



ENCAC - ELACAC 2005 Maceió, Alagoas, Brasil - 5 a 7 de outubro de 2005

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE CASA EXPERIMENTAL CON BAJAREQUE MEJORADO.

FRANCISCO VECCHIA(1); GABRIEL CASTAÑEDA NOLASCO (2)

(1) Professor Dr. Departamento de Hidráulica e Saneamento,
Escola de Engenharia de São Carlos,
Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador Sancarlense, 400, São Carlos-SP, Brasil,
e-mail fvecchia@sc.usp.br

(2) Profesor de la Facultad de Arquitectura de la UNACH,
Doctorando em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola da Engenharia de São Carlos,
Universidade de São Pablo, São Carlos, SP, Brasil,
e-mail gnolasco@prodigy.net.mx

RESUMEN

Como parte del proyecto 10x10 con techo y posteriormente Casa-partes, los dos dependientes del subprograma XIV - Habyted, del CYTED (programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) se está trabajando en la evaluación térmica de diferentes materiales aplicables a la vivienda social en Ibero América. En éste documento se exponen resultados de dicho trabajo aplicado a la técnica del bajareque, en un prototipo experimental construido en la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas (México). El análisis se basó en datos obtenidos experimentalmente mediante un colector de datos electrónico y durante un primer periodo, basándonos en la metodología de la climatología dinámica.

Con los primeros resultados podemos apreciar la conveniencia de la utilización de la técnica del bajareque, no sólo por la variable económica sino desde el enfoque del ahorro energético, pues se demuestra que térmicamente el material responde favorablemente en el clima cálido, principalmente por la utilización del material orgánico que funciona como aislante térmico.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata de la evaluación experimental del comportamiento térmico de una vivienda de bajareque construida en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (México), En el marco de actividades del Proyecto XIV.8-Casa Partes: cimientos, paredes, techos e instalaciones, del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo-CYTED.

La vivienda objetivo se logró en un proceso de autoconstrucción y desde hace 4 años se ha monitoreado, evaluando el comportamiento post ocupación inicial de los diferentes materiales:

- 1) Comportamiento físico de la pared de bajareque,
- 2) Comportamiento físico de la madera,
- 3) Comportamiento térmico de los elementos constructivos de la unidad, haciendo mayor énfasis a la evaluación de las temperaturas superficiales y del aire interior.

La construcción de la vivienda analizada se originó por las gestiones y propuesta constructiva del arquitecto Arturo López Gonzáles, la mano de obra del personal de intendencia de la Facultad de Arquitectura de la UNACH y la dirección de Gabriel Castañeda Nolasco en 2000, (foto 1).



Foto 1. – Casa Experimental de Bajareque, construida en la Facultad de Arquitectura de la UNACH, 2000.

La investigación se basa en procesos experimentales a través del monitoreo automático de los datos del clima y de los parámetros ambientales de evaluación térmica de espacios internos de las viviendas (comportamiento térmico) con un equipo meteorológico CR10X de Campbell Scientific Inc., con multiplexador AM 416 para 32 termocables cobre-constantin.

En el presente artículo se presentan los primeros resultados de mediciones térmicas realizadas del 02 al 12 de agosto del 2004, forma parte de una estrategia de monitoreo a distintos objetos arquitectónico construidos en el marco del Proyecto 10x10, propuesta de transferencia de las tecnologías

en diez países latinoamericanos.

Los resultados se han determinado bajo la óptica de la Climatología Dinámica, a través de la elección de un día representativo del dominio de una masa Tropical, característica de verano.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación de carácter experimental se realizó entre el 02 y 12 de agosto de 2004, mediante la instalación de los sensores acoplados al equipo CR10X, tomando lecturas automáticas cada 20 segundos y contabilizando la media cada 30 minutos. Lo que corresponde a 180 lecturas de cada sensor de temperatura por hora¹.

En el periodo de 10 días de mediciones fue posible adoptar un día representativo para el verano de Tuxtla Gutiérrez, donde hubo el dominio de una masa Tropical, que es muy bien definida en el verano, por presentar temperaturas elevadas. Por lo tanto, la evaluación verifica el comportamiento térmico de la vivienda de bajareque ante el calor. Según la clasificación clásica de W. Koeppen, Tuxtla Gutierrez se localiza en una zona tropical con lluvias en verano, con tipo climático Aw, según Ayllón (1996).

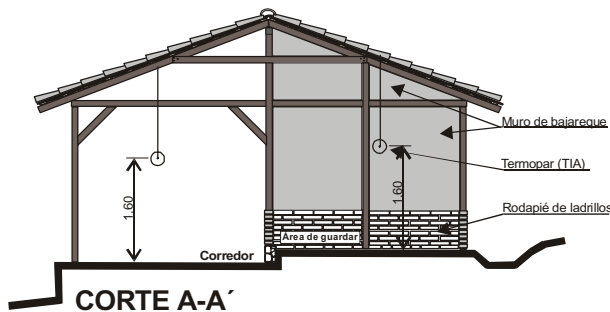


Figura 1 – Detalle de colocación

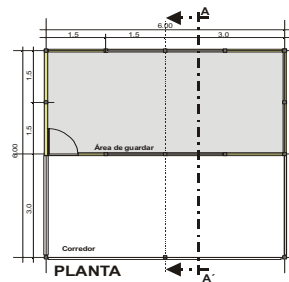


Figura 2 - Planta arquitectónica de la casa de bajareque

Ante la constatación que los cambios térmicos por el techo y por muro Sur presentaban mayores ganancias de calor por la trayectoria aparente del sol, de acuerdo a la figura 1, se optó por instalar los sensores de las temperaturas interiores (superficiales y del aire) como se aprecia en las figura 2 y figura 3.

¹ Las lecturas significan el doble de la normatividad propuesta por la Organización Mundial de Meteorología – OMM, aunque la preocupación en el presente trabajo fue contestar las preguntas de la investigación con el máximo de precisión de los datos registrados de manera automática.

El equipo de monitoreo.

El equipo automático se compone de caja ambientalmente cerrada, donde están sus componentes: batería 12V con filtro de protección, registrador CR10X, multiplexado de 32 canales AM 416 para acoplar los termo cables (Foto 2).

La vivienda de bajareque.

La vivienda bajareque, como se muestra en la figura 3, es una casa con 36 m² construida en un proceso de autoconstrucción, realizada por los trabajadores de intendencia de la Facultad de Arquitectura de la UNACH, en Tuxtla Gutiérrez.



Foto 2 – Equipo automático de registro de temperaturas

El método de investigación

Desde 1997, se ha demostrado que el clima en las regiones de medias latitudes sigue un patrón de encadenamiento sucesivo de sistemas atmosféricos (tipos de tiempo meteorológico), de acuerdo con Sorre (1951) y Monteiro (1969) y las temperaturas interiores, por su lado, tienden a acompañar el ritmo exterior de las temperaturas del aire, de acuerdo con Vecchia (1997)². Éste patrón interior de las temperaturas también se ha reconocido por Givoni (1998), que lo describe como un patrón cíclico diario, donde el conjunto de la radiación solar junto a la temperatura exterior determina la relación con las temperaturas interiores del aire en los edificios. Igualmente, lo hizo Rivero (1986), que ha descrito el proceso de cambios térmicos de dos maneras, en el régimen permanente y, lo más importante, el régimen transitorio de tipo periódico.

Tres principales componentes constructivos determinan la relación entre los valores de la temperatura del aire exterior y de la radiación solar con el comportamiento de los valores de la temperatura interior de los edificios: el piso, las paredes y el techo. Pero, también, es posible considerar la relación exclusiva entre los valores de la temperatura del aire exterior con los valores interiores, sobretodo, considerándose que la temperatura del aire exterior se calienta por la reemisión del calor obtenido de las superficies del espacio del entorno. Por lo tanto, en este artículo, partimos de esa premisa básica, además, de dos aspectos técnicos en esa relación que es considerar que no hay condicionamiento electromecánico del aire interior y, tampoco, la incidencia de radiación solar directa por superficies acristaladas (efecto invernadero). Así, se puede considerar que los valores de la temperatura externa del aire determinan un patrón cíclico diario en las temperaturas interiores de la vivienda de bajareque. En la figura 4, siguiente, se nota ese ciclo diario y el ritmo de las temperaturas exteriores e interiores.

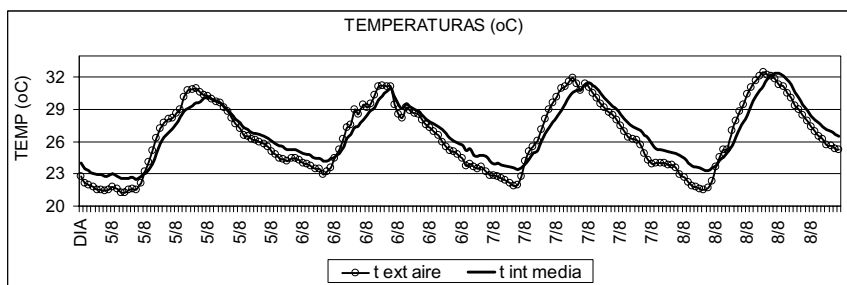


Figura 3 – Las dos curvas del gráfico representan el ciclo diario de los valores, en el periodo comprendido entre el 5 al 8 de agosto 2004, de las temperaturas del aire, exterior e interior, con un ligero retraso en las temperaturas máximas, cerca de dos horas. Además, se observa un amortiguamiento en la amplitud térmica del aire, cerca de 2°C.

² En la tesis *Clima y Ambiente Construido: la abordaje dinámica aplicada al Confort Humano*.

Por otro lado, el ciclo de los valores de la temperatura externa del aire puede ser modificado por el amortiguamiento (°C) y por el retraso térmico (horas) peculiar a la composición o propiedad térmica de los elementos y de los materiales constructivos componentes de la vivienda.

Las paredes solamente delimitan el 50% del área, el resto es un corredor abierto con techo, como se observó en la figura 3.

Cómo se puede observar en la figura 5 y la foto 3, el techo, está compuesto por la cubierta de teja de barro tipo española, después una capa de fieltro asfáltico para evitar el paso de humedad y polvo, colocado sobre las cintas de madera de pino y entre la separación de éstas una cama de caña de maíz, ésta última sirve como un plafón que inicialmente se colocó con fines estéticos.

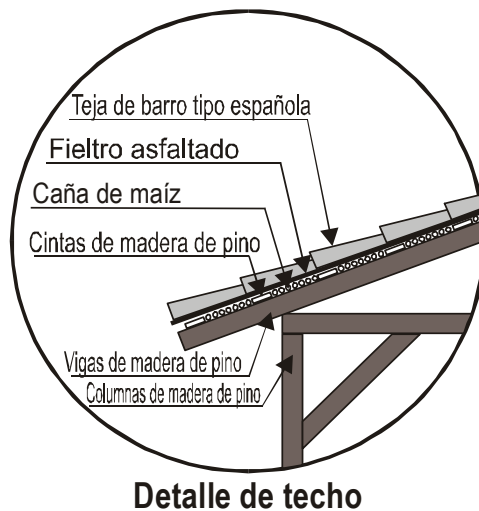


Figura 4 – Detalle de la composición del techo de la casa de bajareque.



Foto 3 – Detalle de la composición del techo de la casa de bajareque.

A su vez, las paredes de la casa están compuestas por dos partes: un rodapié de 50 cm de ladrillos, juntado con mortero cemento-cal-arena, que sirve como base y separador de la humedad del suelo al resto de la pared y, posteriormente, la segunda parte de ésta, compuesta de tierra con paja y un alma de caña de maíz de 10 cm de espesor acabada con pintura lavable en ambas caras.

La estructura está compuesta de madera de pino, principalmente polines de 10x10 cms, que sirven como columnas y cerramientos, además de cintas de la misma madera de 10 x 2.5 cms, tanto en paredes y techo, dicha estructura tiene un tratamiento con aceite quemado con el fin de darle mayor durabilidad.

La casa tiene una orientación norte-sur, siendo la ubicación del corredor al norte, con aberturas en la pared central que da al norte, y en la pared sur, lo que en su momento permite la circulación de aire de manera favorable.

Como podemos apreciar los materiales son propios de la localidad y de origen natural, con excepción de los industrializados como el cartón asfáltico, el aceite quemado y la pintura, que por sus propiedades particulares y el precio de adquisición se creyó conveniente utilizarlos pero que con el fin de desarrollar una vivienda mas apegada al concepto de la sustentabilidad se están estudiando otros materiales más apropiados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Considerándose dos premisas básicas:

- 1.) Las mediciones del 08 de agosto 2004 como representativas de las fechas del periodo de verano, en Tuxtla Gutiérrez.
- 2.) Las relaciones de las temperaturas del aire internas de la vivienda con las temperaturas del aire exterior pueden expresar el comportamiento térmico.

Así pues, si las temperaturas internas del aire son mayores que las exteriores, eso implica que se está agregando calor a la vivienda. Por otra parte, si las temperaturas siguen iguales por todo el día, eso significaría que no se agrega calor a la vivienda y, por lo tanto, su condición climática interior es la misma que del exterior.

Por otro lado, si las temperaturas interiores son menores que las del aire exterior, significa que se está impidiendo el ascenso de la temperatura del aire. Lo que puede pasar, básicamente, por dos motivos:

- a) Por que se está enfriando el aire interior por medios electro-mecánicos (sistema activo).
- b) Por el aislamiento y por la inercia térmica de los elementos constructivos del edificio (sistema pasivo).

Este último es un fuerte indicativo de las posibles buenas calidades de las viviendas. En resumen, entonces, se puede considerar:

$t_{\text{emp int del aire}} > t_{\text{emp ext del aire}}$	► el comportamiento térmico de la vivienda no es adecuado, pues algo está calentando el ambiente interior. Es probable que sean las envolventes, acristalados, el techo, etc.
$t_{\text{emp int del aire}} = t_{\text{emp ext del aire}}$	► el comportamiento térmico esta bien, una vez que no se alteran los valores de la temperatura interna del aire en relación a del exterior. Hay un buen equilibrio.
$t_{\text{emp int del aire}} < t_{\text{emp ext del aire}}$	► en ese caso, el comportamiento térmico es muy notable, pues si no hay condicionamiento, las envolventes están actuando para retardar el ingreso del calor adentro de la vivienda.

Evaluándose los picos de las temperaturas se puede notar:

<i>temperaturas</i>	<i>hora</i>	<i>Valor (°C)</i>
Temperatura exterior máxima	14 h	32.5
Temperatura interior	14 h	31.2
Temperatura interior máxima	16 h	32.5
Temperatura exterior	16 h	32

Por lo tanto, hay un retraso térmico de 2 horas en el pico de las temperaturas del aire interior-exterior. La temperatura máxima exterior es igual a máxima interior desplazada de 2 horas.

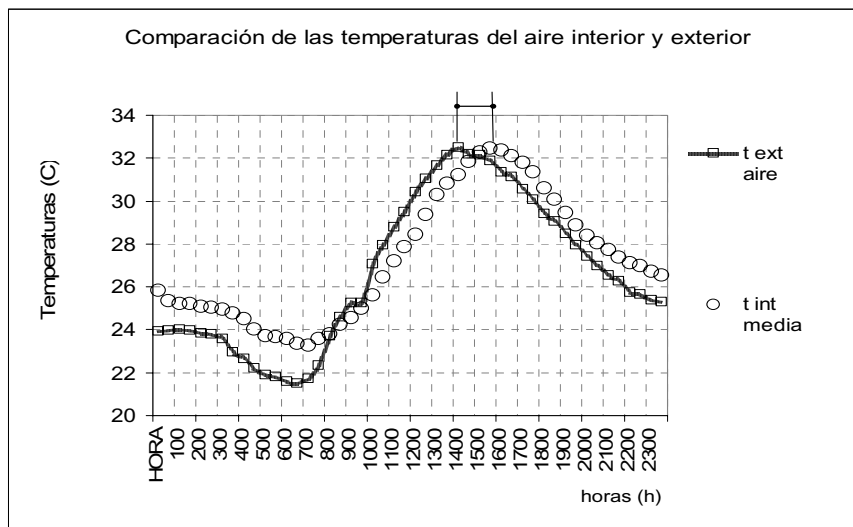


Figura 5 – Para el día representativo del episodio de verano se observa la senóide de las temperaturas del aire interior y exterior de la vivienda de bajareque. Se aprecia un retraso térmico de 2 horas (ocurrencia de la t ext max y la t int max). La amplitud térmica del aire exterior t ext max es de 11°C y del exterior es t int max 9.5°C.

En la figura 6, se puede verificar que de las 8 hasta las 15 horas los valores de la temperatura del aire exterior son mayores que los de la temperatura interior. Después, la temperatura interior permanece mayor que la exterior del aire, pero no excede a 1 °C. Desde ahí, siguen bajando con la misma diferencia hasta las 22 horas, cuando la diferencia aumenta a 1.5 °C. Entonces, hasta el próximo día a las 8, cuando vuelven a encontrarse y cambian, de nuevo, sus valores.

La amplitud térmica de las temperaturas del aire exterior es de 11 °C y la amplitud del aire interior de la vivienda bajareque es de 9.2 °C, dos grados menos que el exterior. La diferencia entre las dos amplitudes térmicas es, por lo tanto, de casi 2 °C lo que indica amortiguamiento térmico, expresión de la composición de los elementos constructivos, por medio de sus propiedades termo-físicas, aislamiento e inercia térmica.

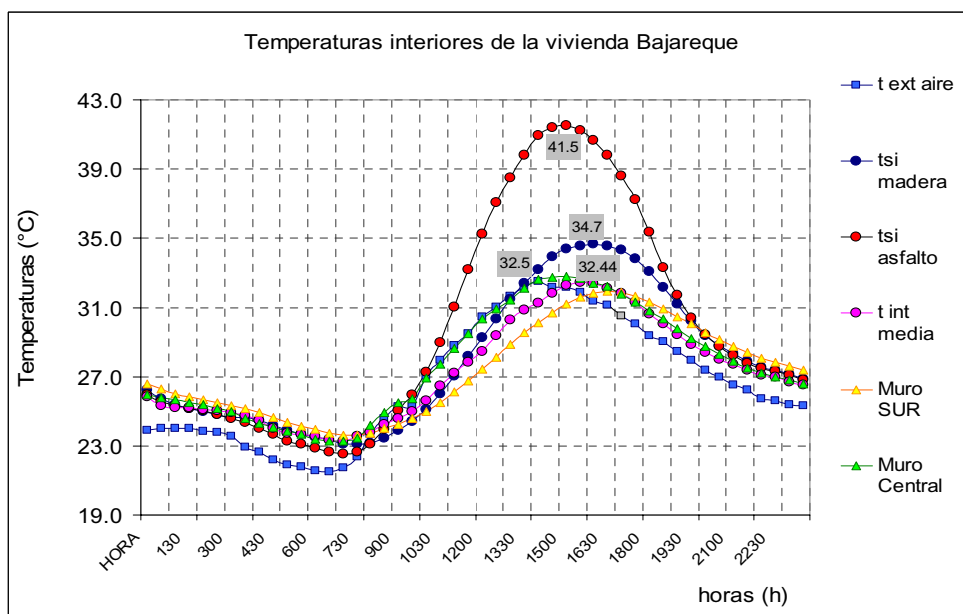


Figura 6 - Comparación de las temperaturas superficiales del techo (asfalto y madera) y del muro central de vivienda de bajareque con las temperaturas del aire interior.

Con base en la semejanza verificada entre los valores de las temperaturas superficiales de las paredes se adoptó, en la evaluación de los cambios térmicos de las envolventes, el valor promedio de sus temperaturas registradas, comparándola con los valores de las temperaturas superficiales del techo.

En la figura 7, de las temperaturas superficiales, se puede apreciar que la mayor aportación térmica en la vivienda es por el techo y, en la máxima superficial se observa que la diferencia entre el asfalto y los valores promedios de las paredes es de aproximadamente 9 °C.

Es importante resaltar que el falso plafón de madera y caña maíz participa como aislante térmico en la vivienda, ya que existe una reducción de 6 °C, en la diferencia de los valores máximos de las temperaturas superficiales del cartón asfaltado y del plafón.

CONCLUSIONES.

La caña de maíz junto a la tierra en las paredes participa aislando el interior y, por otro lado, la tierra agrega la inercia térmica al conjunto, lo que se puede notar por el amortiguamiento de las temperaturas interiores: superficiales y del aire interior.

La evaluación global de las temperaturas del aire exterior e interior es que la vivienda de bajareque presenta adecuado y aceptable comportamiento térmico frente a las ganancias de calor en verano.

La evaluación de las temperaturas superficiales del techo y de las paredes nos muestra que el techo es la superficie más débil en los cambios térmicos entre el interior y el exterior. La temperatura superficial del techo máxima - $t_{sup\ techo\ max}$ es de casi 42 °C, contra los aproximados 33 °C del muro central de la vivienda de bajareque. Una diferencia de 9 °C, donde se concluye que el techo es el factor de mayores cambios térmicos, en especial de ganancia, en ese caso del verano tuxtleco. A las paredes cabe un rol de coadyuvante en ese proceso de cambios térmicos.

La hipótesis anterior se ve reforzada por los valores de las temperaturas superficiales internas de las paredes de bajareque que siguieron el ritmo de los valores de la temperatura del aire interior, conforme se observa en la fig. 4. Para corrección ambiental de las temperaturas superficiales del techo (sistema de cubierta) es necesario incrementar la resistencia térmica del techo (aislamiento térmico) y/o, también, aumentar la reflexión de la radiación solar directa sobre el techo (cambiando su absorbencia que es principalmente determinado por el incremento de la reflexión por medio de los colores exteriores más claros). Por cierto que, igualmente, el sombramiento hace efecto, con árboles u otros dispositivos de protección.

La existencia de adecuada ventilación (cruzada e higiénica) es un importante elemento en el comportamiento térmico de espacios interiores, sobretodo, en los cambios de calor en verano, junto a la resistencia y a la masa térmica del edificio, del sombramiento de las ventanas acristaladas, junto a los colores exteriores de los muros y del techo. Además, aun según Givoni (1998), la elevación de los valores de la temperatura del aire interior es una correlación con los valores medios de la temperatura exterior del aire y que depende de la configuración de los edificios.

El próximo paso de esta investigación, las medidas de corrección, dependen de dos factores básicos, la configuración de los edificios y del clima. Los límites de las condiciones climáticas, por su vez, dependen de la expectativa de Confort Térmico de los ocupantes. Los límites de Confort se cambian de país a país, sobretodo, con respecto a la gente que vive en regiones calientes, que logran tolerar valores mayores de temperatura del aire, sin percibir la falta de confort, en función del fenómeno de la climatización natural.

Las correcciones posibles en el tema del comportamiento térmico de las viviendas bajareque tradicionales es que el tratamiento para las correcciones térmicas deben enfocarse al

mejoramiento en los techos, sobretodo, en el aislamiento térmico, exigido por los valores de la intensidad de la radiación solar directa. Al impedir que la radiación penetre a la vivienda se reduce la posibilidad de calentamiento del aire interior, posibilitando mejor condiciones del confort térmico.

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades de la Facultad de Arquitectura de la UNACH, por brindar las facilidades para la realización del trabajo experimental en el tiempo necesario, en especial a los arquitectos Antonio Nivón y Nguyen Molina Narváez, por su colaboración durante el periodo de mediciones térmicas.

A la coordinación de los Sub-Proyectos XIV.5 – Con Techo y XIV.8 – Casa Partes: cimientos, paredes, techos e instalaciones (CiPETI), respectivamente, arquitecto Pedro Lorenzo Galligo y arquitecto Héctor Massuh.

A la Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP) por ceder el equipo meteorológico de adquisición de datos automáticos en el periodo de mediciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYLLÓN, T (1996): Elementos de meteorología y climatología. México, Trillas, pp- 179.

MONTEIRO, C. F. M. (1967): A frente polar atlântica e as chuvas na fachada sul-oriental do Brasil: contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil. São Paulo, Instituto de Geografia-IGEOG USP, Serie Teses e Monografias N^o 01.

RIVERO, Roberto (1985): Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural, Porto Alegre (Brasil), Luzzato Editores; Ed Da Universidade UFRGS, 240 p.

SORRE, M. (1951): Les fondements de la Géographie Humaine. Les fondements biologiques. Essai d'une écologie de l'homme, Tomo I. Paris, Armand Colin.

VECCHIA, F. (1997): Clima y Ambiente Construído: a abordagem dinâmica aplicada ao Conforto Humano. São Paulo, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), Universidade de São Paulo (USP). Tese Doutorado.