

Selección de sistemas constructivos utilizando BIM y método de toma de decisión multicriterio

E. L. Machado^{1*} , N. C. Sotsek¹ , S. Scheer¹ , A. de P. L. Santos¹ 

*Autor de Contacto: eduarda.lauck@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.246>

Recepción: 08/08/2017 | Aceptación: 21/03/2018 | Publicación: 30/04/2018

RESUMEN

El objetivo de este estudio es identificar si el uso de un software de plataforma BIM asociado al método AHP de toma de decisión, puede auxiliar en el proceso decisorio durante la fase de concepción de proyectos. Se analizan tres sistemas constructivos: Albañilería estructural, *Light Steel Framing* y *Light Wood Framing*. El modelado en BIM posibilitó simulaciones de escenarios y facilitó la extracción de datos, que a su vez ayudaron a los especialistas en la selección del sistema constructivo más adecuado, considerando los criterios establecidos. La originalidad de esta investigación está en considerar varios factores relevantes a la elección del sistema constructivo, y su limitación está en el modelado solamente de las paredes de los sistemas constructivos analizados, y no de la edificación completa.

Palabras clave: sistemas constructivos; modelado de la información de la construcción; BIM; AHP.

Citar como: E. L. Machado, N. C. Sotsek, S. Scheer, A. de P. L. Santos (2018), " *Selección de sistemas constructivos utilizando BIM y método de toma de decisión multicriterio*", Revista ALCONPAT, 8 (2), 209 – 223, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v8i2.246>

¹ Universidad Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Curitiba, Brasil.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el primer número del año 2019 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del tercer número del año 2018.

Selection of constructive systems using BIM and multicriteria decision-making method

ABSTRACT

The objective of this study is to identify if the use of a BIM platform software associated to AHP decision-making method can assist in the decision making process during the project design phase. Three construction systems are analyzed: Structural Masonry, *Light Steel Framing* and *Light Wood Framing*. The BIM modeling enabled scenario simulations and facilitated the extraction of data, which, in turn, assisted the specialists in the selection of the most appropriate constructive system, considering the established criteria. The originality of this research is to consider several factors relevant to the choice of the constructive system, and its limitation is in the modeling only of the walls of the analyzed constructive systems, and not of the complete building.

Keywords: constructive systems; building information modeling; BIM; AHP.

Seleção de sistemas construtivos utilizando BIM e método de tomada de decisão multicritério

RESUMO

O objetivo deste estudo é identificar se o uso de um software de plataforma BIM associado ao método AHP de tomada de decisão, pode auxiliar no processo decisório, durante a fase de concepção de projetos. Três sistemas construtivos são analisados: Alvenaria Estrutural, *Light Steel Framing* e *Light Wood Framing*. A modelagem em BIM possibilitou simulações de cenários e facilitou a extração de dados, que, por sua vez, auxiliaram os especialistas na seleção do sistema construtivo mais adequado, considerando os critérios estabelecidos. A originalidade dessa pesquisa está em considerar vários fatores relevantes à escolha do sistema construtivo, e sua limitação está na modelagem somente das paredes dos sistemas construtivos analisados, e não da edificação completa.

Palavras chave: sistemas construtivos; modelagem da informação da construção; BIM; AHP.

1. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, los proyectistas del sector de la construcción civil eligen los sistemas constructivos¹ de dos maneras: con base en características conocidas o seleccionando sistemas que fueron utilizados en proyectos anteriores (Jalaei et al., 2015).

En Brasil, según Molina y Calil Júnior (2010), a pesar de los avances tecnológicos alcanzados en ese sector, aún se utiliza el mismo sistema constructivo desde la época de la colonización del país, es decir el sistema de albañilería, esencialmente artesanal, basado en la colocación de bloques.

Se conoce que esta práctica de la construcción civil es favorecida en detrimento de sistemas constructivos alternativos. Eso ocurre por causa de las normas y las instituciones preestablecidas, de las inversiones en infraestructura ya existentes, del conocimiento técnico consolidado y también, debido al gran número de agentes (propietarios, proyectistas, constructores y proveedores) de la cadena de suplidores del sector que siempre actuaron con estos insumos y técnicas (Mahapatra et al., 2012).

¹ En esta pesquisa, los autores consideran el sistema constructivo como servicio (mano de obra, material y equipamientos) necesarios para la ejecución de paredes modeladas en el proyecto arquitectónico.

Entre tanto, para Jadid y Badrah (2012), una elevada demanda por materiales viene surgiendo en función de la expansión del sector de construcción civil en todo el mundo. Luego se observó la necesidad emergente por la búsqueda de nuevos insumos.

Según Mahapatra et al., (2012) muchos países buscan alternativas más eficientes para mantener sus protocolos de sustentabilidad ambiental. En Finlandia, por ejemplo, presentó planes para que toda la construcción en el país, a partir de 2017, pase a usar recursos e insumos que atiendan a la meta de eficiencia energética estipulada en 2010. Según los autores, en Reino Unido, un "código para casas sustentables" se ha establecido para las normas para las nuevas construcciones desde 2008.

En Brasil el principal sistema constructivo utilizado en la construcción de edificaciones es albañilería. Entre tanto, no se pueden ignorar los impactos ambientales generados con su uso, principalmente debido a la cantidad de residuos generados en conteos de obra. Los problemas no se restringen apenas a la cuestión ambiental, pero también en lo que respecta a la baja productividad y la calidad de los emprendimientos, al ser comparados con otros países que poseen como base sistemas constructivos industrializados, que se caracterizan por la alta productividad y control del proceso (Molina y Calil Júnior, 2010; Mello, 2007).

Por consiguiente, queda evidente que es imprescindible identificar otros sistemas constructivos que puedan ser más adecuados para la operación del día a día del escenario brasileño. Sistemas que presenten menor impacto ambiental y que pueda facilitar el mantenimiento futuro de las edificaciones.

Basados en esa problemática el software de plataforma Building Information Modeling (BIM) puede ser utilizado como recurso durante la concepción de los proyectos arquitectónicos.

El BIM, según Succar (2008, p.5) “es un conjunto de tecnologías, procesos y políticas que permiten que varias partes interesadas puedan proyectar, construir y operar una instalación de forma de colaboración”. En el modelo de BIM los componentes, insumos y materiales pueden ser insertados permitiendo la creación de una base de datos accesible, que funciona como soporte para el proceso de selección de insumos y componentes para un emprendimiento (Jalaei y Jrade, 2014).

De esa forma, este artículo tiene como objetivo identificar se la integración de BIM en proyectos arquitectónicos puede ayudar para la toma de decisión, durante la fase de concepción del proyecto, a fin de optimizar la selección de componentes para una construcción. Para alcanzar tal objetivo el artículo utiliza como base el *software* Revit® (versión 2015) de Autodesk para BIM, y el método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), de toma de decisión. En el enfoque inspirado en Marcos (2015), la propuesta innovadora presente en este artículo está en la integración de BIM con AHP y el uso de no apenas un criterio de selección del sistema constructivo sino de varios criterios considerados relevantes y destacados por la literatura.

La pesquisa analiza tres sistemas constructivos: Albañilería Estructural, *Light Steel Framing* (LSF) y *Light Wood Framing* (LWF). Las opciones constructivas, más específicamente, las paredes de cada sistema son analizadas y comparadas y sus alternativas son evaluadas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas constructivos

El aumento de la competitividad entre las empresas de construcción civil es creciente en todo Brasil. Esa concurrencia exige estrategias empresariales que permitan un aprovechamiento mayor de los recursos y de la racionalización de los procesos (Milan, 2011). En este contexto, Marcos y Yoskhioka, (2015) apuntan que una alternativa posible para la racionalización e industrialización de los procesos de construcción civil y el uso de nuevas tecnologías constructivas.

Los motivos que justifican el uso de la albañilería en el país forman referencia a: la mano de obra no calificada², económica y disponible en todo el país; la familiaridad con la materia prima, que son los bloques cerámicos o de hormigón, que es de fácil acceso y es usada en diversas obras finalmente al aspecto cultural, los brasileños valorizan la construcción en albañilería, pues garantiza el confort tanto en invierno como en verano (Ferreira, 2014).

Sin embargo, se aprecia que este proceso constructivo a base de albañilería estructural es esencialmente artesanal, siendo marchantes aspectos como la baja productividad y el elevado desperdicio de recursos materiales (Santiago y Araújo, 2008). Mello (2007) destaca que este sistema constructivo proporciona calidad y productividad insatisfactoria, poco ha hecho modificaciones, usa mano de obra de baja calificación y por consecuencia genera alta rotatividad. Además de las características antes mencionadas, estudios sectoriales del Servicio Brasileño de Apoyo a las Micro y Pequeñas Empresas SEBRAE (2008) apuntan que existe una pequeña participación del empleo formal en la parcela total de ocupados en el sector de construcción lo que favorece la alta rotatividad de la mano de obra.

Basado en esta realidad es que el sector de la construcción civil en Brasil viene buscando alternativas de sistemas constructivos más eficaces y de menor impacto ambiental. Los sistemas constructivos prefabricados, como *Light Steel Framing* (LSF) y *Light Wood Framing* (LWF) representan una alternativa a los sistemas tradicionales, visto que el control de la planificación y del proyecto dentro de la industria contribuye para el combate al desperdicio de materiales y la lentitud del proceso de producción (Vivan, 2011).

Según Ferreira (2014) varias son las ventajas que la industrialización del sector de construcción civil promueve. Entre las que se destacan la mayor rapidez en la terminación de la obra, la eliminación de costos indirectos de difícil contabilización, mayor calidad del producto final, sustitución de parte de la mano de obra por equipamientos, trazabilidad de procesos, sitios de obras más limpo y organizado.

El sistema LWF este compuesto por componentes estructurales de madera, revestidos por paneles del tipo: lámina OSB, y cementícea que funcionan como elementos de rigidizador y lámina de yeso. El LWF consiste en un sistema constructivo industrializado de rápida ejecución. Según Molina y Calil júnior (2010), Cardoso (2015) y Kobunbun 2014 el ambiente industrial permite que varias actividades sean ejecutadas simultáneamente teniendo como consecuencia la reducción de plazos de entrega y costos.

Otra ventaja presentada en los trabajos con relación al sistema LWF es la materia prima ser renovable. Todavía no toda la madera puede ser utilizada para este procesamiento. Según la DATEC 020-A (2015) la madera usada para LWF debe ser tratada de forma adecuada. Y la misma debe presentar buena calidad (sin defectos) y con dimensiones considerables para ser industrializada en la concepción de paneles estructurales.

Según datos del Sistema Nacional de Informaciones Forestales (SNIF, 2017) la madera serrada, aquella que es utilizada para la construcción, viene creciendo en los últimos años, siendo que de 2013 a 2014 el crecimiento fue de 48%.

Por ser considerado un método constructivo nuevo en Brasil pocos son los proveedores y fabricantes de productos específicos como la placa cementícea, el manto hidrófugo, etc., lo que agrega costo a la edificación (Cardoso, 2015). Otro factor que destaca es lo relacionado a la mano de obra calificada. Kokubun (2014) destaca que es esencial para este tipo de sistema constructivo mano de obra calificada para las operaciones de fabricación de paneles y de montaje y desmontaje de la estructura. Esta mano de obra a su vez se hace menos disponible, vista la necesidad de capacitar estos funcionarios y traer los profesionales del sector maderero.

² En este trabajo fué adoptado como mano de obra no calificada “aquella cuyo grado de instrucción queda restringido al nivel medio incompleto, eso es porque en la categoría de nivel medio son incluidos cursos técnicos profesionales que pueden calificar, aun cuando de forma limitada, los profesionales para el mercado de construcción civil” (Fochezatto; Ghinis, 2011, p. 654).

Además de estos aspectos que deben ser considerados, el sistema sufre con barreras culturales. La madera aún es considerada un material de baja calidad y muchos tienen recelo de que implique tala, afirma Cardoso (2015). Para Días (2005), el principal problema relacionado con la barrera cultural es la falta de conocimiento y desarrollo tecnológico en el área.

El sistema LSF presenta características semejantes al LWF. La principal diferencia está en el uso de la materia prima, que en este caso es el acero y no la madera. Las piezas del *Light Steel Framing* son galvanizadas, formadas al frío, proyectadas para soportar las cargas de la edificación y trabajar en conjunto con otros subsistemas industrializados (Sousa y Martins, 2009).

Por ser un sistema industrializado, necesita, así como el LWF de mano de obra más calificada. (Ferreira, 2014).

El LSF es un sistema constructivo más caro en términos de materia prima: el acero galvanizado (Ferreira, 2014). Por tanto, los costos directos e indirectos pueden ser menores, si se comparan a los plazos reducidos durante la construcción y la inexistencia de pérdidas comunes en construcciones convencionales.

Según Gomes et al. (2013), este sistema presenta una reducción temporal de 1/3 en plazos de construcción cuando es comparado con el método convencional de construcción en albañilería. Siendo así, el sistema es más usado cuando el factor tiempo de construcción es más importante que los costos.

Cabe destacar que la elección de los sistemas constructivos debe tomar en consideración aspectos ambientales, económicos, sociales. Según Jadid e Badrah (2012), la elección de un insumo es como consecuencia del sistema constructivo y está relacionado a varios criterios que incluyen, pero no la limitan a:

- Durabilidad, con bajos requisitos de mantenimiento;
- Producido con recursos naturales y renovables;
- Accesible y disponible a partir de fabricantes locales;
- No afecten la calidad del aire interior y ser ambientalmente amigables;
- No contener componentes tóxicos;
- Adaptables para la redistribución de los espacios internos para atender a un servicio específico;
- Costos financieros.

Esas informaciones deben estar disponibles para la selección del sistema constructivo más adecuado a aquella situación. Por tanto, es imprescindible la elaboración de una base de datos, en la cual estas informaciones estén disponibles durante la fase de concepción del proyecto. Esta puede ser creada en alianza con los proveedores y proyectistas que ya actúan en el área en que puedan informar con relación a los aspectos listados anteriormente (Jadid y Badrah, 2012).

2.2 Analytic Hierarchy Process (AHP)

El *Analytic Hierarchy Process* (AHP) desarrollado por Saaty (1990), es basado en tres principios fundamentales: la descomposición de la estructura, la comparación de los juicios y composición jerárquica de prioridades. La descomposición del problema de decisión facilita la construcción de jerarquías de criterios para determinar la importancia de cada uno. Tales criterios, definidos por especialistas, son analizados y comparados, de dos en dos de modo independiente. Para esto pueden ser considerados ciertos hormigones de las alternativas o juicios subjetivos.

Una vez estructurada la jerarquía las alternativas son evaluadas sistemáticamente, por medio de la comparación, dos a dos, según cada uno de los criterios y una escala numérica es atribuida a cada par de n alternativas por los especialistas (Tabla 1). Estas escalas numéricas son utilizadas en las comparaciones de pares entre las alternativas de acuerdo con su impacto sobre un elemento colocado en un nivel superior de la jerarquía (Saaty, 1990).

Tabla 1. Escala de clasificación de Saaty.

Intensidad de importancia	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia débil de uno en detrimento de otro
5	Esencial o fuerte importancia
7	Demostró importancia
9	Importancia absoluta
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre los dos juicios adyacentes

Fuente: Adaptado de Saaty (1990).

La secuencia de cálculos del método puede ser encontrada detalladamente en Saaty (1990). Este método permite aún chequear el *ranking* obtenido por medio del cálculo del índice de consistencia. Entre las ventajas del AHP se destacan la facilidad de uso y la facilidad de ajuste de su estructura jerárquica para lidiar con problemas de diferentes tamaños (Velasquez e Hester, 2013).

2.3 Building Information Modelling (BIM)

Según Eastman et al. (2014), el BIM es una tecnología de modelaje y un conjunto asociado de procesos para producir, comunicar y analizar modelos de construcción, incluyendo informaciones relacionadas a la concepción, simulación y operacionalización a través del uso de diferentes herramientas integradas.

Durante la concepción del proyecto, el BIM puede apoyar el detalle del proyecto, trayendo informaciones específicas en cuanto a la estructura del emprendimiento, los procesos de ejecución e inclusive en la elección del sistema constructivo más adecuado al proyecto (Jalaei y Jade, 2014). Según Jalaei et al. (2015), la gran ventaja de usar el BIM para selección de sistemas constructivos es su función de integración y la interoperabilidad de informaciones. Su capacidad de incluir descripciones detalladas de un único edificio o conjunto de edificios puede ser importante para hacer el análisis preciso en cuanto al emprendimiento.

Aún en Brasil varios trabajos han estudiado la integración del BIM la sustentabilidad ambiental. El trabajo de Oliveira et al. (2015), por ejemplo, destaca el BIM como recurso que permite el enfoque de todo el ciclo de vida (ACV) de la edificación, permitiendo el análisis durante la concepción del proyecto; Marino (2014) plantea al BIM como herramienta para auxiliar y optimizar, por ejemplo, uso de energía, agua y materiales en análisis integrados. Carvalho y Scheer (2015) demuestran la característica del BIM en la anticipación de problemas e ineficiencia de proyecto. Para ellos, errores muchas veces percibidos apenas en obras pueden generar la reducción de los costos de la construcción y en el consumo de materiales, proporcionando ganancias de la calidad de las obras y economía de recursos, favoreciendo la sustentabilidad de las edificaciones.

2.4 Trabajos relacionados

Para conocer mejor el problema práctico y examinar el potencial del tema en estudio, una pesquisa fue realizada para identificar trabajos recientes y relacionados publicados en los últimos cinco años. Se realizó la búsqueda en las bases referenciales - ScienceDirect y Portal de Periódicos del CAPES. Fueron identificados diversos trabajos relacionados al tema. Los trabajos que más se aproximaron al análisis de sistemas constructivos utilizando BIM y/o la herramienta de apoyo para la toma de decisión fueron los cuatro descritos a continuación.

El trabajo de Marcos y Yoshioka (2015) utilizó el BIM como herramienta para auxiliar los gestores en la elección de insumos que proporcionen el menor impacto ambiental, comparando dos sistemas constructivos: albañilería y light steel frame. Su enfoque fue específico para el impacto ambiental.

La pesquisa de Jadid y Badrah (2012) creó un método de toma de decisión para la selección de materias durante la fase de concepción de un proyecto arquitectónico. Trajo el enfoque en el método multicriterio dentro de los proyectos arquitectónicos.

El trabajo Jalaei et al. (2015) buscó unir los dos temas, el software de plataforma BIM (Revit) y el método de toma de decisión. Los autores crearon un plug-in dentro del BIM para auxiliar en la elección de insumos que proporcionaran un menor impacto ambiental, analizando más específicamente, el ciclo de vida de los materiales. Nuevamente, el enfoque del trabajo fue el aspecto ambiental.

Para Jobim et al. (2006) la selección de sistemas constructivos no se caracteriza apenas por el acto técnico o profesional, más debe tomar en consideración el contexto en que el emprendimiento está insertado, las exigencias de los usuarios, los recursos disponibles, por las condiciones físicas, ambientales, y los aspectos relativos a la adecuación de costos.

La novedad de este trabajo está en la propuesta de buscar analizar no solo un factor relevante para la elección del sistema constructivo, pero también algunos de los principales factores, tales como el aspecto ambiental relacionado a los insumos, el costo financiero y factores operacionales, como disponibilidad de mano de obra y materiales.

De esta forma, este tema además de relevante e investigado por otros autores es fundamental, pues viabiliza desdoblamiento de los nuevos sistemas constructivos y ayuda a ampliar la incorporación de BIM en la cadena productiva de la construcción civil en Brasil.

3. MÉTODO

El objetivo de este estudio es identificar si el uso de una herramienta BIM asociada con un método de toma de decisión multicriterio puede auxiliar en la decisión. –se considera que esa integración podrá generar un instrumento para auxiliar en la elección más adecuada del sistema constructivo, según los requisitos de usuario, con base no solo en un criterio relevante, más bien buscando tratar los factores ambientales, económicos y operacionales de los sistemas.

La propuesta del artículo está basada en el concepto de *design science* que, según Dresch, Lacerda y Antunes Júnior (2015, p.57) “es la ciencia que procura consolidar conocimiento sobre el proyecto y desarrollo de soluciones para mejorar sistemas, existentes, resolver problemas o, aún, crear nuevos aspectos que contribuyan para una mejor actuación humana sea en la sociedad, o en las organizaciones”.

Así para el desarrollo de esta pesquisa se usó el método de Lukka (2003), que divide el estudio en siete principales etapas: (1) Identificar un problema práctico y relevante; (2) Examinar el potencial de pesquisa en conjunto con el objetivo; (3) Obtener conocimiento teórico y práctico del área; (4) Proponer una solución innovadora y desarrollar una construcción que solucione el problema identificado; (5) Implementar y probar la solución a través de un caso; (6) Evaluar la aplicabilidad de la solución; e (7) Identificar y analizar las contribuciones teóricas.

Las etapas 1 a 4 fueron presentadas en la primera parte de este artículo. Seguidamente será descrita como las etapas 5 a 7 fueron desarrolladas.

En la etapa “implementar y probar la solución” se buscó a través de un estudio de caso presentar el uso de un software de plataforma BIM con el método AHP. El software de plataforma BIM seleccionado para el estudio fue el *software* Revit® de Autodesk (versión 2015) que según Suermann (2009) es el *software* más utilizado en todo el mundo (67,08%).

El método AHP, permite estructurar formalmente los problemas, presenta simplicidad de comparación entre pares de ellos y permite también chequear la consistencia de los pesos atribuidos (Leite y Freitas, 2012).

Para la aplicación del método AHP, fueron invitados especialistas de la Universidad Federal de Paraná (UFPR) y del sector privado, actuantes directos con los sistemas constructivos, que contribuirán a través de su *expertise* y experiencia en el caso. La muestra adoptada es no

probabilística por conveniencia, es decir fueron seleccionados especialistas en que los investigadores tenían contacto previo y que los mismos tenían interés en participar de la pesquisa. Los especialistas son:

- A y D - investigadores UFPR;
- B, C y E - representantes del medio corporativo que actúan directamente con los tres sistemas constructivos en estado de Paraná.

Los especialistas consultados evaluaron los sistemas constructivos a través de formularios concebidos según la estructura del método AHP. Para colaborar con esta parte de la pesquisa fué utilizado el cuestionario elaborado con uso de *GoogleForms* (Disponible en el link: <https://goo.gl/forms/GWo7viiJft30i1LG2>).

Para atribuir peso a cada criterio establecido, los especialistas utilizaron su experiencia profesional y también de un documento elaborado, con las informaciones encontradas en la literatura referida a cada sistema constructivo utilizado en Brasil. Estas informaciones fueron presentadas en la revisión bibliográfica de este artículo.

Para hacer la ponderación de los criterios y el *ranking* de las alternativas, fue utilizado como base el *software SuperDecisions* (de la Creative Decisions Foundation, versión 2.0.6).

Para la implantación del estudio de caso fue seleccionado un proyecto arquitectónico. Entre los proyectos identificados una vivienda de interés social de 42m² fue la seleccionada. Esa fue modelada en el *software*® Revit tres veces. Una primera vez usando como base la construcción de albañilería estructural, la segunda usando paredes en *Light Steel Framing* y la tercera con paredes en *Light Wood Framing*.

En cada uno de los proyectos fueron incorporadas informaciones con el objetivo de crear una base de datos dentro del sistema. Estas informaciones, presentadas en la Tabla 2, fueron tomadas en diferentes fuentes de datos y fueron basadas en criterios presentados por Jadid y Badrah (2012).

Tabla 2. Fuente de Informaciones para la elaboración de la base de datos del software Revit

Información	Fuente de extracción
Energía incorporada por cada material CO ₂	Literatura (Caparelli, Crippa e Boieng, 2016) e baseado em dados extraídos do <i>Software Simapro</i>
Tiempo de producción	Literatura (Cardoso, 2015; Molina e Calil Júnior, 2010; Ferreira 2015)/medio corporativo
Costo de fabricación	SINAPI/PR* nov. de 2016/literatura (Cardoso, 2015) e medio corporativo
Disponibilidad de mano de obra	Literatura (Ferreira, 2015 e Kokubun 2014)/ medio corporativo
Disponibilidad de materia-prima (proveedores)	Literatura (Ferreira, 2015)/ medio corporativo

* Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices de la Construcción Civil (SINAPI), estado de Paraná.

Para la delimitación de la pesquisa, el comparativo de los sistemas hace referencia apenas al área de pared con revestimiento, no consideran la fundación, marcos, instalaciones eléctricas e hidráulicas ni tejado.

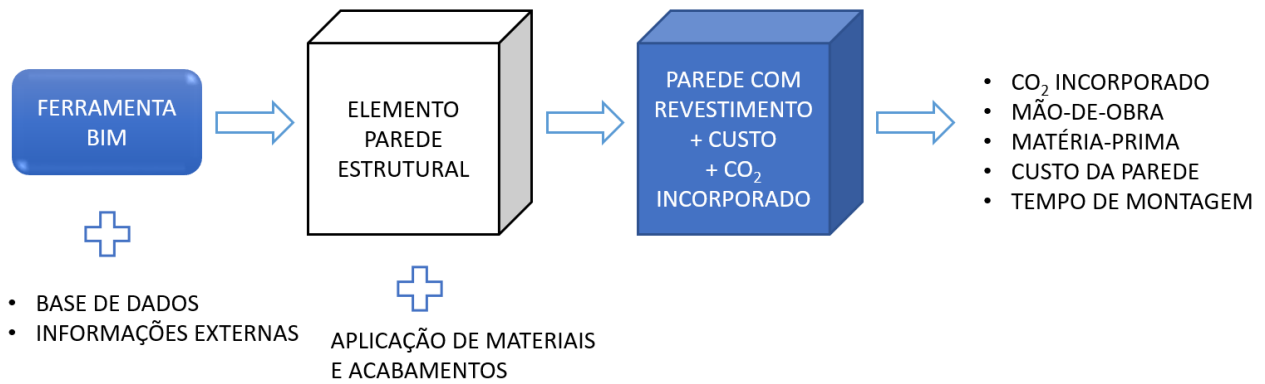


Figura 1. Esquema del proceso de información de Revit. Adaptado de Marcos y Yoshioka (2015).

Esas informaciones fueron insertadas de forma manual dentro del software Revit que permite almacenar datos específicos para cada componente. Según Marcos y Yoshioka (2015), la gran ventaja de utilizar una herramienta unificada como Revit es que una vez que se utiliza una base de datos unificada para todo el contenido de información, las modificaciones en un determinado documento (por ejemplo, una planta baja del proyecto arquitectónico), se propagan para los demás documentos relacionados automáticamente, garantizando así la agilidad de las actualizaciones, modificaciones y confiabilidad en el acceso a las informaciones.

En la Figura 1 se presenta un esquema del proceso de información del Revit. Primeramente, el elemento (en ese caso, pared) es dibujado, seguidamente se aplican los materiales y acabados relativos a esa pared y finalmente las informaciones relativas al sistema constructivo como un todo. En este caso, el valor de CO₂ incorporado de cada pared, el costo de cada materia prima, el tiempo de ejecución y la especificación de la mano de obra.

En la etapa siguiente, evaluación de la aplicabilidad, los especialistas fueron consultados en cuanto a la relevancia del software de plataforma BIM para apoyo de la decisión durante la concepción del proyecto arquitectónico.

Finalmente, en la etapa de “identificación y análisis de las contribuciones teóricas” se buscó reflexionar sobre la contribución alcanzada en comparación a estudios recientes similares.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

4.1 Implementar y probar la solución

La vivienda de interés social seleccionada posee 42 m², siendo conformada de dos cuartos, sala cocina y un baño. También fueron considerados que el escenario habitacional sería la región de Curitiba, en el estado de Paraná.

Utilizando el software Revit, fue modelada la residencia en los tres sistemas constructivos (albañilería estructural, LSF y LWF). Los sistemas LSF y LWF fueron modelados a partir de los *plug-ins Timber Framing* (de Autodesk) y *Metal Framing Wall+* de AGACAD (versión 1.0.0.6), respectivamente. El modelaje con uso de los *plug-ins* es rápida, lo que permite al proyectista modelar apenas una vez el emprendimiento. Os *plug-ins* utilizados permiten la conversión de cualquier tipo de pared en una pared de LSF o LWF casi instantáneamente, lo que aumenta la productividad del proceso de modelaje. Los *plug-ins* permiten alteraciones en el nuevo *frame*, de acuerdo con las preferencias del proyectista, una vez que pueden ser alterados los tipos de perfiles bien como sus dimensiones, las distancias entre los montantes y los detalles de las aberturas y conexiones.

A los parámetros de las paredes modeladas fueron adicionados los datos destacados de la Tabla 2.

Seguidamente, utilizando el recurso de documentación del Revit, que se trata de una de las ventajas de softwares BIM, se obtuvo automáticamente la lista de materiales como los valores, para las paredes de los tres sistemas constructivos (Tabla 3).

Tabla 3. Comparativos entre los tres sistemas constructivos

	Albañilería estructural	LSF	LWF
CO₂ incorporado /m² de pared (kg)	50,3	159	36,9
Costo/m² de pared (R\$)	247,63	295,99	182,32
Total de CO₂ incorporado (kg)	4.842,88	15.308,46	3.552,72
Costo total (R\$)	23.841,82	28.498,08	17.553,77
Tiempo de ejecución	12 días	1/2 día	1/2 día
Mano de obra calificada	nao	sim	sim

En la próxima etapa se usó el método AHP para auxiliar en la estructuración del problema de selección del sistema constructivo. De esta forma, primeramente, los criterios fueron identificados en la literatura (Figura 2).

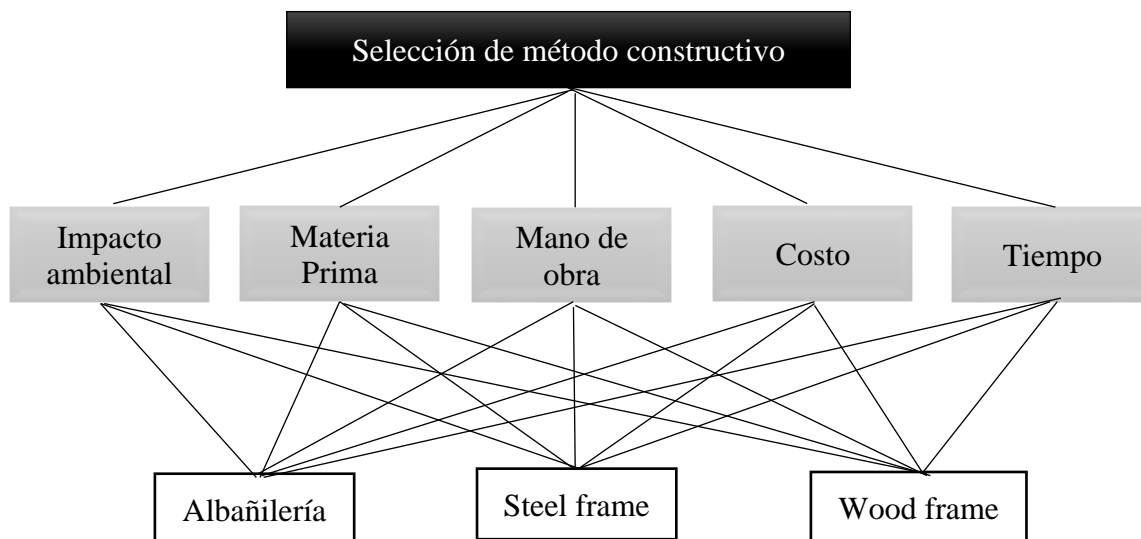


Figura 2. Jerarquía de criterios y alternativas de estudio de caso, para uso del método AHP

Luego a partir de la estructura jerárquica de este estudio de caso y de los datos obtenidos a través del Revit, los especialistas consultados evaluaron los sistemas constructivos, siguiendo la estructura del método AHP, utilizando la escala presentada en la Tabla 1. Las evaluaciones de los especialistas fueron implementadas en el *software Super Decisions*. Así, los pesos estipulados, por los especialistas, para cada criterio pueden ser visualizados en la Tabla 4.

Se observa según la Tabla 4 que los pesos indicados por los especialistas, para cada criterio de selección del sistema constructivo, fueron bien discrepantes, es decir no hubo consenso entre ellos. Para los especialistas A y B, por ejemplo, el peso de mayor elección fue el impacto ambiental. En cuanto para los especialistas C, D y E, el criterio más impactante es el valor financiero de la obra.

Tabla 4. Pesos estipulados por los especialistas para cada criterio analizado (en porcentaje)

Criterios	Especialista				
	A	B	C	D	E
Impacto Ambiental	54,67	53,66	12,56	9,68	3,11
Disponibilidad de materia prima	23,73	23,63	20,52	17,03	5,45
Disponibilidad de mano de obra	2,91	13,61	11,81	17,24	11,31
Costo	7	5,66	37,32	42,5	52,49
Tiempo	11,69	3,44	17,79	13,55	27,64

Ese análisis comprueba de hecho que la elección del sistema constructivo depende de los intereses de cada usuario/constructor. Según Jobim et al. (2006), el análisis de las alternativas de sistemas constructivos y materiales disponibles, independientemente de la tecnología ser considerada innovadora, debe ser analizada sobre distintos criterios y en especial atender a determinados requisitos de desempeño, tales como resalta la norma de desempeño 15.575 (ABNT, 2013).

A partir de los pesos estipulados para cada criterio fue posible, aún con ayuda del *software SuperDecisions*, identificar cual sistema constructivo es el más adecuado para cada especialista. El porcentaje de preferencia por el sistema constructivo (*ranking*) es presentada en la Tabla 4.

Se percibe por la Tabla 5 que el sistema constructivo más adecuado en la evaluación de los especialistas es el *Light Wood Framing*.

Los especialistas fueron consultados para analizar la integración del BIM con el método MCDM. Como los mismos también conocen los sistemas constructivos, porque actúan en el ramo de construcción civil, también contribuirán para crear el ranking de preferencia de los sistemas constructivos.

Esa opción fue la más prometedora principalmente por las ventajas que el sistema presenta al ser comparado con albañilería estructural en los aspectos de: tiempo, costo e impacto ambiental y con relación al sistema *Light Steel Framing*, en: costo, materia-prima e impacto ambiental.

Vale resaltar que el escenario elaborado tomo en cuenta la construcción de esta casa en la región de Curitiba en el estado de Paraná, donde son identificadas empresas que fabrican con los tres sistemas constructivos. Y que la propuesta de este artículo es mostrar los escenarios establecidos y no cual sistema es el más adecuado, visto que, considerando otras ponderaciones, un sistema puede ser más prometedor en algunas situaciones y no tanto en otras.

Tabla 5. Porcentaje de preferencia de los sistemas obtenido por el método AHP

Sistemas Constructivos	Especialistas				
	A	B	C	D	E
Albañilería	12,1	35,37	8,27	4,63	52,14
LSF	17,95	14,16	17,91	18,51	24,67
LWF	69,95	50,47	73,82	76,86	23,19

4.2 Evaluar la aplicabilidad da solución

Con el objetivo de evaluar la aplicabilidad de la solución propuesta los especialistas fueron cuestionados en cuanto a la relevancia de las informaciones retiradas del software Revit para elección del sistema constructivo más adecuado. En una escala de 1 a 5 donde 1 significa nada relevante y 5 muy relevante, la nota promedio de los especialistas fue 3.2, es decir de modo general, ellos coincidieron que el uso de un *software* de plataforma BIM contribuye para la elección del sistema constructivo.

Ellos también describieron como consideran que el BIM puede contribuir para uso del nuevo sistema constructivo, inclusive para combatir algunas barreras sociales.

El especialista A consideró que a partir del momento que el profesional tiene conocimiento de la herramienta BIM ella puede ser imprescindible para auxiliar en su trabajo. Entre tanta alerta que el uso incorrecto ó equivocado de la herramienta, puede representar apenas una visualización, de la misma forma, equivocada del estado real de un emprendimiento.

El especialista B relata ser extremadamente satisfactorio el uso del software de plataforma BIM durante la fase de concepción y destacó que eso puede contribuir para auxiliar los usuarios elegir construcciones más sustentables.

El especialista C en común acuerdo con el especialista B considera la herramienta satisfactoria para el proceso comparativo, desde que las fuentes extraídas sean confiables. El especialista D destacó aún que el BIM garantiza que el mismo proyecto sea editado, modificando los sistemas constructivos de forma fácil y simple para enseguida hacer el comparativo para la opción más adecuada.

El especialista es también entiende que el BIM permite mayor detallado de un proyecto lo que hace los procesos más precisos y con menos desperdicios de materia-prima y mano de obra.

4.3 Identificar y analizar las contribuciones teóricas

Basados en el estudio de caso realizado y en la evaluación hecha con los especialistas se cree que el uso del BIM, como en el caso el Revit y el método AHP contribuyeron de forma efectiva para colaborar en la elección del método constructivo, una vez que a través de esta integración fue posible comparar los criterios y visualizar a partir del modelaje BIM, el proyecto en 3D, como también extraer fácilmente los cuantitativos.

Se considera además que el comparativo es el camino para que más usuarios puedan conocer otros sistemas constructivos e implanten los mismos en sus construcciones.

Como el BIM incorpora una biblioteca para almacenamiento de informaciones, este beneficio puede ser utilizado por los gestores durante el proceso de concepción de proyectos, contribuyendo en elección del sistema constructivo más adecuado. Además de eso, las informaciones adicionales pueden ser actualizadas dependiendo del emprendimiento por los propios proveedores de insumos y constructores. Por ejemplo, los insumos del LWF aún pasan por ensayos físicos y otros insumos están siendo desarrollados. En esta situación el propio proveedor del insumo podría facilitar esas informaciones a los escritorios de proyectos para mostrar las nuevas informaciones e insumos con el objetivo de actualizar los datos y presentar las novedades con relación a aquel sistema constructivo. Otra ventaja es la practicidad de la herramienta en modelar varios sistemas constructivos diferentes de manera fácil y rápida, siendo este uno de los recursos para auxiliar en la elección que, asociado a la obtención automática de la documentación del proyecto, puede hacer la concepción de proyectos una etapa más rápida/eficiente.

5. CONSIDERACIONES FINALES

El presente trabajo propuso el uso del software de plataforma BIM asociado al método AHP para ayudar en la elección del sistema constructivo más adecuado durante la fase de concepción de proyectos arquitectónicos. El enfoque dado por la investigación tomo en consideración el análisis de tres sistemas constructivos: Albañilería estructural, *Light Steel Framing* y *Light Wood Framing*. el proceso de elección del sistema constructivo considera las principales ventajas del uso de cada uno de los sistemas, analizando los siguientes criterios: disponibilidad de mano de obra y materia prima; costo relacionado con la construcción; tiempo de ejecución de la obra y; el impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida. El método presentado (uso del software plataforma BIM asociado con el método AHP), mostró que el modelaje del proyecto en BIM hizo posibles simulaciones de escenarios, es decir que permitió la simulación de 3 edificaciones utilizando sistema constructivo diferentes (wood frame; steel frame e albañilería) dentro de un mismo proyecto. Así mismo facilitó la extracción de datos, que, a su vez, ayudaron a los especialistas a

seleccionar el sistema constructivo más adecuado considerando los criterios de análisis ponderados y también el ranking que el método AHP sugirió.

El método presentado permite al proyectista el apoyo de una base de datos para la elección y la ponderación de sus preferencias (o los del cliente) en relación con los criterios por ellos determinados esenciales para el emprendimiento proyectado. Las contribuciones académicas de este estudio incluyen el uso de software de plataforma BIM y el método AHP en conjunto para la elección del sistema constructivo más adecuado para cada emprendimiento.

Para trabajos futuros, se sugiere la aplicación de la propuesta dentro de un estudio de caso real con participación de usuarios finales y presentando una reflexión teórica sobre los beneficios dados por la asociación del BIM y del AHP, considerando también otros criterios.

6. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa fue apoyada por el Programa de Pós- Gradación em Engenharia e Construcción civil (PPGECC) la Universidad Federal do Paraná (UFPR).

7. REFERENCIAS

AGACAD. *Metal Framing Wall+*, versao 1.0.0.6.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: Edificações habitacionais: desempenho*. Rio de Janeiro.

Autodesk. *Revit*, versão 2015.

Cardoso, L. A., (2015). “*Estudo do método construtivo wood framing para construção de habitações de interesse social*”, Trabalho de Conclusão do Curso, Universidade Federal de Santa Maria, 79 f.

Carvalho, H. J. S., Scheer, S. (2015). “*A utilização de modelos BIM na gestão de resíduos de construção e demolição*”, in: Encontro Brasileiro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, Recife (Brasil).

Caparelli, A. P. A., Crippa, J., Boeing, L. C. (2015), “*Integração das ferramentas BIM e LCA no desenvolvimento de edificações sustentáveis: estudo sobre vedações verticais*”, Trabalho de Conclusão do Curso, Universidade Federal do Paraná, 103 f.

Creative Decisions Foundation. *SuperDecisions*, versão 2.0.6.

DATec nº020^a (2015). “*Sistema de vedação vertical leve em madeira. Instituto Falcao Bauer de Qualidade de São Paulo*”, Disponível em: <http://www.tecverde.com.br/wp-content/uploads/2016/07/datec-20A.pdf>

Dias, G. L. (2005), “*Estudo experimental de paredes estruturais de sistema leve em madeira (sistema plataforma) submetida a força horizontal no seu plano*”. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina. <http://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102897>

Dresch, A., Lacerda, D. P., Antunes Júnior, J. A. V. (2015), “*Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*”. Bookman, Porto Alegre, Brasil, p.57.

Eastman, C. et al. (2004) [tradução: Cervantes Golçalves Ayres Filho... et al]; revisão técnica: Eduardo Toledo Santos. Dados eletrônicos, “*Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores*”. Bookman, Porto Alegre, Brasil.

Ferreira, A. S. (2015), “*Estudo comparativo de sistemas construtivos industrializados: paraed de concreto, steel frame e wood frame*”, Trabalho de Conclusão do Curso, Universidade Federal de Santa Maria.

Fochezatto, A., Ghinis, C. P. (2011), “*Determinantes do crescimento da construção civil no Brasil e no Rio Grande do Sul: evidências da análise de dados em painel*”, Ensaios FEE, 31:648-678.

- Gomes, C. E. M., Vivan, A. L., Sichieri, E., Paliari, J. (2013). “*Light steel frame na produção de moradias no brasil*” in: IX Congresso de Construção Metálica e Mista e I Congresso Luso-Brasileiro de Construção Metálica Sustentável, Porto, Portugal. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/arqs/20150622104044-gomesc2013.pdf>
- Jadid, M. N., Badrah, M. K. (2012), “*Decision support system approach for construction materials selection*”. in: Proceedings of the 2012 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, Society for Computer Simulation International, p. 10.
- Jalaei, F., Jrade, A. (2014), “*Integrating Building Information Modeling (BIM) and Energy Analysis Tools with Green Building Certification System to Conceptually Design Sustainable Buildings*”. Itcon, 19:494-519. <http://www.itcon.org/2014/29>
- Jalaei, F., Jrade, A., Nassiri, M. (2015), *Integrating Decision Support System (DSS) and Building Information Modeling (BIM) to Optimize the Selection of Sustainable Building Components*. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 20, (25), pp:399-420. <http://itcon.org/paper/2015/25>.
- Jobim, M. S. S., Oliveira, G. G., Da Rosa, M. M., Roman, H. (2006) “*Critérios para seleção de tecnologia na construção civil*”. in: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC), Florianópolis (Brasil), (2006), pp. 2371-2380.
- Jobim, M. S. S., Jobim Filho, H. (2003), “*Sistema de avaliação de materiais e componentes na indústria da construção civil: integração das cadeias produtivas*”. Relatório Técnico FINEP. Santa Maria: UFSM.
- Kokubun, Y. E. (2014). “*O processo de produção de um sistema construtivo em painéis estruturais pré-fabricados em madeira*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 171 f. <http://dx.doi.org/10.11606/D.16.2014.tde-02072014-101053>
- Leite, I. M. S., Freitas, F. F. T. (2102). “*Análise comparativa dos métodos de apoio multicritério à decisão: AHP, ELECTRE e PROMETHEÉ*”. in XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Bento Gonçalves (Brasil).
- Lukka, K. (2003). “*The Constructive Research Approach*”. in: OJAL, L.; HILMOLA, O-P. (Eds.), Case Study Research in Logistics, Publications of the Turku School of Economics and Business Administration, Series B1.
- Mahapatra, K., Gustavsson, L., Hemstrom, K., (2012), “*Multi-storey wood-frame buildings in Germany, Sweden and the UK*”, Constr. Innov. Inf. Process. Manag. 12(1):62–85. <http://dx.doi.org/10.1108/14714171211197508>
- Marcos, M., Yoshioka, E. (2015). “*Uso de ferramenta BIM para auxiliar na escolha do sistema construtivo que gera menor impacto ambiental*”. in: 7º Encontro Brasileiro de Tecnologia de Informação de Comunicação na Construção, Recife (Brasil). <http://dx.doi.org/10.5151/engpro-2015-066>
- Manrique, J. D., et al. (2015), *Automated generation of shop drawings in residential construction*, Automation in Construction. 55:15–24. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.004>
- Marinho, A. J. C. (2014). *Aplicação do Building Information Modeling na gestão de projetos de construção*. 63p. Dissertação (Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis), Universidade do Minho.
- Molina, J. C., Calil Júnior, C. (2010), “*Sistema Construtivo em Wood Frame para Casas de Madeira*”. in: Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina (Brasil), 31(2):143-156. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.2010v31n2p143>
- Marcondes, F. C. S., Cardoso, F. F. (2005). “*Contribuição para aplicação do conceito de logística reversa na cadeia de suprimentos da construção civil*”. in: Simpósio Brasileiro Gestão e Economia da Construção, Porto Alegre (Brasil).
- Marcos, M. H. C. (2015). *Metódo de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de ferramenta BIM*, Tese de deutorado, Universidade de São Paulo.

- Mardani, A. et al. (2015), Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. 28(1):516-571. <http://dx.doi.org/10.1080/1331677X.2015.1075139>
- Mello, L. C. B. B. (2007). “*Modernização das pequenas e médias empresas de Construção Civil: impactos dos programas de melhoria da gestão da qualidade*”, Tese de Doutorado, Universidade Federal Fluminense.
- Milan, G. S., Novello, R. V., Dos Reis, Z. C. (2011), *Viabilidade do sistema Light Steel Frame para construções residenciais*. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa.
- Oliveira, E., Scheer, S., Tavares, S. F. (2015), *Avaliação de impactos ambientais préoperacionais em projetos de edificações e a Modelagem da Informação da Construção*. In: TIC, Recife (Brasil).
- Saaty, T. L. (1990), How to make a decision: the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*. 48:9–26. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Santiago, A. K., Araújo, E. C. (2008) “*Sistema light steel framing como fechamento externo vertical industrializado*”. in: 3º Congresso Latino Americano da Construção Metálica. <http://www.abcem.org.br/construmetal/2008/contribuicoes2.php>
- Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequena Empresa (SEBRAE). (2008). “*Cadeia produtiva da construção civil: Cenários econômicos e estudos setoriais*”. http://189.39.124.147:8030/downloads/Construcao_civil.pdf. Acesso em 30 mai. 2017
- Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF) (2017). “*Produção Florestal*”, 2017. Disponível em: < <http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/producao>>. Acesso em 08 ago. 2017
- Sousa, A. M. J., Martins, N. T. B. S. (2009). “*Potencialidades e obstáculos na implantação do sistema light steel framing na construção de residências em palmas – TO*”, Trabalho de conclusão de curso, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins.
- Succar, B. (2008), disponível em: <http://changeagents.blogs.com/Public_Sharing/OICE-BIM-Forum-BilalSuccar-20160420.pdf>. Acessado em 25 jan. 2017.
- Suermann, P.C. (2009). “*Evaluating the impact of Building Information Modeling (BIM) on construction. Flórida*”, University of Flórida.
- Vargas, R. V. (2010). “*Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process-AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio*”. in: 29º PMI Global Congress (2010), pp. 31.
- Velasquez, M., Hester, P. T. (2013), *An analysis of multi-criteria decision making methods*. International Journal of Operations Research. 10(2):56-66.
- Vivan, A. L. (2011). “*Projetos para produção de residências unifamiliares em light steel framing*”. 226 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4658.fcab>