XII SIBRAGEC
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO
MACEIÓ - AL

PROCEDIMENTO DE TRÊS PASSOS PARA INCORPORAÇÃO DE FLUXO CONTÍNUO EM CRONOGRAMAS DE OBRAS[1]

OLIVIERI, Hylton (1); GRANJA, Ariovaldo Denis (2)
(1) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, hylton.olivieri@gmail.com (2) Universidade Estadual de Campinas, adgranja@fec.unicamp.br

RESUMO

Os sistemas lean de planejamento e controle da produção baseados em locais, ou location-based (LB), vem sendo empregados no setor da construção em ampla escala. Além de suprir as lacunas dos sistemas tradicionais baseados em atividades, os sistemas LB apresentam, dentre outras vantagens, a geração de fluxo de produção. Dentre estes sistemas, destacam-se as linhas de balanço, o Location-Based Management System (LBMS) e Takt Production (TP). Estes sistemas buscam facilitar a análise dos cronogramas em relação aos fluxos de operações e de processos, sendo, portanto, considerados mais apropriados para obras com maior grau de repetição entre os locais. O objetivo deste trabalho é apresentar o passo a passo de como o fluxo de produção pode ser obtido através da utilização dos sistemas LB. Para isso, apresenta-se um estudo de caso contendo 18 residências térreas unifamiliares. Os resultados sugerem que, além do fluxo de produção, os sistemas LB tendem a facilitar a análise do balanceamento de durações dos pacotes de trabalho, melhor otimização da mão de obra e dos fluxos de operações e processos. As principais contribuições deste trabalho são o entendimento, de forma didática, do processo de desenvolvimento de cronogramas, visualização e ajuste do fluxo de produção através do LB.

Palavras-chave: *Planejamento e controle, Lean construction, Construção civil, Fluxo de produção, LBMS.*

ABSTRACT

Location-based (LB) production planning and control systems have been widely used in the construction industry. Besides the fact that LB systems usually supply the gaps from the activity-based systems, they are flow-oriented. The most important LB systems are the line-of-balance, the Location-Based Management System (LBMS) and the Takt Production (TP). These systems aim to facilitate the schedules analysis in relation to operations and process flows. Due to its benefits, the LB systems are considered suitable for developing schedules in projects with a high level of repetition. The goal of this paper is to presente a step-by-step guide of how the production flow can be achieved through the use of LB systems. A case study with 18 houses were used to support the steps. The results suggest that LB systems are suitable to generate flow, facilitate the analysis' duration of workpackages, improve the labor usage and generate operations and process flows. The main contributions of this paper are the step-by-step scheduling process, visualization and production flow adjustments through LB systems.

Keywords: *Planning and control, Lean construction, Construction, Flow, LBMS.*

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de planejamento e controle da produção tradicionais utilizam como base os conceitos do método do caminho crítico (KELLEY; WALKER, 1959) e ainda são predominantes em vários países, tais como os EUA e o Brasil (OLIVIERI et al., 2019). Porém, estes sistemas são criticados pela comunidade científica por apresentarem limitações em relação a empreendimentos repetitivos (HEGAZY; KAMARAH, 2008),

[1] OLIVIERI, H.; GRANJA, A. D. Procedimento de três passos para incorporação de fluxo contínuo em cronogramas de obras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 12., 2021, Maceió. **Anais[...]** Porto Alegre: ANTAC, 2021. p.1-8. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/528. Acesso em: 2 out. 2021.

em especial relacionadas à deficiência na geração de fluxo de produção (ARDITI et al., 2002) e à ineficiência no fluxo de recursos (BENJAORAN et al., 2015). Por outro lado, nos últimos anos, a utilização de sistemas *lean* para o planejamento e controle da produção vem ganhando escala em diversos países, sendo que no Brasil a sua utilização é bastante representativa (OLIVIERI et al., 2019). Além de suprirem as lacunas dos sistemas tradicionais, os sistemas *lean* apresentam benefícios como a eliminação de desperdícios, principalmente através do *Last Planner System* (BALLARD, 2000), e a geração de fluxo de produção (KOSKELA, 1992), através dos sistemas baseados em locais (LB), tais como as linhas de balanço (LUMSDEN, 1968), o *Location-Based Management System* (LBMS) (KENLEY; SEPPANEN, 2010) e o *Takt Production* (LEHTOVAARA et al., 2021). De forma complementar, diversos trabalhos apontam que os sistemas baseados em locais melhoram os aspectos de fluxo de produção nos canteiros de obras, diminuindo as interrupções nas frentes de trabalho e melhorando o fluxo de recursos (OLIVIERI et al., 2018; LEHTOVAARA et al., 2021).

A geração de fluxo de produção, ou fluxo contínuo, visa evitar que as equipes sofram interrupções no trabalho devido à falta de frentes de serviço e os locais não estejam vazios esperando pelas equipes, resultando assim nos indesejados estoques de serviços. Decorrente disso, o aumento da eficiência do fluxo de produção estará diretamente associado ao aumento de produtividade nos processos (LEHTOVAARA et al., 2021). Há dez condições ideais para a geração de fluxo de produção em obras, conforme apresentado no Quadro 1 (SACKS, 2016). Ainda que se trate de um modelo teórico e que alguns itens sejam aplicáveis apenas na fase de execução de um empreendimento, como por exemplo os retrabalhos, estas condições permitem avaliar o grau de aderência de um sistema de planejamento e controle em relação à sua eficiência na geração de fluxo de produção.

Quadro 1 – Condições ideais para a geração de fluxo de produção em obras

Item	Descrição
01	A variação do *tempo takt* (ciclo ideal) entre locais e equipes deve ser igual a zero
02	Uma equipe deve ocupar apenas um local por vez
03	Os tempos de *buffers* devem ser iguais a zero
04	O número de operações deve ser reduzido ao mínimo
05	Equipes não devem retornar aos locais por onde já passaram
06	Não há retrabalho
07	O trabalho só deve ser iniciado em locais que não contenham restrições
08	O número de locais com trabalho em execução deve ser igual ao número de equipes
09	Minimizar as variações de durações das atividades
10	Reduzir ao máximo o tempo de operação para cada equipe

Fonte: Adaptado de Sacks (2016)

O objetivo deste trabalho é apresentar um procedimento passo a passo para a obtenção do fluxo de produção em cronogramas, durante a etapa de planejamento. O foco nesta etapa pode ser justificado pelo fato de que as riscos e incertezas são maiores no início dos empreendimentos. Adicionalmente, quando o fluxo de produção é incorporado no cronograma, aumenta-se consideravelmente as chances de a obra ser realizada com fluxo de operações e de processos (SEPPANEN; KANKAINEN, 2004). Para a avaliação dos cronogramas, utilizou-se como premissa o atendimento às dez condições ideais de fluxo propostas (Quadro 1) (SACKS, 2016). Além disso, devido ainda à sua ampla utilização, uma segunda premissa refere-se a iniciar o primeiro passo pelo sistema tradicional, baseado em locais, apontando-se assim as lacunas e tratando-as nos passos seguintes. Esta premissa visa demonstrar a transição do modelo tradicional para os sistemas *lean*.

2 MÉTODO

Utilizou-se como método de pesquisa um estudo de caso real de uma obra localizada no Estado de São Paulo, contendo 18 residências térreas unifamiliares, cada uma com 79 m^2

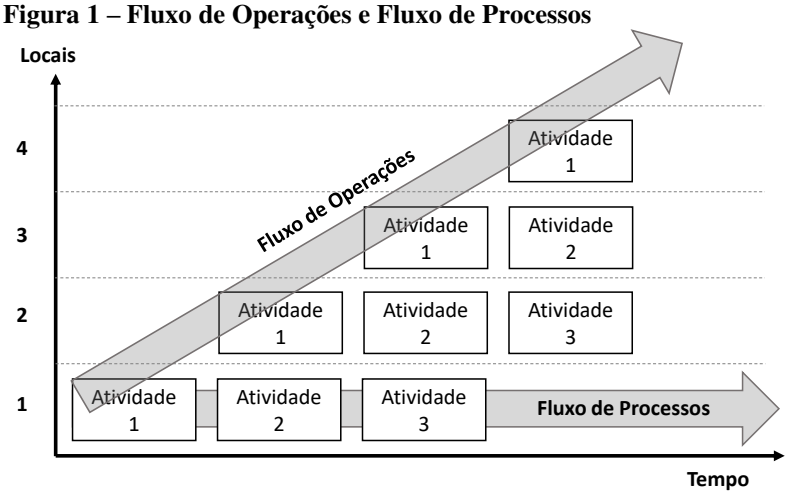
de área construída. Os documentos acessados foram o projeto arquitetônico de implantação, o orçamento executivo e o cronograma original da obra, este último desenvolvido no *software* MS-Project® e contendo cerca de 600 atividades. Tais documentos serviram de base para a identificação do escopo e a definição da sequência de trabalho entre as casas. Primeiramente, foram identificadas: i) as atividades necessárias para a construção das casas, sendo que estas foram agrupadas em 15 pacotes de trabalho; ii) o relacionamento lógico entre as atividades, iii) a estimativa das durações e iv) a quantidade de recursos de mão de obra alocados em cada atividade. Dando sequência ao procedimento passo a passo, gerou-se: i) uma versão preliminar do cronograma da obra, utilizando-se o *software Schedule Planner Standard* (SPS)® ainda sem os aspectos de fluxo de produção incorporados. Como próximo passo: ii) simulou-se uma versão do cronograma com fluxo para as equipes, porém sem fluxo ideal para os locais. Por fim: iii) gerou-se uma versão final do cronograma contendo fluxo de produção para as equipes e para os locais, por meio de modificações nas durações e na quantidade de recursos de mão de obra alocados em cada atividade.

3 FLUXO DE PRODUÇÃO EM CRONOGRAMAS DE OBRAS

Um dos pilares do Sistema Toyota de Produção (STP), que fundamentou a origem do *lean construction* (KOSKELA, 1992), é chamado de *Just in Time* (OHNO, 1988), o qual refere-se ao estado ideal de um sistema de fluxo onde as partes certas alcançam a linha de montagem no tempo e quantidades exatas em que elas são requeridas. Isto levará à chamada condição ideal de estoque zero, tanto para os materiais quanto para os serviços. Neste sentido, os estoques na produção são considerados como um mal que precisa ser eliminado do processo (SHINGO, 1996). Devido à sua importância estratégica, a geração de fluxo é um dos cinco princípios fundamentais do STP (WOMACK; JONES, 1996).

Shingo e Dillon (1989) definiram que o fluxo de produção contém dois diferentes eixos, denominados fluxo de processos e fluxo de operações (Figura 1). Neste sentido, enquanto o fluxo de operações representa o fluxo contínuo de uma atividade (por exemplo, atividade 1) ou equipe através dos locais, o fluxo de processos representa o fluxo de diversas atividades dentro de um local (por exemplo, local 1), sendo que este fluxo pode ser repetido para outros locais. Enquanto o fluxo de processos pode ser melhorado através de ações como a remoção de atividades que não agregam valor (LEHTOVAARA et al., 2021), o fluxo de operações pode ser aperfeiçoado através de melhorias nos métodos e nas condições de trabalho (SHINGO; DILLON, 1989). Dessa forma, destaca-se que os sistemas LB visam maximizar o uso contínuo de recursos, o aumento da produtividade, a redução de desperdícios, o aumento de transparência e, por consequência, o aumento do fluxo de produção (KENLEY; SEPPANEN, 2010).

Figura 1 – Fluxo de Operações e Fluxo de Processos

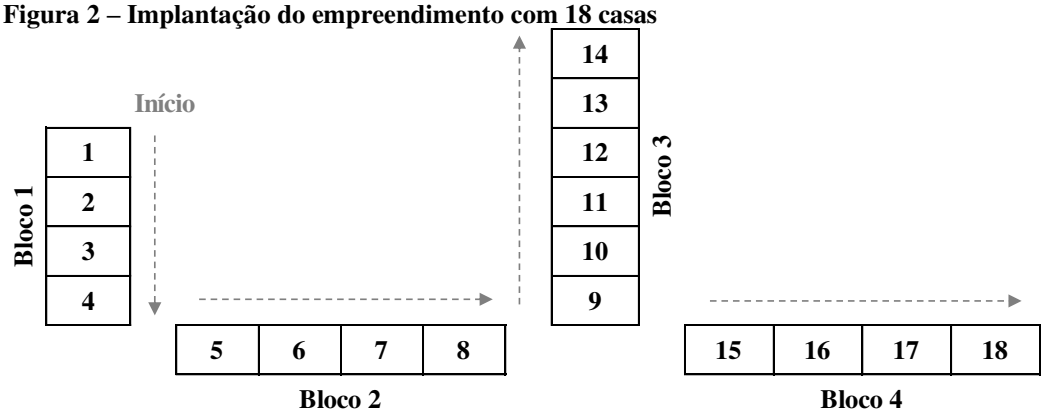


Fonte: Adaptado de Shingo; Dillon (1989) e Lehtovaara et al. (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implantação do empreendimento estudo de caso está representada na Figura 2. As 18 casas estão apoiadas em quatro grandes blocos (Blocos 1, 2, 3 e 4), os quais são executados em fundações do tipo radier. O sistema construtivo utilizado considera alvenaria estrutural, lajes em concreto armado, telhado em madeira, azulejos nas áreas frias e piso cerâmico em toda a área, sendo que todas as atividades estão identificadas na Figura 3. As atividades A e B são executadas por blocos, sendo que as demais atividades podem ser executadas por casas, ou seja, considerou-se que a atividade C só pode ser iniciada após o um bloco inteiro ser concluído pela atividade B. Condições adotadas para a elaboração do cronograma: i) prazo máximo da obra deve ser de 125 dias trabalhados, ii) atender ao máximo as condições ideais para geração de fluxo de produção (Quadro 1) e iii) possibilidade de alterar a quantidade de recursos alocados em uma atividade, desde que o total de horas de recursos no empreendimento não ultrapasse o total identificado na versão inicial do cronograma, apresentada no passo 1.

Figura 2 – Implantação do empreendimento com 18 casas



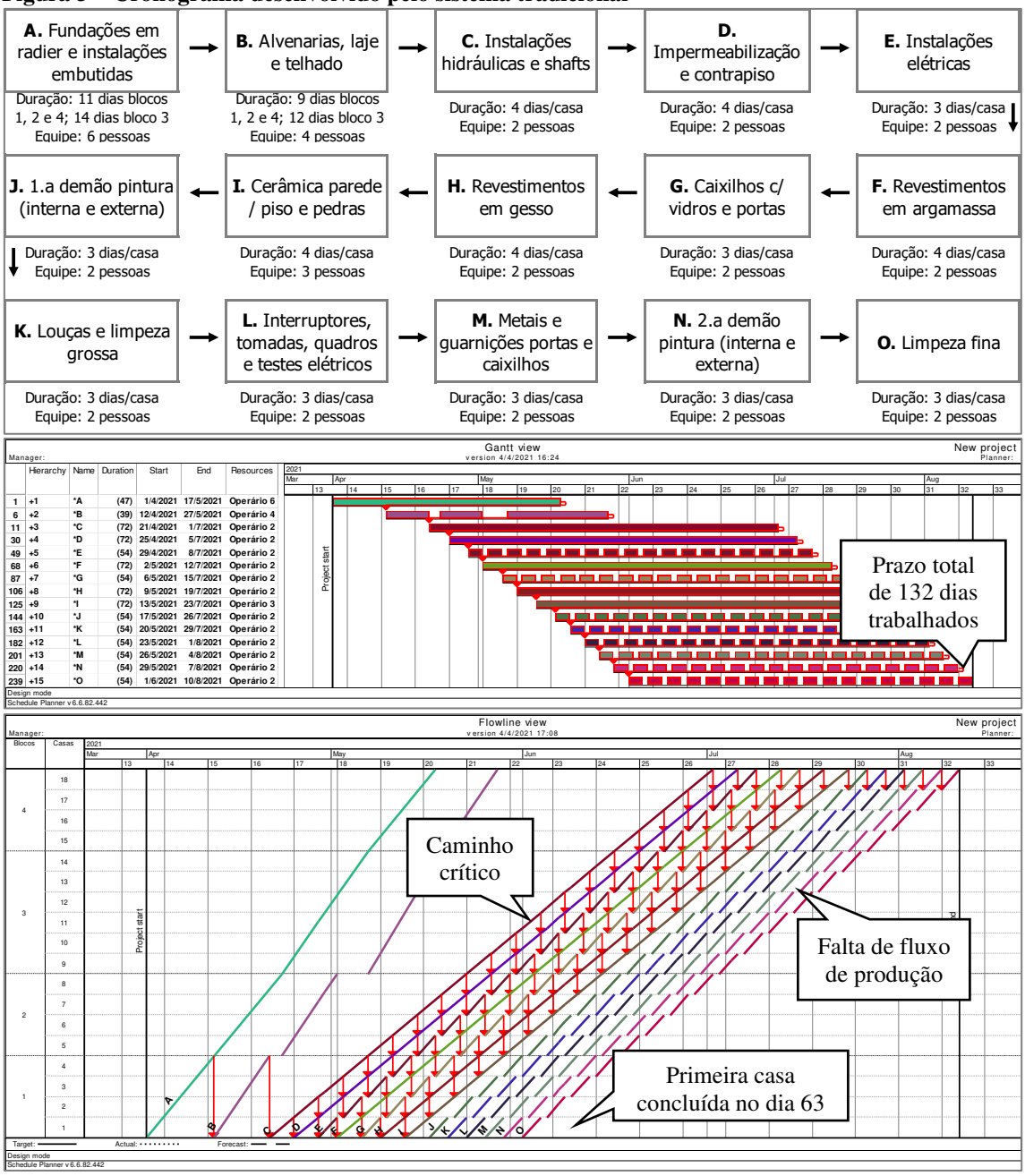
Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

4.1 Passo 1: Versão inicial do cronograma, baseado no planejamento tradicional

Primeiramente, analisou-se o escopo e as atividades necessárias para a execução das casas, agrupando-as em 15 pacotes de trabalho, identificados como A a O na Figura 3. O agrupamento das atividades em pacotes de trabalho considerou as atividades que podem ser executadas de forma conjunta no mesmo local e por uma mesma equipe. Em seguida, estabeleceu-se o sequenciamento executivo dos pacotes, considerando-se as restrições técnicas e práticas utilizadas em obras similares. A partir daí, identificou-se as durações de cada pacote e seus respectivos recursos, sendo que ambos foram estimados com base em obras semelhantes anteriormente realizadas. Como alternativa, é possível realizar a estimativa, levando-se em consideração as quantidades de cada atividade e a taxa de produtividade dos recursos alocados. Com o auxílio do software SPS, desenvolveu-se uma primeira versão de um cronograma de barras, chegando-se a uma duração total de 132 dias. A mesma versão deste cronograma foi transformada em uma versão de linhas de fluxo, através do SPS, contendo as mesmas configurações do cronograma de barras.

A Figura 3 apresenta as duas versões dos cronogramas, além da indicação do caminho crítico. O prazo máximo de 125 dias não foi alcançado. Em relação às 10 condições ideais para o fluxo de produção (Quadro 1), apenas as condições 2, 3, 4 e 5 foram atendidas, sendo que as condições 6 e 7 aplicam-se somente à fase de controle. No geral, as equipes atenderam apenas um local por vez, sem a utilização de *buffers,* que neste trabalho são definidos como atrasos alocados deliberadamente, para a postergação do início das atividades. Entretanto, devido às variações nas durações e ao fato dos pacotes iniciarem na data mais cedo possível, não há continuidade para os recursos e gera-se uma grande quantidade de estoques de serviços. A quantidade de horas de recursos foi de 16.752 para a completude da obra. A primeira casa seria concluída com 63 dias trabalhados.

Figura 3 – Cronograma desenvolvido pelo sistema tradicional

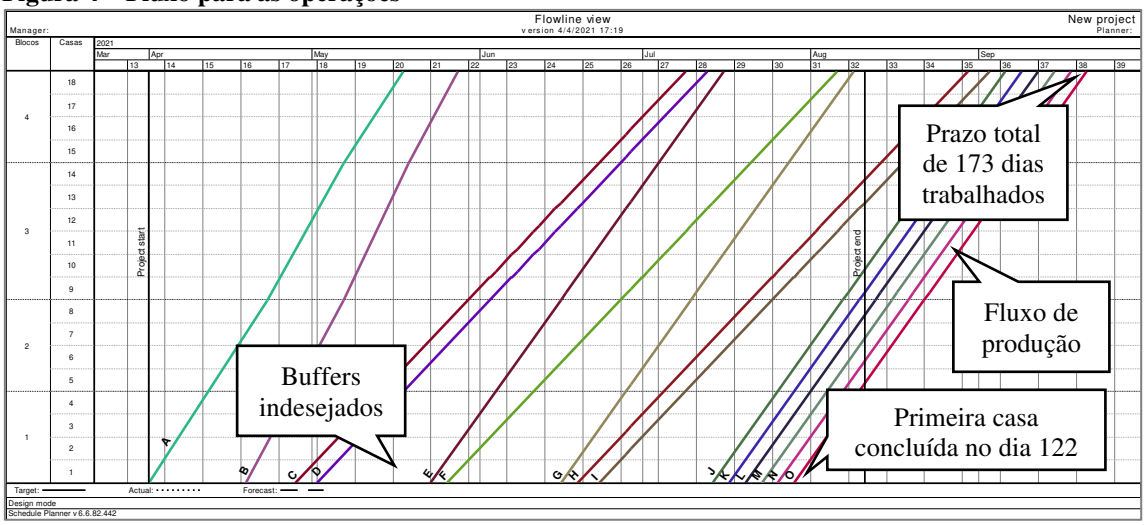


Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

4.2 Passo 2: Condição de fluxo contínuo para as operações

A partir do cronograma desenvolvido no passo 1, estabeleceu-se a condição de fluxo contínuo para as operações, utilizando-se um algoritmo, presente na metodologia do sistema LBMS, que permite a inserção de *buffers* que postergam o início das atividades até o momento em que não ocorram interrupções em seu fluxo. O resultado do novo cronograma está apresentado na Figura 4. Em relação ao passo 1, esta versão apresenta como melhoria o fluxo contínuo para as operações. Entretanto, devido à inserção de *buffers*, o prazo total da obra identificado foi de 173 dias, extrapolando o prazo original e não alcançando a meta de 125 dias trabalhados de duração da obra. Os recursos passam a trabalhar em fluxo, entretanto a geração de estoques de serviços inacabados aumenta consideravelmente quando comparados ao passo 1. A quantidade total de horas identificadas de recursos foi de 16.752 para a completude de toda a obra, ou seja, sem variações em relação ao cronograma apresentado no passo 1. Devido à inserção de diversos *buffers*, a primeira casa estaria concluída apenas após 122 dias trabalhados.

Figura 4 – Fluxo para as operações



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

4.3 Passo 3: Balanceamento das durações das atividades

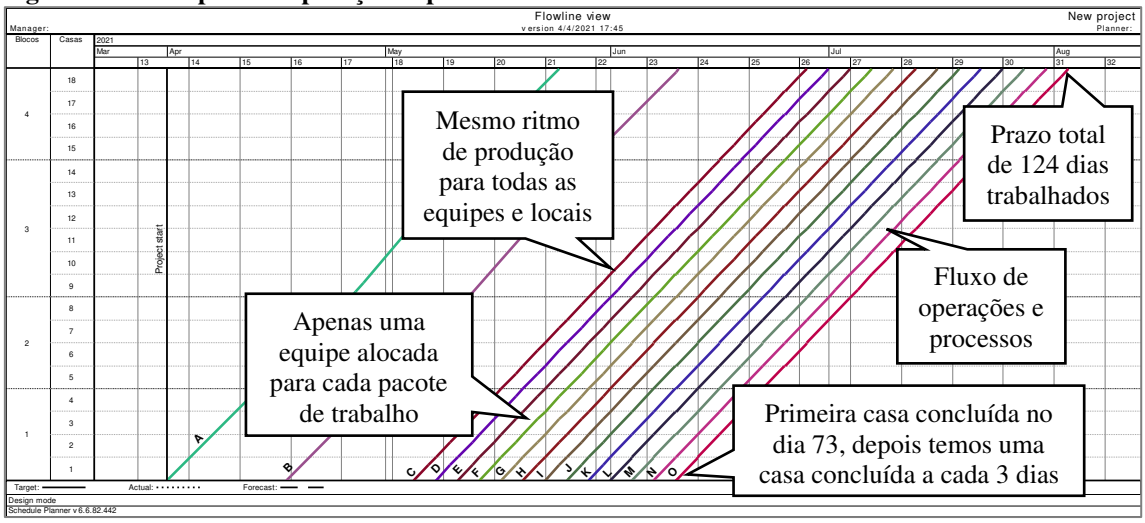
A partir do passo 2, adequou-se o cronograma com o objetivo de eliminar os *buffers* e os estoques de serviços. O critério utilizado teve como premissa o balanceamento das durações através da movimentação de recursos entre atividades. Assim, atividades com menor duração tiveram recursos realocados para atividades de maior duração. Adotou-se a premissa de não aumentar o número de recursos totais. O redimensionamento dos recursos considerou a relação recurso x duração, onde por exemplo, o aumento de um recurso numa determinada atividade representou a redução desta em um dia por casa. O Quadro 2 apresenta o comparativo nas durações e recursos alocados nas atividades alteradas e a Figura 5 apresenta o cronograma após modificações.

Quadro 2 – Modificações no passo 3 em comparação ao passo 1

Atividade	Duração passo 1	Duração passo 3	Recursos passo 1	Recursos passo 3
A	47	54	6	4
B	39	54	4	3
C	72	54	2	3
D	72	54	2	3
F	72	54	2	3
H	72	54	2	3
I	72	54	3	4

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Figura 5 – Fluxo para as operações e processos



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

O cronograma ajustado alcançou duração total de 124 dias trabalhados, dentro da meta de 125 dias, e todas as atividades apresentam duração total de 54 dias, sendo que cada pacote de trabalho possui apenas uma equipe alocada. A quantidade total de horas de recursos foi de 16.848, acréscimo de 96 horas em relação ao passo 1. A primeira casa foi concluída após 73 dias trabalhados, sendo que a partir daí ocorre um ciclo de 1 nova casa concluída a cada 3 dias (tempo *takt* das casas). O Quadro 3 conclui o estudo com as condições gerais para a geração de fluxo de produção em relação à cada passo aplicado.

Quadro 3 – Comparativo entre os passos apresentados

Item	Descrição	Passo 1	Passo 2	Passo 3
01	A variação do tempo *takt* entre locais e equipes deve ser igual a zero	Não atendeu	Não atendeu	Atendeu
02	Uma equipe deve ocupar apenas um local por vez	Atendeu	Atendeu	Atendeu
03	Os tempos de *buffers* devem ser iguais a zero	Atendeu	Não atendeu	Atendeu
04	O número de operações deve ser reduzido ao mínimo	Atendeu	Atendeu	Atendeu
05	Equipes não devem retornar aos locais por onde já passaram	Atendeu	Atendeu	Atendeu
06	Não há retrabalho	Somente controle	Somente controle	Somente controle
07	O trabalho só deve ser iniciado em locais que não contenham restrições	Somente controle	Somente controle	Somente controle
08	O número de locais com trabalho em execução deve ser igual ao número de equipes	Não atendeu	Não atendeu	Atendeu
09	Minimizar as variações de durações das atividades	Não atendeu	Não atendeu	Atendeu
10	Reduzir ao máximo o tempo de operação para cada equipe	Não atendeu	Não atendeu	Atendeu

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais contribuições deste trabalho são o desenvolvimento, de forma didática, de cronogramas baseados em locais, além do processo de visualização e dos ajustes do fluxo de produção. Em geral, todos os passos atenderam as condições de ocupar apenas um local por vez, facilitando a passagem das equipes pelos locais, reduzindo o número de operações e evitando que as equipes retornem aos locais por onde já passaram. Duas condições (6 e 7) não foram avaliadas, uma vez que podem ser verificadas apenas durante a fase de execução da obra. O passo 1, que representa o desenvolvimento do cronograma inicial de uma obra seguindo as premissas do sistema de planejamento tradicional, demonstra que as lacunas apresentadas pela comunidade científica em relação a este sistema se repetiram, principalmente devido à falta de um balanceamento nas durações dos pacotes, causando interrupções no fluxo dos recursos e uma grande quantidade de estoques de serviços. O passo 2 pode ser considerado uma etapa intermediária para a obtenção do fluxo de produção, uma vez que se alcançou o objetivo de garantir um fluxo contínuo para os recursos.

O passo 3 alcançou as condições ideais que foram possíveis de ser avaliadas na fase de planejamento, demonstrando o potencial dos sistemas LB para o fluxo de produção. Além da facilidade visual de análise, estes sistemas permitem uma visão clara do fluxo das equipes pelos locais de produção. O balanceamento das durações dos pacotes de trabalho e a análise de recursos, com incremento ou reduções conforme a necessidade, foram aspectos fundamentais do processo de obtenção de fluxo de produção. Adicionalmente, os fluxos de operações e de processos foram igualmente atendidos. As principais limitações deste trabalho referem-se à aplicação do estudo de caso em um tipo específico de obra. Pesquisas futuras podem explorar a didática do processo de implementação do sistema LB em obras com características de pouca repetição entre os locais.

REFERÊNCIAS

ARDITI, D.; TOKDEMIR, O.; SUH, K. Challenges in line-of-balance scheduling. **Journal of construction engineering and management**, v. 128, n. 6, 2002.

BALLARD, H.G. **The last planner system of production control.** 2000. 192f. Tese (Doutorado em Filosofia) – School of Civil Engineering, University of Birmingham.

BENJAORAN, V.; TABYANG, W.; SOOKSIL, N. Precedence relationship options for the resource levelling problem using an algorithm. **Construction management and economics**, v. 33, 2015.

HEGAZY, T.; KAMARAH, E. Efficient repetitive scheduling for high-rise construction. **Journal of construction engineering and management**, v. 134, n. 4, 2008.

KELLEY, J.; WALKER, M. Critical path planning and scheduling. In: Proceeding of Eastern Joint Computer Conference, 1959.

KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. **Location-based management for construction: Planning, scheduling and control.** Abingdon: Spon Press, 2010. 554p.

KOSKELA, L. **Aplication of the new production philosophy to construction**. Technical Report, Stanford University, 1992.

LEHTOVAARA, J.; SEPPANEN, O.; PELTOKORPI, A.; KUJANSUU, P.; GRONVALL, M. How takt production contributes to construction production flow: a theoretical model. **Construction Management and Economics**, v. 39, n. 1, 2021.

LUMSDEN, P. **The line-of-balance method.** London: Pergamon Press, 1968.

OHNO, T. **Toyota Production System: beyond large-scale production**. USA: 1988. 137p.

OLIVIERI, H.; SEPPANEN, O.; GRANJA, A. D. Improving workflow and resource usage in construction schedules through location-based management system. **Construction Management and Economics**, v. 36, n. 2, 2018.

OLIVIERI, H.; SEPPANEN, O.; ALVES, T.; SCALA, N.; SCHIAVONE, V.; LIU, M; GRANJA, A. D. Survey comparing critical path method, last planner system, and location-based techniques. **Journal of construction engineering and management**, v. 145, n. 12, 2019.

SACKS, R. What constitutes good production flow in construction? **Construction Management and Economics**, v. 34, n. 9, 2016.

SEPPANEN, O.; KANKAINEN, J. Empirical research on deviations in production and current state of project control. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 12., Helsingor, 2004. **Proceedings**... Helsingor, 2004.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da engenharia da engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996. 275p.

SHINGO, S.; DILLON, A. **A study of the Toyota production system: from an industrial engineering viewpoint.** New York: Productivity Press, 1989. 304p.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A filosofia lean nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Campus, 1996. 357p.

AGRADECIMENTOS

À empresa ndBIM pelo fornecimento da licença do software Schedule Planner Standard.