

Modelo de Planificación Basado en Construcción Ajustada para Obras de Corta Duración

Virgílio Cruz-Machado y Pedro Rosa

Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial,
Campus da FCT, 2829-516 Caparica-Portugal (e-mail: vcm@fct.unl.pt)

Resumen

Se identifican los recursos y factores condicionantes a las organizaciones de la construcción de edificios, se listan las no conformidades originadas en los proyectos y se evalúan modelos utilizados en esta industria, basados en Construcción Ajustada (Lean Construction). Se desarrolló un modelo de planificación y control dirigido a la reducción de pérdidas y optimización de los procesos productivos. El modelo permite la planificación conjunta de las obras, a través de la programación de las actividades, conjugando los recursos de forma que disminuyan los conflictos usuales en este tipo de industria. Las mejoras derivadas del modelo muestran los beneficios de la filosofía de gestión denominada Producción Ajustada (Lean Production). El modelo ha sido aplicado en una obra, confirmándose su flexibilidad y capacidad de adaptación en la toma de decisiones.

Palabras claves: gestión industrial, gestión de proyectos, producción ajustada, construcción ajustada

Planning Model based on Lean Construction for Short Term Works

Abstract

The resources and planning and limiting factors in the building industry sector are identified, the non conformities originated during the projects are listed, and the models used in this type of industry are evaluated, based on the concept of lean construction. The proposed model is directed to the reduction losses and to the optimization of productive processes. It allows an overall planning of different resources in order to minimize usual conflicts in this type of industry. The improvements derived from the model show the benefits of lean production management philosophies. The model was applied in a small company, as a case study, and has demonstrated to be flexible and to have adapting capabilities in the decision making.

Keywords: industrial management, project management, lean construction, lean production

INTRODUCCIÓN

La planificación y gestión de proyectos en obras de construcción ha sido objeto de variados estudios, presentados en la literatura (Caldas, 1990, Araújo y Meira, 1998, Machado, 2003, Rosa, 2005). Esos estudios están principalmente dirigidos para grandes construcciones y para grandes empresas. La Industria de la Construcción Civil tiene características propias cuanto a la elaboración de los productos que produce; este hecho la diferencia de otros segmentos industriales. Estas diferencias fueron, durante mucho tiempo, utilizadas como motivo para que no se procurase implementar nuevas condiciones de gestión a las tradicionales metodologías empleadas en el sector. Después de analizar las características intrínsecas de esta industria, se puede entender mejor sus dificultades: el producto es producido en el propio local donde será utilizado; emplea intensamente recursos humanos; está expuesta a la intemperie y a las variaciones atmosféricas, y; los flujos de producción tienden a ser convergentes dentro de los solares.

Evaluada las principales características de esta industria, importa recurrir a métodos de planificación de los recursos necesarios en las obras, que son factores preponderantes para el éxito de la construcción (Caldas, 1990), teniendo en cuenta que la gestión de la oferta y de los costos asociados a los recursos se vuelvan, cada día, más complejos y decisivos.

La cantidad de recursos es determinada, siempre que sea posible, en función del plazo de ejecución, volumen de trabajo de la actividad y de los niveles de productividad de los recursos asignados. Para proyectos que incluyen actividades de producción (corte, construcción, pintura, etc.) se puede calcular las cantidades de recursos a atribuir. En proyectos con actividades burocráticas, legales o de servicio (protocolos, aprobación de normas, desarrollo de soluciones técnicas, etc.) normalmente se estiman los recursos necesarios.

Existen diferentes tipos de información en función de cada recurso que debe ser evaluada para la toma de decisiones técnicas, financieras y sociales, que se interrelacionan entre sí. El diagnóstico correcto de estas informaciones conduce al gestor de proyecto a optimizar el desarrollo del proyecto.

Más ¿que hacer cuando la empresa es pequeña y hay muchas pequeñas obras de corta duración?

METODOLOGÍA

Para desarrollar un sistema de planificación hay que caracterizar la industria de la construcción. Después de caracterizada la especificidad de la industria, fueron abordados los modelos de planificación dirigidos para la reducción de pérdidas y optimización de los procesos productivos, posibles de aplicar en obras de corta duración. Se desarrolló un modelo de planificación y control que permitiera una mejoría en la gestión de la producción y un mejor cumplimiento de los plazos de entrega de la obra. Se utilizó la metodología del caso de estudio para analizar la implementación y prueba del modelo en una obra típica.

CARACTERÍSTICAS DE LA PLANIFICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

El control es la función encargada de nivelar la toma de decisión empresarial, a lo largo del período de ejecución de la obra a través de la identificación de los desvíos ocurridos en relación a la planificación inicial. El control puede ser realizado en tres dimensiones: físico, económico y financiero (Machado, 2003, Araújo y Meira, 1998). En la industria de la construcción civil, existe una distinción entre los parámetros de gestión, con respecto a los modelos de planificación. La *Planificación Táctica* incide en las políticas organizacionales y productivas de medio plazo (nivel táctico). La *Planificación Operacional* a través de las Órdenes de Compra, Órdenes de Producción y Órdenes para Servicios a Terceros, está dirigido para acciones de corto plazo (nivel operacional).

Cualquier que sea el tipo de planificación, ésta va a recaer sobre los recursos. Cuando el recurso es limitado en cantidad, pero es reutilizado en períodos diferentes, los recursos se llaman Renovables (Ej.: mano-de-obra). Por otro lado, cuando el recurso es limitado, no habiendo reutilización en período posterior se dicen no-renovables, (Ej.: materiales). De este modo, se identifican cuatro tipos elementales de recursos (Ichihara, 1998):

- Materiales - Teniendo en cuenta que los edificios están físicamente bien definidos, las necesidades de materiales no mudan en fun-

ción de alteraciones de plazos o de reprogramaciones de los períodos de actividades. Los recursos no son variables en función del tiempo de ejecución, poseyendo cantidades y costos directos de aplicación fija y definida. La fluctuación de esos recursos ocurre debido a problemas de desperdicios o ausencia de calidad en los procesos en que están comprometidos, como por ejemplo, la adquisición, el transporte, la preparación y la aplicación;

- Recursos humanos - son los componentes más complejos de cualquier actividad. Diversos factores deben ser considerados: la legislación, la ética, la ergonomía, la psicología y la instrucción, entre otros. Su gestión tiene como objetivo dimensionar las necesidades profesionales para la perfecta ejecución de la obra, reduciendo sobrecargas de trabajo y distribuyendo, lo más uniformemente posible, los perfiles de búsqueda de trabajo (Caldas, 1990). Es esencial que durante la planificación se contemplen las siguientes características:

- 1.- Densidad de trabajadores - No es aconsejable grandes concentraciones de profesionales en períodos aislados;

- 2.- Rotación - La rotación de los recursos humanos interfiere en la calidad, en la productividad y en la capacidad de realización y de formación, elevando los costos;

- 3.- Repetición - El agrupamiento de funciones similares y la repetición de actividades (no puramente mecánicas) aumenta la calidad y la productividad;

- 4.- Productividad - La productividad y el dominio sobre las operaciones de las actividades aumentan a lo largo del tiempo;

- 5.- Recursos humanos - Deben ser clasificados como renovables; su cantidad es limitada, mas están nuevamente disponibles en el período siguiente.

- Equipamientos y herramientas - Su necesidad es definida por el tipo de trabajo a ser realizado, por la tecnología disponible, por el volumen de trabajo, por el plazo contractual y por las condiciones físicas del local. Sus costos son variables en función del tiempo, siendo que en su distribución deben considerarse los recursos monetarios y su durabilidad;

- Instalaciones - En general son los locales donde se realizan las actividades (de apoyo, preparación, verificación o adquisición). El

costo de las instalaciones no varía apenas con el tipo de actividad mas también cambia en función del tiempo.

El gestor de proyectos administra, en gran parte, conflictos. Los conflictos, con origen en las informaciones presentadas en la Tabla 1, muchas veces tienen que ser jerarquizados y resueltos con autoridad y responsabilidad. El gestor del proyecto tiene que reunir características de competencia, de moderación y de capacidad de planear (Roldão, 2005).

En obras pequeñas, la planificación pre-obra y las respuestas a las variaciones de la planificación tienen que ser rápidas y precisas. La planificación debe ser ejecutada abreviando el mayor número de pasos comunes, sin descuidar conclusiones y resoluciones esenciales al desarrollo de la planificación. En obras con presupuestos controlados es esencial no desprender recursos en actividades que no traigan beneficios inmediatos o que, porque tienen estructuras pesadas, no sean capaces de responder a las solicitudes de la obra.

De este modo, es imprescindible que el emprendedor valore la fase de proyecto para que obtenga calidad. Un proyecto es una actividad finita y singular que posee objetivos definidos en función de un problema. Incluye algún grado de incerteza en relación a los resultados esperados, una relación cliente-proveedor y la necesidad de gestión específica. Sobre este punto de vista, las consideraciones del *Construction Industry Institute* (PMBOK, 2000) sobre las fases iniciales de la obra y el estudio de viabilidad, indican que las decisiones tomadas son las que tienen mayor capacidad de influenciar el costo final.

La importancia de las fases iniciales es destacada por Hammarlund y Josephson (1992), que desarrollaron un estudio que se presenta en la Figura 1: las fases iniciales presentan una grande hipótesis de reducir los costos de fallos, con pequeña inversión de recursos. Esta figura proporciona dos informaciones que merecen destacarse: 1. reducción drástica en la posibilidad de reducir los costos de fallas, en el pasaje de la fase de estudio de viabilidad, para la concepción del proyecto, y; 2. en el pasaje para la fase de construcción, los costos de producción crecen abruptamente mientras que las hipótesis de reducir los costos de fallas de la edificación disminuyen considerablemente.

Tabla 1: Tipo de Informaciones a administrar

	Técnicas	Financieras	Sociales
Recursos humanos	Capacidad técnica	Costo del trabajador	Perfil del trabajador
Material	Condiciones técnicas	Costo de los materiales	Influencia en la productividad
Equipamientos y herramientas	Influencia en la productividad	Costos de utilización	Ergonomía
Instalaciones	Apoyo técnico	Costos de transporte y manutención	Gestión del espacio

La relevancia del proyecto también es demostrada por Souza et al. (1994): “En la etapa de proyecto se concibe y se da el desarrollo del producto, lo que debe ser basado en la identificación de las necesidades de los clientes en términos de desempeño, costos y de las condiciones de exposición a que será sometido el edificio”. Visto el aspecto preponderante que el proyecto presenta en el proceso productivo, nótese que la calidad (en el proyecto) tiene que ser asegurada. Por tanto, la definición de las etapas del proceso de proyecto es fundamental. Es importante realzar que, dado que el costo aumenta en la medida que se avanza en el tiempo relativamente al proyecto, el modelo de planificación debe contemplar mecanismos para minimizar la probabilidad de verificarse desvíos y provocar costos añadidos.

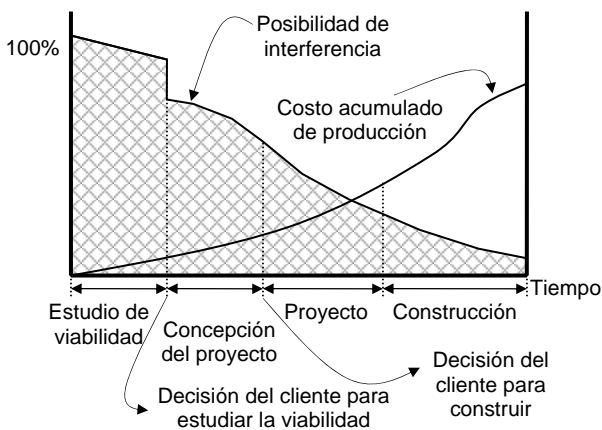


Fig. 1: Interferencia de las fases de una obra en relación a la hipótesis de reducir el costo de fallas en la edificación

La calidad de una construcción es entendida como la capacidad de satisfacer las exigencias de los respectivos utilizadores, en condiciones de uso para la que ha sido prevista, y resulta de tres cualidades: de la planificación, del proyecto y de la ejecución de la obra. La no-calidad es muchas veces más importante en fases anteriores del proceso de construcción, puesto que las consecuencias no sean

inmediatamente visibles, siendo las formas más corrientes los accidentes que ocurren durante la fase de uso de la obra.

La planificación se debe focalizar esencialmente en el proyecto, mas también tiene que actuar en la construcción y en la planificación de los equipamientos. La actividad de Planificación y Control de los flujos productivos ha sufrido modificaciones a lo largo del tiempo, siendo necesario acompañar la evolución de los mercados, cada vez más exigentes y complejos. Es imperativa una mayor flexibilidad en la planificación y control de los procesos, de forma a volver posible su adecuación a los requisitos de los clientes (Alarcón y Mardones, 1998).

Una alternativa a los procesos de planificación más comunes está basada en la filosofía *Lean Construction* (Bertelsen, 2004, Diekmann et al., 2004, Beary, 2005). Esta filosofía tiene como objetivo maximizar el valor y disminuir el desperdicio. Para eso se sugieren diferentes formas de proyectar, de proveer y de producir. Esta forma de gestión, deriva directamente de los modelos de *Lean Production* y se basa en seis pilares elementares de las filosofías *Lean* (Salem et al., 2005, Kenley, 2005): 1. Control; 2. Desempeño; 3. Desarrollo; 4. Valor; 5. *Pull*; 6. Descentralización. La Tabla 2 presenta un resumen de los modelos basados en *Lean Construction* que estuvieran en la base del modelo desarrollado.

EL MODELO DE PLANIFICACIÓN

- Habiendo por base los modelos presentados anteriormente y considerando la necesidad de superar las desventajas se procuró desarrollar y adaptar un modelo a la realidad de una empresa. Para el desarrollo del modelo ha sido necesario caracterizar algunas premisas que están envueltas en la planificación de la construcción civil. Este modelo de-

Tabla 2: Comparación de los varios modelos de planificación

Modelos	Bases	Ventajas	Desventajas
Clásico	Objetivos parciales fijos: transformación de materiales en productos acabados; Identifica desvíos a la planificación y corrígelos.	Por ser un modelo elemental, puede ser aplicado fácilmente; sin embargo es probable que se verifiquen bastantes ciclos de planificación aumentando consecuentemente los costos.	No relaciona las variaciones con los recursos utilizados; Las variaciones positivas no son registradas y las negativas solo son corregidas para no influenciar las etapas siguientes; Pérdidas de recursos, con necesidades de nuevas planificaciones; No tiene en consideración la complejidad e incerteza del medio ambiente.
Proceso productivo	Análisis de desvíos; Acciones correctivas en los procesos críticos; Alteraciones de procedimientos, cuando es necesario.	Contempla proveedores y recursos; Es posible evaluar todo el proceso productivo.	Es preciso tener informaciones sobre el desempeño en el pasado para comprender la capacidad productiva.
Diagnóstico de la Empresa	Políticas de Gestión para la Calidad Total; Estimación de Costos; Identificación de los factores críticos de suceso.	Análisis de futuros proyectos, con mayor calidad, menores costos y tiempo; Enriquecimiento de los colaboradores en todos los niveles jerárquicos de la organización.	Sin equipos atentos no es posible identificar correctamente los factores críticos de suceso y todo el desarrollo del modelo asienta en bases erradas.
Secuencial	Evaluación de las Interfaces departamentales; Envolvimiento de los interventores en la evaluación de los sectores.	Posible disminución de la mano de obra, menores costos y menor tiempo de ejecución.	El éxito depende de la motivación y desarrollo de los equipos.
Ritmo de Ejecución (<i>Preplanning</i>)	Cadencia o ritmo ejecutivo; Tasa de producción; Todas las tareas son críticas.	Acompañamiento diario; Control de mano de obra; Control del ritmo ejecutivo; Control diario del porcentaje de conclusión de actividades.	Todas las actividades tienen que ser correctamente definidas; Al dimensionar en función de la conclusión de la tarea, es necesario considerar eventual redimensionamiento y evitar la mano de obra ociosa.
Aparcerías	Resulta de la evaluación de lo que debe ser hecho y de lo que puede ser hecho.	Planificaciones precisas y correctas; Interligación entre la empresa de proyecto y de ejecución; Reunión con todos los profesionales implicados; Optimización del proyecto.	Proveedores diferentes tienen objetivos diferentes que pueden afectar el funcionamiento de la obra; Dificultad de promover reuniones.
Reducción de pérdidas	Optimizar el flujo productivo a través de la eliminación de actividades que no añaden valor al proceso.	Verificación de equipamientos; Evaluación de la satisfacción del cliente; Acompañamiento y medida de las mejoras propuestas.	Cuando no fundamentadas, las mudanzas positivas dejan de ser practicadas para retomar la práctica anterior. Es necesaria una implicación elevada en los equipos para el buen funcionamiento de las actividades.

be responder a las solicitudes individuales típicas de cada situación, donde se destacan:

El Tipo de Obra – La tipología de la obra es determinante para la aplicación del modelo; el número de especialidades envueltas altera la sobrecarga de los recursos disponibles;

• El Costo/Beneficio Previsto – Mediante el retorno calculado para la obra, el modelo

debe ser capaz de funcionar por módulos, i.e., debe ser flexible para aplicarse por partes;

• La Capacidad Instalada – Es esencial poder aplicar el modelo de forma para conjugar y rentabilizar todos los recursos de la empresa.

El modelo contempla las fases de: consulta, proyecto, planificación y ejecución del proyecto (ver figura 2).

Consulta

Durante la consulta, el modelo prevé que se efectúen contactos con los proveedores de materiales. Tal hecho fuerza al equipo responsable por el presupuesto a esclarecer eventuales dudas que surjan sobre las capacidades y especificaciones solicitadas, de forma a responder a las necesidades y características requeridas por el cliente. Habiendo una batería de proveedores principales, el modelo indica que éstos, más allá de las ventajas reconocidas (económicas, stock, etc.), deben presentar disponibilidad para comparecer en reuniones periódicas, cuando sean solicitados. El objetivo consiste en obtener la mayor ventaja posible de la logística envuelta en el proceso de aprovisionamiento de los materiales, lo que representará una mayor valía en el balance final de la obra.

Proyecto

El proyecto debe ser elaborado, no solamente respetando la voluntad del cliente y las normas y especificaciones, sino que también debe contemplar los eventuales motivos básicos de atraso verificados en la implementación y producción. Los proyectistas, conjuntamente con los ingenieros responsables, y si es posible, con los encargados de obra, deben elaborar un proyecto de forma a contemplar una disminución del riesgo causado por los aspectos identificados: recursos humanos, equipamientos y herramientas, instalaciones, materiales y la propia distribución de los recursos.

El Director de Obra se debe reunir con el Director de Proyecto o con el equipo proyectista, sensiblemente en medio de la elaboración del proyecto de ejecución y posteriormente (próximo del final), para fomentar, no solamente la complicidad entre las partes envueltas, sino que también para que se alineen informaciones e ideas (en el inicio) y verificar el alcance de las metas y objetivos alcanzados (en el final).

Planificación

Es en esta fase que se identifican gran parte de los posibles generadores de constreñimientos que se traducen en atrasos, costos, dificultades y otras complicaciones, algunas de las cuales irreversibles, que invariablemente aumentan el costo final. Esta fase de la planificación consiste básicamente en un conjunto de evaluaciones ordenadas y efectua-

das por todas las partes interesadas en la conclusión de la obra.

La Planificación es iniciada con una Reunión de Planificación General (RPG), a la cual todos los principales interventores comparecerán. De la misma forma, el objetivo es integrar y nivelar los conocimientos sobre la obra. En esta reunión, más allá de la pormenorización de los proyectos, padrones, ESPECIFICACIONES técnicas, procesos ejecutivos y determinación de costos, es necesario obtener de los proveedores garantías de cumplimiento de los plazos. Con esta implicación de los proveedores, se pretende disminuir los riesgos de suministros errados, fuera de tiempo o inconstantes, entre otros.

Al reunirse con representantes del cliente, de los proveedores, del constructor y de la empresa de proyecto, la organización responsable por la RPG debe demostrar que todas las actividades son críticas, al iniciar la reunión. De este modo, son organizados los grupos transdisciplinarios que debaten las necesidades generales, de forma a efectuar un análisis preliminar de la obra. Después de este análisis, se inicia una segunda fase de la RPG que consiste en una pormenorización del proyecto. Los equipos pueden crear puentes para aclarar dudas de las diversas especialidades. Durante la reunión deben ser generadas listas de actividades por todos los grupos. Después de la observación de las listas, el director de obra debe presentar un esbozo sobre la forma a través de la cual se irán a organizar los equipos.

Sabiendo la fecha de entrega de la obra al cliente, es posible definir una secuencia de premisas que irán a determinar la continuidad de la Planificación. Las premisas son:

- Elaboración de una lista de actividades;
- Elaboración de una lista de equipos;
- Evaluación del ritmo de construcción ideal;
- Desarrollo de la planificación, admitiendo todas las actividades críticas;
- Definición de las velocidades de ejecución de cada equipo;
- Cálculo de los volúmenes de construcción para cada área;
- Cálculo de los plazos para construcción para cada área;
- Optimización de los equipos;
- Ajuste entre equipos y ritmo de construcción;
- Control del ritmo ejecutivo;
- Acompañamiento diario.

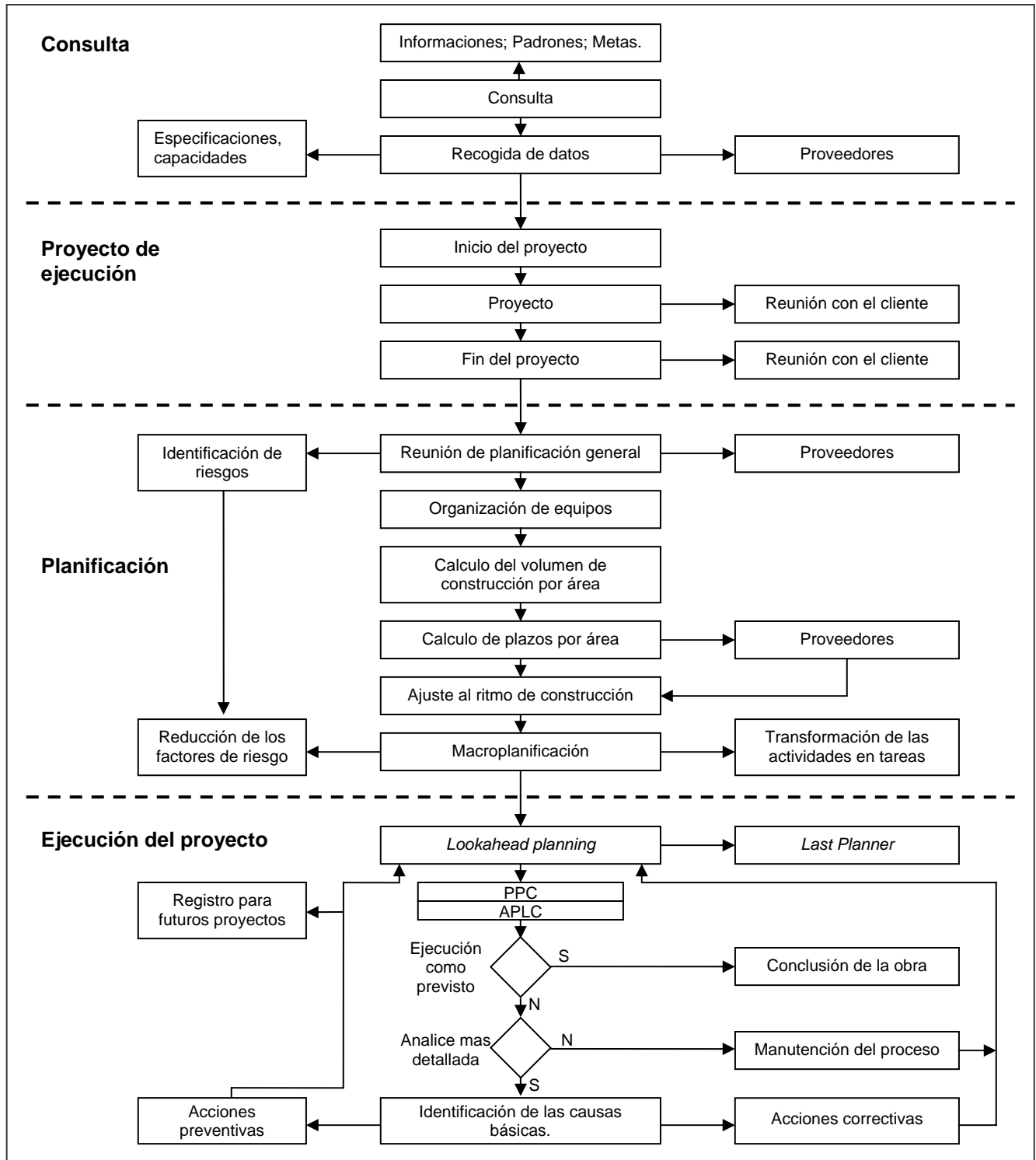


Fig. 2: Modelo de planificación

Al determinar los plazos para cada área, conjuntamente con las capacidades de los proveedores, discutidas en la RPG, es posible planear los encargos, con el objetivo de evitar imprevistos.

Por otro lado, la empresa se queda más liberada para elaborar un mapa de encargos aplazadamente. El proveedor puede, por su vez, aprovisionar de la forma que considere

más conveniente. Esta complicidad permite, todavía, definir formas de pagamiento que satisfagan los intereses de ambas partes. Los posibles riesgos identificados en la RPG son tenidos en cuenta cuando se está a definir una primera planificación general, bastante más real. De esta macroplanificación salen las respectivas directivas que irán a transformar las actividades elaboradas en la RPG, en tareas específicas, más precisas y concretas,

una vez que se enfoca los objetivos y clarifica las restricciones del proyecto.

Después de la elaboración de esta macroplanificación, es necesario elaborar una planificación a medio plazo que vise presentar lo que va acontecer en el futuro, sin estar excesivamente detallado. Esta planificación debe ser hecha por el director de la obra en consonancia con el encargado, que posteriormente elaborará una última planificación diaria, donde se registran las tareas a efectuar de forma discriminada sobre las actividades que deben ser hechas en el día siguiente.

Ejecución del Proyecto (Construcción)

Durante la ejecución del proyecto/obra, es necesario crear una batería de indicadores que consigan expresar el estado de avance de la obra, y si está, o no, desviándose de lo que había sido inicialmente planeado. Este conjunto de indicadores puede ser:

- PPC: Porcentaje de Planificación Completo;
- RTPR: Relación entre el planeado y el real;
- VAP: Variación de Alteraciones al Proyecto;
- VATA: Variación de Alteraciones por Trabajos Adicionados;
- VATR: Variación de Alteraciones por Trabajos Retirados;
- FR: Frecuencia de las Alteraciones;
- PA: Proporción de las Alteraciones;
- GC: Grado de Contribución;
- GIA: Grado de Impacto de las Alteraciones.

Los indicadores identificados en la Tabla 3 se basan en autos de medición, i.e., en documentos escritos que determinan el desarrollo de la obra. Si la ejecución de la obra estuviera transcurriendo como lo previsto, se sigue la continuidad hasta la correspondiente conclusión. En caso contrario, se efectúa un análisis más detallado que pretende definir causas comunes o causas especiales de variación. Si las causas son comunes, hay que mantener el proceso porque, en principio, no se repetirán. Si las causas son especiales, en términos de variación, se deben promover dos tipos de acciones: Preventivas (para evitar futuras ocurrencias en otros proyectos); Correctivas (para actuar directamente sobre el *look-ahead planning* que se relaciona con los indicadores).

Los responsables de la obra, basados en la macroplanificación, heredado de la fase anterior, elaboran una planificación más cuidada,

para un mes. Esta planificación del tipo *Look-ahead Planning* es ejecutado de la forma descrita por el modelo presentado anteriormente, basado en el ritmo de ejecución. Esto es importante para la ejecución de la obra y se basa en compromisos y premisas desarrolladas en las diferentes fases del modelo.

APLICACIÓN DEL MODELO

El modelo desarrollado ha sido aplicado en una obra de pequeña dimensión, que fue acompañada de cerca, para monitorizar los resultados obtenidos. La obra consistió en una remodelación de una joyería. Todo el trabajo de remodelación demoró cuatro meses, pero la obra propiamente dicha demoró 5 semanas, una vez que un de los requisitos, impuestos por el cliente, fue el de apenas demorar el mes de Agosto (mes de vacaciones). Esta remodelación representa el tipo de obra para lo cual el modelo ha sido desarrollado. No siendo una obra de grande expresión, relativamente a los recursos envueltos, es una reestructuración que justifica la implantación de acorde con la estrategia desarrollada por la empresa para rentabilizar equipos y recursos disponibles. No obstante, este tipo de reestructuración presenta ratios más elevados de costo/beneficio que las obras de mayor dimensión.

Consulta

Elaboradas las reuniones necesarias con el Cliente y con el Director de Proyecto, se procedió a la descripción de las especialidades envueltas para disponer de los recursos necesarios a la ejecución de la tarea en causa: instalaciones eléctricas; instalación de aire acondicionado y sistemas de incendio; elaboración del proyecto de arquitectura; concretización del proyecto. Las consultas fueron orientadas por la propia especialidad pretendiendo, de este modo, reunir el mayor número de informaciones posibles sobre los materiales a incorporar en el proyecto.

En la fase de consulta se procedió a la elaboración de registros, así como a la recogida de informaciones y datos, esenciales a la fase de proyecto de ejecución, principalmente lo que respecta a proveedores, habiendo sido generado un mapa de proveedores, con el objetivo de preparar la fase siguiente. Acabada la consulta, el sector responsable por el presupuesto elaboró una propuesta comercial, basada en la consulta efectuada.

Tabla 3: Indicadores basados en autos de medición, trabajos de más y alteraciones al proyecto

Indicador	Formula (%)
VAP - diferencia entre la variación del costo del proyecto en función de las alteraciones	$\frac{\text{Total de todos los trabajos de más y a menos}}{\text{Valor presupuesto}}$
VATA - diferencia entre la variación del costo del proyecto en función de los trabajos de más	$\frac{\text{Costos con trabajos de más}}{\text{Valor presupuesto}}$
VATR - diferencia entre la variación del costo del proyecto en función de los trabajos de menos	$\frac{\text{Costos con trabajos a menos}}{\text{Valor presupuesto}}$
FA - Frecuencia de las alteraciones efectuadas	$\frac{\text{Número de alteraciones}}{\text{Total de actividades}}$
PA - Alteraciones con justificación	$\frac{\text{Número de alteraciones justificadas}}{\text{Total de actividades}}$
GC - Importancia de la alteración en el costo del proyecto	$\frac{\text{Total de los trabajos de más y de menos justificados}}{\text{Costo original}}$
GIA - Grado de impacto de cada alteración	$\frac{\text{Tiempo de más debido a una causa}}{\text{Tiempo contractual}}$

Proyecto de Ejecución

El proyecto se inició con una reunión donde se entregó a cada elemento interventor, la base del proyecto elaborada por el Director de Proyecto, a partir de la cual, los proyectistas de las diversas especialidades irían a trabajar. El programa base incluía los requisitos:

- Esquema de la obra o de la secuencia de las diversas operaciones a desear;
- Indicación de las principales restricciones;
- Piezas escritas y diseñadas, necesarias para las diferentes fases.

El responsable del proyecto entregó un mapa donde solicitó a cada responsable, el número de diseños a presentar. De esta forma fue posible monitorizar el avance del proyecto, ya que solamente así fue posible planear el resto de las reuniones. La presentación de esta lista obligó los equipos interventores a elaborar un calendario por objetivos de diseños concluidos, una vez que en el medio del proyecto existió una reunión con el cliente, donde se clarificó y corrigió cualquier duda referente al proyecto. Esta es la altura ideal para requerir alteraciones. Surgieron también nuevas evaluaciones del proyecto relativamente a la relación con el exterior y con el funcionamiento en el interior. Concluido el proyecto, se efectuó otra reunión con el cliente para que éste estuviera al corriente de la versión definitiva y de cuando se iniciarían las actividades de construcción.

Planificación

La metodología seguida en la planificación fue esencialmente invitar al cliente a participar en

las reuniones de planificación, así como los proveedores de los principales materiales y equipamientos.

La planificación de la construcción, en la joyería, demoró una semana. Este tiempo se debió a la dificultad que se verificó en la reunión inicial, ya que fue difícil reunirse con todos los proveedores. A esta reunión comparecieron los principales interventores responsables de la conclusión de la obra. De la reunión se produjeron listas de actividades para ser trabajadas por el responsable de la obra y del proyecto, para organizar un calendario de funcionarios, de recepción de material, de verificaciones, etc.

Para la elaboración del mapa era necesario presentar un cálculo aproximado del volumen de construcción por área. Dado que la obra era localizada en un espacio pequeño, se agruparon las actividades relativas al "cálculo de volumen" de "construcción por área" y "cálculo de los plazos para cada área" apenas en una unidad, porque es simple determinar las fechas de entrega de los encargos de los proveedores. Al asegurar la recepción de los materiales de una forma *just-in-time*, se minimizó el riesgo de atraso por incumplimiento del plazo. En este momento, se recogieron todas las planificaciones efectuadas a lo largo de las fases y se elaboró la planificación global de la obra.

Ejecución del Proyecto

El Director de Obra fue, también, el Responsable por el Proyecto, lo que facilitó el entendimiento de los intereses del Cliente. Por otro

lado, esta situación se reveló ventajosa en la relación con el encargado de la obra.

En obra, se efectuó una reunión con el encargado general, Director de Obra y operarios para presentar la planificación para cinco semanas, de modo a que todos los implicados, no solamente fuesen parte ejecutante del proceso, sino que también pudiesen efectuar, en esta fase, contribuciones pertinentes para la conclusión de la obra. Se registraron las observaciones y se inició la obra de acuerdo con lo planeado. Al efectuar esta reunión, todos los participantes en la obra, sintieron que estaban implicados y responsabilizados, percibiendo de inmediato lo que se pretendía construir. Iniciada la obra, el Encargado, entregaba el Plano Semanal al Director de Obra para que este estuviera siempre actualizado sobre las necesidades emergentes de las tareas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos por la aplicación del modelo, fueron los siguientes:

1º Lista de proveedores - se reveló bastante útil y fue aplicada en la fase de planificación, no solamente por la disponibilidad de los proveedores, sino que también por las informaciones que de ellos derivaron;

2º Implicación del cliente - La presencia del Cliente en las reuniones, en el medio y fin del proyecto, revelaron que no fue preciso hacer grandes alteraciones en el proyecto, del tipo *rework*, i.e., las alteraciones efectuadas fueron solicitadas en tiempo útil. El Cliente tuvo oportunidad de informar que, durante el desarrollo de la obra, era posible que solicitase algunos trabajos de más. Donde fueron contempladas algunas soluciones en ese sentido;

3º Reunión de Planificación General - Esta reunión posibilitó juntar casi todos los Inter-ventores en la obra. El Cliente se envolvió en la planificación y permitió algunas alteraciones de materiales, solicitadas por la empresa en el momento en que los proveedores, también presentes, presentaron los tiempos de espera. Esta alteración acabó por ser fundamentada y registrada en los Planos de Aprobaciones de Materiales; el proceso fue bastante abreviado con la garantía de equivalencia de productos. Al reunirse con proveedores, la empresa ejecutante de la obra, pudo

generar un calendario más preciso de la entrega del material. En este tipo de obra, el espacio es reducido y, normalmente, no existe solar, tampoco almacén donde depositar el material hasta la instalación. El Encargado puede con alguna confianza hacer cargas de trabajadores con mapas de horas, gestión de herramientas, de materiales, planos de inspección y ensayo. La macroplanificación puede ser elaborada con un margen de error mucho menor, una vez que los riesgos que envolvían la obra fueran debatidos y acabaron por ser reducidos con la transformación de las actividades en tareas.

4º Porcentaje de Planificación Completa (PPC) - La elaboración del plano semanal, se reveló una herramienta útil al calcular la PPC, así como informar que para recuperar el tiempo perdido, se tiene que aumentar la carga de trabajadores en obra;

5º Causas de no cumplimiento - De acuerdo con el modelo, cuando la ejecución no corresponde a lo planeado es necesario identificar las causas de no cumplimiento de la planificación. Se constató un atraso que tuvo origen en la entrega del mobiliario. El PPC disminuyó en la semana prevista para la recepción del material referido. Siendo la PPC un indicador de conclusión que solamente es válido cuando la actividad está completa, acabó por verificarse un porcentaje de conclusión bastante bajo, en la última semana.

6º Indicadores - Al aplicar otros indicadores se verificó que el atraso en la entrega del mobiliario no fue el único responsable por el incumplimiento del plazo. El cliente al pedir algunas de las alteraciones acabó por empujar la fecha de conclusión de la obra para delante. En la Tabla 4 están representados los porcentajes relativos a los trabajos de más, bien como la relevancia de los mismos en la obra. Como se puede ver, la variación del costo de la obra en función de los trabajos de más (VATA) es de 50%. Sin embargo, no se verificaron situaciones de *rework* lo que, por sí solo, representa una valía más del modelo.

La Tabla 4 compara los valores relativos a la joyería con otra obra similar (transformación de un *Ciber Café*), ejecutada antes de la aplicación del modelo. Analizando los resultados, relativamente al *Ciber Café*, se constata que el valor del VAP fue más elevado, lo que representa que el costo del proyecto sufrió un

aumento, relacionado con el aumento del número de alteraciones efectuadas. Si cruzamos esta información con el indicador GC, que mide la importancia de las alteraciones en el costo del proyecto, para el *Ciber Café*, se verifica que el grado de contribución de las alteraciones aumentó. De este modo, se verifica una mejoría con la aplicación del modelo.

Tabla 4: Valores utilizados para determinar los indicadores

	Joyería	<i>Ciber Café</i>
Nº de alteraciones	26	37
Nº de alteraciones con Justificación	17	4
Total de actividades	62	53
Tempo previsto (actividad estudiada)	3	-
Tempo real (actividad estudiada)	31	-
Valor presupuesto	87.000 €	80.000 €
Valor total	175.000 €	140.000 €
Valor trabajos de más	88.000 €	40.000 €
Valor trabajos de menos	0 €	20.000 €

La Tabla 5 muestra que las variaciones de las alteraciones, provocadas por los trabajos de más, aumentaron. Conviene realzar que retirar trabajos puede representar una disminución del lucro, esto es porque, retirar trabajos no representa necesariamente disminución de costo; muchas veces esta reducción de trabajos va disminuir los márgenes de lucro, que dejan de estar disponibles, mas que hacían parte del presupuesto. Por otro lado, el cliente espera que con la reducción de tareas, se verifique una reducción en el valor del presupuesto, lo que puede no ser posible.

La frecuencia de las alteraciones disminuyó, indicando que en esta segunda obra, se verificaron menos pedidos de alteraciones que en el *Ciber Café*. El índice PA, sufrió un crecimiento, una vez que este parámetro mide

la relación del número de alteraciones justificadas, en función del número total de actividades; esto significa que existen más pedidos con justificación. Una vez más, se verifica que de la aplicación del modelo resulta una tendencia de disminución de los pedidos de alteración al proyecto inicial. Naturalmente que se pretende que este indicador apenas sea incrementado, una vez que refleje la necesidad de alteraciones justificadas contrariamente a otros indicadores más generales.

Es posible afirmar que con el modelo de planificación se disminuirán las alteraciones sin justificación, así como el impacto de estas alteraciones en el costo previsto de la obra. Por otro lado, se verifica que los trabajos de más (y de menos) disminuirán y acompañan, también, la disminución de la frecuencia de las alteraciones registradas. De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede afirmar que el modelo mejoró la realización de la obra. Sin embargo, la joyería acabó por ser entregada con un porcentaje de atraso, proveniente de los problemas surgidos con el mobiliario que comprometieron la conclusión de la obra.

CONCLUSIONES

El desarrollo y aplicación de un modelo basado en *Lean Construction* en una obra de corta duración fue validado a través de un estudio de caso a partir de su aplicación en una obra de referencia. La utilización de indicadores y el análisis de su evolución, permitió identificar tendencias positivas derivadas de la implementación del modelo.

Con este estudio se percibió que la implicación del cliente, en este tipo de obras, es fundamental; no solo disminuye el número de alteraciones solicitadas al proyecto (en tiempo útil), sino que también aumentan los

Tabla 5: Indicadores basados en los autos de medición

Indicadores	Resultados (%)	
	Situación pré-modelo	Situación pos-modelo
VAP - Variación de las Alteraciones al Proyecto	57	50
VATA - Variación de las Alteraciones – Trabajos adicionados	29	50
VATR - Variación de las Alteraciones – Trabajos Retirados	14	0
FA - Frecuencia de las Alteraciones	70	42
PA - Proporción de las Alteraciones	8	27
GC - Grado de Contribución	75	101
GIA - Grado de Impacto de la alteración (para el mobiliario)	--	10

flujos de información, clarificando el diálogo global entre todos los interventores. De las reuniones (previstas en el modelo) surge también la mayor facilidad de planear, sin tener de recurrir, por ejemplo, a *software* complejo de planificación, confrontando los proveedores con las necesidades de la obra. La implantación generada en estas reuniones resultó en una complicidad que dió origen a un cumplimiento de plazos mejor, incluso con proveedores con incumplimientos en el pasado.

Es importante realzar que la participación de los clientes, durante todas las fases del modelo, es una de las valías más introducidas por el modelo. La presencia de los clientes en la RPG, apoya la aclaración sobre lo que efectivamente se va a hacer; por otro lado, facilita el entendimiento relativo a eventuales ausencias de materiales en obra o en *stock* y se perciben las dificultades debatidas por los encargados y otros técnicos responsables. Es posible concluir que la implicación del cliente innova bastante todo el sistema productivo, bien como la confianza adquirida. Repárese que el límite de la línea del *back-office* deja de ser tan bien definida en el momento en que el cliente es llamado a participar en reuniones de decisión y de planificación.

Este modelo de planificación introduce algunas alteraciones, siendo de destacar la conjugación de la realidad de la organización con las diversas fases que el prevé: consulta, proyecto, planificación y ejecución. Por otro lado, el caso estudiado indicó que al generar la planificación semanal, el encargado ofrece elementos esenciales para acompañamiento de la obra. En obras de corta duración, normalmente, los métodos comunes de monitorización no revelan mucho éxito. La planificación semanal, con el PPC, reveló ser un indicador claro del desvío entre la planificación y la realidad verificada en la obra. La planificación semanal también indica, de forma simple, cual debe ser el aumento de carga de personal, para que se consiga recuperar eventuales atrasos.

REFERENCIAS

Alarcón, L.F.; Mardones, D.A., "Improving the design-construction interface", 6th International Conference on Lean Construction - Proceedings IGLC (1998).

Araújo, N. y Meira, G., "O Papel do Planeamento, Interligado a um Controlo Gerencial, nas Pequenas Empresas de Construção Civil", 18º Encontro

Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP (1998).

Beary, T. M. y Abdelhamid, T. S., "Production Planning Process in Residential Construction Using Lean Construction and Six Sigma Principles", Proceedings of the Construction Research Congress, San Diego, CA (2005).

Bertelsen S., "Lean Construction: Where Are We And How To Proceed?", Lean Construction Journal, Volume 1, Nº 1, pp. 46-69 (2004).

Caldas, C., "Sistemas de Planeamento e Controlo Operacionais de Empreendimentos: a integração tempo, custo e recursos". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (1990).

Diekmann J., Krewedl M., Balonick J., Stewart T. y Wonis S., "Application of Lean Manufacturing Principles To Construction", CII Report (project team 191), The Univ. of Texas at Austin (2004).

Hammarlund, Y. y Josephson, P., "Qualidade: cada erro tem seu preço", Técnica, n. 1, p. 32-34 (1992).

Ichihara, J., "Um Método de Solução Heurístico para a Programação de Edifícios Dotados de Múltiplos Pavimentos-Tipo", Tese de Doutorado, Univ. Fed. de Santa Catarina, Florianópolis (1998).

Kenley, R., "Dispelling the complexity myth: founding lean construction on location-based planning", Proceedings IGLC-13, Sydney, Australia (2005).

Machado, R. "A sistematização de antecipações gerenciais no planeamento da produção de sistemas da construção civil", Tese de pós-graduação, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (2003).

PMBOK, "Project Management Institute – A Guide to the Project management body of knowledge", Newtown Square, Pennsylvania USA (2000).

Roldão, V. S., "Gestão de Projectos – Abordagem Instrumental ao Planeamento, Organização e Controlo", 1ª Ed., Monitor, Lisboa (2005).

Rosa, P., "Modelo de planeamento baseado em lean construction", Tese de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa (2005).

Salem O., Solomon J., Genaidy A. y Luegring M., "Site Implementation and Assessment of Lean Construction Techniques", Lean Construction Journal, Volume 2, Nº 2; pp. 1-21 (2005).

Souza, R., Mekbekian, G.; Silva, M.; Leitão y A.; Santos, M., "Sistema de Gestão da Qualidade para Empresas Construtoras", CTE / SINDUSCON-SP, São Paulo (1994).