

Pasos agrícolas inferiores de carreteras: su importancia para los murciélagos como refugio y lugar para cruzar la vía

PAULO BARROS

Laboratorio de Ecologia Aplicada, CITAB - Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais y Biológica.
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000-801

Corresponding author e-mail: pbarros@utad.pt

DOI: <http://dx.doi.org/10.14709/BarbJ.7.1.2014.05>

English title: Agricultural underpasses: their importance for bats as roosts and role in facilitating movement across roads

Resumen

Con objeto de ampliar el conocimiento sobre la utilización de los pasos inferiores agrícolas por parte de los murciélagos se han desarrollado trabajos de detección acústica, captura y revisión de refugios en cinco pasos inferiores ubicados a lo largo de 8250m de un tramo de la carretera situada en el Norte de Portugal en una zona rural de uso agrícola y pastoreo. Los pasos tienen las dimensiones medias de 9 m de anchura, 4,25 m de altura y 34 m de profundidad. Los resultados de los registros acústicos y de captura de murciélagos con redes de niebla, permitieron confirmar la utilización de por lo menos 12 especies (*Pipistrellus pipistrellus*, *P. kuhlii*, *P. pygmaeus*, *Myotis daubentonii*, *M. escalerae*, *M. myotis*, *Nyctalus leisleri*, *Plecotus austriacus*, *Rhinolophus ferrumequinum*, *R. hipposideros*, *R. mehelyi*/*R. euryale* y *Eptesicus serotinus*/*E. isabellinus*). La inspección y revisión de refugios en los 5 pasos inferiores han permitido constatar la presencia de por lo menos 6 especies (*M. daubentonii*, *M. myotis*, *N. leisleri*, *P. austriacus*, *Eptesicus serotinus*/*E. isabellinus* y *Pipistrellus sp.*) que usaron fisuras dentro de los túneles de entre 1,2 y 1,9 cm. Para una misma altura (4,2-4,3m) y anchura de túnel (9m), los pasos más utilizados fueron los de mayor longitud. Estos resultados confirman la importancia que los pasos inferiores tienen en la conectividad y minimización de los impactos de las carreteras, así como proporcionan nuevos refugios artificiales para los murciélagos. Se incita a promover seguimientos y estudios ecológicos más detallados que profundicen en el conocimiento de la utilización de los quirópteros de estas estructuras así como sus características físicas y su entorno y en otras carreteras.

Palabras clave: Carreteras, Pasos inferiores, Murciélagos, Conservación, Portugal.

Abstract

The main goal of this study was to contribute for the knowledge of the use of under-roads passageways by bats in northern of Portugal. We selected five underpasses in a road stretch of 8.250 m located in a rural agricultural and grazing area. The average dimensions of underpasses were, 9 m wide, 4.25 m high and 34 m deep. The data was obtained through acoustic detection, mist net capture and roost inspection. Acoustic and mist netting results confirm the use of the underpasses by at least 12 species (*Pipistrellus pipistrellus*, *P. kuhlii*, *P. pygmaeus*, *Myotis daubentonii*, *M. escalerae*, *M. myotis*, *Nyctalus leisleri*, *Plecotus austriacus*, *Rhinolophus ferrumequinum*, *R. hipposideros*, *R. mehelyi*/*R. euryale* and *Eptesicus serotinus*/*E. isabellinus*). Data from roost inspection in all the underpasses showed the presence of at least six species (*M. daubentonii*, *M. myotis*, *N. leisleri*, *P. austriacus*, *Eptesicus serotinus*/*E. isabellinus* y *Pipistrellus sp.*), they used fissure within the tunnels of between 1.2 and 1.9 cm. For the same height (4.2-4.3 m) and width (9m), the underpasses most used were the longest. These results stress the importance of underpasses in improving the connectivity and permeability between areas, along with its potential to offer new roosts for bats. We encourage further monitoring and detailed ecological studies to better understand the physical and environmental characteristics that underpin the usage of such structures by bats.

Key words: Roads, Underpasses, Bats, Conservation, Portugal

accepted: January 18, 2014

INTRODUCCIÓN

Las carreteras son infraestructuras cada vez más presentes en los paisajes actuales (Giulio *et al.* 2009), mejoran la comunicación humana y desempeñan un papel social importante en la sociedad de hoy en día (Trombulak & Frissell, 2000; Hawbaker *et al.* 2004). Sin embargo, tienen una amplia gama de impactos ecológicos negativos en la vida silvestre (Abbott *et al.*, 2012), además de destruir y degradar el hábitat natural (Forman *et al.*, 2003), son un factor importante, causante de la pérdida de biodiversidad en todo el mundo (Giulio *et al.* 2009).

Se han realizado muchos estudios centrados en la mortalidad de mamíferos no voladores (Barthelmeß & Brooks, 2010), aves (Gomes *et al.*, 2008), anfibios (Eigenbrod *et al.*, 2008) y reptiles (Woltz *et al.*, 2008). No obstante, los murciélagos son especialmente vulnerables, debido a su gran movilidad y necesidad de recursos alimenticios dispersos en el paisaje, tienden a ponerse frecuentemente en contacto con las carreteras (Abbott *et al.*, 2012), sin embargo existen pocos estudios centrados en ellos (Bafaluy, 2000; Gaisler *et al.*, 2009; Lesiński *et al.*, 2011). De hecho, el estudio de mortalidad de las poblaciones de murciélagos en carreteras, es un campo relativamente nuevo en la conservación y la mayoría de la información procede de Europa oriental y central (e. g. Limpens *et al.*, 2005; Lesiński, 2008; Gaisler *et al.*, 2009; Kerth & Melber 2009; Lesiński *et al.*, 2011; Berthinussen & Altringham, 2012b). En América del Norte y el sur de Europa, la información sigue siendo muy escasa (González -Prieto *et al.*, 1993; Bafaluy, 2000) y todavía no somos capaces de predecir los lugares exactos donde los murciélagos pueden hallarse particularmente amenazados o las especies que pueden estar en mayor riesgo (Lesiński *et al.*, 2011). Otro impacto negativo descrito de las carreteras en los murciélagos, es la fragmentación del hábitat, en especial los que utilizan las estructuras naturales del paisaje como elementos de orientación (Limpens *et al.*, 2005).

El impacto de las carreteras sobre la vida silvestre, ha llevado a un mayor reconocimiento de la necesidad de construir estructuras que faciliten su cruce en seguridad (Trocmé *et al.*, 2003; Beckmann *et al.*, 2010). Varios estudios han investigado como los vertebrados no voladores, utilizan estructuras viales diseñadas para el drenaje u otros usos humanos (Ascensão & Mira, 2007) y los diseñados específicamente como puntos de cruce para la fauna (Clevenger & Waltho, 2000). Aunque los murciélagos también son conocidos por utilizar los pasos subterráneos para cruzar carreteras anchas (Bach *et al.*, 2004; Kerth & Melber, 2009), raramente se incluyen en las investigaciones. Directrices nacionales para la mitigación de los impactos de tráfico en los murciélagos se han publicado en varios países, debido al estado de conservación comprometido y la protección jurídica de los murciélagos en Europa (Abbott *et al.*, 2012). Muchos de ellos recomiendan la implementación de pasos inferiores para facilitar el paso (Limpens *et al.*, 2005, National Roads Authority, 2006; Highways Agency UK, 2008; Sétra, 2008). Sin embargo, el conocimiento del uso de estos pasos por los murciélagos sigue siendo muy limitado (Bach *et al.*, 2004). La capacidad de volar en espacios reducidos es probablemente uno de los principales factores que determinan el uso de los pasos por debajo de la carretera (Abbott *et al.*, 2012). Los pasos inferiores, además de proporcionar a los murciélagos seguridad en el cruce de las carreteras, pueden también proporcionar refugios muy adecuados; como en los espacios en cornisas, los huecos en fachadas, las juntas de dilatación, los desagües, la superficie interior del arco de piedra y sus fisuras (Sétra, 2008). De hecho, la pérdida de refugios naturales debido al cambio y uso de la tierra, ha aumentado la importancia de los refugios artificiales y en algunos casos estos son esenciales para la supervivencia de muchas especies de murciélagos (Bat Conservation Trust, 2012). Por ello, el conocimiento sobre el uso de los pasos inferiores de carreteras es de clara relevancia práctica para la planificación de medidas específicas dirigidas a conservar las poblaciones de murciélagos (Abbott *et al.*, 2012).

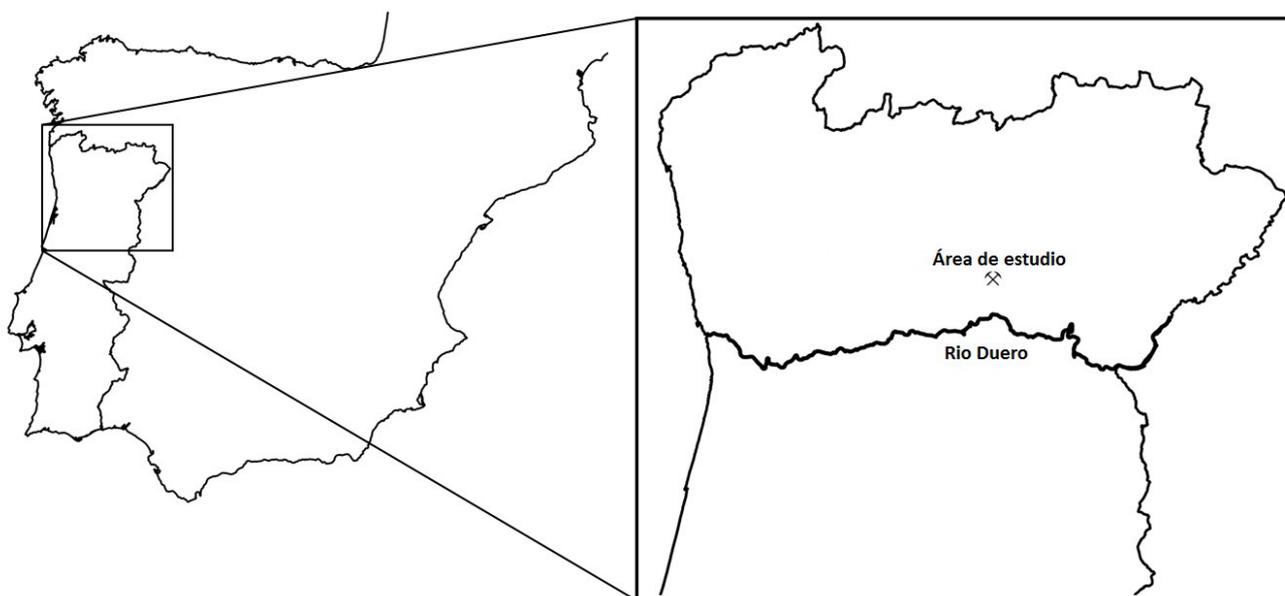


Fig. 1 – Localización de la área de estudio



Fig. 2 – Tipología de los pasos (paso IV). Leyenda: A-longitud; B-altura; C-anchura

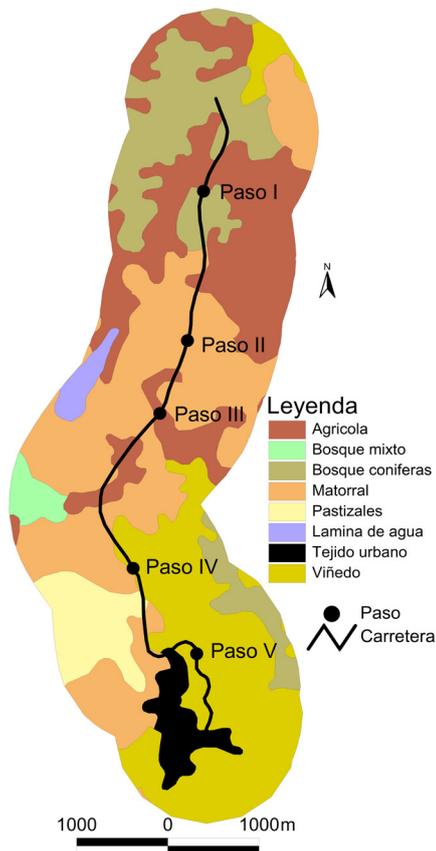


Fig. 3 – Ocupación del suelo en un buffer de 1km de la carretera

A pesar de los posibles efectos positivos que los pasos inferiores de carreteras puedan representar para los murciélagos, el impacto de estas estructuras permanece en gran parte sin cuantificar. Por ello este trabajo tiene como principal objetivo aportar información original y aumentar el conocimiento de la utilización de los pasos inferiores de carreteras por parte de los murciélagos, que podrán ayudar a la hora de poner en práctica medidas de mitigación eficientes para los murciélagos, en la construcción de carreteras.

METODOLOGÍA

La información presentada en este artículo, es el resultado de los trabajos de campo realizados en los meses de agosto (detección acústica, captura y revisión de refugios) y diciembre (revisión de refugios) del año 2013 en los cinco pasos inferiores ubicados a lo largo de 8250m del tramo construido en 2005, de la carretera N212 (41° 18' 58.23"N; 7° 28' 28.58"O), situada en el Norte de Portugal (Figura 1), Concelho de Alijó, a una altitud que varía entre los 800 y los 600 m.s.n.m.. Todos los pasos agrícolas inferiores están localizados en zona rural de uso agrícola y pastoreo, con estructuras lineales, como setos, muros de piedra y líneas de árboles que proporcionan conectividad para los murciélagos (Limpens & Kapteyn, 1991; Verboom & Huitema, 1997).

Se realizaron sesiones de captura en los pasos inferiores. La captura se efectuó con redes de niebla de cinco bolsas (14mm), colocadas dentro de los pasos agrícolas inferiores y ajustadas a la dimensión (Vintulis & Šuba, 2010) de cada paso agrícola inferior. Las 5 sesiones de captura (una por paso) realizadas en agosto, tuvieron una duración de 3 horas, las de mayor actividad de murciélagos (Bat Conservation Trust, 2012). La identificación e los ejemplares capturados se realizó en mano, mediante la utilización de caracteres morfológicos y de dentición (Dietz & Helversen, 2004; Dietz *et al.*, 2009); además, se tomaron datos sobre el sexo, así como las mediciones estándar de peso (± 0.1 g) y longitud del antebrazo (± 0.01 mm). Las redes fueron instaladas al anochecer (en el ocaso) y se revisaron cada 10 minutos, tomando nota de la hora de cada captura. Con el propósito de no duplicar datos, todos los individuos fueron marcados en el codo con esmalte de uñas (Gloza-Rausch *et al.*, 2008; Stawski, 2012) después de ser procesados, fueron puestos en libertad, de inmediato.

Las 5 estaciones de escucha (una por paso) realizadas en agosto, tuvieron una duración de 3 horas a partir del ocaso y fueron realizadas con detectores de ultrasonidos *Pettersson Elektronik® AB Mod. D 240X*, para grabar

Tabla 1 – Características de los pasos inferiores.

Característica	Paso I	Paso II	Paso III	Paso IV	Paso V
Altura (m)	4,2	4,3	4,3	4,2	4,3
Anchura (m)	9	9	9	9	9
Longitud (m)	28	34	28	38	42
Openness*	1,35	1,13	1,38	0,99	0,92
Hábitat dominante	Agrícola	Matorral	Matorral	Viñedos	Viñedos
Localización (Km+m)	1+100	2+780	3+600	5+650	7+300

*Openness = (altura X anchura)/ profundidad (Olbrich, 1984)

Tabla 2 – Resultados de utilización de los pasos inferiores como locales de paso por los murciélagos. D – identificación acústica; C – identificación morfológica (captura)

Espécie	Paso I	Paso II	Paso III	Paso IV	Paso V
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	D	D	C, D	C, D	C, D
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	D	D	C, D		C
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	D	D	C, D	D	C, D
<i>Myotis daubentonii</i>	D	C, D			
<i>Myotis escalerai</i>					C, D
<i>Myotis myotis</i>		C			
<i>Nyctalus leisleri</i>	C			D	
<i>Plecotus austriacus</i>			C		C
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	D	D		D	D
<i>Rhinolophus hipposideros</i>				D	
<i>Rhinolophus mehelyi/R. euryale</i>				D	D
<i>Myotis myotis/M. blythii</i>	D				
<i>Eptesicus serotinus/E. isabellinus</i>	D			D	
<i>Plecotus auritus/P. austriacus</i>					D
Total de especies (mínimo y máximo)	8-10	6	4	7-9	7-9
Número de pases/hora	16	38	28	52	62

en formato digital y en grabadoras *Handy Recorder H2*, las llamadas de ecolocación y las llamadas sociales (16 bits/44,1 kHz). El análisis de las grabaciones se realizó con el programa informático *BatSound 3.3.1*[®]. Los registros grabados fueron transferidos al programa en formato *Wave* (.Wav), en una frecuencia de muestra de 44.1kHz, con 16 bits/muestra y un número de muestras de la Transformación Rápida de Fourier de 1024. La identificación de las especies fue realizada teniendo en cuenta las siguientes variables: estructura del pulso; frecuencia inicial (Fi, kHz) y mínima (Ff, kHz); duración del pulso (D, ms); intervalo entre pulso (IPI, ms) y frecuencia máxima de energía (FMaxE, kHz). Los parámetros caracterizadores de cada una de las variables fueron comparados con los descritos en la bibliografía especializada (e. g. Barataud, 1996; Russo & Jones, 2002; Davidson-Watts *et al.*, 2006; Rainho *et al.*, 2011; Walters *et al.*, 2012). Además de las variables indicadas para la identificación de los *Pipistrellus*, también se han tenido en cuenta las grabaciones con llamadas sociales.

La revisión de refugios en los pasos agrícolas inferiores implicó una búsqueda previa de señales de murciélagos, como excrementos, manchas de orina y de las características potenciales de las fisuras, así como una revisión general de todas las fisuras con la ayuda de unos prismáticos y un frontal. Los murciélagos encontrados en las fisuras fueron contabilizados e identificados mediante el uso de un endoscopio (Andrew *et al.*, 2013) flexible con pantalla LCD (PCE, modelo DE25).

CARACTERÍSTICAS DE LOS PASOS

Todos los pasos tienen una arquitectura tipo bóveda (Figura 2) con dimensión media de 9 m de anchura (C), 4,25 m de altura (B) y 34 m de profundidad (A) (Tabla 1). Se trata de pasos inferiores destinados al cruce de caminos agrícolas con baja intensidad de tráfico o vías pecuarias. La base del paso es en sustrato natural (tierra) y las bandas laterales no están pavimentadas, lo que puede favorecer su uso como pasos de fauna. Los cinco pasos en estudio son los únicos



Fig. 4 – *Myotis daubentonii*



Fig. 7 – *Pipistrellus* sp.



Fig. 5 – *Eptesicus* sp.



Fig. 8 – *Plecotus austriacus*



Fig. 6 – *Nyctalus leisleri*

pasos inferiores existentes a lo largo de los 8250m del tramo nuevo (construido en 2005) de la carretera N212, que resulta en una razón de 0,6 pasos/km.

La caracterización de la ocupación del suelo (Figura 3) fue realizada con base en la “*Carta de Uso e Ocupação do Solo Para Portugal Continental*” de 2007 (COS2007), así la ocupación del suelo en un buffer de 1Km de la carretera es caracterizada por áreas agrícolas, constituidas por cultivos de secano (principalmente patata y maíz), viñedos, pstizales, matorral constituido principalmente por carquesa (*Pterospartum tridentatum*), escobas (*Cytisus* sp), bosques mixto de melojo (*Quercus pyrenaica*), castaños (*Castanea sativa*), bosque de coníferas de pinos (*Pinus pinaster*), además el área está ocupada por un pequeño embalse (61 hectáreas) y el tejido urbano de la localidad de Alijó (2800 habitantes).

RESULTADOS

USO DE LOS PASOS INFERIORES PARA CRUZAR LA CARRETERA

Los resultados de los 208 registros acústicos y de las 72 captura de murciélagos, permitieron confirmar el cruce de la carretera a través de los pasos inferiores por parte de 12 especies (*Pipistrellus pipistrellus*, *P. kuhlii*, *P. pygmaeus*, *Myotis daubentonii*, *M. escalerai*, *M. myotis*, *Nyctalus leisleri*, *Plecotus austriacus*, *Rhinolophus ferrumequinum*, *R. hipposideros*, *R. mehelyi*/*R. euryale* –probablemente *R. euryale*- y *Eptesicus serotinus*/*E. isabellinus* – probablemente *E. serotinus*-) y la posibilidad de 4 más (*P. auritus*, *M. blythi*, *R. mehelyi* y *E. isabellinus*) (Tabla 2). *P. pipistrellus* y el *P. pygmaeus* fueron las únicas especies que utilizaron todos los paso inferiores, por lo contrario *M. daubentonii*, *M. escalerai*, *M. myotis* y *N. leisleri* fueron las especies capturadas que utilizaron solamente un paso inferior (paso II, IV, II y I, respectivamente), mientras que *R. hipposideros*, *M. myotis*/*M. blythii* y *P. auritus*/*P. austriacus*, fueron detectadas acústicamente también en un solo paso inferior (paso IV, I y V, respectivamente) (Tabla 2).

Los resultados obtenidos demuestran que los pasos I, IV y V fueron los que presentaron una mayor riqueza

específica, con un mínimo de 7 y máximo de 10 especies, estos pasos tienen como tipo de uso de suelo dominante áreas agrícolas y viñedos, respectivamente. Por el contrario los pasos (II y III) cuyo tipo de uso de suelo dominante es el matorral, demostraron, ser utilizados por un menor número de especies, 6 y 4 respectivamente (Tabla 2 y Tabla 1). No obstante, el número de especies no mantiene una proporción similar con el índice de actividad (número de cruces), ya que por ejemplo en el paso I, con un número de especies elevado (8-10) se obtuvo el índice de actividad más bajo de todos, con 16 cruces/hora. Los datos de índice de actividad apuntan para una proporcionalidad con la Longitud del paso, de hecho los pasos con mayor longitud (II, IV y V) (Tabla 1) presentan una mayor índice de actividad (Tabla 2) e por lo contrario, los pasos más cortos (I y III) (Tabla 1) presentan un número de cruces más reducido (Tabla 2).

USO DE LOS PASOS INFERIORES COMO REFUGIO

La inspección y revisión de refugios en los 5 pasos inferiores en agosto e diciembre han permitido constatar la presencia de por lo menos 4 especies; *M. daubentonii* (Figura 4), *M. myotis*, *N. leisleri* (Figura 6) y *P. austriacus* (Figura 8), a las que habría que añadir al menos dos especies más (Tabla 3) de los géneros *Eptesicus* (Figura 5) y *Pipistrellus* (Figura 7), cuyos individuos no han podido ser identificados a nivel de especie.

Tabla 3 – Resultados de utilización de los pasos inferiores como refugios por los murciélagos. Leyenda: V-verano; I-invierno

Especie	Paso I		Paso II		Paso III		Paso IV		Paso V	
	A	D	A	D	A	D	A	D	A	D
<i>Myotis daubentonii</i>			X							
<i>Myotis myotis</i>			X							
<i>Nyctalus leisleri</i>	X	X								
<i>Plecotus austriacus</i>					X	X				
<i>Eptesicus sp.</i>		X								
<i>Pipistrellus sp.</i>				X	X	X	X	X	X	X

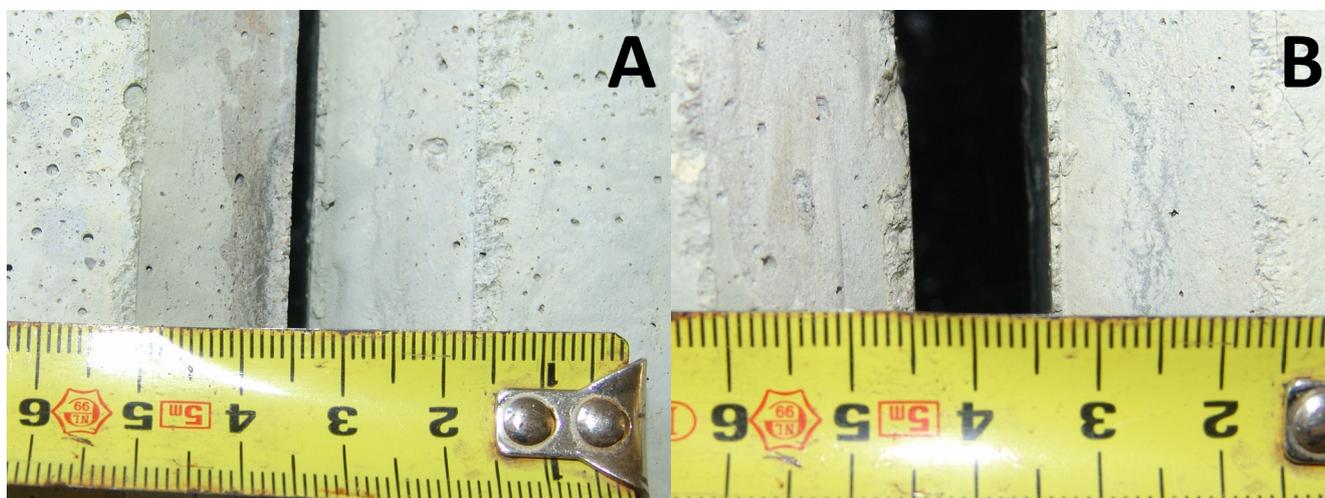


Fig. 9 – Diferencia entre fisuras no ocupadas (A) y ocupadas (B)

Tabla 4 – Anchuras media (en centímetros) de la fisura registradas para cada especie y número de fisuras.

Espécie	Paso I	Paso II	Paso III	Paso IV	Paso V
<i>Myotis daubentonii</i>		1,5 (2)			
<i>Myotis myotis</i>		1,9 (1)			
<i>Nyctalus leisleri</i>	1,6 (3)				
<i>Plecotus austriacus</i>			1,53 (3)		
<i>Eptesicus sp.</i>	1,85 (2)				
<i>Pipistrellus sp.</i>		1,25 (3)			
<i>Pipistrellus sp.</i>			1,3 (4)		
<i>Pipistrellus sp.</i>				1,25 (6)	
<i>Pipistrellus sp.</i>					1,23 (4)

La presencia del *M. myotis* y *M. daubentonii*, solamente ha podido ser confirmada en la visita de Agosto, mientras que *Eptesicus sp.*, por el contrario, solo se ha observado refugiado en los pasos inferiores en la visita de Diciembre. *P. austriacus*, *N. leisleri* y *Pipistrellus sp.* utilizaron como refugio los mismos pasos inferiores en ambos periodos (agosto e diciembre) (Tabla 3). Todas las especies observadas se refugiaban de forma aislada, aunque en ocasiones, *Pipistrellus sp.* constituyeron pequeños grupos de 3-6 individuos o bien aislados. Todos los individuos fueron observados en fisuras con una anchura mínima de 1,2 y máxima de 1,9 cm (Tabla 4 y Figura 9), los *Pipistrellus sp.* ocupaba fisuras más estrechas (1,2-1,4 cm) y las demás especies fisuras más anchas (1,4-1,9 cm), con una profundidad que variaba entre 17 y 22 cm, indistintamente de la especie.

DISCUSIÓN

El presente trabajo ha permitido comprobar la utilización de los pasos inferiores por al menos 12 especies de murciélagos (*P. pipistrellus*, *P. kuhlii*, *P. pygmaeus*, *M. daubentonii*, *M. escalerae*, *M. myotis*, *N. leisleri*, *P. austriacus*, *R. ferrumequinum*, *R. hipposideros*, *R. mehelyi*/*R. euryale* y *E. Serotinus/E. isabellinus*). La distribución del *Eptesicus serotinus* y *E. isabellinus* en la Península Ibérica es de origen alopatrica (Ibáñez *et al.*, 2006). Los individuos del sur pertenecen a la especie *E. isabellinus*, y las poblaciones del Norte pertenecen a la especie *E. serotinus* (Ibáñez *et al.*, 2006; Juste *et al.*, 2009), pero existe una zona de contacto entre ambas especies, que hasta el momento, no es claramente conocida, ni sus límites ni su dimensión (Lisón *et al.*, 2010). Así, y a pesar de que *E. isabellinus* fue recientemente identificado en el Norte de la Beira Interior de Portugal (Barros, 2011), las grabaciones acústicas de este género fueron consideradas como *Eptesicus serotinus/E. isabellinus*. Teniendo en cuenta la localización del área de estudio, lo más probable es que los individuos detectados pertenezcan a *E. serotinus*. Lo mismo ocurre con la determinación de la especie de *Rhinolophus euryale/R. mehelyi*, aunque probablemente la llamada de ecolocación registrada pertenezca a *R. euryale*, ya que *R. mehelyi* en el Norte de Portugal es escasa y está desapareciendo en gran parte de su área de distribución (Flaquer *et al.* 2010, Lisón *et al.* 2010, 2011).

No obstante, la poca antigüedad de esta carretera (8 años), las 12 especies que utilizan estos pasos representan cerca del

50% de las especies presentes en Portugal Continental, lo que representan una elevada diversidad, cuando comparado con estudios similares (Kerth & Melber, 2009; Abbott *et al.*, 2012). El alto índice de actividad (número de cruces) y la alta diversidad de especies registradas parecen indicar un elevado grado de adaptación de los murciélagos a estas estructuras. La buena densidad de los pasos en el tramo estudiado (0,6 pasos/km) permite una mayor permeabilidad (Ascensão & Mira, 2007), lo que podría explicar la intensidad de uso y riqueza específica observada en estos pasos. No obstante de estos resultados, habría que discernir si los datos sugieren un elevado grado de adaptación o simplemente un uso en la misma intensidad que el resto del entorno, lo que necesitaría la realización de estudios más amplios y detallados de la actividad e riqueza de murciélagos en los entornos de los pasos. De hecho, en Alemania se verifico que las captura en los pasos inferiores eran significativamente más elevadas en algunas especies que en los entornos, lo que sugiere que la eficacia de cruce en los pasos inferiores, puede ser mayor para algunas especies (Kerth & Melber, 2009) y en Irlanda, se observó la tendencia a volar a través de los pasos inferiores en lugar de sobre la carretera, lo que sugiere un grado de adaptación de las especies (Abbott *et al.*, 2012).

La arquitectura del tipo bóveda, es utilizada por un gran número de especies (Sétra, 2008; Abbott *et al.*, 2012), de hecho la relación entre sección de cruce y longitud del paso es de extrema importancia para su utilización por parte de los murciélagos (Limpens *et al.*, 2005). La luminosidad dentro de un paso tiene un efecto contrario, incluso para especies que normalmente se alimentan en torno de iluminación artificial, como por ejemplo los *Pipistrellus* (Limpens *et al.*, 2005). La mayoría de los murciélagos tienen una grande capacidad de volar en espacios confinados (Abbott *et al.*, 2012) y evitan espacios amplios y abiertos, visto que se sienten más vulnerables a los predadores (Limpens *et al.*, 2005). De hecho los datos de índice de actividad apuntan para una proporcionalidad con la longitud del paso, los con mayor longitud (II, IV y V) y consecuentemente los más oscuros presentar una mayor índice actividad, lo que refleja una propensión de cruce en los pasos de "openness" de 1 o próximo.

En los hábitats terrestres el aumento de la urbanización tienen en general un efecto negativo en la riqueza de las especies, aunque este patrón no es universal (McKinney, 2008), de hecho, la proximidad de los pasos I, IV y V a zonas urbanizadas pudo tener influencia en la diversidad

de las especies y en la presencia de especies consideradas antropófilas (e.g. *M. escalerae*, *P. austriacus*, *Eptesicus sp.* o *Rhinolophus sp.*). El índice de actividad de murciélagos (cruces/hora) registrado en los pasos inferiores fue variable entre estos, pero se encuentra recogido en otros estudios (e.g. Bach *et al.*, 2004; Kerth & Melber, 2009; Abbott *et al.*, 2012; Berthinussen & Altringham, 2012a).

Muchas estructuras construidas en carreteras, como pasos inferiores, viaductos y puentes tienen un impacto positivo, proporcionando nuevos abrigos para los murciélagos (Limpen *et al.*, 2005; Seiler & Helldin, 2006; Čeluch & Ševčík, 2008; Highways Agency UK, 2008; Sétra 2008; Amorim *et al.*, 2013; Medinas *et al.*, 2013), además, muchas especies demuestran una alta fidelidad a los refugios (Racey & Swift 1985; Entwistle *et al.*, 2000; Senior *et al.*, 2005; Dietz *et al.*, 2009). De hecho, en este trabajo se ha confirmado que los pasos inferiores son utilizados como refugio al menos por 6 especies (*M. daubentonii*, *M. myotis*, *N. leisleri* y *P. austriacus*, *Eptesicus sp.* y *Pipistrellus sp.*), estos resultados, se deben principalmente, a la cantidad de fisuras con anchura de 1,2-1,9 mm existentes entre las piezas prefabricadas del hormigón que representan refugios potenciales.

En conclusión, la importancia que estas estructuras representan para los murciélagos como paso o refugio, resulta fundamental como medida de conservación y a la hora de su implementación, deben ser tenidas en cuenta características como la longitud de los pasos y la cantidad de fisuras con anchura adecuadas para el refugio de murciélagos. Por último, creemos muy necesaria la realización de estudios más detallados que profundicen el conocimiento de la utilización de los quirópteros de estas estructuras así como sus características físicas, su entorno y en otras carreteras.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a Lúcia Pacheco y Hélio Vale-Gonçalves por su ayuda en la revisión del borrador inicial. Un agradecimiento especial a Manuel Arzúa Piñeiro por la revisión y sus aportaciones para mejorar el manuscrito. Agradezco igualmente los valiosos comentarios de los tres revisores anónimos, los cuales han ayudado a mejorar el manuscrito original.

Todas las capturas se han efectuado con la correspondiente autorización (69/2013/CAPT) del Instituto de Conservação da Natureza e Florestas (ICNF), autoridad responsable de la emisión de los permisos de capturas.

REFERENCIAS

- ABBOTT, I. M., HARRISON, S. & BUTLER, F. 2012. Clutter-adaptation of bat species predicts their use of under-motorway passageways of contrasting sizes – a natural experiment. *Journal of Zoology* 287:124–132. DOI: <https://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7998.2011.00894.x>
- AMORIM, F. ALVES, P. & REBELO, H. 2013. Bridges over the troubled Conservation of Iberian Bats. *Barbastella*, 6(1):3-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.14709/BarbJ.6.1.2013.01>
- ANDREWS, H. 2013. *Bat Tree Habitat Key*. AEcol, Bridgwater
- ASCENSÃO, F. & MIRA, A. 2007. Factors affecting culvert use by vertebrates along two stretches of road in southern Portugal. *Ecology Resources*, 22:57–66. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11284-006-0004-1>
- BACH, L., BURKHARDT, P. & LIMPENS, H. J. G. A. 2004. Tunnels as a possibility to connect bat habitats. *Mammalia*, 68:411–420. DOI: <https://dx.doi.org/10.1515/mamm.2004.041>
- BAFALUY, J. 2000. Mortandad de murciélagos por atropello en carreteras del sur de la provincia de Huesca. *Galemys*, 12:15–23.
- BARATAUD, M. 1996. *The world of bats. Acoustic identification of French bats*. Editions Sittelle. France. 47pp.
- BARROS, P. 2011. Contribución al conocimiento de la distribución de quirópteros en el norte y centro del Portugal. *Barbastella*, 5(1): 19-31 DOI: <http://dx.doi.org/10.14709/BarbJ.5.1.2012.04>
- BARTHELMESS, E. & BROOKS, M. S. 2010. The influence of body-size and diet on road-kill trends in mammals. *Biodiversity and Conservation*, 19:1611–1629. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10531-010-9791-3>
- BAT CONSERVATION TRUST 2012. *Bats and Buildings*. Bats and the Built Environment series. Bat Conservation Trust.
- BECKMANN, J. P., CLEVINGER, A. P., HUIJSER, M. P. & HILTY, J. A. 2010. *Safe passages: highways, wildlife, and habitat connectivity*. Washington: Island Press.
- BERTHINUSSEN, A., ALTRINGHAM, J. 2012a. Do Bat Gantries and Underpasses Help Bats Cross Roads Safely? *PLoS ONE*, 7(6): e38775. doi:10.1371/journal.pone.0038775. DOI: <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0038775>
- BERTHINUSSEN, A. & ALTRINGHAM, J. 2012b. The effect of a major road on bat activity and diversity. *Journal of Applied Ecology*, 49:82–89. DOI: <https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02068.x>
- ČELUCH, M., ŠEVČÍK, M. 2008. Road bridges as a roosts for noctules (*Nyctalus noctula*) and other bat species in Slovakia (Chiroptera: Vespertilionidae). *Lynx*, 39(1):47–54
- CLEVINGER, A. P. & WALTHO, N. 2000. Factors influencing the effectiveness of wildlife underpasses in Banff National Park, Alberta, Canada. *Conservation Biology*, 14:47–56. DOI: <https://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.00099-085.x>
- DAVIDSON-WATTS, I., WALLS, S. & JONES, G. 2006. Differential habitat selection by *Pipistrellus pipistrellus* and *Pipistrellus pygmaeus* identifies distinct conservation needs for cryptic species of echolocating bats. *Biological Conservation*, 133:118-127. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2006.05.027>

- DIETZ, C. & HELVERSEN, O. V. 2004. *Illustrated identification key to the bats of Europe* (http://www.uni-tuebingen.de/tierphys/Kontakt/mitarbeiter_seiten/dietz.htm).
- DIETZ, C., HELVERSEN, O. V. & NILL, D. 2009. *Bats of Britain, Europe & Northwest Africa*. A & C Black Publishers Ltd.
- EIGENBROD, F., HECNAR, S. & FAHRIG, L. 2008. The relative effects of road traffic and forest cover on anuran populations. *Biologic Conservation*, 141:35–46. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2007.08.025>
- ENTWISTLE, A. C., RACEY, P. A. & SPEAKMAN, J. R. 2000. Social and population structure of a gleaning bat, *Plecotus auritus*. *Journal of Zoology*, 252:11–17. DOI: <https://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7998.2000.tb00815.x>
- FLAQUER, C., PUIG, X., FÁBREGAS, E., GUIXÉ, D., TORRE, I., RÀFOLS, R. G., PÁRAMO, F., CAMPRODON, J., CUMPLIDO, J. M., RUÍZJARILLO, R., BAUCCELLS, A. L., FREIXAS, L. & ARRIZABALAGA, A. 2010. Revisión y aportación de datos sobre quirópteros de Catalunya: Propuesta de Lista Roja. *Galemys*, 22 (1) 29-61.
- FORMAN, R. T. T., SPERLING, D., BISSONETTE, J. A., CLEVINGER, A. P., CUTSHALL, C. D., DALE, V. H., FAHRIG, L., FRANCE, R., GOLDMAN, C. R., HEANUE, K., JONES, J. A., SWANSON, F. J., TURRENTINE, T. & WINTER, T. C. 2003. *Road Ecology: Science and Solutions*. Island Press, Washington.
- GAISLER, J., REHÁK, Z. & BARTONIČKA, T. 2009. Bat casualties by road traffic (Brno-Vienna). *Acta Theriol*, 54:147-155. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/BF03193170>
- GIULIO, M., HOLDEREGGER, R., TOBIAS, S. 2009. Effects of habitat and landscape fragmentation on humans and biodiversity in densely populated landscapes. *Journal of Environmental Management*, 90:2959-2968. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.05.002>
- GLOZA-RAUSCH, F., IPSEN, A., SEEBENS, A., GÖTTSCHE, M., PANNING, M., DREXLER, J. F., PETERSEN, N., ANNAN, A., GRYWNA, K., MÜLLER, M., PFEFFERLE, S. & DROSTEN, C. 2008. Detection and Prevalence Patterns of Group I Coronaviruses in Bats, Northern Germany. *Emerging Infectious Diseases*, 14:626-631. DOI: <https://dx.doi.org/10.3201/eid1404.071439>
- GOMES, L., GRILO, C., SILVA, C. & MIRA, A. 2008. Identification methods and deterministic factors of owl roadkill hotspot locations in Mediterranean landscapes. *Ecology Resources*, 24:355-370. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11284-008-0515-z>
- GONZALEZ-PRieto, S., VILLARINO, A. & FRÉAN, M. 1993. Mortalidad de vertebrados por atropello en una carretera nacional del NO de España. *Ecología*, 7:375-389.
- HAWBAKER, T., RADELOFF, V., HAMMER, R. & CLAYTON, M. 2004. Road density and landscape pattern in relation to housing density, land ownership, land cover, and soils. *Landscape Ecology*, 20:609-625. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10980-004-5647-0>
- HIGHWAYS AGENCY UK. 2008. *Interim advice note 11608 nature conservation advice in relation to bats*. London Highways Agency. 57pp.
- IBÁÑEZ, C., GARCÍA-MUDARRA, J. L., RUEDI, M., STADELMANN, B. & JUSTE, J. 2006. The Iberian contribution to cryptic diversity in European bats. *Acta Chiropterologica*, 8(2):277-297. DOI: [https://dx.doi.org/10.3161/1733-5329\(2006\)8%5B277:TICTCD%5D2.0.CO;2](https://dx.doi.org/10.3161/1733-5329(2006)8%5B277:TICTCD%5D2.0.CO;2)
- JUSTE, J., BILGIN, R., MUÑOZ, J. & IBÁÑEZ, C. 2009. Mitochondrial DNA signatures at different spatial scales: from the effects of the Strait of Gibraltar to population structure in the meridional serotine bat (*Eptesicus isabellinus*). *Heredity*, 103:178-187. DOI: <https://dx.doi.org/10.1038/hdy.2009.47>
- KERTH, G. & MELBER, M. 2009. Species-specific barrier effects of a motorway on the habitat use of two threatened forest-living bat species. *Biologic Conservation*, 142:270-279. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.022>
- LESIŃSKI, G. 2008. Linear landscape elements and bat casualties on roads—an example. *Annales Zoologici Fennici*, 45:277-280. DOI: <http://dx.doi.org/10.5735/086.045.0406>
- LESIŃSKI, G., SIKORA, A. & OLSZEWSKI, A. 2011. Bat casualties on a road crossing a mosaic landscape. *European Journal of Wildlife Research*, 57:217-223. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10344-010-0414-9>
- LIMPENS, H. J., KAPTEYN, K. 1991. Bats, their behaviour and linear landscape elements. *Myotis*, 29:39-48.
- LIMPENS, H. J., TWISK, P. & VEENBAAS, G. 2005. *Bats and road construction*. Brochure about bats and the ways in which practical measures can be taken to observe the legal duty of care for bats in planning, constructing, reconstructing and managing roads. Rijkswaterstaat, Dienst Weg en Waterbouwkunde, Delft, the Netherlands and the Vereiging voor Zoogdierkunde en Zoogdierbescherming, Arnhem.
- LISÓN, F., YELO, N. D., HAZ, A. & CALVO, J. F. 2010. Contribución al conocimiento de la distribución de la fauna quiropterológica de la Región de Murcia. *Galemys*, 22(1):11-28.
- LISÓN, F., ALEDO, E. & CALVO, J. F. 2011. Los murciélagos (Mammalia: Chiroptera) de la Región de Murcia (SE España): distribución y estado de conservación. *Anales de Biología*, 33:79-92.

- MCKINNEY, M. L. 2008. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 11:161-176. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11252-007-0045-4>
- MEDINAS, D., MARQUE, J. T. & MIRA, A. 2013. Assessing road effects on bats: the role of landscape, road features, and bat activity on road-kills. *Ecological Research*, 28(2):227-237. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11284-012-1009-6>
- NATIONAL ROADS AUTHORITY 2006. *Best practice guidelines for the conservation of bats in the planning of national road schemes*. Dublin: National Roads Authority.
- RACEY, P. A. & SWIFT, S. M. 1985. Feeding ecology of *Pipistrellus pipistrellus* (Chiroptera: Vespertilionidae) during pregnancy and lactation I. Foraging behaviour. *Journal of Animal Ecology*, 54:205-215.
- RAINHO, A., AMORIM, F., MARQUES, J. T., ALVES, P. & REBELO, H. 2011. *Chave de identificação de vocalizações dos morcegos de Portugal Continental*. Versão eletrónica (beta), Abril de 2011.
- RUSSO, D. & JONES, G. 2002. Identification of twenty-two bat species (Mammalia: Chiroptera) from Italy by analysis of time-expanded recordings of echolocation calls. *Journal of Zoology*, 258:91-103. DOI: <https://dx.doi.org/10.1017/S0952836902001231>
- SEILER, A. & HELLDIN, J. O. 2006. Mortality in wildlife due to transportation, In *The ecology of transportation: managing mobility for the environment*. eds J. Davenport, J.L. Davenport, pp. 165 -189. Springer, Dordrecht.
- SENIOR, P., BUTLIN, R. K. & ALTRINGHAM, J. D. 2005. Sex and segregation in temperate bats. *Proceedings of The Royal Society Biological Sciences*, 272:2467-2473. DOI: <https://dx.doi.org/10.1098/rspb.2005.3237>
- SÉTRA 2008. *Rapport Bibliographique, Routes et Chiroptères, État des Connaissances*. Bagneux: Sétra.
- STAWSKI, C. 2012. Capture and care of northern long-eared bats (*Nyctophilus bifax*) and seasonal changes in insect abundance. *Australian Mammalogy*, 34:245–250. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/AM11043>
- TROCMÉ, M., CAHILL, S., DE VRIES, J. G., FARRALL, H., FOLKESON, L. G., HICKS, C. & PEYMAN, J. (Eds) 2003. *COST 341 – habitat fragmentation due to transportation infrastructure: the European review*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- TROMBULAK, S. & FRISSELL, C. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*, 14:18-30. DOI: <https://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.99084.x>
- VERBOOM, B. & HUITEMA, H. 1997. The importance of linear landscape elements for the pipistrelle (*Pipistrellus pipistrellus*) and the serotine bat (*Eptesicus serotinus*). *Landscape Ecology*, 12: 117-125. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/BF02698211>
- VINTULIS, V. & ŠUBA, J. 2010. Autumn swarming of the pond bat *Myotis dasycneme* at hibernation sites in Latvia. *Estonian Journal of Ecology*, 59(1):70-80. DOI: <https://dx.doi.org/10.3176/eco.2010.1.06>
- WALTERS, C. L., FREEMAN, R., COLLEN, A., DIETZ, C., BROCK FENTON, M., JONES, G., OBRIST, M. K., PUECHMAILLE, S. J., SATTLER, T., SIEMERS, B. M., PARSONS, S. & JONES, K. E. 2012. A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology*, 49(5):1064-1074. DOI: <https://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02182.x>
- WOLTZ, H., GIBBS, J. & DUCEY, P. 2008. Road crossing structures for amphibians and reptiles: informing design through behavioral analysis. *Biologic Conservation*, 141:2745-2750. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2008.08.010>