

Cómo citar este artículo:

Kotaira, K. (2020). Evaluación de Constructividad en Proyectos BIM en Brasil. *Project, Design and Management*, 2(2), 7-23. doi: 10.29314/pdm.v2i1.446

EVALUACIÓN DE CONSTRUCTIVIDAD EN PROYECTOS BIM EN BRASIL

Keila Kotaira

Universidad Internacional Iberoamericana (México)

kotaira@gmail.com

Resumen. Esta investigación se derivó de una parte de la base teórica de la tesis de maestría del autor, desarrollada en conjunto con el Programa de Maestría en Diseño, Gestión y Gestión de Proyectos, en la Universidad Internacional Iberoamericana, UNINI-México (UNINI-MX). El autor tiene experiencia en proyectos en el sector de la construcción, su compatibilidad y enseñanza del software específico utilizado en este segmento, y se motivó al observar el contexto en la práctica y la vergüenza personal. En otros países, es una realidad, y no una novedad, aprobar los puntajes de los proyectos de construcción, en relación con sus criterios de construcción, antes de proceder a su logro. También es digno de mención que los proyectos que resultan del modelado de la información de construcción (proyectos BIM), entre otros avances tecnometodológicos entrantes de manera exponencialmente creciente en la velocidad de ocurrencia, calidad y cantidad de colaboraciones, exigen cada vez más cambios en los paradigmas en la construcción civil, pero facilitan la extracción de datos que pueden evaluarse, en relación con su capacidad de construcción, de forma automatizada. El propósito de BIM no debe ser solo la automatización de los resultados gráficos-textuales. Este trabajo buscó conceptualizar, con base en la literatura y las experiencias, cómo y cuándo extraer información de proyectos BIM que buscan automatizar la Evaluación de Constructividad del Edificio.

Palabras clave: Constructividad, evaluación de constructividad, edificabilidad BIM, gestión de proyectos.

EVALUACIÓN DE CONSTRUCTIVIDAD EN PROYECTOS BIM EN BRASIL

Resumo. Esta pesquisa foi derivada de uma parte do embasamento teórico da tese de mestrado do autor, desenvolvido junto ao Programa de Maestría en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos, na Universidad Internacional Iberoamericana, UNINI México (UNINI-MX). O autor possui experiência em projetos do setor da construção, sua compatibilização e ensino de softwares específicos utilizados neste segmento, e foi motivado por observação do contexto na prática, e constrangimento pessoal. Nos demais países é realidade, e não novidade, a aprovação da pontuação dos projetos de edifícios, com relação aos seus critérios de construtibilidade, antes de se proceder a sua consecução. É notável também que projetos resultantes de modelagem de informações da construção (projetos BIM), dentre outros avanços tecnometodológicos entrantes de forma exponencialmente crescente na velocidade de ocorrência, qualidade e quantidade de

colaborações, cada vez mais, exigem mudanças de paradigmas na construção civil, mas facilitam a extração de dados que podem ser avaliados, com relação à sua edificabilidade, de forma automatizada. A finalidade do BIM não deveria ser somente a automatização de entregáveis gráfico-textuais. Este trabalho buscou conceituar, embasado em literatura e experiências, como e quando realizar a extração de informações de projetos BIM buscando a automatização da Avaliação de Construtibilidade de Edifícios.

Palavras-chave: Construtibilidade, avaliação de construtibilidade, edificabilidade BIM, gestão de Projetos.

CONSTRUCTIBILITY ASSESSMENT IN BIM PROJECTS IN BRAZIL

Abstract. This research was derived from a portion of author's work developed in the theoretical basis of the author's master's degree thesis, carried out with the program Maestría en Diseño, Gestión y Dirección de Proyectos, at the Universidad Internacional Iberoamericana, UNINI Mexico (UNINI-MX). The author has experience in construction sector projects, their multi-disciplinary compatibility and teaching of specific software used in this segment, and was motivated by observation of the context in practice, and personal embarrassment. In other countries than Brazil it is a reality, rather than a novelty, that building design scores are approved in line with their constructability criteria made prior to the subsequent execution. It is also noteworthy that projects resulting from Building Information Modeling (BIM projects), among other exponentially augmenting techno-methodological advances in the speed of occurrence, quality and quantity of collaborations, increasingly require paradigms changes in civil construction, but make it easier to extract data that can be evaluated for buildability in an automated way. The purpose of BIM should not only be to automate graphical textual deliverables. This work sought to conceptualize, based on literature and experiences. How and when to perform information extraction from BIM projects, seeking the automation process of Building Constructability Assessments.

Keywords: Constructability, constructability assessment, buildability BIM, project management.

EVALUACIÓN DE CONSTRUCTIVIDAD EN PROYECTOS BIM EN BRASIL

Resumen. Esta investigación se derivó de una parte de la base teórica de la tesis de maestría del autor, desarrollada en conjunto con el Programa de Maestría en Diseño, Gestión y Gestión de Proyectos, en la Universidad Internacional Iberoamericana, UNINI-México (UNINI-MX). El autor tiene experiencia en proyectos en el sector de la construcción, su compatibilidad y enseñanza del software específico utilizado en este segmento, y se motivó al observar el contexto en la práctica y la vergüenza personal. En otros países, es una realidad, y no una novedad, aprobar los puntajes de los proyectos de construcción, en relación con sus criterios de construcción, antes de proceder a su logro. También es digno de mención que los proyectos que resultan del modelado de la información de construcción (proyectos BIM), entre otros avances tecnometodológicos entran de manera exponencialmente creciente en la velocidad de ocurrencia, calidad y cantidad de colaboraciones, exigen cada vez más cambios en los paradigmas en la construcción civil, pero facilitan la extracción de datos que pueden evaluarse, en relación con su capacidad de construcción, de forma automatizada. El propósito de BIM no debe ser solo la automatización de los resultados gráficos-textuales. Este trabajo buscó conceptualizar, con base en la literatura y las experiencias, cómo y cuándo extraer información de proyectos BIM que buscan automatizar la Evaluación de Constructividad del Edificio.

Palabras clave: Constructividad, evaluación de constructividad, edificabilidad BIM, gestión de proyectos.

Introducción

Los proyectos resultantes del Modelado de Información de Construcción (del inglés “Building Information Modeling”, BIM), entre otros avances tecnometodológicos entrantes, requieren cambios de paradigma en la construcción civil. El objetivo de este estudio es investigar no solo los entregables BIM desde la perspectiva “Delivery Based”, basado en entregables, comúnmente proclamada por varios frentes de estudio recientes, sino el estudio con el único propósito de adoptar la mejor solución de construcción que se pueda lograr a través de la evaluación previa de constructividad realizada antes de su ejecución. Los problemas derivados de la baja constructividad resultan en graves pérdidas financieras y retrasos en los cronogramas de casi todas las obras. Algunas ni siquiera son concluidas. Esta investigación trató de verificar cómo aplicar los conceptos de constructividad a la eficiencia de los edificios, en los proyectos BIM, a fin de lograr una mejor gestión de los proyectos y una consecución optimizada de las construcciones de los edificios.

Contextualización del Escenario Brasileño

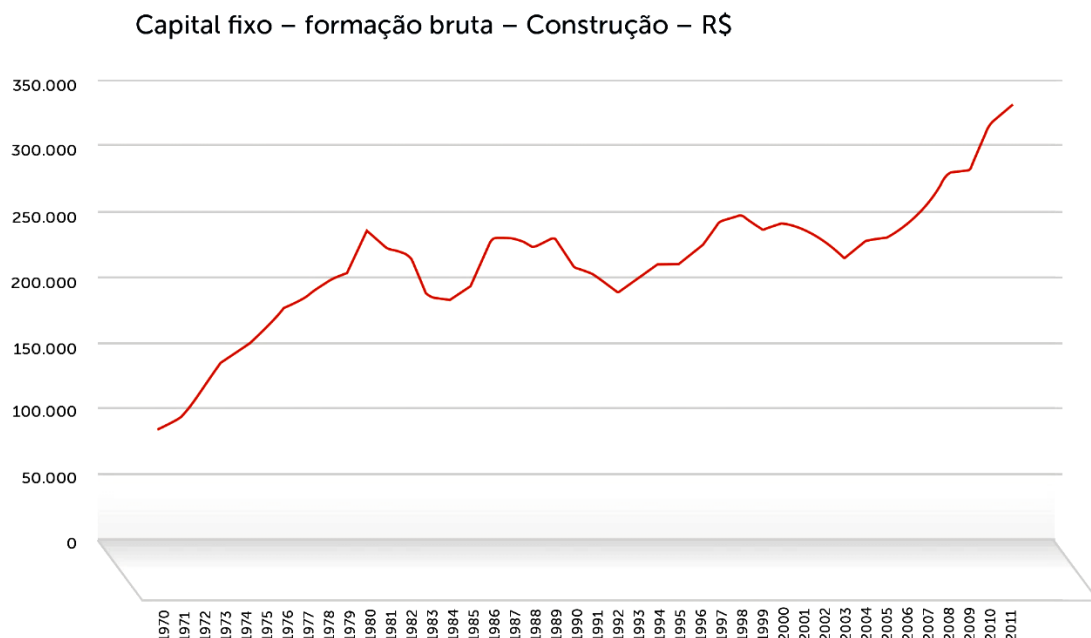


Figura 1. Capital fijo de formación bruta de la construcción en Brasil, en reales (R\$).

Nota: Fuente: IBGE (2019) [sitio web] (<https://metadados.ibge.gov.br/consulta/estatisticos/operacoes-estatisticas/>, recuperado el 01 de julio, 2019).

En la figura 1 se resume el contexto histórico de la población de la muestra. En medio siglo, la economía brasileña ha experimentado numerosas transformaciones:

Años 70: gobiernos militares e inversiones estatales.

Años 80: crisis macroeconómica, retracción de la oferta de capital de infraestructura y viviendas, aceleración de la inflación y quiebra del Banco Nacional de Habitación (BNH).

De los años 90 a los años 2000: el Plan Real, en el 1994, estableció las condiciones previas necesarias a la expansión sostenida de la economía. Reactivación de las inversiones con el Programa de Aceleración del Crecimiento (PAC). Programa Mi Casa, Mi Vida (PMCMV), en el año 2009, con la expansión del crédito inmobiliario a las familias de bajos ingresos. Formación de capital fijo en construcción. Crecimiento de

Brasil, con la expansión del empleo sectorial. Pero, pasa a existir un deseo de mayor calificación y productividad.

Cabe señalar que, en todo el mundo, se considera que el sector de la construcción genera trabajo de muy bajo estatus social. Según Abdul-Aziz (2001), en Malasia, “los jóvenes locales prefieren estar desempleados a trabajar en la industria de la construcción, debido a las prácticas laborales arcaicas, el trabajo al aire libre y el predominio del trabajo temporal y ocasional”. Tanto en los países ricos como en los pobres, las personas trabajan en la industria de la construcción civil en caso de necesidad y no de elección, y abandonan el sector a la primera oportunidad. El factor más agravante es el envejecimiento de la población y la desaparición de los puestos de trabajo en la construcción durante las crisis económicas y la dificultad de recuperarlos cuando se invierte el escenario, ya que la mano de obra de la construcción civil se reabsorbe más rápidamente por otros sectores que tienden a recuperarse mucho más rápido. De acuerdo con Neri (2014), en un trabajo realizado por la FGV en asociación con el *Instituto Votorantim*, “la Construcción es el segundo sector con menos participación en la educación profesional, solo superado por la agricultura en Brasil.”

Metodología

Se ha delimitado el contexto de análisis a la aplicación de los criterios de constructividad para la evaluación de proyectos BIM de edificios. Basado en la bibliografía relacionada directa o indirectamente con el tema, según sus versiones originales, o copias disponibles, en portugués e inglés. Las citaciones de autores de las referencias en inglés recibieron una traducción libre del autor. Aunque no es el objetivo de este trabajo, se deja abierta la posibilidad futura de un enfoque más específico de las /otras variables de constructividad, BIM, /otras tecnologías y metodologías entrantes, en toda su magnitud. Este trabajo se centró en una línea de investigación proyectiva y práctica, que permitió la aplicación de la evaluación de constructividad en el BIM. Siguiendo las directrices para la aplicación de la constructividad para los equipos de proyecto del *Construction Industry Institute* (CII, 2012), esta asegura que, en promedio, se genera un ahorro total del 4,3% en los costos de construcción y una reducción en el tiempo del 7,5%.

Conceptos y marco teórico

En 1962, en Reino Unido, el *Survey of Problems before the Construction Industries*, popularizado como el “Emmerson Report”, se identificó como la primera publicación que abordó el tema. Se trataba de un informe encargado a Lord Emmerson por el gobierno inglés, motivado por la baja productividad, para investigar el estado de la industria de la construcción y proponer mejoras en la manera de cómo se relacionan los profesionales, constructores y clientes. El documento se describe que “en ninguna otra industria la responsabilidad del proyecto está tan alejada de la responsabilidad de la producción”, según Emmerson (1962) apud Moore (1996a, p. 56). En la *Design Buildings Wiki* inglesa (DBW, 2016) se afirma que el “Emmerson Report” motivó la identificación de los problemas derivados de la separación entre el proyecto y su realización y fomentó la solicitud de otros informes por parte del gobierno, como el “Banwell Report”, de 1964, que tenía por objeto investigar el uso de los modelos contractuales estandarizados. El “Banwell Report” concluyó que los modelos estandarizados terminaron por crear “protección y ocultación de informaciones”, segmentando la comunicación y

obstaculizando la productividad. Se criticaron “los bajos precios de las licitaciones” por no tener en cuenta otros parámetros, pero la solicitud no se aceptó en su momento, según la DBW (2016).

En 1979, la Asociación para la Investigación e Información de la Industria de la Construcción de Inglaterra (CIRIA, *Construction Industry Research and Information Association*) formuló una serie de recomendaciones a las empresas que operaban con contratos estándar ingleses y realizó varias entrevistas con constructores, que se quejaban de la “baja constructividad” (del inglés “low buildability”) causada por la mala relación y falta de entendimiento con los diseñadores. Según Moore (1996b), la “baja constructividad” se utilizaba cuando se hablaba de la baja rentabilidad que recibían los clientes por las cantidades invertidas. La primera definición del término se le atribuye a CIRIA (1983), apud Wong (2007, pág. 25), quien afirmó que: “La constructividad es la manera en la cual el diseño de un edificio facilita su construcción, sujeto a todos los requisitos generales del edificio terminado”. También ratificó la relación entre la constructividad y la fragmentación de la industria, señalada en los “Emmerson” y “Banwel Reports”. Según Moore (1996b, p. 4): “Para obtener una buena constructividad es necesario que los proyectistas y constructores sean capaces de ver la totalidad del proceso de construcción a través de los ojos del otro”. Nace así la definición de constructividad como la facilidad de construcción, y su dependencia de la integración de las ideas de las diferentes partes involucradas en una construcción. Lam, Wong y Chan (2006) y WS Atkins (1994) se acercan a las terminologías considerando que “buildability”, a veces traducida en Portugal como “edificabilidad”, se traduce en preocupación por el diseño del proyecto, mientras que “constructibilidad”, la “constructability” americana, se traduce en preocupación por todas las fases del proyecto. Según Wong (2007), incluso con sus diferencias de enfoque y desarrollo, la “buildability” y la “constructability” se tratan en la literatura como dos visiones del mismo concepto. Las investigaciones sobre los dos términos se comparan entre sí, y hay casos en que la diferencia de terminología ni siquiera da lugar a una diferencia de ideas. En Australia, por ejemplo, la “constructability” se utiliza para las dos vertientes, según Francis (1999). En Brasil, “construtibilidade” es el único término utilizado, dejando a criterio de cada publicación definir su significado.

La década de los 60 fue el momento de la ruptura con los viejos valores y de la creación de nuevos movimientos musicales, artísticos y constructivos, de acuerdo con Reis, P. R. (2006). La arquitectura de este período, llena de proyectos audaces en Brasil y en el mundo, se utilizó como un instrumento de manifestación política, social y cultural. No solo los conceptos de constructividad, sino también el BIM, tuvieron su inicio en este período conturbado. En 1974, Charles M. Eastman y su equipo del Instituto de Tecnología de Georgia (EE.UU.) crearon el Sistema de Descripción de Edificios (“Building Description System”, BDS). Según Eastman et al. (1974), el BDS demostró que la descripción, con el uso de un ordenador, de un edificio podía reproducir y mejorar los puntos fuertes de la construcción y el funcionamiento, así como eliminar los puntos débiles del proyecto. La idea introdujo la migración del dibujo realizado en la mesa de dibujo para lo realizado con el uso de un software de tipo CAD, Diseño Asistido por Ordenador, en la década de los 80. En las décadas siguientes se desarrollaron varias herramientas computacionales comerciales de tipo CAD. En 1992, Van Nederveen y Tolman utilizaron por primera vez el término “Modelado de información de construcción” (“Building Information Modelling”, BIM), en un artículo en el que se abordaban los múltiples puntos de vista del modelado de la construcción, con la idea de

que el modelado de la información de construcción fundamentaba la estructura del modelo con las diferentes perspectivas de los diversos participantes del proyecto.

Según Bryde; Broquetas; y Volm (2013), a BIM se le concedió más atención, evolucionando más a partir de la década del 2000, seguido de investigaciones que popularizaron sus ventajas, su mejor calidad y su bajo riesgo de propagación de errores. BIM cuenta con un reconocimiento y se adopta por la industria en algunos países, no obstante, en otros los esfuerzos del gobierno se concentran en promover un mayor uso y los beneficios que comporta la tecnología, como es el caso hoy en día en Brasil. BIM, de acuerdo con la *National BIM Standard - United States* (NBIMS-US, 2016), es una “representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación, que sirve como un recurso de conocimiento compartido de su información y constituye una base fiable para las decisiones a lo largo del ciclo de vida de la construcción”. El modelado de información de construcción no solo constituye en una maqueta virtual tridimensional, sino que hace posible el control de todas las propiedades de los elementos de la construcción, permitiendo la extracción automática e instantánea de vistas (plantas, secciones, alzados, isométricos y perspectivas) e informaciones (tablas y detalles). Según *Autodesk Knowledge Network* (AKN, 2019), el modelado paramétrico, utilizado en BIM, se refiere a la relación entre todos los elementos del proyecto, permitiendo la coordinación y gestión de los cambios. Esas relaciones se pueden crear automáticamente tanto por el software como por el usuario. Las “dimensiones” de entregas BIM, también conocidas como BIM multidimensional, o nD BIM, considera, además del espacio tridimensional (3D), los factores tiempo (4D), coste (5D), y ciclo de vida del edificio (6D) como dimensiones del modelo, de acuerdo con McPartland (2017). Las evaluaciones de constructividad, que se automatizan con BIM, deben tener en cuenta el enfoque gráfico de la Figura 2, en la que se expresan las etapas, el flujo de trabajo de cómo ejecutan las organizaciones sus procesos en la construcción de edificios.

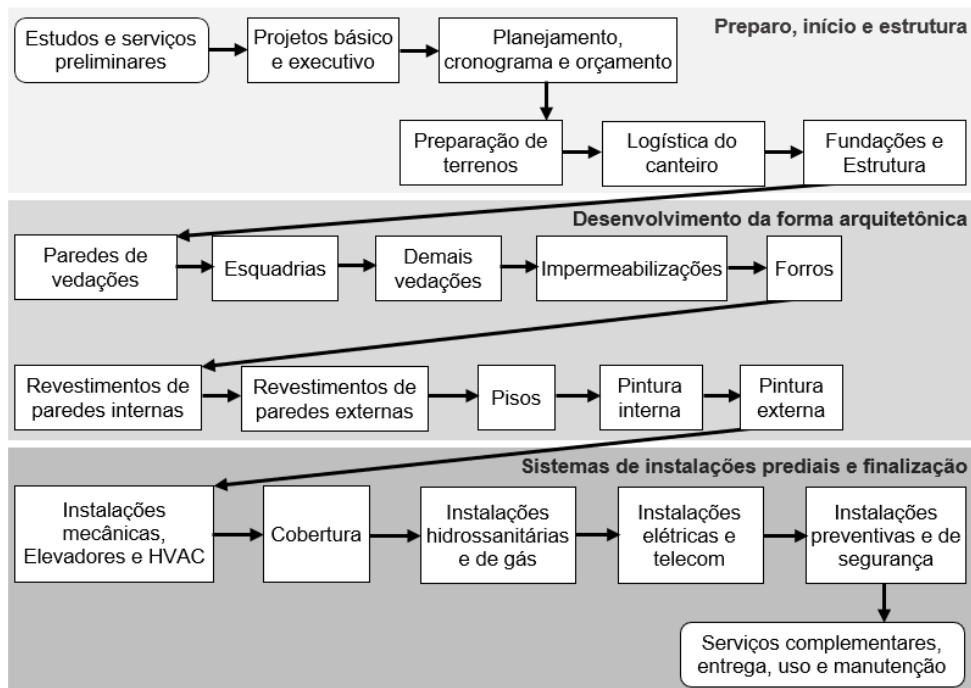


Figura 2. Flujo de procesos en la construcción civil de edificios.

Nota: Fuente: del autor (2019), sobre la base de la experiencia empírica y recomendaciones de CBIC, así como de los manuales de softwares de gestión de “Work Breakdown Structure”, WBS.

Desarrollo de la Investigaciones Internacionales

Basándose en los preceptos de CII, CIRIA e investigadores internacionales, para la aplicación de las directrices de constructividad, se crearon cuantificaciones de constructividad a fin de aportar mayor apoyo a los diseñadores. Conforme Moore (1996b), desde la década de los 80 el enfoque de la Evaluación de Constructividad ha sido bastante variado, entendiéndose que es demasiado amplio para ser cuantificado o que tales métodos solo podrían ser útiles para algunos aspectos sin la posibilidad de un enfoque completo. Según Lawson (2006), los proyectistas y arquitectos rechazaban los primeros métodos de racionalización y lo veían como una invasión de su libertad creativa, con la “estandarización” y la consiguiente “simplificación” del proyecto. Ese primer impulso basado en las Pautas de Constructividad se llevó a cabo con procesos subjetivos, sin una metodología clara, y por lo tanto no se tomó en consideración, aunque la literatura sigue hablando de las “Calificaciones” iniciales tomadas indebidamente como intentos prematuros de “Cuantificaciones”.

En cuanto a sus beneficios, hay un volumen significativo de publicaciones en todo el mundo, bajo perspectivas diversas. Desde aquellas cuyo análisis se restringe solo al proyecto, hasta las que abarcan todo el proceso y su finalización y funcionamiento. De los enfoques más teóricos a los más prácticos. A pesar de la diversidad de enfoques, los diferentes autores tienen tendencias que convergen hacia indicadores comunes. Sin embargo, como no existe una relación directa entre los diferentes enfoques, no hay ni uniformidad ni unanimidad, lo que constituye, hasta cierto punto, una de las mayores motivaciones iniciales para resistirse a la adopción de criterios de constructividad. Las tendencias cualitativas de los principales efectos de la constructividad a las que más se hace referencia son las de la CII (2012) americana, apud Wong (2007):

- 1) Reducción del costo global del proyecto;
- 2) Reducción del trabajo intensivo;
- 3) Incremento de la velocidad de ejecución;
- 4) Mejor calidad de ejecución;
- 5) Aumento de la seguridad en el obrador;
- 6) Reducción del retrabajo;
- 7) Aumento de la productividad;
- 8) Disminución de la ocurrencia de problemas imprevistos;
- 9) Mejor relación entre el equipo;
- 10) Aumento de la satisfacción del cliente.

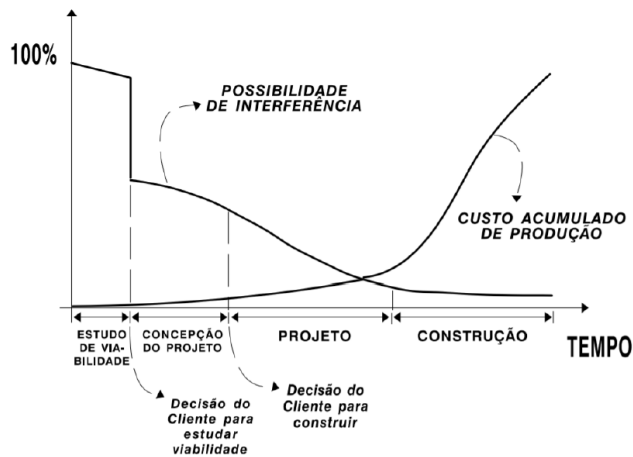


Figura 3. Relación entre los costes de posibilidad de intervención y la producción acumulada, a través de las fases de proyecto de construcción.

Nota: Fuente: Hammarlund y Josephson (1992), apud Melhado (1994).

Con vistas a los efectos de la constructividad, hay comúnmente el enfoque relacionado con el momento óptimo en que la adopción de criterios empieza a influir en el proyecto. Hay consenso en que se obtendrán mejores resultados cuanto antes se realice la adopción, preferiblemente en las etapas de estudio, de modo que se puedan hacer adaptaciones, en lugar de hacer correcciones más difíciles, en cuanto a costes y plazos. Son varios los gráficos disponibles que demuestran la relación de Pareto (el 20% de los esfuerzos, generando el 80% de los resultados), como los de Hammarlund y Josephson (1992) apud Melhado (1994), que se puede ver en la figura 3.

3. Investigación sobre la Constructividad en Brasil

Hay pocas investigaciones nacionales en comparación con la producción internacional, y la mayoría gira en torno al concepto americano, más estrechamente los de CII, de la década de 80. El escaso desarrollo de la literatura nacional ha traducido el concepto americano de “Constructability” de CII, sin ninguna consideración, interpretación y adaptación al contexto brasileño. El concepto americano asume el modelo de “Dirección de Proyecto” (en inglés, “Project Management” aplicado en los Estados Unidos con la figura central de su “Director de Proyecto (en inglés, “Project Manager”) responsable, con poca apertura a las responsabilidades asignadas a otras iniciativas de liderazgo. Los modelos de contratación y desarrollo de las construcciones brasileñas están más fragmentados y descentralizados, y divergen de los modelos americanos. En lo que respecta al factor humano de resistencia al cambio, se observa que la imposición de las complejas definiciones traducidas provoca rechazo. El método debe servir al contexto. Nunca lo contrario. Además de ser apropiado para el entorno, el método propuesto para evaluar la constructividad debe tener como objetivo la búsqueda de un enfoque pragmático, adaptándose al contexto nacional, para intervenir de manera sencilla, directa, efectiva y coherente a lo largo del tiempo.

La mayoría de las investigaciones desarrolladas en Brasil abordan la Implementación de Constructividad, seleccionan pautas de constructividad y proponen una metodología de implementación. El concepto de Evaluación de Constructividad aparece en algunas obras brasileñas, que proponen cuantificar la calificación, con pocas referencias a obras internacionales relevantes que se han producido desde los años 2000, como las que están bajo la influencia de la adopción de soluciones sostenibles y los disruptivos avances metodológicos y tecnológicos. Heineck y Rodríguez (2003)

proporcionan ejemplos de la definición y aplicación de las Pautas de Constructividad en el proceso del proyecto. Saffaro, Santos y Heineck (2004) repiten el formato, centrándose también en las decisiones posteriores al proyecto. Rodrigues (2005), por su vez, se centró en el estudio de las pautas para las obras de carácter repetitivo y propuso un sistema de Evaluación de Constructividad mediante una lista de verificación en la que los elementos se pueden calificar como “sí”, “parcialmente”, “no” o “no aplicable”. Amancio (2010), que continuó la labor de Rodrigues, reanudó los primeros intentos de cuantificación sobre la base de la calificación centrándose en los estudios de arquitectura y propuso su modelo en el que “jueces” expertos evaluarían de manera subjetiva la idoneidad de la obra.

En Brasil hay un constante interés hacia la constructividad, pero los enfoques de las investigaciones estuvieron restringidos solo a algunos de sus aspectos. Los primeros trabajos se centraron más en la implementación y los últimos en el análisis y la cuantificación, muchos de ellos, sin embargo, asemejándose a los primeros intentos británicos de CIRIA y O'Connor. Por lo tanto, existe una necesidad apremiante de nuevos trabajos, una mayor profundización y nuevos intentos que favorezcan el Análisis de Constructividad para cubrir la “brecha” con respecto a los nuevos criterios de sostenibilidad (por ejemplo, menos residuos, mejor rendimiento físico-financiero), mejores metodologías (por ejemplo, BIM, cadena de bloques) y avances tecnológicos (por ejemplo, construcción en seco, diseño generativo), variables que hacen que algunas investigaciones sean obsoletas en el contexto internacional y más exhaustivas.

Resultados y discusiones

El concepto de constructividad, según el lugar, la época y el contexto, y de acuerdo con las diferentes perspectivas y necesidades, demostró tener diferentes enfoques. En el Reino Unido, al ser concebido el concepto, los investigadores con un claro enfoque epistemológico se concentraron en las aclaraciones y ventajas de su implementación con beneficios inconmensurables al escenario internacional. En los Estados Unidos y Australia, el enfoque más pragmático fue el de la Aplicación de Constructividad en el proceso del proyecto, que abarcó la transferencia de los conocimientos de los profesionales de terreno a los profesionales de la oficina, con una gran movilización en torno al tema en la industria de la construcción y sus prácticas, haciendo hincapié en la responsabilidad de su director de proyecto. Los modelos contractuales de Gestión de la Construcción (en inglés, “Construction Management”) siguen utilizándose como garantía de interacción entre los profesionales de terreno, los diseñadores y los clientes, lo que da lugar a una mayor constructividad. Sin embargo, se evidenció que solo los diseñadores adoptaron las medidas de implementación de constructividad, sin una gran participación de la propia empresa y otros actores. Las empresas que aplicaron la constructividad lo hicieron de una manera más simplificada que la que se predica en las universidades. Incluso en un contexto más propicio, la aplicación tuvo lugar de manera parcial debido a la fuerte resistencia a los cambios en cuanto a la necesidad de diferentes interacciones y operaciones.

Brasil siguió el modelo americano de investigación sobre constructividad, un enfoque válido para una empresa individual donde se sigue bajo el liderazgo de su “Project Manager”, director de proyecto, pero que también resulta muy poco práctica su aplicación en el contexto más amplio del sector de la construcción nacional en su conjunto. El sector brasileño funciona de manera mucho más fragmentada, lo que exige una ruptura importante de los patrones, además de un enorme esfuerzo resiliente y

disciplinado para aplicar el cambio a mayor escala. Muchas de las lecciones de constructividad en Brasil provienen de los modelos de implementación de constructividad CII americana y CII-Australia.

En Singapur, a diferencia de otros países, el interés por investigar y aplicar la constructividad provino del gobierno. Según Lam, Wong, Tiong (2006), en la década de 90, la industria de la construcción estaba activa y tenía una gran demanda de mano de obra que, debido a las características geopolíticas, no se podía abastecer por la población local. El país dependía de los trabajadores extranjeros. Hubo interferencia del gobierno para mitigar el problema. Se alentó la adopción de evaluaciones de constructividad para reducir la dependencia de los recursos humanos extranjeros. Se adoptó el “Buildable Design Appraisal System”, BDAS, basado en el sistema de Takenaka, una multinacional japonesa de la construcción. Según la *Building and Construction Authority* (BCA, 2017), en 1993, BDAS comenzó a aplicarse en las obras públicas del país y en 1997 se instituyeron premios para proyectos privados de mayor constructividad. En 2001, se exigió que todos los proyectos y renovaciones con una superficie superior a 2000 m² obtuviesen un valor mínimo de constructividad para su aprobación legal. BDAS se basa en 3 principios, las “3S” de la constructividad: “Simplicity” (simplicidad), “Standardisation” (estandarización) y “Single Integrated Elements” (elementos únicos integrados). La Evaluación de Constructividad de Singapur es numérica y determinista, con poca apertura a las calificaciones subjetivas de las implementaciones de constructividad presentes en otros países. Y, de acuerdo con las pruebas realizadas por el autor, puede realizarse de forma concomitante con la información de los proyectos BIM, siempre que se hagan adaptaciones al contexto.

A partir de los años 2000, la mayor parte de las investigaciones más relevantes sobre constructividad han tenido lugar en Asia, con los modelos de evaluación y puntuación de constructividad, como el BDAS de Singapur, que se consolidó como el primer caso en que la constructividad integra toda la industria de la construcción a escala nacional, con amplios beneficios. BDAS consolidó un método sencillo, que no requiere cambios en los modelos contractuales y el funcionamiento interno de las empresas, y se aceptó inmediatamente. “Buildability Assessment Model”, BAM, de Hong Kong, y su desarrollo, el “Scheme Design Buildability Assessment Model”, SDBAM, se derivaron de BDAS y también constituyen otros ejemplos exitosos de modelos de evaluación que se adaptaron plenamente al contexto, lo que permite el análisis previo en la etapa de diseño del proyecto, convirtiéndose también en un modelo replicado en todo el mundo. Según la crítica válida de algunos autores como Moore, la Evaluación de Constructividad puede convertirse en una simplificación extrema de la constructividad ya que muchas variables del proyecto que la afectan no pueden ser cuantificadas con fórmulas simples. Los enfoques con sesgo de implementación son los más cercanos a sus ideas epistemológicas originales. Sin embargo, tanto BDAS como BAM son reconocidos internacionalmente por su probada eficacia de uso extremadamente simple y cuantitativo en comparación con las extensas listas de calificaciones de los métodos de CII, lo que justifica la posibilidad de un uso pragmático de métodos de Evaluación de la Constructividad más prácticos y efectivos para las empresas y la industria de la construcción.

Históricamente, independientemente del contexto, en los términos de Evaluación de Constructividad se ha comprobado que la adopción de métodos académicos muy complejos, como los de CII, casi nunca se ha seguido en su totalidad. Y los métodos más actuales, sencillos y prácticos, como los desarrollados en Asia, ofrecen un medio que genera menos resistencia al cambio, lo que ofrece una forma más eficiente y tecnológica

de medir la constructividad con una mayor facilidad y sin requerir intercambios de paradigmas procedimentales o contractuales. Otro punto es la definición de constructividad. Investigaciones brasileñas adoptaron unánimemente la definición americana de “constructability”, que requeriría, para su aplicación a gran escala, cambios drásticos en la industria con su concepción basada en los modelos de CII, con la figura del “Gerente de Proyecto”, cambios en la modalidad de contrato y una continua retroalimentación entre los profesionales de terreno y de oficina en la “ingeniería simultánea”, según la definición de Barbosa, P. y Andery, P. (2015). La visión discrepante adoptada por este trabajo es que la constructividad, de manera práctica, debe adaptarse a la realidad de la industria, al contexto en el que se inserta. Nunca lo contrario. El análisis de la edificabilidad realizado de manera más simple tiene una mayor propensión a la adopción amplia. La adaptación al contexto brasileño también es posible.

En cuanto al contexto, Brasil, a pesar de haber adoptado trabajadores extranjeros, no experimenta todavía una grave escasez de mano de obra como en Singapur y Hong Kong, pero tiene problemas relacionados con la baja constructividad similares a los de Reino Unido. Para que el concepto sea aceptado como ventajoso, debe haber una disminución de los errores y una mejora en la relación entre el equipo, los estudios deben realizarse en asociación con las empresas. La preparación de documentos y las conferencias instructivas son otras acciones posibles y complementarias. Como propuesta futura, también podría crearse un banco de datos nacional en línea sobre constructividad, como el ideado por CII-Australia. Así como el CUB y las tablas de composición de presupuestos, como la SINAPI, se actualizan regularmente, este banco también se podría retroalimentar y mejorar de manera cíclica.

La integración de la constructividad con las tecnologías de la informática y comunicación se abordó poco en Brasil. En el marco internacional, con varias publicaciones recientes, en inglés, en Hong Kong y Corea del Sur, se relacionan los procesos automatizados de Evaluación de Constructividad y BIM. El desarrollo de un puente facilitador que los vincule de manera efectiva también conduciría a avances, en ambos enfoques, hasta un nuevo nivel.

Conclusiones y Consideraciones Finales

A pesar del vasto concepto teórico, todavía no se consolidó una demostración práctica y automatizada de algún medio para extraer y utilizar las informaciones BIM para la evaluación de constructividad de todo el proyecto del edificio, que abarque todas sus disciplinas constructivas. Sin embargo, hay algunas líneas de enfoques principales que se deben considerar.

Un medio de ponderar los datos sería a través del propio software BIM 3D, con información directa del modelado de proyecto y su control por parte del usuario, como el Revit utilizado por Zhang et al. (2016), o el ArchiCAD. Zhang et al. (2016) abordan la Evaluación de “Constructability”, definida según la CII, del proyecto en su conjunto, y desarrollan un método parcialmente automatizado en Revit, mediante la inserción manual de parámetros en los componentes de la construcción y el uso de un “plugin” adicional para verificar el porcentaje en el que se producen los requisitos, que denotan los indicadores de constructividad del proyecto.

Otra posibilidad de automatización, también a través de software, es el uso de herramientas de planificación BIM 4D para el cálculo y validación de parámetros, como

el Solibri, utilizado por Jiang (2016), el Navisworks, el Synchro o el Tekla BIMsight. Jiang (2016) investiga la constructividad de las formas de hormigón armado y la posibilidad de automatizar la Evaluación de Constructividad, utilizándose el argumento de Moore (1996b) de que es imposible desarrollar un método simple para evaluar la constructividad del edificio en su totalidad. Con poca profundización interdisciplinaria, Jiang (2016) utilizó el Solibri para verificar si el modelo respetaba los parámetros establecidos, pero sin la automatización total de este proceso.

Otra forma es el uso de un lenguaje de programación “escrito”, como el C# o Python, y/o el uso de programación “visual”, como el Dynamo o Grasshopper, como una forma más directa de evaluar la constructividad. Mediante el uso del lenguaje de programación es posible tener un enfoque interno, llevado a cabo para softwares de una determinada empresa, como por ejemplo el ADN (“Autodesk Developer Network”), o a través de una rutina que accede directamente al archivo original, como demostró Delegregó (2017), con la validación de los datos directamente de un modelo *.ifc.

“Industry Foundation Classes”, IFC, es una extensión de “intercambio” de archivos destinado a la colaboración interdisciplinaria BIM. Según McPartland (2017b) en colaboración con la “National Building Specification” (NBS, 2017), IFC no es un formato controlado por una sola empresa o grupo. Se diseñó y desarrolló para facilitar la interoperabilidad en el sector AIC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción). En 1994, la “Iniciativa IFC”, aunque abierta, se produjo cuando Autodesk formó un consorcio con 12 empresas americanas para ayudarles a desarrollar un conjunto de programaciones en C++ que soportaran las aplicaciones integradas. Las empresas incluían: AT & T, HOK Architects, Honeywell, Carrier, Tishman y Butler Manufacturing. Inicialmente denominada “International Alliance for Interoperability”, IAI, Alianza de la Industria para la Interoperabilidad, abrió la plantilla a todas las partes interesadas en 1995. Sin fines de lucro, dirigida por la industria, publicó el “Industry Foundation Class”, IFC, como un modelo neutral y estandarizado. En 2005, IAI cambió su nombre por buildingSMART, el actual responsable del formato. A pesar de la plena adopción del *.ifc en algunos países, como Dinamarca, y de iniciativas como el “OpenBIM” para promoverlo en todo el mundo, no hay consenso sobre su uso, incluso en los países en los que BIM está presente. Aunque algunos programas informáticos lo utilizan como formato alternativo, nunca lo utilizan como formato principal o nativo, lo que, en cierta medida, alimenta la controversia en torno a la adopción del formato, desde sus orígenes. Como un simple paralelismo explicativo, el autor complementa que la idea en torno a la IFC es similar a la del PDF (Formato de Documento Portátil) de Adobe, en lo que respecta a los documentos de texto que también pueden proceder de diferentes fuentes, que mantienen la interrelación y la fidelidad en el intercambio de información.

La extracción de datos necesarios es posible directamente en el archivo, con la extensión de origen del software, como demostraron Zhang et al. (2016) con el uso del Revit, o en el entorno externo, como demostró Delegregó (2017) con la IFC. Desde el punto de vista del autor, una de las dificultades encontradas no es la preferencia de que el formato de archivo esté en *.rvt o *.ifc, respectivamente, sino la forma en que se manipula la información de la construcción en el propio BIM 3D, con la delimitación en categorías de objetos paramétricos utilizados. Aunque la delimitación en categorías BIM facilita y da consistencia al modelado de información, con la separación y predeterminación de las propiedades individuales de cada elemento, de esta manera, solo sería posible gestionarla externamente si se adoptara un modelo de evaluación como el BDAS, en el que se agrupan varias categorías no siempre de manera disciplinaria, para ser analizadas conjuntamente. Cabe destacar que no todas las oficinas de proyectos brasileñas tienen

programadores que puedan superar esta barrera. El uso de BIM para automatizar la evaluación de constructividad presupone que la dimensión de la información puede ser apropiada al contexto de análisis. Existen softwares de planificación como el Solibri, utilizado por Jiang (2016) para el análisis de la constructividad de las formas de hormigón armado. Otros softwares BIM 4D, adecuados a la gestión de la dimensión temporal, incluyen Navisworks, Synchro y Tekla BIMsight. Debido a la experiencia del autor, además de los softwares BIM 4D que permiten la generación del calendario y su diagrama de Gantt con asignación de tareas a través del tiempo, también ofrecen la posibilidad de comprobar las interferencias geométricas, y la extracción de “Quantity Take Off”, QTO, entre otras herramientas accesorias para la planificación. QTO permite el manejo de las informaciones sin necesidad de intervención a través de la programación. Los softwares de planificación también permiten la exportación, en tabla dinámica a Excel, software con una cantidad mayor de usuarios profesionales. El destino de QTO suele ser el presupuesto, el BIM 5D. Pero también se puede utilizar, sin restricciones, para evaluar la constructividad. La propuesta del autor, respecto a la inserción de la Evaluación de Constructividad en un sistema interdisciplinario para la entrega de proyectos BIM, y cuándo se realizará, se muestra en la figura 4.

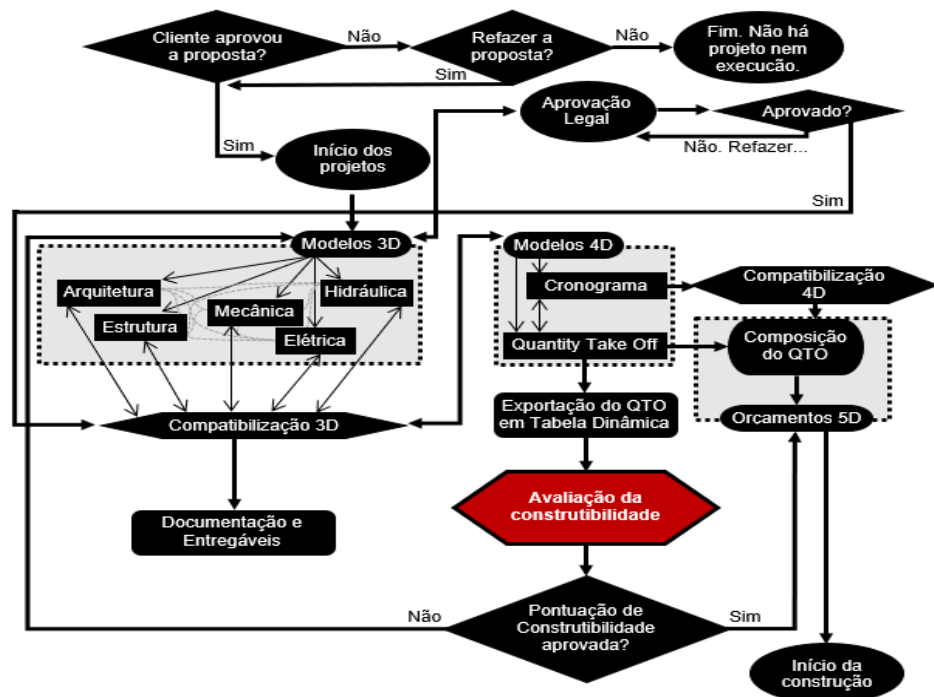


Figura 4. Evaluación de Constructividad en sistema interdisciplinario BIM.

Nota: Fuente: del autor (2019).

La Evaluación de Constructividad en un sistema interdisciplinario de entrega de proyectos BIM, y cuándo se realizará, se explica en la figura 4: cuando el cliente aprueba la propuesta, los proyectos comienzan con la realización de los modelos 3D, con vistas a la aprobación legal, la compatibilidad tridimensional interdisciplinaria y la ausencia de interferencias 3D, los “3D clashes”. A partir del modelo compatible 3D, además de la respectiva documentación técnica, también se dirige la ejecución del Modelo 4D. En el Modelo 4D, las tareas se asignan en el calendario y se compatibilizan sus tiempos de ejecución, buscando la eliminación de los conflictos de tiempo, los “4D clashes”, así como el QTO. A partir del QTO extraído, se componen los Presupuestos 5D, pero la

extracción de los datos cuantitativos de QTO también permite puntuar la Evaluación de Constructividad. Una vez aprobada la constructividad y liberado el presupuesto para el sector de compras, es posible iniciar la construcción. De esta manera, el cálculo se hace posible con la automatización y la fidelidad en la extracción de informaciones del modelo de construcción con los métodos BIM.

Con el uso de un modelo de Evaluación de Constructividad adaptado al contexto, se crea una mayor propensión a su adopción. Con el uso de herramientas que aprovechan las informaciones de construcción de manera automatizada, se facilita su uso. Y con un modelo evaluativo determinista no se incurre en las opiniones subjetivas, o la falta de un equilibrio justo. A través del embasamiento realizado, el autor analizó 3 proyectos BIM brasileños con la metodología propuesta, basada en el método de evaluación utilizado en Asia, y señaló que la adopción de la Evaluación de Constructividad, previa y determinística, en los proyectos BIM es posible en Brasil.

Referencias

- Amancio, R. C. (2010). *Identificação de fatores de construtibilidade que influenciam as fases do processo de projeto em pequenos escritórios de arquitetura*. Tesis de Maestría en Construcción Civil. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.
- Atkins, W. S. et al. (1994). *Strategies for the European construction sector. A Programme for change*. Construction Europe KHL Publishing Ltd. and Office for Official Publications of the European Communities, East Sussex.
- Autodesk Knowledge Network (2019). Sobre os relacionamentos da modelagem paramétrica. Retrieved from <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Revit-GetStarted/files/GUID-71F2C8EE-2A90-4076-A6C7-702082566DDF-htm.html/>.
- Barbosa, P., Andery, P. (2015). Contribuição ao estudo de medidas para melhoria da construtibilidade no processo de projeto em empresas construtoras. *Construindo*, 7(1).
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of building information modelling (BIM). *International journal of project management*, 31(7), 971-980.
- Building and Construction Authority, BCA (2005). *Code of Practice on Buildable Design*. Singapur.
- Building and Construction Authority, BCA (2015). *Code of Practice on Buildable Design*. Singapur.
- Building and Construction Authority, BCA (2017). *Code of Practice on Buildable Design*. Singapur.
- Building and Construction Authority, BCA (2017). *Guide to the Buildable Design Appraisal System*. Singapur.
- CIRIA (1983). *Buildability: An Assessment CIRIA. Publications, Special publication*, 26.

- Construction Industry Institute (2012). *CII Best Practices Guide: Improving Project Performance*. Estados Unidos.
- Delegregó, V. (2017). *Construtibilidade: lições internacionais e aplicações para o Brasil*. Tesis de grado en Ingeniería Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.
- Designing Buildings Wiki, DBW (2016). BIM Glossary of Terms. Retrieved from http://www.designingbuildings.co.uk/wiki/BIM_glossary_of_terms/.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- Francis, V. E. et al. (1999). Constructability strategy for improved project performance. *Architectural Science Review*, 42, (2), 133-138.
- Heineck, L. F. M., Santos, D. G., & Saffaro, F. A. (2004). Uma proposta para a Classificação de decisões voltadas a melhoria da construtibilidade.
- Heineck, L. F. M. & Rodriguez, M. A. A. (2003). A construtibilidade no processo de projeto de edificações.
- Jiang, Li. (2016). *A constructability review ontology to support automated rule checking leveraging building information models*. The Pennsylvania State University, 2016. PhD Thesis. The Pennsylvania State University. Department of Architectural Engineering.
- Lam, P. T.; Wong, F. W.; & Tiong, R. (2006). An Empirical Study of the Relationship Between Buildability and Productivity in Singapore—Lessons for Hong Kong SAR. In: CRIOCM 2006 International Research Symposium, The Chinese Research Institute of Construction Management and North China Electric Power University. p. 3-5.
- Lawson, B. (2006). *How designers think: the design process demystified*. Routledge.
- McPartland, R. (2017a). BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained. The NBS. Retrieved from <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained/>.
- McPartland, R. (2017b). What is IFC? The NBS. Retrieved from <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-ifc/>.
- Melhado, S. B. (1994). *Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção*. Tesis Doctoral. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Moore, D. R. (1996b). Buildability assessment and the development of an automated design aid for managing the transfer of construction process knowledge. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 3(1/2) 29-46.
- Moore, D. R. (1996a). *Task difficulty assessment: a contribution towards improved buildability through simplification*. Tesis Doctoral. Montfort University. Wetherby.
- National BIM Standard-United States, NBIMS-US (2016). About the national BIM standard United States. NBIMS-US. Retrieved from <https://www.nationalbimstandard.org/about/>

- Reis, P. R. (2006). *Arte de vanguarda no Brasil: os anos 60*. Zahar.
- Rodrigues, L. T. & Goncalves, A. A. (2015). A Construtibilidade nas Fases de Engenharia e Suprimento para a Construção e Montagem Industrial.
- Van Nederveen, G. A.; & Tolman, F. P (1992). Modelling multiple views on buildings. *Automation in Construction*, 1(3), 215-224.
- Wong, F. W. H. et al. (2006). A review of buildability performance in Hong Kong and strategies for improvement. *Surveying and Built Environment*, 17(2), 37-48.
- Wong, W-H. (2007). *Developing and implementing an empirical system for scoring buildability of designs in the Hong Kong construction industry*. Tesis Doctoral. The Hong Kong Polytechnic University.
- Zhang (2016), Cheng et al. Quantitative Assessment of Building Constructability Using BIM and 4D Simulation. *Open Journal of Civil Engineering*, 6(3), 442.
- Fecha de recepción:** 04/04/2020
Fecha de revisión: 16/10/2020
Fecha de aceptación: 25/10/2020