

Implementation of standard work in the construction industry Implementación del trabajo estandarizado en la industria de la construcción

W. Fazinga ^{1*}, F. Saffaro ^{*}, E. Isatto ^{**}, E. Lantelme ^{***}

* Universidade Estadual de Londrina – Paraná, BRASIL

** Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, BRASIL

*** Faculdade IMED – Passo Fundo, BRASIL

Fecha de Recepción: 24/09/2018

Fecha de Aceptación: 18/05/2019

PAG 288-298

Abstract

Standard Work (SW) focuses on reducing variability and waste based on three conceptual elements: takt-time, work sequence, and work-in-process. Considering the importance of SW implementation in the Construction Industry, there is a need for adapting the conceptual elements due to differences between the production systems. This paper discusses the singularities of SW concepts adaptation in construction processes and proposes four implementation rules. A participatory case study was conducted aimed at the implementing SW in the construction of the reinforced concrete structure of a 26-floor residential building developed by a Brazilian construction company. This process is characterized by long cycle time, a great number of interrelated operations performed by workers with specialized skills who traditionally have autonomy in organizing their work. The singularities refer to the adaptation of the conceptual elements to the context investigated and resulted in four rules to implement SW in the construction industry: (a) define daily work packages as a control parameter due to the long takt-time; (b) focus the specifications of standard work sequences on the team, allowing space for autonomous decisions; (c) establish batches' size prioritising the sharing of resources between work packages; and (d) define specifications for transporting and storing resources since there are constant modifications of the workstations.

Keywords: Standard work, standardization, takt-time, variability, reinforced concrete structures

Resumen

El trabajo estandarizado (TE) busca la reducción de variabilidad y desperdicio en base a tres elementos conceptuales: *takt-time*, secuencia de operaciones y trabajo en proceso. Considerando la importancia del TE en la Industria de la Construcción, existe la necesidad de adaptar los elementos conceptuales debido a las diferencias entre los sistemas de producción. Este artículo discute las singularidades para la adaptación de los conceptos a los procesos de la construcción y propone cuatro reglas de implementación. Se realizó un estudio de caso participativo fue realizado para la implementación del TP en la construcción de la estructura de hormigón armado de un edificio residencial de 26 pisos, desarrollado por una constructora brasileña. Este proceso se caracteriza por un largo tiempo de ciclo, un gran número de operaciones interrelacionadas, realizadas por trabajadores con habilidades especializadas que tradicionalmente tienen autonomía en la organización de su trabajo. Las singularidades se refieren a la adaptación de los elementos conceptuales al contexto investigado y resultaron en cuatro reglas: (a) definir paquetes de trabajo diarios como parámetro de control debido al largo *takt-time*; (b) enfocar las especificaciones de la secuencia de trabajo en los equipos dando espacio para decisiones autónomas; (c) establecer el tamaño de los lotes priorizando el recurso compartido de recursos entre los paquetes de trabajo; y (d) definir especificaciones para el transporte y almacenamiento de recursos, ya que existen constantes modificaciones en las estaciones de trabajo.

Palabras clave: Trabajo estándar, estandarización, *takt-time*, variabilidad, estructuras de hormigón armado

1. Introducción

El proceso de construcción de edificios se caracteriza por un alto nivel de variabilidad que impacta negativamente su desarrollo en términos de tiempo y costo (Cruz et al., 2018). Esta variabilidad produce un desperdicio de la capacidad de producción del personal y un aumento en los niveles de inventario de productos semiprocesados (Tommelein et al., 1998); (González y Alarcón, 2003). Cabe destacar también las fluctuaciones de los ritmos de producción, debido al tiempo que toma preparar y movilizar a todos los trabajadores, la distribución irregular del personal en los distintos trabajos, la dificultad de hacer que los recursos estén disponibles en los diferentes puestos de trabajo del edificio y la recurrente reorganización (Brodestkaia y Sacks, 2007); (Vrijhoef, 2016).

Estas dificultades han motivado al sector de la construcción a buscar conceptos y prácticas de gestión en la industria manufacturera, con el propósito de estabilizar la producción. La estabilidad es una condición donde hay previsibilidad “para producir resultados consistentes a lo largo del tiempo” (Liker y Meier, 2005). La estandarización es uno de los principios más importantes del Sistema de Producción Toyota (SPT), el cual ha captado la atención de la industria de la construcción debido a sus beneficios que favorecen la estabilidad del proceso.

La estandarización es un principio ampliamente utilizado en la producción masiva (Womack y Jones, 2003). En este contexto, se han establecido estándares por medio de estudios de tiempo y desplazamiento desarrollados por ingenieros industriales, basados en la idea de que habría una mejor manera de desempeñar el trabajo (Hopp y Spearman, 1996); (Mlkva et al., 2016). En el SPT, la estandarización adquiere un significado diferente. No está enfocado en el proceso o el producto, como en los sistemas de gestión de calidad, sino en las operaciones, es decir, en las actividades que realizan los trabajadores. Por ende, en este contexto, recibe una denominación específica – trabajo estándar (TE).

¹ Autor de correspondencia:

Universidade Estadual de Londrina – Paraná, BRASIL
E-mail: wanessa@uel.br

El TE incluye la especificación de una rutina de trabajo que satisface la demanda del cliente, pero manteniendo bajas cantidades de inventario. El TE consiste en tres elementos conceptuales: (a) takt-time o el ritmo de producción necesario para satisfacer la demanda del cliente; (b) la secuencia de trabajo; y (c) el inventario estándar, que corresponde a la cantidad limitada de productos semiprocesados que se necesitan para mantener la operación del proceso y alcanzar un tiempo de ciclo adecuado para lograr el takt-time (Monden, 2015); (Ohno, 1988); (Dennis, 2007).

Si bien la literatura presenta una amplia gama de descripciones sobre estos tres elementos del TE y sus aplicaciones en la industria manufacturera (Puvanavarayan et al., 2018); (Kumar y Kumar, 2014); (Martin y Bell, 2011); (Chan y Tay, 2018), los estudios aplicados a la industria de la construcción son escasos. Todavía existen brechas teóricas y prácticas respecto de la aplicabilidad del TE en el sector de la construcción.

El desarrollo de la investigación presentada en este artículo se basó en un estudio de caso participativo destinado a la implementación del TE en la construcción de una estructura de hormigón armado para una torre de departamentos residenciales. Este proceso se caracteriza por un largo tiempo de ciclo y una gran cantidad de operaciones interrelacionadas y diversificadas, realizadas por un gran número de trabajadores especializados, quienes tradicionalmente cuentan con autonomía para organizar su forma de trabajar.

Los resultados de este estudio mostraron beneficios significativos para la estabilidad de la producción, pero los tres elementos conceptuales del TE debieron adaptarse al contexto en cuestión. El presente artículo analiza las particularidades de la implementación del TE en el proceso estudiado, contribuyendo así a definir cuatro reglas para implementar el TE en la industria de la construcción.

2. Trabajo estandarizado

Una de las características del TE dentro del SPT es mantener el ritmo de producción relacionado con la demanda del mercado, utilizando el concepto del takt-time, que es el primer elemento conceptual del TE (Monden, 2015); (Ohno, 1988). Así, el trabajo asignado a uno de los puestos de trabajo que conforman la línea de producción se asocia a un tiempo estándar. Sin embargo, este tiempo no se asocia a la productividad máxima para la tarea realizada en solitario, sino al tiempo que refleja la demanda del cliente (Liker y Meier, 2005).

El Takt-time es el resultado de dividir el tiempo disponible para la producción en el número de unidades producidas en ese lapso de tiempo para satisfacer la demanda del cliente (Chan y Tay, 2018). Una vez determinado el takt-time, el proceso de producción debe estructurarse de manera de lograr un tiempo de ciclo levemente más corto. El tiempo de ciclo se refiere al tiempo transcurrido entre un producto y el siguiente que sale del mismo proceso, esto es, la frecuencia o ritmo que se necesita para que una pieza o producto termine su proceso de producción (Liker y Meier, 2005); (Hirano, 2009).

Todos los puestos de trabajo están sometidos al takt-time, pero para abordar las diferencias de ritmo entre estos puestos, el inventario de los productos parcialmente

procesados se controla a un nivel estandarizado (Liker y Meier, 2005); (Productivity Press Development Team, 2002). Esta cantidad de inventario intermedio en la línea de producción se denomina trabajo en curso (WIP, en inglés) y representa el segundo elemento conceptual del TE (Monden, 2015); (Dennis, 2007).

El problema con los niveles de inventario en el TE surge de la búsqueda constante por reducir los desperdicios. El inventario de productos parcialmente terminados se considera un desperdicio, porque consume tiempo, incrementando así el tiempo de ciclo, y no agrega valor al sistema de producción (Shingo, 1981). El definir cantidades estándar de WIP permite identificar rápidamente las variaciones y, por lo tanto, ver qué problemas ha provocado. La existencia de cantidades más grandes o pequeñas que aquellas establecidas como estándar es la evidencia de que hay una discordancia entre los puestos de trabajo, la cual puede tener como consecuencia una sobreproducción o tiempo ocioso dentro de un puesto de trabajo (González y Alarcón 2003); (Whitmore, 2008).

La producción dentro de un tiempo de ciclo adecuado al takt-time y con una baja cantidad de WIP requiere un conjunto de especificaciones relacionadas con las operaciones de trabajo y sus secuencias. Estas especificaciones constituyen una secuencia de trabajo estándar, que es el tercer elemento conceptual del TE (Monden, 2015); (Productivity Press Development Team, 2002).

La secuencia de trabajo se describe como el orden de las acciones que cada trabajador debe realizar dentro de un determinado tiempo de ciclo, en conformidad con el takt-time (Monden, 2015); (Ohno, 1988); (Productivity Press Development Team, 2002). En el SPT, las actividades se especifican detalladamente en términos de contenido, secuencia, tiempo necesario para terminar el producto y resultados esperados, ya sea para un solo trabajador que desempeña todas las operaciones en un puesto de trabajo o un grupo de trabajadores requeridos en un mismo puesto (Hirano, 2009); (Spear y Bowen, 1999).

3. Trabajo estándar en la industria de la construcción

Estudios anteriores señalan la necesidad de adaptar los conceptos del TE al ámbito de la construcción (Fireman et al., 2018); (Bulhões et al., 2006); (González y Alarcón, 2009).

Con respecto al takt-time, por ejemplo, si bien en el contexto de la construcción de edificios los plazos son altamente valorados, la producción en la obra no se ve mayormente influenciada por los cambios en la demanda del mercado. Los proyectos tienen un plazo contractual respaldado por un calendario que especifica la duración de los principales procesos. Por lo tanto, cada proceso toma un takt-time específico, cuyo cálculo consiste en la relación entre el tiempo de producción disponible para el proceso y el número de unidades repetitivas del proceso (por ej., pisos, departamentos) (Bulhões et al., 2006).

Con respecto al trabajo en curso (WIP), mientras que en el SPT su determinación está valorada y bien definida, en la construcción de edificios el control de inventarios entre las diferentes actividades no es una práctica generalizada (González y Alarcón, 2009). El WIP en la construcción se puede identificar al observar dos actividades o procesos



consecutivos y dependientes, como el número de unidades de trabajo (casas, pisos, elementos estructurales) que todavía no han sido procesados, pero que lo serán (González et al., 2011).

Los gerentes o jefes deben considerar cuánta importancia le atribuyen al WIP y las tasas de productividad de los equipos. En ambientes con alta variabilidad, como en el proceso de producción de la construcción, si el trabajo en curso entre los puestos de trabajo es insuficiente, las interrupciones del flujo pueden resultar muy frecuentes (Hajifathalian et al., 2012).

En cuanto a la secuencia de trabajo, un estudio realizado con el propósito de estandarizar la producción de muros industrializados señaló que la secuencia de trabajo estándar debe incluir la especificación del tamaño del equipo, los lotes de producción, las tareas asignadas a los turnos diarios y su secuencia de ejecución, las formas de organización y el transporte de insumos a los distintos pisos, así como la delimitación de las áreas de inventario en el área de trabajo (Fosse et al., 2014).

Concretamente, en lo que se refiere a la producción de estructuras de hormigón, (Memarian y Mitropoulos, 2012) reportan que la secuencia de trabajo estándar se enfoca en dividir el trabajo entre los equipos y distribuir las tareas entre los trabajadores de acuerdo a sus habilidades, en buscar una mayor confiabilidad en el suministro de los principales insumos y en un plan para el uso compartido del equipo de transporte (grúa) entre los distintos equipos, estableciendo prioridades para su uso para cada día de la semana.

En Brasil, (Fazinga et al., 2016) discutieron el nivel de detalle de las secuencias de trabajo estándar para trabajadores individuales asignados al mantenimiento de una estructura de hormigón armado y reportaron dificultades en la estimación de los tiempos de ciclo y la definición de las secuencias de trabajo para cada trabajador individual. Los autores sugirieron que, en caso de existir dificultades para detallar la secuencia de trabajo, sería aconsejable motivar a los equipos para que coordinen el flujo de trabajo de manera autónoma, sobre la base de negociaciones internas, y así ajustar el ritmo de trabajo y asignar tareas.

Se entiende que un cierto grado de autonomía en los equipos de trabajo puede promover una mayor comprensión del contenido del trabajo y que los trabajadores pueden desarrollar una mayor gama de habilidades, favoreciendo así la proactividad y ayuda mutua frente a las incertidumbres y la variabilidad de la producción (Kent, 2006); (Pais, 2010); (Tremblay, 2003). Sin embargo, el permitir la autorregulación

entre los equipos puede conducir a problemas tales como la ocupación irregular e inesperada de las áreas de trabajo, un aumento del trabajo en curso (WIP), flujos de recursos desordenados entre los puestos de trabajo y demoras debidas a la interdependencia entre las actividades (Brodestskaia y Sacks, 2007).

Según (Annosi y Bruneta, 2018), el enfoque adecuado para la gestión de los equipos consiste en otorgar autonomía junto con un control de gestión. Los parámetros de control (por ej., tiempo de ciclo y metas de calidad del producto), ejercido permanentemente por los gerentes o jefes, permite comparar el desempeño de los equipos con respecto a ciclos de producción y objetivos anteriores. Esta práctica apoya el monitoreo y el aprendizaje interno del equipo y destaca las buenas experiencias que deben replicarse.

Los ejemplos dados con respecto de la aplicación de TE en la construcción de edificios señalan la importancia de comprender las características particulares de la producción en obras de construcción, de manera de poder definir un estándar de trabajo satisfactoriamente.

4. Método de investigación

Esta investigación se basó en un estudio de caso participativo, realizado en la obra de un edificio residencial de 26 pisos y 25,776m². El estudio investigó la aplicación del trabajo estándar para levantar la estructura de hormigón armado, para la cual se usaron losas nervadas pretensadas y puntales metálicos, un sistema de construcción ampliamente utilizado en Brasil (Figura 1).

El sistema de construcción consistió en losas nervadas pretensadas soportadas por un sistema de puntales metálicos (Figura 1a). Se utilizaron paneles de madera terciada para soportar los moldes plásticos (Figura 1b). Para el transporte vertical y horizontal se usó una grúa destinada exclusivamente a esta actividad. Se elaboraron vigas de hormigón prefabricado en la obra hasta alcanzar aproximadamente la mitad de la altura de su sección transversal (Figura 1c), las que luego se colocaron sobre las columnas, mientras la otra mitad de esta altura se complementó con moldes laterales de madera terciada y se hormigonaron junto con la losa. Las columnas se levantaron por medio de paneles de madera terciada soportados por un marco metálico (Figura 1d), lo cual requirió la ayuda de una grúa para su manejo y colocación, debido a las dimensiones y el peso de los paneles.



Figura 1. Sistema de construcción de una estructura de hormigón armado

Tres contratistas diferentes fueron los responsables de levantar la estructura de hormigón armado: el primero montó y colocó las barras de acero (6 trabajadores), el segundo se ocupó del pretensado (3 trabajadores) y el tercero produjo las vigas prefabricadas, el encofrado para las columnas y losas, el apuntalamiento y el hormigón (18 trabajadores). Los contratistas estaban coordinados por un supervisor de primera línea.

La investigación siguió el protocolo indicado en la (Figura 2). Comenzó con una reunión entre el gerente de

producción y los ingenieros de obra. El objetivo de esta reunión era difundir y discutir los principales conceptos y procedimientos para la implementación del TE y además se expuso el protocolo de investigación para la recopilación y análisis de los datos.

El siguiente paso fue la revisión de los diseños arquitectónicos y estructurales, el plan maestro del proyecto y los procedimientos y reglas de gestión de calidad de las empresas, con el objeto de comprender el proceso constructivo y su grado de estandarización

ACCIONES						
Reunión para presentar los conceptos a la empresa	Estudio de los proyectos de la obra y documentos del sistema de gestión de calidad	Observación de la producción en la obra	Serie de reuniones con el ingeniero y el equipo de trabajadores	Capacitación de los trabajadores	Observación de la producción en la obra	Reunión con el ingeniero y el equipo de trabajadores
		6 semanas			7 semanas	
OBJETIVOS						
Difundir los conceptos estudiados	Entender el proceso de construcción	Entender el contenido del trabajo, la actividad del equipo y las señales de variabilidad	Definir y documentar el trabajo estándar (versión 1)	Comunicar el trabajo estándar al equipo de trabajadores	Evaluar la repercusión de las especificaciones del trabajo estándar en la estabilidad de la producción	Definir y documentar el trabajo estándar (versión 2)

Figura 2. Protocolo de investigación



El paso subsiguiente fue observar y registrar lo que los trabajadores hacían diariamente. Esta observación duró seis semanas, durante las cuales se construyó el segundo, tercer y cuarto piso de la estructura de hormigón armado. Durante este período, se logró una mejor comprensión del proceso constructivo, la organización de los puestos de trabajo y las secuencias de trabajo que se incorporarían al TE. Asimismo, se pudieron identificar las fuentes de variabilidad en la producción, tales como interrupciones en los procesos, cambios en las secuencias, desplazamientos y transportes innecesarios, variaciones del tiempo de ciclo. Los datos se recopilaron a través de la observación, las entrevistas con el equipo de la obra y los registros fotográficos.

Los datos fueron procesados y analizados por los investigadores y posteriormente fueron presentados y discutidos con el jefe de obras y los supervisores de primera línea. Luego de una serie de reuniones, se estableció y representó visualmente la primera versión del TE, a través de hojas de trabajo y dibujos. Estos incluyeron las operaciones de la secuencia de trabajo y representaciones del trabajo a lo largo del tiempo y en el espacio físico (edificios, pisos). Se programó una sesión de capacitación para comunicarle el TE a los trabajadores.

Durante un periodo de siete semanas, los investigadores observaron y registraron detalladamente cómo se había implementado el TE. Durante este periodo se construyó la estructura de hormigón armado desde el quinto al octavo piso. Se anotaron las anomalías del TE y se midieron las mejoras en el desempeño productivo, con el objeto de identificar en qué medida la estandarización había mejorado la estabilidad de la producción en términos de

disponibilidad de recursos, organización del trabajo y cumplimiento del *takt-time*.

En la última reunión con el equipo de la obra se discutieron los resultados y se propuso una nueva versión del TE. Sin embargo, en ese momento, la estructura de hormigón armado se encontraba en su etapa final de ejecución y no fue posible implementar esta nueva versión.

Si bien se pudo conducir un solo caso de estudio en la obra, se utilizaron varias fuentes de datos para reforzar la evidencia, tales como el análisis de los documentos de planificación y gestión de calidad de la empresa, participación en varias reuniones con el jefe de obras y los jefes de equipos de producción, observación directa de la producción durante trece semanas e informes de conversaciones informales con los trabajadores. Además, la observación de siete ciclos (pisos) de producción les permitió a los investigadores comparar los datos, con el fin de confirmar o desmentir los resultados presentados.

5. Resultados

5.1 Etapa de análisis

A partir del análisis de los documentos del proyecto, se observó que cada piso de la estructura de hormigón armado se ejecutó en dos etapas, llamadas Fase A y B (Figura 3). De acuerdo con el plan maestro, el tiempo de ciclo para cada piso de estructura de hormigón se definió en diez días. La Fase B de la estructura de hormigón para cada piso comenzó 3 días después del inicio de la Fase A, ya que algunos de los materiales para el encofrado y el apuntalamiento fueron compartidos entre ambas fases.

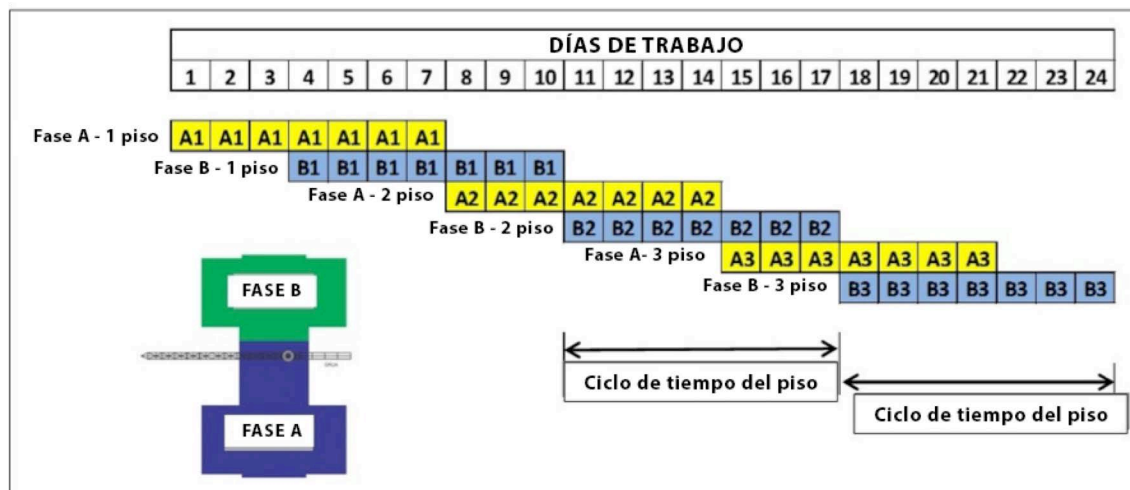


Figura 3. Tiempo de ciclo

En base al calendario del plan maestro para la estructura de hormigón armado, y considerando los plazos contractuales definidos por el cliente, el *takt-time* se calculó en 7 días. Este cálculo consideró la relación entre el tiempo total disponible para construir la estructura de hormigón armado (182 días) y el número de pisos del edificio (26 pisos). El *takt-time* se consideró la información más importante del TE que debía ser comunicada a los trabajadores. Los contratistas estaban conscientes de que cumplir este plazo era un compromiso establecido en el contrato con el cliente.

Al comienzo del estudio, el jefe de obras especificó la secuencia de trabajo mediante una hoja de trabajo de calendarización, en la cual se determinaron, en términos muy generales, las tareas que debían realizarse cada día. Los trabajadores tenían una gran autonomía para organizarse respecto de cómo realizar diferentes tareas a lo largo del tiempo de ciclo.

La observación in situ de los investigadores demostró que este calendario estaba incompleto y era insuficiente para definir un estándar para la secuencia de las operaciones. La (Figura 4) muestra la secuencia de trabajo desarrollada,

SPANISH VERSION.....

basada en las observaciones y entrevistas que los investigadores sostuvieron con los trabajadores. Los casilleros

azules representan las tareas que no fueron incluidas en el primer calendario utilizado por la empresa.

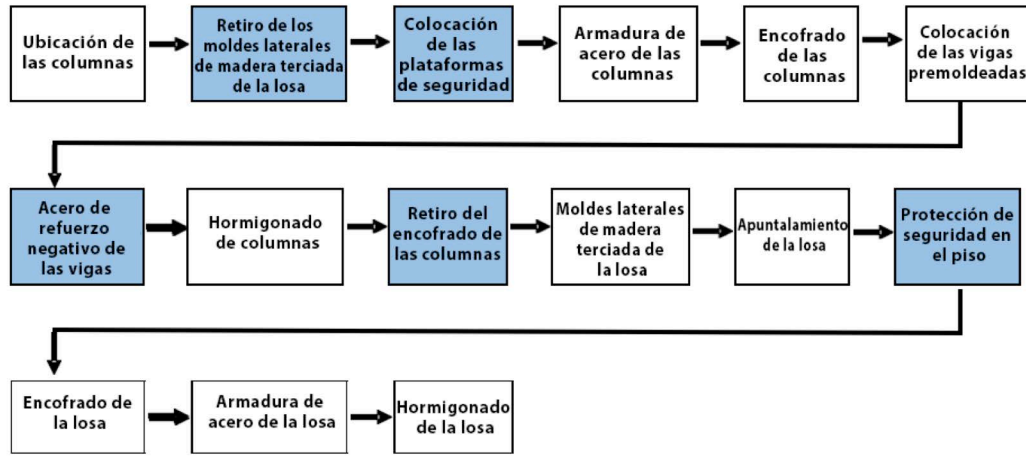


Figura 4. Secuencia de trabajo estándar

Si bien existía una secuencia general de trabajo, se observó que, al comparar un ciclo con otro, el tiempo permitido para realizar la misma tarea y el número de trabajadores involucrado variaban; los trabajadores individuales se alternaban entre las distintas tareas; los materiales para el encofrado y el apuntalamiento se transportaban al azar entre los distintos pisos y, por ende, se producían frecuentes improvisaciones por la falta de suministros para realizar la tarea; el trabajo se interrumpía constantemente para ir a buscar materiales; y no existía una disposición estandarizada para almacenar estos materiales en cada uno de los pisos.

Las entrevistas con los trabajadores, el jefe de obras y los supervisores de primera línea mostraron que ellos no propiciaban la idea de que cada uno tuviera una secuencia de trabajo estándar, porque sería contraria a la manera de trabajar autónoma y colaborativa a la que estaban acostumbrados. Ellos argumentaron que se ayudaban mutuamente siempre que era necesario, sin importar sus especializaciones. Sin embargo, también se observó que algunas de las tareas más difíciles, y que exigen más tiempo, siempre eran asignadas a los mismos trabajadores, puesto que requerían habilidades específicas y estos trabajadores podían realizarlas con mayor precisión y calidad.

En consecuencia, se propuso que el TE considerara la segmentación del trabajo en pequeños lotes de producción, limitados a un solo espacio físico, de manera que el trabajo pudiese realizarse en un día laboral. Por ejemplo, las 32 columnas que formaban el piso de la estructura de hormigón se dividieron en dos lotes de producción más pequeños de 14 y 18 unidades, las que los trabajadores podían completar en un día laboral. El procedimiento estándar especificaba qué columnas debían montarse y cuántos trabajadores se requerían. Estos pequeños lotes de trabajo se llamaron paquetes de trabajo y se asignaban diariamente a lo largo del tiempo de ciclo.

Los equipos tenían autonomía para definir la mejor forma de organizarse para terminar cada paquete de trabajo, pero se especificaron ciertas condiciones previas, como terminar un número específico de elementos estructurales; mantener el número de trabajadores en cada paquete de trabajo y acatar la secuencia entre estos paquetes.

Los paquetes de trabajo diario sirvieron para asegurarse de no exceder el takt-time. Aun cuando el equipo tenía autonomía para definir la secuencia de trabajo, los paquetes de trabajo establecían una meta de plazo diario que garantizara el cumplimiento del takt-time. Por ello, al controlar esto diariamente se podían identificar las variaciones del tiempo, de manera de poder aplicar las medidas correctivas.

Otra importante restricción para establecer la secuencia de trabajo y los paquetes de trabajo fue la necesidad de compartir recursos entre las dos fases de la estructura de hormigón armado; por ejemplo, los materiales para el apuntalamiento y el encofrado de las columnas. Además, la grúa debía proveer el trabajo simultáneamente en ambas fases. La nivelación de los recursos y la sincronización entre los equipos y las tareas determinaron la especificación de una secuencia de trabajo estándar y los paquetes de trabajo diario.

La observación del trabajo también mostró la necesidad de definir un procedimiento estándar para transportar y organizar los suministros, tales como las herramientas y los materiales para el encofrado o el apuntalamiento. Generalmente se encontraban diseminados en los distintos pisos, lo que demandaba una gran cantidad de tiempo en el desplazamiento de los trabajadores, generando interrupciones en el trabajo. Se crearon kits de suministros para mejorar el flujo de trabajo. Asimismo, se determinó la forma de transporte preferente para cada kit de suministros: manual o con grúa; en carros o cajas de madera. Los suministros también se organizaron en cada piso en condiciones adecuadas y espacios delimitados (Figura 5).



(a) Carros para kits de suministros



(b) Kit para el encofrado de columnas



Figura 5. Organización de los suministros

Respecto del inventario estándar, se requería sincronizar el proceso de encofrado de las columnas y el montaje de las vigas prefabricadas entre las fases A y B. En la primera versión propuesta para el TE, se sugirió que el montaje de las vigas prefabricadas podía empezar en cuanto un lote de 9 encofrados de columna estuviera listo, reduciendo así el trabajo en curso (WIP). Pero los trabajadores no acataron esta regla, ya que preferían terminar los 18 encofrados de columna antes de empezar a montar las vigas prefabricadas. Esta cantidad de trabajo también demostró ser necesaria dada la necesidad de compartir la grúa entre el encofrado de columnas y el montaje de vigas prefabricadas. Esto se modificó en el procedimiento estandarizado para ajustarse a la secuencia de trabajo preferida por los trabajadores, aun cuando implicara aumentar el WIP.

La primera versión del TE se elaboró con lo siguiente: (a) paquetes de trabajo diario distribuidos a lo largo del ciclo, de manera de cumplir con el takt-time; (b) sincronización de la rutina de la grúa con las operaciones; (c) forma de transportar los materiales; y (d) disposición para almacenarlos en cada piso.

5.2 Etapa de implementación

Durante la sesión de capacitación donde se presentó esta primera versión del TE, se motivó al equipo de la obra a expresar sus comentarios y sugerir cambios. Uno de los comentarios importantes de parte de los trabajadores fue que ellos estaban de acuerdo con la secuencia de trabajo, pero no se sentían seguros de poder completar la cantidad de trabajo establecida para cada paquete de trabajo.

Y estaban en lo cierto, porque el takt-time no se logró en ninguno de los pisos de estructura de hormigón de armado a los que se les hizo un seguimiento después de implementar el TE. La (Tabla 1) muestra el tiempo de ciclo de la estructura de hormigón de armado antes y después de implementar el TE. Se observó una reducción significativa en el tiempo de ciclo: de 13 días para el último piso terminado antes de implementar del TE bajó a 10 días para los siguientes tres pisos una vez éste fue implementado. Se puede observar asimismo que el TE redujo la variabilidad del tiempo de ciclo cada vez que los procesos se repitieron.

Tabla 1. Evolución del tiempo de ciclo

Piso	Tiempo de ciclo (días)
2	17
3	16
4	13
5	10
6	10
7	10
8	11

La menor variabilidad podría tener relación con la incorporación de una secuencia de trabajo estándar y los paquetes de trabajo diario, pero además con la eliminación de desperdicios en el proceso mediante la organización del transporte de suministros y su disposición en cada piso; con la reducción del tiempo consumido en transportar materiales y en el desplazamiento de los trabajadores; con la optimización del tiempo de uso de los equipos (grúa); y además, con ciertas mejoras introducidas en las operaciones, tales como desarrollar una forma más fácil y precisa para encajar la viga prefabricada en la columna y otras mejoras.

En la segunda versión del TE, los investigadores, junto con el gerente de producción y los supervisores de primera línea, revisaron y detallaron los paquetes de trabajo de modo que se adaptaran mejor a la manera en que los trabajadores se organizaban entre ellos, y las secuencias de algunas operaciones se estandarizaron para reducir el tiempo de desplazamiento de los trabajadores y los equipos. También se hicieron mejoras en la representación visual del TE, con el fin de facilitar la comunicación y el cumplimiento de los estándares (Figura 6).

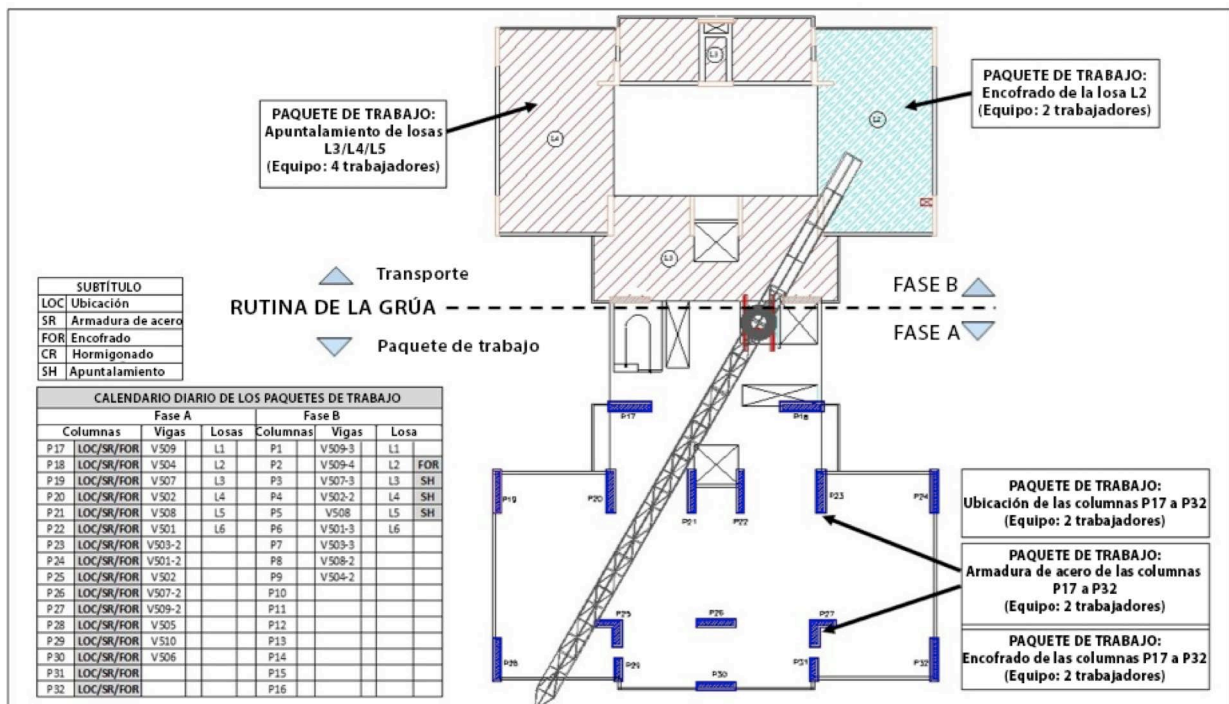


Figura 6. Representación visual del trabajo estandarizado

Los reportes del jefe de obras, así como estudios previos realizados en otras dos obras de la empresa (Fazinga et al., 2016), mostraron dificultades similares, tales como tener que compartir la grúa entre diversas exigencias en el piso, cambios frecuentes en el tamaño del equipo, constantes interrupciones en el flujo de trabajo, falta de material en el área de trabajo y tiempo de ciclo fluctuante.

En esta investigación, los datos cuantitativos demostraron la reducción y estabilización del tiempo de ciclo (Tabla 1). Los datos cualitativos, obtenidos por las observaciones directas y los informes de los jefes/gerentes, evidenciaron las siguientes mejoras: organización de los recursos, decisiones de los equipos referidas al transporte de materiales (grúa, manual), mayor claridad acerca de qué trabajadores debían ser responsables de un paquete de trabajo determinado y mejor percepción del equipo sobre qué paquetes de trabajo demandaban un mayor tiempo de ejecución.

6. Discusión: particularidades y reglas para implementar el trabajo estándar

Se puede asumir que la aplicación del TE en el proceso específico estudiado presenta algunas particularidades, si se compara con su implementación en la industria manufacturera. Estas particularidades se refieren a las características del trabajo observado.

La primera particularidad en la implementación del TE en dicho contexto fue la determinación del takt-time. Se observó que el extenso tiempo de ciclo del proceso imponía un nuevo enfoque para controlar el takt-time. Por consiguiente, el takt-time no se utilizó para monitorear la producción, pero los contratistas fueron partidarios de establecer una meta de plazo que debían alcanzar. Los paquetes de trabajo diario se definieron mediante la segmentación del proceso en lotes más pequeños, considerando la capacidad de producción de los equipos y



SPANISH VERSION.....

los recursos compartidos (equipos y espacio).

Una segunda particularidad tiene que ver con la definición de las secuencias de trabajo. La definición detallada de las rutinas de trabajo dependía fuertemente de los conocimientos de los trabajadores e implicó que el investigador debiera dedicar mucho tiempo a la observación y requirió un mayor nivel de participación e intervención de parte de los trabajadores. A medida que los trabajadores se organizaron en grupos semiautónomos, la especificación de los estándares de trabajo se enfocó en los equipos y no en trabajadores individuales. Las decisiones sobre las secuencias de trabajo fue una decisión autónoma de los distintos equipos, quienes decidieron cómo organizarse sobre la base de sus habilidades y especializaciones.

La tercera particularidad es la necesidad de que los recursos se compartan entre los paquetes de trabajo, lo que limitó la reducción del trabajo en curso (WIP).

Una cuarta particularidad se asocia al hecho de que,

en la industria de la construcción, los puestos de trabajo cambian constantemente. Este hecho exige que algunos de los recursos necesarios para la producción deban ser transportados de un lugar a otro. Con el fin de reducir el desperdicio debido al transporte de recursos y el desplazamiento de trabajadores, fue esencial especificar kits de recursos para cada paquete de trabajo, como también definir la mejor forma de transportarlos de un puesto de trabajo a otro. Estas especificaciones no son habituales en un contexto manufacturero, ya que generalmente los puestos de trabajo son fijos y los insumos necesarios están disponibles en el lugar que se necesitan.

Basándose en estas particularidades, se propuso un conjunto de cuatro reglas (Tabla 2), con el objeto de guiar la implementación del TE en la industria de la construcción, considerando principalmente los procesos con características similares a la estructura de hormigón armado observada en este estudio.

Tabla 2. Reglas para implementar el trabajo estándar

Elementos conceptuales del TE	Particularidades	Reglas
Takt-time	Es una meta de plazo, pero no se usa como control de parámetros.	Definir paquetes de trabajo segmentando el proceso en lotes, considerando tanto la capacidad de producción de los equipos como los recursos compartidos (equipos y espacio). Estos paquetes de trabajo se distribuyen a lo largo del ciclo para poder lograr el takt-time.
Secuencia de trabajo	Es una decisión autónoma de los equipos, quienes deciden cómo organizarse, tomando en cuenta sus habilidades y especializaciones.	Enfocar las especificaciones en el equipo, dando espacio a las decisiones autónomas. La secuencia de trabajo no debe enfocarse en trabajadores individuales.
Inventario estándar (Trabajo en curso, WIP)	La necesidad de compartir recursos entre los paquetes de trabajo limita la reducción del WIP.	Establecer tamaños de lote, priorizando el compartir recursos entre los paquetes de trabajo.
Transporte y almacenamiento de recursos	No se especifica en el SPT, ya que los puestos de trabajo son fijos. En la construcción, el desperdicio debido al transporte de recursos y el desplazamiento de trabajadores es bastante relevante, porque se producen constantes modificaciones en los puestos de trabajo.	Definir especificaciones para el transporte y almacenamiento de recursos.

7. Conclusiones

La aplicación del trabajo estándar en el contexto estudiado implicó la necesidad de adaptar la definición de los tres elementos del TE. En el estudio de caso, el takt-time calculado era muy extenso, por lo que el tiempo de ciclo tuvo que ser dividido en paquetes de trabajo diario que permitieran controlar el takt-time. Los paquetes de trabajo se definieron tomando en cuenta no solo la capacidad productiva de los equipos, sino también algunas restricciones características del proceso de producción de la estructura de hormigón, tales como tener que compartir recursos y espacio de almacenamiento.

Por lo tanto, el identificar y dimensionar los paquetes de trabajo diario son factores clave para definir el trabajo en curso (WIP) y la secuencia de trabajo. En este caso, los paquetes de trabajo asumieron el mismo rol que tiene el takt-time cuando el TE se implementa en la industria manufacturera.

Debido a las características organizacionales de los

trabajadores, divididos en grupos semiautónomos, las secuencias de trabajo no estaban estandarizadas para cada trabajador en particular. Los equipos tenían la responsabilidad de definir la mejor forma de organizarse y ejecutar las actividades, aunque había una delimitación en relación con la cantidad de trabajo a realizar diariamente y su secuencia de ejecución.

En este caso se observa que la participación de los trabajadores en la definición del estándar se torna aún más relevante, ya que una parte de la secuencia de trabajo no estaba estandarizada, pero debiera ser definida por los equipos de manera autónoma.

8. Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional para el Desarrollo Científico y Tecnológico de Brasil por su apoyo financiero – Licitación Pública MCTI/CNPq n.14/2014, y a la Fundación IMED por la beca otorgada a uno de los autores.

9. Referencias

- Annosi, M. C.; Brunetta, F. (2018).** Resolving the dilemma between team autonomy and control in a post-bureaucratic era: evidences from a telco multinational company. *Organizational Dynamics*, 47(4): 250-258, <https://doi.org/10.1016/j.orgdyn.2018.03.002>.
- Brodetskaia, I.; Sacks, R. (2007, 17 July).** Understanding flow and micro-variability in construction: theory and practice. In *Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 488-497). East Lansing: International Group for Lean Construction.
- Bulhões, I. R.; Picchi, F. A.; Folch, A. T. (2006, 12 July).** Actions to Implement Continuous Flow in the Assembly of Pre-Fabricated Concrete Structure. In *Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 407-419). Santiago: International Group for Lean Construction.
- Chan, C. O.; Tay, H. L. (2018).** Combining lean tools application in kaizen: a field study on the printing industry. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 67(1): 45-65, <https://doi.org/10.1108/IJPPM-09-2016-0197>.
- Cruz, H. M.; Santos, D. de G.; Mendes, L. A. (2018).** Causas da variabilidade do tempo de execução dos processos em diferentes sistemas construtivos. *Ambiente Construído*, 18(1): 49-65, <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100209>
- Dennis, P. (2007).** *Lean Production Simplified: a plain-language guide to the world's most powerful production system*, 3rd Edition, New York: Productivity Press.
- Fazinga, W. R.; Saffaro, F. A.; Isatto, E. L.; Kremer, A. (2016, 20 July).** Difficulties in Work Design in the Construction Sector. In *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 13-22). Boston: International Group for Lean Construction.
- Fireman, M. C. T.; Saurin, T. A.; Formoso, C. T. (2018, 18 July).** The role of slack in standardized work in construction: An exploratory study. In *Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 1313-1322). Chennai: International Group for Lean Construction.
- Fosse, R.; Kalsaas, B. T.; Drevland, F. (2014, 25 June).** Construction Site Operations Made Leaner and Standardized: A Case Study. In *Proceedings of the 22th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp 823-834). Oslo: International Group for Lean Construction.
- González, V.; Alarcón, L. F. (2003).** Buffers de programación: una estrategia complementaria para reducir la varianilidad en los procesos de construcción. *Revista Ingeniería De Construcción*, 18(2): 109- 119.
- González, V.; Alarcón, L. F. (2009, 15 July).** A methodology for integrated buffer design and management in repetitive construction projects. In *Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 393-406). Taipei: International Group for Lean Construction.
- González, V.; Alarcón, L. F.; Maturana, S.; Bustamante, J. A. (2011).** Site Management of Work- in-Process Buffers to Enhance Project Performance Using the Reliable Commitment Model: Case Study. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(9), [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000346](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000346).
- Hajifathalian, K.; Wambeke, B. W.; Liu, M.; Hsiang, S. (2012).** Effects of production control strategy and duration variance on productivity and work in process: simulation-based investigation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(9), [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000517](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000517).
- Hirano, H. (2009).** *JIT Implementation Manual: The complete guide to just-in-time manufacturing*, 2th edition, New York: Productivity Press.
- Hopp, W. J.; Spearman, M. L. (1996).** *Factory Physics: foundations of manufacturing management*, Chicago: Waveland.
- Kent, T. W. (2006).** A process for identifying the skills needed for operating in a self-directed work team in a manufacturing setting. *Team Performance Management: An International Journal*, 12(7/8): 258-271, <https://doi.org/10.1108/13527590610711813>.



SPANISH VERSION.....

- Kumar, R.; Kumar, V. (2014).** Literature review and implications of standard work implementation in Indian industry - a case study. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 4(3): 50-63.
- Liker, J. K.; Meier, D. (2005).** *Toyota Way: a practical guide for implementing Toyota's 4Ps*, USA: McGraw Hill.
- Martin, T. D.; Bell, J. (2011).** *New Horizons in Standardized Work: techniques for manufacturing and business process improvement*, New York: Productivity Press.
- Memarian, B.; Mitropoulos, P. (2012, 18 July).** Production Practices for High Reliability in Concrete Construction. In *Proceedings of the 20th Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 1-10). San Diego: International Group for Lean Construction.
- Monden, Y. (2015).** *Toyota Production System: an integrated approach to just-in-time*. 3rd edition, Norcross, Georgia/USA: Engineering & management press.
- Mrkva, M.; Prajova, V.; Yakimovich, B.; Korshunov, A.; Tyurin, I. (2016).** Standardization: one of the tools of continuous improvement. *Procedia Engineering*, 149: 329-332, [https://doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.674](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.674)
- Ohno, T. (1988).** *Toyota Production System: beyond large-scale production*. USA: Productivity Press.
- Pais, C. L. A. (2010).** Self-managed teams in the auto components industry: Construction of a theoretical model. *Team Performance Management: An International Journal*, 16(7/8): 359-387, <https://doi.org/10.1108/13527591011090646>
- Productivity Press Development Team. (2002).** *Standard work for the shopfloor*, New York: Productivity Press.
- Puvanasvaran, A.P.; Ab. Hamid, M. N. H.; Yoong, S. S. (2018).** Cycle time reduction for coil setup process through standard work: case study in ceramic industry. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(1).
- Shingo, S. (1981).** *The Toyota Production System: from an industrial engineer's view point*. New York: Productivity Press.
- Spear, S.; Bowen, H. K. (1999).** Decoding the DNA of the Toyota Production System. *Harvard Business Review*, 77: 96-106.
- Vrijhoef, R. (2016, 20 July).** Effects of lean work organization and industrialization on workflow and productive time in housing renovation projects. In *Proceedings of the 24th Conference of the International Group for Lean Construction* (pp. 63-72). Boston: International Group for Lean Construction.
- Tommelein, I. D.; Riley, D.; Howell, G. A. (1998, 13 August).** Parade game: impact of work flow variability on succeeding trade performance. In *Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (pp 1-14). Guarujá: International Group for Lean Construction.
- Tremblay, D. (2003).** *New management forms for the knowledge economy? HRM in the context of teamwork and participation*. Montreal: Télé-Université, University of Quebec.
- Whitmore, T. (2008).** Standardized work. *Manufacturing Engineering*, 140(5): 171-179.
- Womack, J. P.; Jones, D. T. (2003).** *Lean Thinking: banish waste and create wealth in your corporation*, New York: Free Press.

