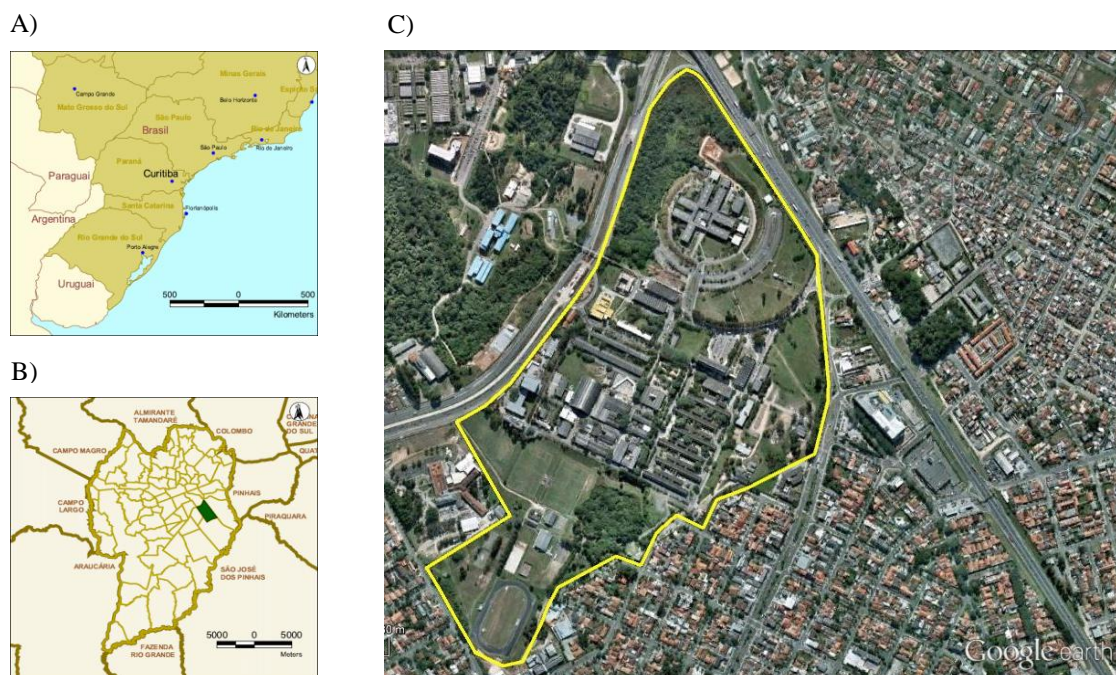


Figura 1 – Área de estudo. A) Paraná; B) Curitiba, destacando em verde o bairro Jardim das Américas, onde está localizada a área de estudo; e C) Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, contornado em amarelo, e suas intermediações.

### *Espécie estudada*

O João-de-barro é comum em Curitiba, especialmente em áreas abertas, onde estabelece territórios, dentro dos quais a visualização dos ninhos se torna fácil. Alimenta-se basicamente de insetos e larvas e, algumas vezes, de outros invertebrados, especialmente minhocas (Fraga 1980). Por estar associado a ambientes antrópicos (Sick 1997), sua dieta pode agregar itens relacionados ao homem, como ração para animais domésticos e grãos (Pereira 2003, observação pessoal).

De comportamento territorialista, apresenta monogamia, sendo todas as atividades reprodutivas realizadas pelo casal, desde a construção do ninho até o cuidado com a prole (Fraga 1980). A postura inicia-se a partir de setembro, com três a quatro ovos (Sick 1997), porém no Campus Centro Politécnico já foi observado um ninho com filhotes no final de agosto (observação pessoal). O período de incubação pode variar entre 16 a 17 dias, e a eclosão é assincrônica. Já o tempo de permanência dos ninhegos no ninho pode variar entre 24 a 26 dias. Após saírem, os filhotes não retornam mais ao ninho, mas podem permanecer no território dos pais por até nove meses (Fraga 1980).

### *Experimento*

Ninhos com altura  $\leq 7,5$  m foram usados, pela facilidade de acesso e manuseio através da utilização de uma escada. Os ninhos selecionados para o experimento foram classificados em duas categorias (tratamentos) que descreveram a exposição solar à qual estavam submetidos. Ninhos expostos por mais que 5 h por dia foram classificados no tratamento “sol” e os demais no tratamento “sombra”.

A captura dos adultos e juvenis dos ninhos monitorados foi realizada com uma armadilha feita de gaiola iscada com ração para animais domésticos e pão, que permitia o fechamento da porta quando o indivíduo acessava o seu interior. Outra armadilha foi

utilizada para capturar os indivíduos dentro dos ninhos, sendo esta adaptada, onde uma armadilha tipo rede covó foi acoplada a uma haste e colocada na entrada do ninho no momento em que o adulto o acessava para incubar ou alimentar os filhotes em seus primeiros dias. Ao sair, o indivíduo era retido no interior da armadilha. Para a captura dos ninhegos, foi realizada uma perfuração na parede do ninho, com o auxílio de uma furadeira e broca de aproximadamente seis centímetros de diâmetro, pela qual os filhotes foram retirados. Após o anilhamento dos ninhegos, a abertura era fechada com barro. Todos os indivíduos foram marcados de forma padronizada, com anilhas metálicas do CEMAVE e anilhas plásticas coloridas para identificá-los individualmente.

A temperatura dentro e fora dos ninhos foi medida por dois termômetros tipo *data logger* Thermochron® iButton® DS1921G com precisão de 0,5°C, que registraram simultaneamente as temperaturas a cada 10 minutos. Os termômetros foram envolvidos em plástico, protegendo-os principalmente contra umidade e fezes. Nos termômetros inseridos no interior dos ninhos, uma das bordas do plástico foi perfurada para a passagem de um parafuso de aproximadamente 10 cm de comprimento, na ponta do qual o termômetro foi preso. Em seguida, o ninho foi perfurado para a inserção do parafuso, sendo a perfuração fechada com barro, prendendo o termômetro. Todos os termômetros internos foram posicionados de forma padrão, na parte frontal do ninho, ao lado da entrada (Figura 2). Esta maneira de inserir o termômetro no interior dos ninhos foi usada ao descobrir que se os medidores fossem apenas colocados dentro do ninho, os adultos os retiravam. Os termômetros externos foram fixados embaixo ou próximos aos ninhos – a uma distância máxima de 5 m destes – sempre em locais sombreados. Simultaneamente, observações de postura, eclosão e saída dos filhotes foram registradas a fim de comparar as diferenças entre os tratamentos.

Um experimento adicional controle com dois ninhos vazios, sendo um no sol e outro na sombra, foi realizado. Ambos foram acompanhados por termômetros que mediram as temperaturas internas e externas, testando se o padrão termodinâmico dos ninhos foi influenciado pela presença dos adultos ou ninhegos.

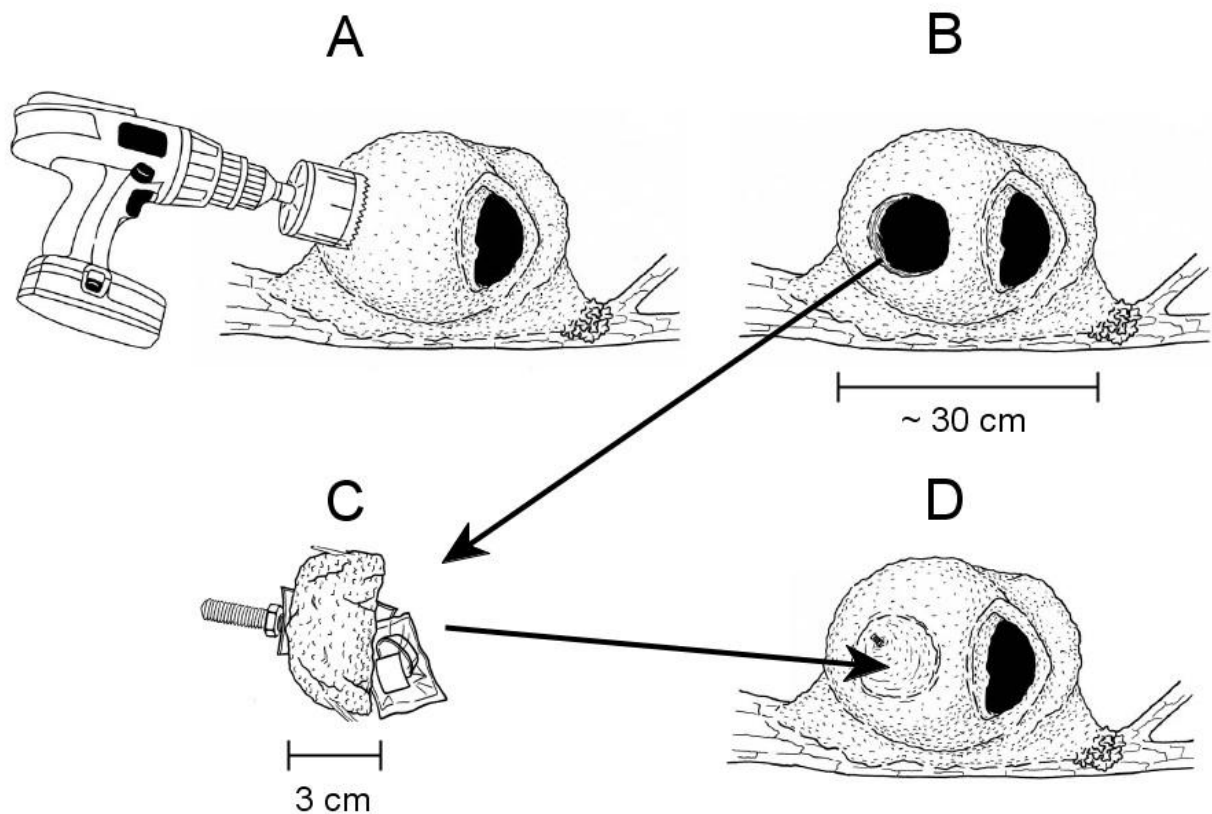


Figura 2 – Metodologia utilizada para inserção do termômetro no interior do ninho de João-de-barro: A) perfuração da parede do ninho com furadeira; B) abertura e retirada de um bloco de barro da parede, para inserção do termômetro; C) termômetro preso ao bloco de barro; e D) acoplamento do bloco à parede do ninho, e fechamento da abertura com barro.

## *Análises*

As médias das temperaturas máximas e mínimas da estação meteorológica anteriormente mencionada foram comparadas com as médias das temperaturas máximas e mínimas externas dos ninhos durante os três meses de medição, por teste *t* pareado, testando qual tratamento refletiu melhor a temperatura do ambiente.

Para testar a funcionalidade do ninho como câmara de incubação, foi proposto que as temperaturas internas deveriam ter a tendência de ser mais altas e mais constantes que as externas. Assim, estas previsões foram analisadas através de ANOVA de medidas repetidas e teste *t* pareado. Especificamente, foi testado se a temperatura interna dos ninhos de sol foi maior quando comparada à externa e a temperatura interna e externa dos ninhos localizados na sombra. A ANOVA de medidas repetidas foi realizada com a média de temperatura por hora de cada ninho, por tratamento e posição do termômetro, ao longo dos três meses de utilização dos ninhos pelo João-de-barro – outubro, novembro e dezembro. ANOVA de medidas repetidas foi realizada nos ninhos controle, testando se os resultados obtidos refletiram ou não a presença do animal no interior do ninho. Para testar se a temperatura interna em ninhos de sol foi mais constante que a temperatura interna de ninhos à sombra, dois ninhos foram selecionados, um de cada tratamento, sendo estes escolhidos por serem os únicos em que a data de início da incubação e o número de ovos eram similares. Um teste *t* pareado foi realizado com a média da variância por hora, obtida através de medidas realizadas a cada 10 minutos pelos termômetros, durante todo o período de incubação. A maior variação na temperatura interna esperada em ninhos na sombra pode ser resultante da movimentação constante dos adultos, decorrente da atividade de incubação, já que estes ninhos não atingiriam temperaturas elevadas por estarem em áreas sombreadas. Para estas análises foram utilizadas apenas as horas diurnas, já que os ninhos estavam sob influência da radiação solar, das 8:00 h às 18:00 h.

Para testar se o tempo de incubação e o tempo total de permanência dos ninhegos nos ninhos foram menores no sol, um teste  $t$  de Student unicaudal foi realizado, esperando que em ninhos no sol a eclosão ocorresse primeiro que em ninhos na sombra, já que o calor sobre estes ninhos poderia iniciar o desenvolvimento embrionário, mesmo sem o início da incubação realizada pelos adultos, fazendo com que, conseqüentemente, os ninhegos saíssem primeiro dos ninhos ao sol. A determinação do tempo de incubação foi realizada utilizando a data da primeira postura até a eclosão deste mesmo ovo. Para todos os testes foi utilizado o critério de decisão de  $\alpha = 0,05$ .

## Resultados

No total foram amostrados 17 ninhos, sendo oito em áreas de sol e nove em sombra. As temperaturas dos termômetros externos dos ninhos classificados pelo tratamento sombra acompanharam melhor a temperatura do ambiente registrada pelo SIMEPAR ( $t = 0,38$ ,  $gl = 71$ ,  $P > 0,05$ ), quando comparadas aos ninhos do tratamento sol ( $t = 4,73$ ,  $gl = 71$ ,  $P < 0,05$ ; Figura 3).

De maneira geral, as temperaturas nos ninhos localizados em áreas de sol foram mais altas durante o dia do que ninhos em áreas de sombra ( $F_{1;1017} = 62,48$ ,  $P < 0,05$ ; Figura 4; Tabela 1). Analisando os dados por cada mês de utilização do ninho durante o ciclo reprodutivo, corroborou-se que as temperaturas internas foram consistentemente maiores nos ninhos no sol do que ninhos na sombra. Em outubro a máxima média dentro nos ninhos de sol foi de  $24,7^{\circ}\text{C}$  contra  $23,3^{\circ}\text{C}$  em ninhos na sombra. No mês de novembro a máxima média interna no sol chegou a  $29,0^{\circ}\text{C}$ , sendo que na sombra foi de  $27,6^{\circ}\text{C}$ . Em dezembro, a máxima média interna atingiu  $28,9^{\circ}\text{C}$  no sol e  $24,4^{\circ}\text{C}$  na sombra.

A temperatura também diferiu quando analisada sobre a posição do termômetro em relação ao ninho, sendo a temperatura interna maior, entre 8:00 h e 18:00 h, comparada a

externa durante todo o período reprodutivo ( $F_{1;1017} = 72,76, P < 0,05$ ; Figura 4; Tabela 1).

Analisando mensalmente, em outubro a média máxima interna no sol foi de 24,7°C e a externa de 23,0°C, e na sombra a média máxima interna foi de 23,3°C e a externa de 21,9°C. Em novembro a média máxima interna no sol atingiu 29,0°C e a externa 27,5°C, contra 27,6°C dentro e 24,6°C fora nos ninhos de sombra. Já em dezembro a média máxima nos ninhos de sol foi 28,9°C dentro e 24,4°C fora, sendo na sombra de 24,4°C dentro e 22,4°C fora.

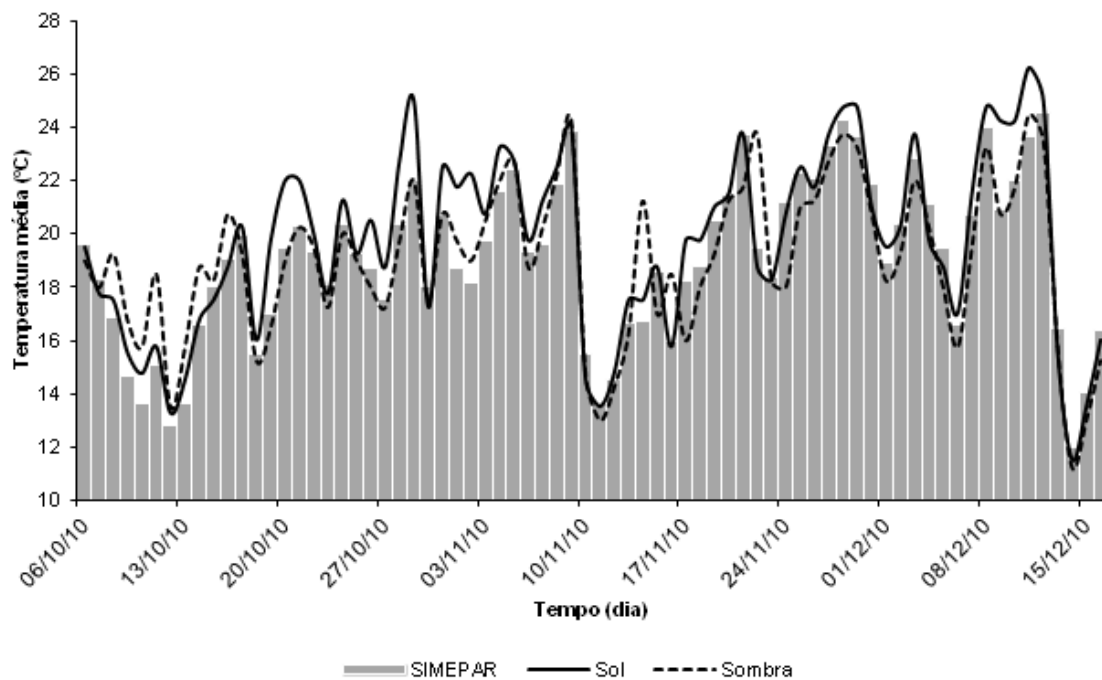


Figura 3 – Comparação da temperatura média diária registrada entre os termômetros externos nos ninhos de sol e de sombra, e a estação meteorológica do SIMEPAR. O tratamento sombra refletiu melhor a temperatura do ambiente registrada pelo SIMEPAR ( $t = 0,38, gl = 71, P > 0,05$ ), quando comparado ao tratamento sol ( $t = 4,73, gl = 71, P < 0,05$ ).

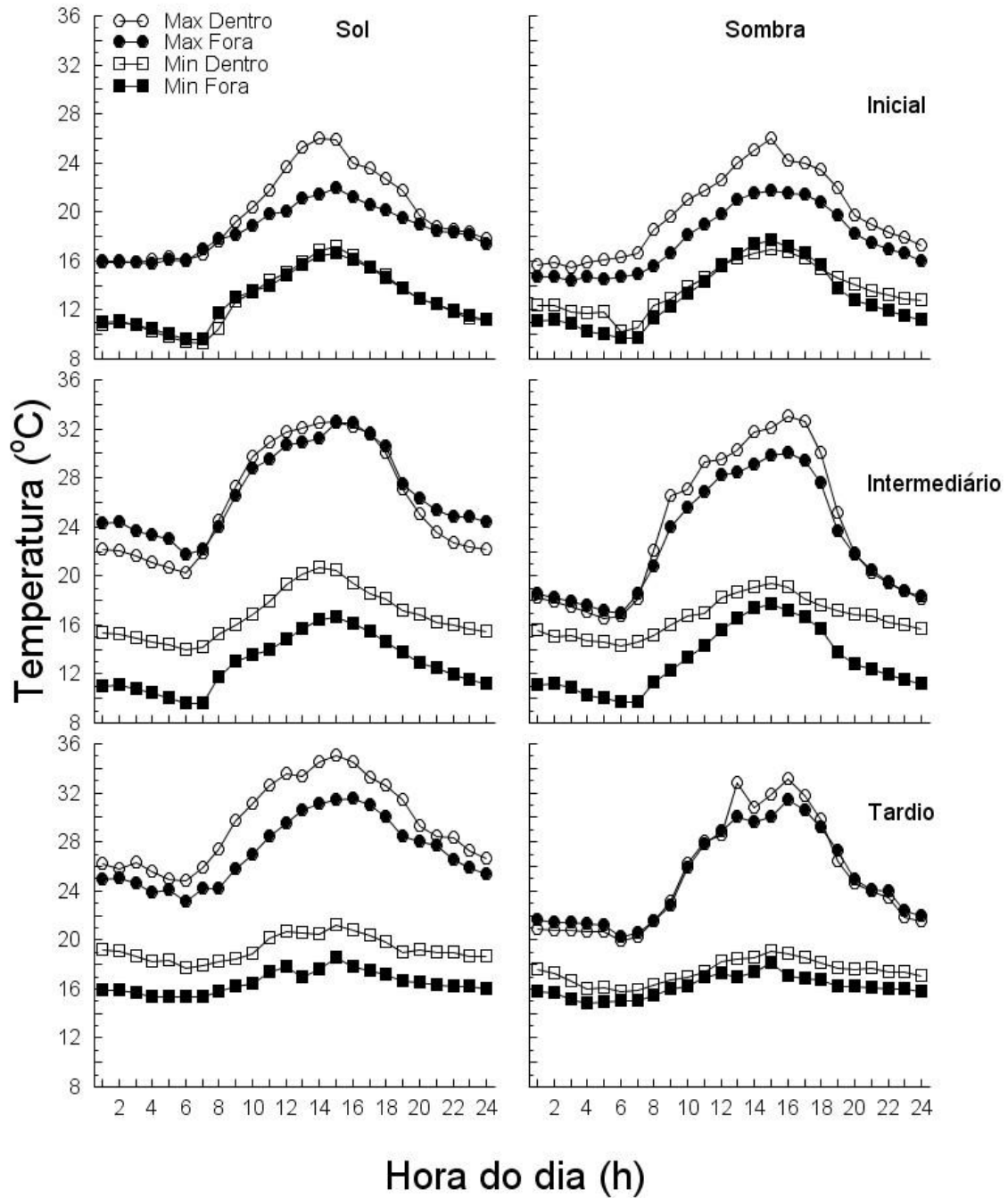


Figura 4 – Comparação da temperatura média mínima e média máxima entre os tratamentos (sol e sombra) e a posição do termômetro (dentro e fora), em três intervalos representativos de tempo (inicial, intermediário e tardio), durante o período de utilização do ninho pelo João-de-barro. As temperaturas internas em ninhos no sol foram mais altas que na sombra ( $F_{1;1017} = 62,48, P < 0,05$ ), e também que as temperaturas externas ( $F_{1;1017} = 72,76, P < 0,05$ ).

Tabela 1 – Temperaturas máximas médias internas e externas dos ninhos nos tratamentos de sol e sombra, durante os três meses de utilização do ninho pelo João-de-barro (todos os resultados com  $P < 0,05$ ).

Mês	Sol		Sombra		Tratamento		Posição	
	Máxima média (°C)		Máxima média (°C)		F	gl	F	gl
	Interna	Externa	Interna	Externa				
Outubro	24,7	23,0	23,3	21,9	15,56	1;331	7,61	1;331
Novembro	29,0	27,5	27,6	24,6	17,91	1;537	66,23	1;537
Dezembro	28,9	24,4	24,4	22,4	15,47	1;143	17,40	1;143

O experimento controle com dois ninhos vazios, um de cada tratamento, foi realizado por três dias durante o mês de dezembro de 2011. Os resultados corroboraram que mesmo na ausência de adultos e ninhegos, a temperatura nos ninhos em áreas de sol foi mais alta do que a dos localizados em sombra ( $F_{1;17} = 9,97$ ,  $P < 0,05$ ), e que os termômetros internos registraram temperaturas mais altas do que os externos ( $F_{1;17} = 7,90$ ,  $P < 0,05$ ). Assim, o padrão termodinâmico observado nos ninhos ocorre independentemente da presença do João-de-barro.

A temperatura no interior dos ninhos de sol demonstrou ser mais constante durante o período de incubação, quando comparada aos ninhos de sombra ( $t = 2,06$ ,  $gl = 131$ ,  $P < 0,05$ ; Figura 5). Para esta análise foram utilizados dois ninhos, um em cada tratamento, já que eram os únicos com data de início de incubação e número total de ovos similares.

Para análise do tempo de incubação foram utilizados 11 ninhos, sendo seis na sombra e cinco no sol. Ao contrário do esperado, o tempo não diferiu entre os tratamentos ( $t = 0,60$ ,  $gl = 9$ ,  $P > 0,05$ ). Nos ninhos de sol a média do intervalo de incubação foi de 22,0 dias e na sombra de 22,3 dias. Adicionando o tempo em que os ninhegos ficaram no ninho

ao teste, o intervalo foi semelhante nos dois tratamentos ( $t = 0,38$ ,  $gl = 7$ ,  $P > 0,05$ ). Sendo a média de dias 47,0 para os ninhos de sol ( $n = 3$ ) e 47,5 para os de sombra ( $n = 6$ ).

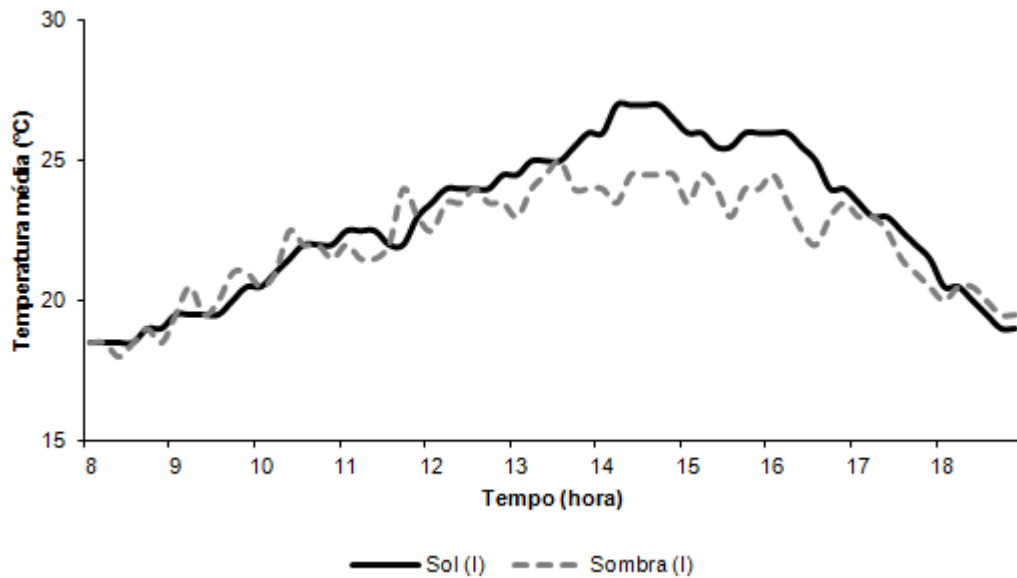


Figura 5 – Temperatura média interna (I) dos ninhos de sol e sombra, durante as horas diurnas no período de incubação. Na sombra a temperatura foi menos constante que no sol ( $t = 2,06$ ,  $gl = 131$ ,  $P < 0,05$ ).

## Discussão

De acordo com os resultados deste estudo, sugerimos que o ninho do João-de-barro desempenha o papel de câmara de incubação, e esta função parece ser mais eficiente quando as temperaturas são mais altas, ou seja, em locais de sol e nos dias mais próximos ao final do ano. Os resultados mostram que: i) as temperaturas externas dos ninhos no sol foram mais altas à temperatura ambiental; ii) as temperaturas internas nos ninhos ao sol foram mais altas, especialmente nas horas em que houve influência da radiação solar; e iii) as temperaturas internas no sol foram mais constantes durante o dia, no período de incubação. Contudo, apesar de mostrar características de câmara incubatória, esta função

não é otimizada em Curitiba, já que as temperaturas nesta região são mais baixas comparadas às da região de origem da espécie, nos campos naturais e savanas (Sick 1997). Com isso, o resultado após a incubação não irá agregar benefícios de câmara, como por exemplo, o desenvolvimento mais rápido da prole.

A temperatura do ambiente é um fator determinante para a incubação em aves, pois pode influenciar o comportamento exercido pelos adultos ao incubarem nos ninhos (Conway & Martin 2000a, Rodriguez & Roper 2011). Para os Passeriformes este fator pode ser ainda mais importante, já que pássaros de pequeno porte podem ter dificuldades na regulação da temperatura de seus ovos, o que pode afetar negativamente o desenvolvimento embrionário (Webb 1987). Neste estudo, a escolha do local de nidificação pelo João-de-barro pode estar relacionada aos aspectos termodinâmicos internos do ninho. Aparentemente, as temperaturas dos termômetros externos em ninhos localizados em áreas de sombra refletiram melhor a temperatura do ambiente e em ninhos de sol foram maiores, o que pode ser benéfico para estes ninhos, tornando-os câmaras de incubação eficientes, já que por estarem localizados em áreas com alta incidência de calor, aquecem e se mantêm a uma temperatura ótima que pode induzir o desenvolvimento do embrião antes mesmo dos pais começarem a incubar (Rodriguez & Roper 2011).

A temperatura interna se manteve maior que a externa nos dois tratamentos, porém nos ninhos de sol a máxima média se manteve maior durante todo o período de medição, 29,0°C contra 27,6°C. Considerando que, para grande parte das espécies de Passeriformes já estudadas, a temperatura ideal de incubação está perto de 32,0°C (Webb 1987), os ninhos localizados no sol estão mais próximos a esta temperatura. Este resultado mostra que se o ninho tem a funcionalidade de câmara de incubação, os casais que nidificam em áreas de sol estão sendo beneficiados com o ganho de temperatura, que é gradual ao longo do ciclo reprodutivo. Portanto, se os ninhos alcançarem a temperatura ideal de incubação,

os adultos estarão liberados, por mais tempo, desta atividade (Rodriguez & Roper 2011). Em um estudo realizado no Brasil com outra espécie de Furnariidae, *Synallaxis albilora*, demonstrou-se que sem um ninho com características para incubar e sem o auxílio do parceiro para alimentação, o adulto que estava no ninho constantemente interrompia a incubação para forragear (Rubio & Pinho 2008). Essa saída do adulto pode ser prejudicial ao embrião, afetando o seu desenvolvimento pela perda constante de calor (Webb 1987). Assim, a característica de câmara incubadora torna-se vantajosa, pois permite que os adultos escolham outras atividades, como forragear, ao invés de incubar, não sofrendo com o *trade-off* imposto por estas situações antagônicas (Martin 1987, Conway & Martin 2000a).

Ninhos localizados em áreas de sol mantiveram suas temperaturas internas mais constantes que ninhos de sombra durante o dia. Essa característica pode ser outra vantagem que ninhos de sol ganham como câmara de incubação, pois a maior variação no interior dos ninhos de sombra pode ser resultado de uma maior movimentação dos adultos ao incubarem os ovos, já que os ninhos não atingem a temperatura ideal de incubação, como os localizados no sol (Webb 1987). Este resultado reforça a ideia de que uma câmara incubatória torna-se benéfica por solucionar o *trade-off* entre atividades impostas aos adultos, especialmente durante o período de incubação (Martin 1987, Conway & Martin 2000a).

A aparente resistência do ninho de João-de-barro pode não conferir-lhe a proteção e durabilidade absoluta, tornando-se quebradiço e frágil com o passar do tempo, sendo derrubado principalmente pelos ventos e chuvas fortes (Sick 1997). Isso pode explicar o baixo número de ninhos que puderam ser utilizados para analisar o tempo de incubação e de permanência total de ninhegos no ninho, já que alguns caíram antes da saída dos filhotes. Assim, a análise mostrou que tanto o tempo de incubação quanto o de

permanência dos ninhegos no ninho não diferiu estatisticamente entre os tratamentos. Este resultado pode indicar que em uma área onde a espécie está expandindo sua distribuição, como em Curitiba, os casais que não estão sendo beneficiados com o ganho de temperatura, ou seja, dos ninhos localizados em áreas de sombra, necessitam incubar por mais tempo, porém da mesma forma que os casais em locais de sol, o tempo de incubação se mantém o mesmo, indicando que a habilidade dos casais de ninhos em sombra para incubar pode estar suprindo as necessidades térmicas do embrião, mantendo o mesmo padrão temporal de incubação entre os tratamentos (Webb 1987, Conway & Martin 2000a). Além disso, este resultado pode ser um indicativo de que os ninhos, apesar de apresentarem características de câmara de incubação, podem não estar ganhando o benefício em sua totalidade, já que o desenvolvimento dos ninhegos não parece ser mais rápido no sol, e isso pode ser resultante da expansão da distribuição da espécie, como discutido abaixo. Apesar disso, a localização no sol ainda parece ser favorável, já que para ambas as situações o tempo tende a ser menor comparado a sombra.

O João-de-barro vem ampliando sua área de distribuição, colonizando novas áreas por consequência do desmatamento, como Santa Catarina por volta de 1950 e Paraná, em especial Curitiba, recentemente (Sick 1997, Anjos 1998). Como consequência, características da reprodução podem variar por conta da diferença no clima, como por exemplo, a mudança da assincronia de eclosão para sincronia (Rodriguez & Roper 2011). Essas mudanças no comportamento reprodutivo podem ser respostas também relacionadas à temperatura do ambiente (Conway & Martin 2000b). No crescente número de estudos sobre a expansão de aves no Brasil (Cestari & Pacheco 2010, Macarrão *et al.* 2011, Macarrão 2011), inclusive do mesmo gênero do João-de-barro, o *Furnarius figulus* (Figueiredo *et al.* 2010), nenhum aborda as consequências ecológicas e evolutivas deste processo para as espécies. Assim, os resultados obtidos aqui podem ter importantes

implicações para a compreensão da expansão da distribuição de forma mais completa, especialmente para o João-de-barro.

Ainda, a termodinâmica pode ser um fator determinante para a formação do padrão de ninhos de aves e fundamental para o desenvolvimento do embrião, porém a relação entre a temperatura e o comportamento de incubação, especialmente nos estudos empíricos, merece um olhar mais detalhado (Webb 1987, Conway & Martin 2000b, Auer *et al.* 2007) para que questões importantes, como a abordada neste estudo, sejam elucidadas. Dessa forma, os dados sobre a biologia reprodutiva dos furnarídeos, incluindo informações sobre os ninhos, importante para este grupo, inclusive para a compreensão de sua evolução (Zyskowski & Prum 1999), deixarão de ser escassas e incompletas (Vaz-Ferreira *et al.* 1992, Faria *et al.* 2008).

Claramente, os dados elucidados sobre as características termodinâmicas dos ninhos do João-de-barro no presente estudo sustentam a hipótese de que agem como câmara de incubação. Mas, especialmente em locais mais frios e úmidos, como Curitiba, esta função pode ser menos eficiente. Isto fica evidente na perda da eclosão assincrônica, que é característica da espécie (Fraga 1980), que na área de estudo, mesmo com postura em dias intercalados, a eclosão passa a acontecer sincronicamente (Rodriguez & Roper 2011). Outra consequência pode ser a perda da função do ninho como câmara, enfraquecendo a seleção natural sobre os processos de construção do ninho, gerando um leque de variáveis que podem tornar outros fatores, como a presença humana, mais importantes neste processo. Assim, recomendamos que estudos comparativos sejam realizados, comparando locais onde o ninho funcione como câmara incubatória, com locais como Curitiba, onde funciona, mas não muito bem, para examinar as consequências sobre o sucesso reprodutivo. Estes resultados poderão elucidar, entre outras questões, como o processo de sinantropismo pode modificar a ecologia comportamental das espécies.

## Bibliografia

- Anjos, L. 1998. Consequências biológicas da fragmentação no norte do Paraná. Série Técnica IPEF 32: 87–94.
- Auer, S. K., Bassar, R. D., & Martin, T. E. 2007. Biparental incubation in the chestnut-vented tit-babbler *Parisoma subcaeruleum*: mates devote equal time, but males keep eggs warmer. *J. Avian Biol.* 38: 278–283.
- Cestari, C., & Pacheco, J. F. 2010. Aves, Emberizidae, *Coryphospingus pileatus* (Wied, 1821): a new gathered bird species to São Paulo state and evidences of southern geographic expansion in Brazil. *Check List* 6: 501–502.
- Conway, C. J., & Martin, T. E. 2000a. Effects of ambient temperature on avian incubation behavior. *Behav. Ecol.* 11: 178–188.
- Conway, C. J., & Martin, T. E. 2000b. Evolution of passerine incubation behavior: influence of food, temperature, and nest predation. *Evolution* 54: 670–685.
- Cresswell, W., Holt, S., Reid, J. M., Whitfield, D. P., Mellanby, R. J., Norton, D., & Waldron, S. 2004. The energetic costs of egg heating constrain incubation attendance but do not determine daily energy expenditure in the pectoral sandpiper. *Behav. Ecol.* 15: 498–507.
- Drent, R. H., Tinbergen, J. M., & Biebach, H. 1985. Incubation in the starling, *Sturnus vulgaris*: resolution of the conflict between egg care and foraging. *Neth. J. Zool.* 35: 103–123.
- Faria, L. C. P., Carrara, L. A., & Rodrigues, M. 2008. Biologia reprodutiva do furabandeira *Hylocryptus rectirostris* (Aves: Furnariidae). *Rev. Bras. Zool.* 25: 172–181.
- Figueiredo, L. F. A., Macarrão, A., Campos, R. P. de, & Nunes-de-Almeida, C. H. L. 2010. Novas localidades de ocorrência do João-nordestino, *Furnarius figulus* (Passeriformes: Furnariidae) no estado de São Paulo: expansão de sua distribuição geográfica. *Atual. Ornit.* 155: 4–5.
- Fraga, R. M. 1980. The breeding of Rufous Horneros (*Furnarius rufus*). *Condor* 82: 58–68.
- Göth, A. 2007. Incubation temperatures and sex ratios in Australian brush-turkey (*Alectura lathamii*) mounds. *Austral Ecol.* 32: 378–385.

- Hermann, H., & Meise, W. 1965. Untersuchungen zur Brutbiologie des Töpfervogels, *Furnarius r. rufus* (Gmelin), auf einer argentinischen Hacienda. Abh Natwiss. ver Hambg. 10: 117–152.
- IPPUC. 2001. Características Climáticas de Curitiba – Janeiro de 1998 a Dezembro de 2001. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – Banco de dados.
- Lack, D. 1968. Ecological adaptation for breeding in birds. Methuen, London, UK.
- Leonard, M. L., & Picman, J. 1987. The adaptive significance of multiple nest building by male Marsh Wrens. Anim. Behav. 35: 271–277.
- Maack, R. 1981. Geografia física do estado do Paraná. Ed. José Olympio, Rio de Janeiro, RJ.
- Macarrão, A. 2011. New record and distribution extension of *Campylorhamphus trochilirostris* (Lichtenstein, 1820) (Aves: Dendrocolaptidae) in the state of São Paulo, Brazil. Check List 7: 639–640.
- Macarrão, A., Nunes-de-Almeida, C. H. L., & Corbo, M. C. 2011. Primeiros registros de *Heliomaster furcifer* (Trochilidae) no Estado de São Paulo e ampliação de sua distribuição. Rev. Bras. Ornit. 19: 422–423.
- Martin, T. E. 1987. Food as a limit on breeding birds: a life-history perspective. Ann. Rev. Ecol. Syst. 18: 453–487.
- O'Connor, R. J. 1979. Egg weights and brood reduction in the European swift (*Apus apus*). Condor 81: 133–145.
- Pereira, K. K. 2003. Qualidade do território e sua influência na reprodução do João-de-barro (*Furnarius rufus* Gmelin 1788). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Paraná, Brasil.
- Pinto, O. M. de O. 1978. Novo catálogo das aves do Brasil: primeira parte. Aves não Passeriformes e Passeriformes não Oscines, com exclusão da família Tyrannidae. São Paulo, SP. p. 305.
- Ricklefs, R. E. 1974. Energetics of reproduction in birds. In: Avian Energetics. Ed. R. A. Paynter, Jr. Publication of the Nuttall Ornithological Club, n. 15.
- Rodriguez, M. N., & Roper, J. J. 2011. An experimental test of the benefits of hatching asynchrony in the Rufous Hornero (*Furnarius rufus*). Rev. Bras. Ornit. 19: 17–21.
- Roper, J. J. 2000. Experimental analysis of nest-sites and nest predation for a neotropical bird: stuck between a rock and a hard place. Ararajuba 8: 85–91.

- Rubio, T. C., & Pinho, J. B. 2008. Biología reproductiva de *Synallaxis albilora* (Aves: Furnariidae) no Pantanal de Poconé, Mato Grosso. Pap. Avul. Zool. 48: 181–197.
- Sick, H. 1997. Ornitologia Brasileira. Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, RJ.
- Vaz-Ferreira, R., Stagi, A., & Bianco, J. 1992. Variación térmica en nidos de hornero (*Furnarius rufus*) (Passeriformes, Furnariidae) durante el período de crías. Bol. Soc. Zool. Uruguay 7: 67–68.
- Verner, J. 1965. Breeding biology of the Long-billed Marsh Wren. Condor 67: 6–30.
- Webb, D. R. 1987. Thermal tolerance of avian embryos: a review. Condor 89: 874–898.
- Zyskowski, K., & Prum, R. 1999. Phylogenetic analysis of the nest architecture of neotropical ovenbirds (Furnariidae). The Auk. 116: 891–911.