ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Melhorias inseridas ao projeto do sistema de produção de construção industrializada – um estudo de caso

Improvements included in the design of the industrialized construction production system – A case study

Maria Danielle Leão de Oliveira
Universidade Federal de São Carlos | São Carlos | Brasil | danielleleao32@gmail.com
Sheyla Mara Baptista Serra
Universidade Federal de São Carlos | São Carlos | Brasil | sheylabs@ufscar.br
Clarissa Notariano Biotto
Universidade Federal de São Carlos | São Carlos | Brasil | clarissa.biotto@daud.ufc.br
Iany Andrade dos Santos
Universidade Federal de São Carlos | São Carlos | Brasil | ianyandrade@hotmail.com

Resumo

A industrialização das construções traz inúmeras vantagens ao processo produtivo; porém, exige uma gestão eficiente dos sistemas de produção. O Projeto do Sistema de Produção (PSP) é a primeira atividade da gestão da produção que tem o objetivo de reduzir os efeitos da variabilidade e das incertezas sobre os sistemas produtivos. Este estudo tem como objetivo analisar, avaliar e propor melhorias ao PSP de um empreendimento que possui característica de construção industrializada. O estudo de caso foi a metodologia de pesquisa escolhida para análise do sistema produtivo do empreendimento. Identificou-se que o PSP da obra requeria estudos sobre os fluxos de trabalho da unidade-base de produção. Deste modo, foi utilizada a técnica da linha de balanço (LOB), pela qual foi possível propor um fluxo ininterrupto de produção das equipes de trabalho e a redução de 70% do trabalho em progresso. Pode-se concluir que o PSP bem estruturado permite a construção de cenários de planejamento e a escolha subsidiada da melhor alternativa de execução de um empreendimento, considerando as suas limitações de recursos, os gargalos existentes no processo produtivo e o prazo de conclusão da obra.

Palavras-chave: Planejamento e controle. Construção industrializada. Projeto do sistema de produção. Linha de balanço.

Abstract

The industrialization of construction brings numerous advantages to the production process; However, it requires efficient management of production systems. The Production System Project (PSP) is the first product management activity that aims to reduce the effects of variability and uncertainties on production systems. This study aims to analyze, evaluate, and propose improvements to the PSP of an enterprise that has the characteristic of industrialized construction. This case study has a fishing methodology to analyze the test product system. It was identified that the work's PSP required studies on the workflows of the base production

Como citar:
OLIVEIRA, M.; SERRA, S.; BIOTTO, C.; SANTOS, I. Melhorias inseridas ao projeto do sistema de produção de construção industrializada – um estudo de caso. ENTAC2024. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2024.

unit. In this way, the line of balance (LOB) technique was used, through which it was possible to propose an uninterrupted production flow of the work teams and a 70% reduction in work in progress. It can be concluded that a well-structured PSP allows the construction of planning scenarios and the subsidized choice of the best alternative for executing a project, considering its resource limitations, the existing bottlenecks in the production process and the deadline for completing the work.

Keywords: Planning and control. Industrialized Construction. Production System Project. Line of balance.

INTRODUÇÃO

A industrialização da construção proporciona a otimização de tempo e economia de recursos, além de permitir um maior controle de qualidade do produto [1]. Por outro lado, conforme as obras vão se industrializando, cresce a necessidade de se administrar de forma eficiente a rede de fornecedores e de produtos [2]. Nessa perspectiva, é necessário um planejamento da construção adequado vinculado a uma gestão da produção efetiva [3].

O projeto do sistema de produção (PSP) é o estudo de alternativas de organização da produção que visa escolher a melhor estratégia para alcançar os resultados requeridos [4]. Os estudos do sistema de produção pretendem determinar as etapas do processo tecnológico que será empregado, a escolha dos equipamentos, o projeto do empreendimento, o leiaute das instalações, a necessidade de mão de obra e a supervisão [5].

As decisões que compõem o PSP na construção civil são divididas em sete etapas: definição da sequência de execução; pré-dimensionamento dos recursos de produção da unidade-base (forma de repetição); estudo dos fluxos de trabalho do lote-base; definição da estratégia de construção do empreendimento; dimensionamento da mão de obra e equipamentos e identificação e projeto dos processos críticos [6].

Para um melhor entendimento do sistema de produção, torna-se importante a utilização de ferramentas de planejamento, tais como a rede de precedência e a Linha de Balanço (Line Of Balance - LOB) [7]. A partir da rede de precedência, é possível visualizar a relação de dependência entre as atividades do projeto, permitindo assim, a eliminação das restrições e a identificação dos gargalos existentes no processo. A LOB é uma ferramenta de planejamento visual baseada na localização e consiste em um diagrama que representa as unidades-base no eixo vertical e o tempo no eixo horizontal [8].

A ferramenta da LOB pode ser empregada para estudo dos fluxos de trabalho da unidade-base de produção [9]. Os fluxos de trabalho estão relacionados ao conjunto de operações realizadas por cada equipe de trabalho no processo de execução com relação às dimensões espaço e tempo, tornando possível a identificação de interferências entre as equipes.

Para ilustrar a questão de pesquisa citada, este trabalho trata de um estudo de caso, com o objetivo de apresentar, analisar e propor melhorias ao PSP de um empreendimento que possuía sistema construtivo industrializado com estrutura mista

de pré-fabricados de concreto, perfis de aço, painéis pré-fabricados de concreto e cobertura metálica. O estudo teve início no mês de novembro de 2020, quando o empreendimento estava na etapa de fundação e se estendeu até o final de da construção do empreendimento, em outubro de 2021. O conteúdo deste trabalho é parte da pesquisa de mestrado de uma das autoras.

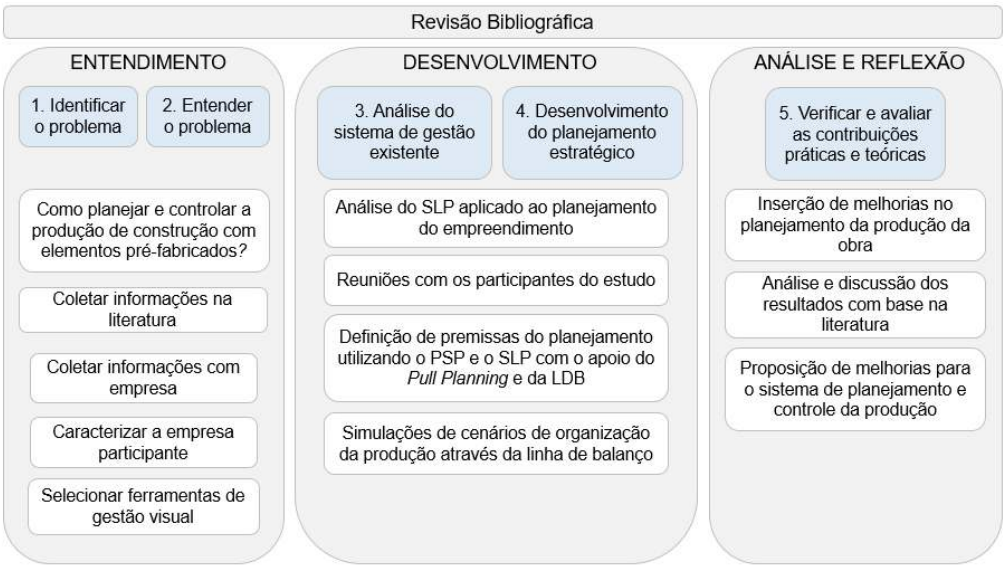
MÉTODO DE PESQUISA

Para análise do sistema produtivo do empreendimento foi empregada como estratégia de pesquisa o método do estudo de caso. O estudo de caso possui natureza empírica e é utilizado para investigar um fenômeno dentro de um contexto real, a partir de uma análise aprofundada de um ou mais objetos (casos) para permitir o seu vasto e detalhado conhecimento [10]. Devido à pandemia da COVID-19, não foi possível realizar as visitas de campo e foram utilizados no estudo os documentos e fotos do empreendimento, os quais foram enviados pela empresa participante. Também foram realizadas entrevistas com os participantes do estudo por meio de reuniões através de vídeo conferência.

O estudo de caso realizado tem caráter descritivo e qualitativo como também exploratório, uma vez que além de descrever e analisar os processos do planejamento observados, houve a participação da pesquisadora através da proposição de um estudo de planejamento estratégico realizado com o uso da ferramenta de planejamento LOB.

Conforme a Figura 1, o delineamento da pesquisa correspondeu a quatro fases: (a) revisão bibliográfica; (b) entendimento; (c) desenvolvimento e (d) análise e reflexão.

Figura 1: Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: as autoras.

Na fase de entendimento foi analisado o problema de pesquisa e foi realizado um estudo em documentos acadêmicos e em documentos fornecidos pela empresa participante, tais como: cronogramas, fotos da obra e leiaute do canteiro. Ainda nessa

fase, caracterizou-se a empresa participante e foi definido que seria usada a ferramenta de planejamento LOB.

Na fase de desenvolvimento do estudo foram realizadas reuniões com o gerente de contrato, o engenheiro de planejamento, e o diretor de operações da empresa para entender a estrutura do sistema produtivo da obra. Ainda na etapa de desenvolvimento, foi feita uma análise qualitativa do sistema de produção da obra e foram definidas premissas de planejamento como: rede de precedência das atividades e a planilha de capacidade de recurso. A partir disso, foram elaborados cenários de organização da produção através da LOB. Por fim, as pesquisadoras propuseram melhorias ao sistema de produção e o estudo foi concluído após a apresentação e discussão dos resultados com a equipe da obra.

ANÁLISE DO SISTEMA PRODUTIVO DO EMPREENDIMENTO

O sistema produtivo da edificação foi analisado com base nas características do empreendimento, no projeto do canteiro de obra, na estratégia de execução do projeto e no sequenciamento de atividades definido pelos gestores da obra.

A empresa X desenvolvia soluções de engenharia, projeto e construção, tais como: centros de distribuição; edificações comerciais, industriais, residenciais e de uso misto. O objeto de estudo deste trabalho era um empreendimento da empresa X que se encontrava em fase de construção na cidade de Anápolis no estado de Goiás e seria destinado às instalações de uma indústria química e farmacêutica. A edificação era composta por uma estrutura mista de pré-fabricados de concreto (pilar, viga, laje e painel), perfis e painéis de aço, e cobertura metálica. A construção caracteriza-se como um prédio de dois andares com uma área total de 12.400 m², conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 1: Fotos da obra estudada



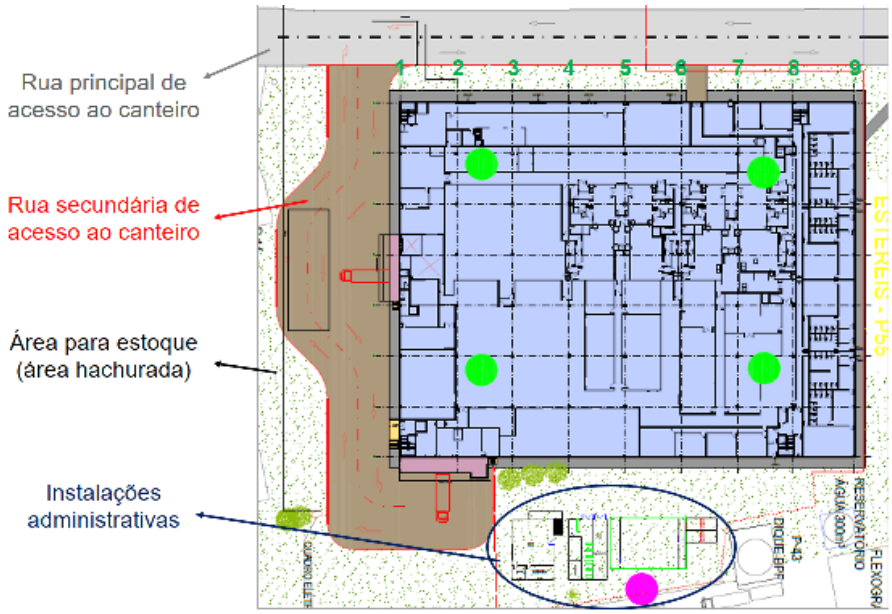
Fonte: adaptado do acervo da obra.

As peças pré-fabricadas de concreto eram fornecidas por duas fábricas; uma fábrica principal e uma secundária que estava sob responsabilidade da fábrica principal. A fábrica principal estava localizada a 370 Km de distância do canteiro de obra. Outras características importantes do empreendimento são: canteiro de obra com acesso restrito, área pequena destinada a estoque de material e curto prazo de execução da obra, previamente definido para seis meses.

A obra iniciou em maio de 2020, porém, os efeitos da pandemia da COVID-19 ocasionaram atrasos nas atividades. Em dezembro de 2020, o cronograma da obra passou por uma reprogramação que redefiniu o prazo de término do empreendimento para o mês de setembro de 2021, no entanto, devido a atrasos na execução das atividades, a obra foi finalizada somente em outubro de 2021.

O empreendimento apresentava um canteiro de obra com duas ruas de acesso (principal e secundária) e dois pontos de descarga de caminhões. Além disso, existia uma pequena área em torno do perímetro da edificação, a qual era destinada para o estoque de material e para a construção das instalações administrativas, como pode ser visto na Figura 3. Percebeu-se que, devido às restrições de espaço existentes no canteiro da obra, o processo produtivo devia ser planejado para haver o mínimo de estoque possível.

Figura 3: Leiaute do canteiro de obra



Fonte: Adaptado do acervo da obra.

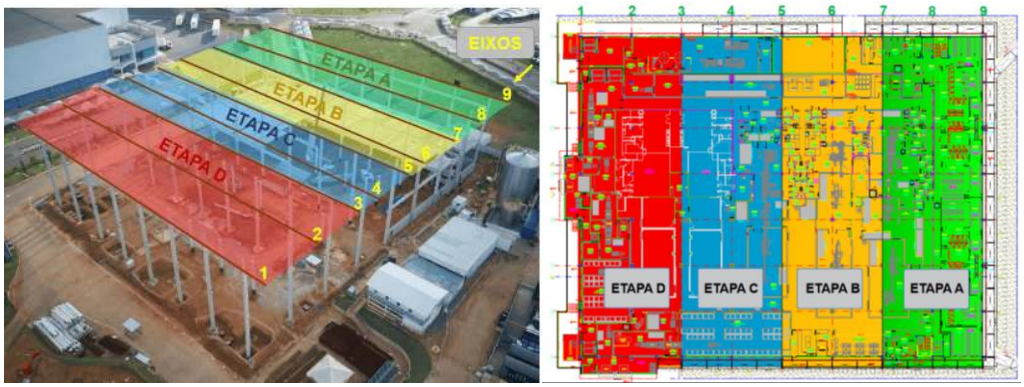
ESTRATÉGIA DE EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Como estratégia de execução do empreendimento definiu-se que os principais elementos da estrutura da edificação (pré-fabricados de concreto, painéis de fachada, perfis e cobertura metálica) seriam fabricados fora do canteiro em parceria com empresas externas para que no canteiro pudessem ser montadas. Porém, os serviços de fundação seriam realizados *in loco* por mão de obra própria. Foram definidos cinco lotes de produção ou unidades-base compostos pelos grupos de serviços referentes aos locais de execução: fundação, pavimento térreo, pavimento superior, cobertura e fachada.

A edificação foi dividida em quatro etapas de execução sucessivas denominadas como A, B, C e D. A sequência de montagem se deu a partir da Etapa A, seguindo até a Etapa D. De acordo com a Figura 4, a Etapa A iniciava no eixo 9 e terminava no eixo 7 (cor verde), a Etapa B iniciava no eixo 7 e se encerrava no eixo 5 (cor amarelo), a Etapa C

iniciava no eixo 5 e terminava no eixo 3 (cor azul), e a Etapa D iniciava no eixo 3 e terminava no eixo 1 (cor vermelho).

Figura 2: Estratégia de execução do empreendimento

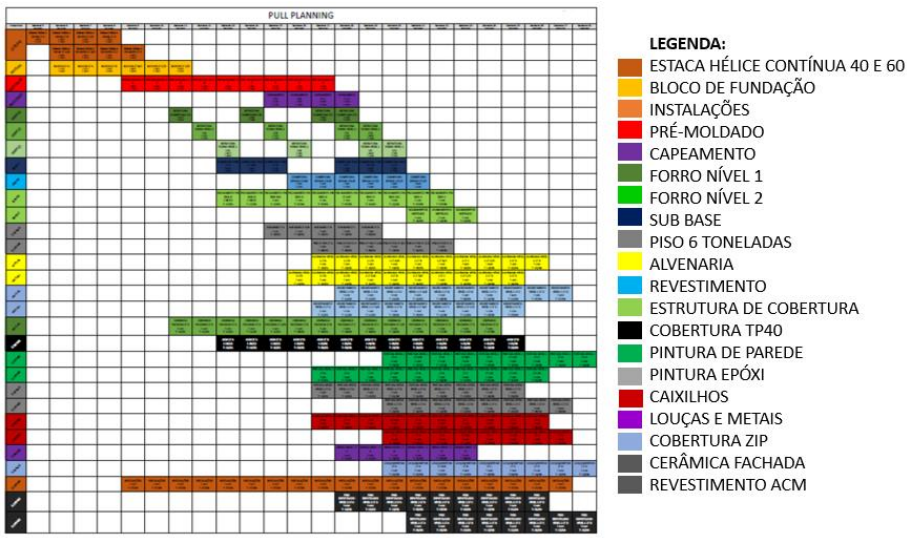


Fonte: Adaptado do acervo da obra.

Cada etapa abrangia os serviços dos cinco lotes de produção citados anteriormente. A sequência de execução da etapa de produção foi definida da seguinte maneira: após o término da fundação e da montagem dos pilares, das vigas, da laje, e dos painéis de concreto, seriam montados os perfis e a cobertura metálica. O fechamento externo com os painéis de aço e a execução dos serviços internos começariam no lote da cobertura seguindo pelo pavimento superior e terminando no térreo, com a possibilidade de execução dos dois pavimentos simultaneamente. Essa sequência foi estabelecida por motivo de segurança de modo a permitir estabilidade à estrutura da edificação.

Verificou-se que a equipe de planejamento da obra não elaborou a rede de precedência das atividades que é uma ferramenta importante na elaboração do PSP de um empreendimento. Além disso, a empresa X não realizou a análise dos fluxos de trabalho nas unidades-base, e utilizou apenas o planejamento de fases (*Pull Planning*) para auxiliar na visualização da sequência de atividades, conforme a Figura 5.

Figura 3: Planejamento de longo prazo no formato de *Pull Planning*



Fonte: Adaptado do acervo da obra.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

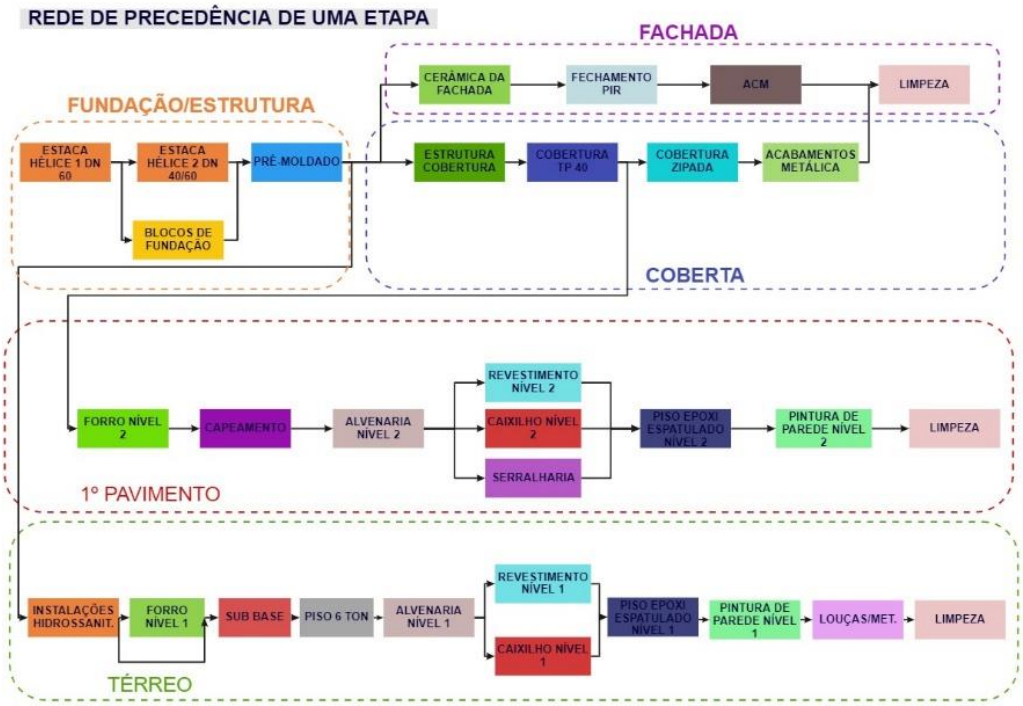
Nesta seção serão apresentados os resultados e as discussões oriundas do desenvolvimento do estudo.

PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS NO SISTEMA PRODUTIVO

A partir da análise do sistema de produção realizada no item anterior, algumas oportunidades de melhorias foram identificadas, tais como: a elaboração da rede de precedência das atividades; a construção de uma planilha de capacidade de recursos e o estudo dos fluxos de trabalho.

Com a participação do engenheiro de planejamento e do engenheiro de contrato da obra, foram elaborados e corrigidos os documentos do PSP do empreendimento. A rede de precedência das atividades foi construída e o resultado pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 4: Rede de precedência das atividades de uma etapa de produção



Fonte: as autoras.

A planilha de capacidade de recursos, a qual relaciona os serviços, a quantidade e o tipo de mão de obra (própria ou terceirizada) que seria empregada, os tempos previstos para produção, e os equipamentos necessários para executar cada tarefa, pode ser observada no Quadro 1. Alguns serviços especializados tiveram suas empresas subcontratadas definidas (denominadas “empresa”), enquanto para outros serviços, as empresas subcontratadas seriam definidas no decorrer da execução do empreendimento.

Quadro 1: Planilha de capacidade de recursos de produção

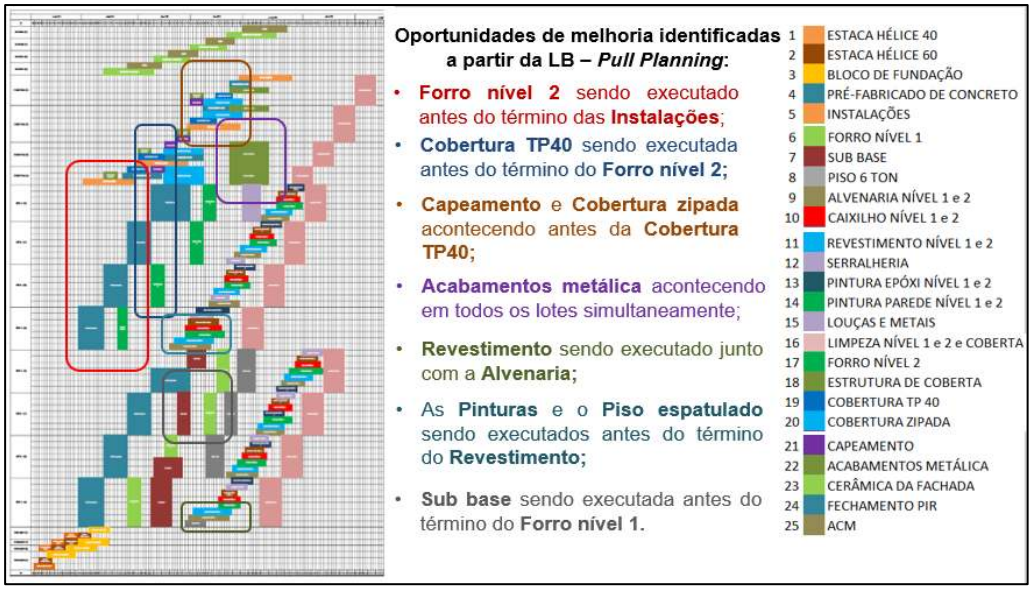
Item	Serviços		Equipe	Recursos		Tempo (dias)
				Mão de obra	Equipamento	
1	Fundação/ Estrutura	Estaca Hélice	1 OP 2 AJ	Empresa A	1 Hélice Contínua	9
2		Blocos	16 AJ 14 AR 8C	Própria	1 Retroescavedeira	10
3		Pré-moldado de concreto	1ENC 2 M 2 AJ	Empresa B	2 Guindaste 2 Plataformas	15
4		Instalações	-	A definir	-	20
5	Cobertura /Fachadas	Estrutura metálica	4 SOL 4 M 3 AJ	Empresa C	4 Plataformas 2 Munck	5
6		Forro	4 SOL 4 M 3 AJ	Empresa C	4 Plataformas 2 Munck	5
7		Fechamento	6 M 4 AJ	Empresa D	2 Plataformas 1 Munck	15
8		Cobertura	4 M 2 AJ	Empresa D	1 Guindaste	7
9		Acabamento	2 M 2 AJ	Empresa D	-	4
10		Capeamento	2 OP 3 AJ	Empresa B	2 Alisadora	5
11		Painéis ACM	2 SER 2 AJ	A definir	1 Plataforma	11
12		Cerâmica	10 P 6 AJ	Própria	-	18
13		Limpeza	2 AJ	A definir	-	8
14	Pavimento Térreo /Superior	Alvenaria	10 P 6 AJ	Própria	-	16
15		Revestimento	10 P 6 AJ	Própria	-	10
16		Piso	7 ASS	A definir	1 Lixadeira	8
17		Sub base	3 OP	A definir	1 Patrol 1 Rolo 1 Pipa	7
18		Pintura	6 PIN 3 AJ	A definir	-	10
19		Pintura Epóxi	6 PIN 3 AJ	A definir	-	7
20		Piso 6 toneladas	4 AR 2 OP 4 AJ	A definir	2 Alisadora	5
21		Caixilhos	4 SER	A definir	-	9
22		Serralheria	6 SER	A definir	1 Munck	7
23		Louças/Metais	-	A definir	-	7
24		Limpeza	4 AJ	A definir	-	8

Legenda: OP- operador; AJ – ajudante; AR – armador; C – carpinteiro; ENC – encarregado; SOL- soldador; M – montador; P – pedreiro; ASS – assentador; PIN – pintor; SER - serralheiro.

Fonte: as autoras.

Para verificar o fluxo de trabalho das equipes da obra considerando o plano de atividades feito pelos gestores, foi elaborada uma LOB com base no tempo de execução estabelecido para cada atividade no cronograma do *Pull Planning* apresentado na Figura 6. A LOB construída a partir dos prazos do *Pull Planning* pode ser observada na Figura 7.

Figura 5: LOB construída a partir dos prazos do cronograma *Pull Planning* e oportunidades de melhorias apontadas



Fonte: as autoras.

Ao se comparar a LOB da Figura 7 com a rede de precedência das atividades apresentada na Figura 6, notou-se sete incoerências, ou seja, alguns serviços estavam planejados para acontecer antes do término dos serviços antecessores, conforme pode ser visto na Figura 7. Ademais, foi verificada a existência de sete serviços programados para serem executados ao mesmo tempo no mesmo pavimento, o que pode dificultar o controle de qualidade das atividades. A partir da LOB do *Pull Planning* percebeu-se que os prazos e o ritmo de produção definidos pelos gestores não estavam padronizados, pois identificou-se uma quantidade expressiva de trabalho em progresso e interrupções no ritmo das equipes.

Diante disso, foram propostos os estudos dos fluxos de trabalho por meio da simulação de nove cenários de LOB, considerando o tempo de execução das atividades, a quantidade de recursos da produção, a rede de precedência das atividades e o novo prazo de conclusão da obra definido para ser de oito meses. A LOB da Figura 8 representa o cenário mais adequado ao contexto da obra, o qual foi apresentado, discutido e aprovado pelos gestores durante a reunião de apresentação dos resultados.

Na construção da LOB buscou-se o balanceamento dos tempos de ciclo das atividades para atingir um fluxo ininterrupto das equipes resultando na criação de um ritmo de produção, na redução de 70% do trabalho em progresso e no cumprimento do prazo de conclusão da obra proposto. Ainda, a LOB mostrou que os serviços de pré-fabricados de concreto eram os principais gargalos do sistema produtivo, ao qual estavam vinculadas 90% das atividades. A LOB foi disponibilizada para uso no planejamento e controle da produção do empreendimento.

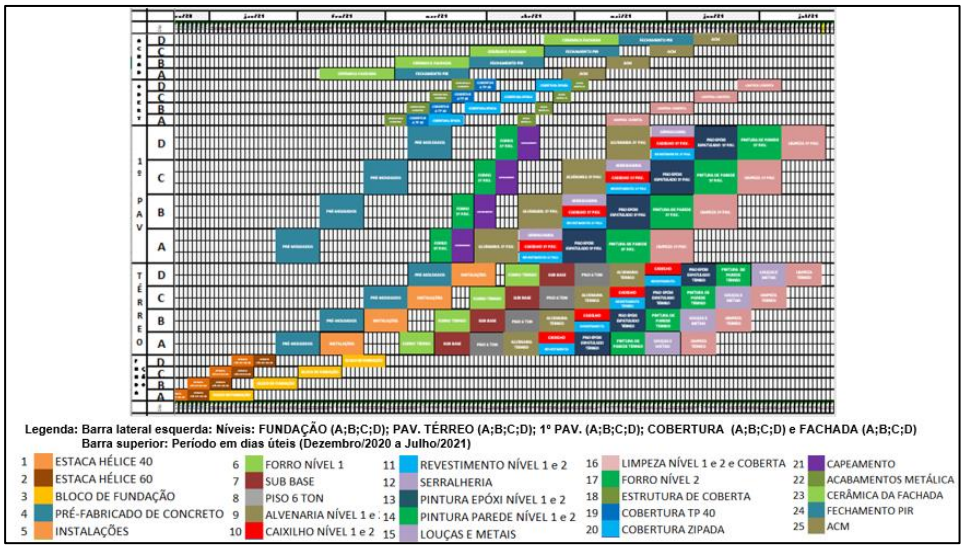
A LOB foi sugerida para o projeto da produção da empresa X com o intuito de melhor estruturar o PSP do empreendimento para promover melhorias nos quesitos de organização do sistema produtivo, de ordenação no fluxo das atividades e no ritmo

das equipes de trabalho, de definição dos recursos necessários, de redução de desperdícios na cadeia produtiva e de cumprimento dos prazos.

Porém, observou-se pouca utilização da LOB por parte da equipe da obra, uma vez que a utilização da LOB poderia ter sido um guia para o desenvolvimento do planejamento do empreendimento, se a ferramenta tivesse sido mais bem explorada, poderia ajudar aos gestores a perceber os desvios de duração e prazos das atividades, de forma a sinalizar a necessidade de planos de ação que permitissem o cumprimento das metas e prazos estabelecidos.

Além do mais, o *Pull Planning* utilizado pela empresa X tinha apenas o objetivo de tornar o cronograma da obra visual, os gestores não utilizavam a ferramenta para definir os marcos e ajustar os prazos, de modo que essa ferramenta não era bem explorada pelos gestores da obra.

Figura 6: Linha de Balanço com serviços balanceados



Fonte: as autoras.

ANÁLISE DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA OBRA ANTES E DEPOIS DO ESTUDO

Após a inserção de melhorias no PSP da obra, comparou-se o PSP antes e depois do estudo de caso, como pode ser visto no Quadro 2.

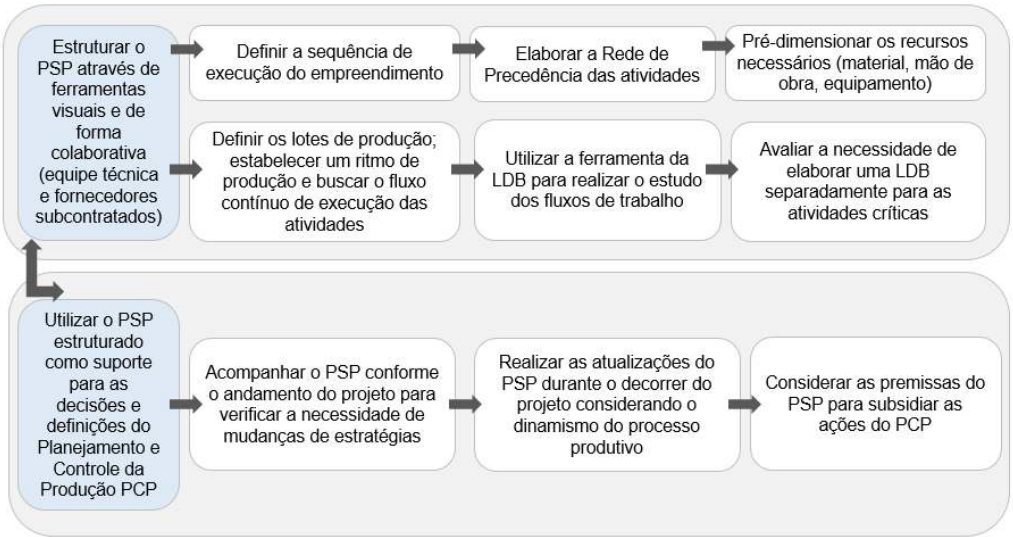
Quadro 2: Estrutura do PSP da obra antes e as melhorias inseridas durante a pesquisa

Etapas do PSP	Decisões e definições existentes antes do estudo	Melhorias inseridas no PSP da obra durante o estudo
Planejamento do canteiro	• Leiaute simplificado do canteiro de obra.	• Utilizar ferramentas de planejamento do arranjo físico que considerem a dinâmica do ambiente de trabalho.
Definição da sequência de execução e pré-dimensionamento dos recursos de produção	• Produção dos pré-fabricados fora do canteiro. • Definição das etapas, dos lotes e da sequência de produção. • Definição do tipo de mão de obra (própria ou subcontratada) e de alguns fornecedores.	• Construção da rede de precedência das atividades. • Dimensionamento dos recursos necessários (material, mão de obra, equipamento) e construção da planilha de capacidade de recursos.
Definição da estratégia de execução e Estudo dos fluxos de trabalho	• Divisão do empreendimento em partes menores "Etapas". • Visualização da sequência das atividades no *Pull Planning.*	• Estudo dos fluxos de trabalho por meio da utilização da ferramenta LOB. • Estabelecimento de um ritmo de produção e obtenção do fluxo contínuo de execução das atividades. • Utilização da gestão visual na criação do PSP e na identificação das etapas e lotes do projeto.

Fonte: as autoras.

Com base nas observações feitas no estudo de caso e a partir da estruturação realizada no PSP do empreendimento, este estudo sugere algumas ações de melhorias para o PSP, conforme a Figura 9.

Figura 9: Sugestão de melhorias para o PSP



Fonte: as autoras.

CONCLUSÃO

Esse estudo mostrou sobre a importância de se realizar o PSP de um empreendimento para que se tenha um sistema de produção organizado e otimizado. Algumas inconsistências no sistema de gestão da produção da empresa X foram encontradas durante a realização desse estudo, como por exemplo a falta da realização do estudo dos fluxos de produção. Além disso, após a construção da LOB com base nos prazos do *Pull Planning*, alguns conflitos no sequenciamento das atividades foram identificados, o que indica a importância de que o sistema produtivo seja guiado por uma rede de precedência das atividades em conjunto com a ferramenta de LOB.

A LOB é uma ferramenta de planejamento colaborativo e visual, tanto quanto o *Pull Planning*, porém, a LOB se destaca por trazer a dimensão espacial para o planejamento, evitando as interferências entre os fluxos de trabalho, permitindo a definição de um ritmo de produção em comum para as atividades. Assim, pode-se reduzir o trabalho em progresso, as sobreposições das as equipes de trabalho, a variabilidade do sistema produtivo, e o prazo da obra.

A proposta da LOB teve o intuito de ajustar o ritmo de produção das equipes e de facilitar a visualização das atividades durante o processo de elaboração dos planos de médio prazo, no mapeamento de restrições e também na construção dos planos curto prazo. Além disso, a LOB permitiu a fácil identificação das tarefas que estavam previstas para o período em questão, trazendo foco para obtenção dos recursos (mão de obra, equipamento, material) necessários para realização dos serviços.

Porém, percebeu-se pouca utilização da LOB disponibilizada para apoiar as rotinas de planejamento da obra, o que ocorreu, segundo o engenheiro responsável pelo planejamento da obra, devido à dificuldade das equipes de produção em cumprir os prazos de término das atividades. O engenheiro destacou o atraso na entrega e montagem dos pré-moldados de concreto e a baixa produtividade das equipes de alvenaria e instalações (atividades do caminho crítico) como os principais problemas que comprometeram a execução das tarefas obedecendo o sequenciamento proposto na LOB.

Vale ressaltar que no decorrer do processo de elaboração da LOB não houve participação dos responsáveis pela equipe de produção (mestre, encarregados, supervisores, fornecedores subcontratados), o que pode ter ocasionado uma baixa aderência das equipes aos planos acordados. A participação dos líderes de produção no processo de elaboração dos planos de trabalho é fundamental para que haja o comprometimento das equipes na conclusão das tarefas e consequentemente no cumprimento dos prazos.

Por outro lado, a partir da estruturação do PSP do empreendimento, foi possível sugerir algumas ações de melhorias para a elaboração do PSP (apresentadas na Figura 9), as quais podem contribuir para o aumento do grau de organização das atividades, e para a construção e fundamentação de rotinas de planejamento mais efetivas.

Por fim, esse estudo sugere para novos trabalhos a análise do acompanhamento do planejamento e controle da produção através do uso da LOB, podendo-se obter indicadores de desvios de duração, de prazo e de aderência ao plano proposto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSCAR - PPGECiv.

REFERÊNCIAS

[1] KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Stanford University, v. 72, 1992. 81 p. Disponível em: https://stacks.stanford.edu/file/druid:kh328xt3298/TR072.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.

[2] LESSING, J.; STEHN, L. **Industrialised house building - concept and processes**. Licentiate Thesis - Division of Design Methodology, Lund University, Sweden, 2006.

[3] SACKS, R.; KOSKELA, L.; BHARGAV, D.; OWEN, R. Interaction of lean and building information modeling in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 9, p. 968-980, 2010. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203.

[4] MEREDITH, J. R.; SHAFER, S. M. **Administração da produção para MBAs**. Porto Alegre: Bookman, 2002. 391 p.

[5] GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

[6] SCHRAMM, F. K. **O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social**. 2004. 182 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

[7] BIOTTO, C. N. **Método para projeto e planejamento de sistemas de produção na construção civil com uso de modelagem BIM 4D**. 2012. 180 p. Dissertação (Mestrado em Gestão e Economia da Construção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

[8] BIOTTO, C. N.; KAGIOGLOU, M; KOSKELA, L. e TZORTZOPOULOS, P. “Comparing production design activities and location-based planning tools.” In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 25, Heraklion, 2017. **Proceedings...** Heraklion, 2017. DOI: 10.24928/2017/0176.

[9] SCHRAMM, F. K. **Projeto de sistemas de produção na construção civil utilizando simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão**. 2009. 299 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2009.

[10] GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1996.