Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios para Arquitetura e Construção

13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção

ARACAJU-SE | 08 a 10 de Novembro

[1]ASPECTOS ANALÍTICOS ENVOLVIDOS NA ELABORAÇÃO DE LINHAS DE BALANÇO: ESTRATÉGIA DE ENSINO POR MEIO DE SIMULAÇÃO.

Analytical aspects involved in the preparation of Line of Balance: teaching strategy through simulation.

Eduardo Mesquita Santos Marques
Universidade Estadual de Campinas | Campinas, São Paulo | e263558@dac.unicamp.br

Kaio Pimentel Rego de Oliveira
Universidade Estadual de Campinas | Campinas, São Paulo | k203052@dac.unicamp.br

Ariovaldo Denis Granja
Universidade Estadual de Campinas | Campinas, São Paulo | adgranja@m.unicamp.br

RESUMO

A elaboração de Linhas de Balanço (LB) deve considerar aspectos analíticos para que o modelo de planejamento esteja aderente à realidade de execução na obra. Este assunto, porém, ainda é restrito no segmento didático, visto a não recorrência no ensino voltado à graduação. Métodos tradicionais de ensino não têm alcançado o objetivo de promover nos estudantes um aprendizado e domínio profundo de conceitos fundamentais e habilidades *soft*. O uso de jogos de simulação, em contrapartida, aumenta o engajamento e produtividade durante suas práticas, motivando estudantes a um aprendizado mais efetivo, duradouro e que pode ser extrapolado a outros contextos. O objetivo deste artigo é ampliar a inserção e absorção dos conceitos analíticos envolvidos na elaboração de LBs, por meio do uso de simulações. O universo de estudo é composto por estudantes de graduação de Engenharia Civil. O método de pesquisa aplica simulação que compara o método tradicional de execução com o planejamento baseado em locais. Como resultados, observou-se que a simulação deixou a maioria dos aspectos analíticos considerados na elaboração de LBs mais claros e a ocorrência de maior motivação e engajamento na realização da atividade, o que ajuda formar profissionais que analisam situações de planejamento de forma mais sistêmica.

Palavras-chave: Planejamento baseado em locais; Linhas de balanço; Ensino; Simulação; Jogos.

ABSTRACT

The preparation of Lines of Balance (LOB) must consider analytical aspects so that the planning model adheres to the reality of execution in the work. This subject, however, is still restricted in the didactic segment, given the non-recurrence in undergraduate education. Traditional teaching methods have not achieved the goal of promoting students to learn and master fundamental concepts and soft skills. The use of simulation games, on the other hand, increases engagement and productivity during their practices, motivating students towards more effective, lasting learning that can be extrapolated to other contexts. The objective of this article is to expand the insertion and absorption of the analytical concepts involved in the elaboration of LOBs, through the use of simulations. The universe of study is composed of undergraduate students of Civil Engineering. The research method applies simulation that compares the traditional execution method with location-based planning. As a result, it was observed that the simulation made most of the analytical aspects considered in the preparation of LOBs clearer and the occurrence of greater motivation and engagement in carrying out the activity, which helps to train professionals who analyze planning situations in a more systemic way.

Keywords: Location-based planning; Line of balance; Teaching; Simulation; Gamefication.

1 INTRODUÇÃO

O Planejamento Baseado em Locais (PBL) apresenta-se como uma abordagem de gestão da construção cujo objetivo é maximizar o uso do trabalho e reduzir os riscos e desperdícios (SEPPÄNEN; EVINGER; MOUFLARD, 2014). O PBL desenvolve-se a partir dos locais de trabalho, sob o pressuposto de que o planejamento e controle da produção é baseado na movimentação de recursos ao longo dos locais da obra (SEPPÄNEN; EVINGER; MOUFLARD, 2014).

Uma ferramenta frequentemente utilizada no PBL são as linhas de balanço (LB), pois apresentam de forma gráfica as equipes executando as atividades pelos locais de trabalho ao longo do tempo, com o intuito de

[1]MARQUES, E. M. S.; OLIVEIRA, K. P. R. de; GRANJA, A. D. Aspectos analíticos envolvidos na elaboração de linhas de balanço: estratégia de ensino por meio de simulação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 13., 2023, Aracaju. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

evitar tempos ociosos das equipes esperando para iniciar as atividades em um local de trabalho e garantir que haja uma equipe disponível para trabalhar em cada local (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

As principais dificuldades na elaboração das LBs estão na definição das durações das atividades e das unidades de repetição, bem como na formulação matemática envolvendo as variáveis do planejamento (YANG; IAOANNOU, 2004; KEMMER; HEINECK; ALVES, 2008). A elaboração das LBs deve, então, considerar aspectos analíticos, como a capacidade de produção das equipes, para que o modelo de planejamento esteja aderente à realidade de execução na obra (KEMMER; HEINECK; ALVES, 2008).

Embora existam diversas pesquisas na literatura acerca da elaboração de LBs para a obtenção do fluxo contínuo (ARDITI; ALBULAK, 1986; MENDES Jr; HEINECK, 1998; KEMMER; HEINECK; ALVES, 2008; BIOTTO et al., 2017), este assunto ainda é escasso no segmento didático, uma vez que não é um tema recorrente no ensino voltado à graduação, caracterizando uma lacuna de pesquisa.

A vida prática exige do profissional habilidades muito além das curriculares, demandando desenvolvimento gerencial que envolve uma visão holística das atividades, direcionando uma melhor condução do processo de tomada de decisão (MORAES; CARDOSO, 2018).

Lombardo e Eichinger (2010) apresentam que 70% do aprendizado ocorre na execução de um trabalho e atividades desafiadoras; 20% na relação com outras pessoas e 10% a partir de leituras e cursos. Poh, Swenson e Picard (2010) avaliaram a atividade cerebral de estudantes e apontaram que a postura passiva de assistir aula se assemelhava à baixa atividade cerebral de assistir TV. Em contrapartida, os autores apresentam que ao serem expostos a metodologias ativas, como jogos de simulações, os alunos atingiram níveis superiores de atividade cerebral, o que potencializa o aprendizado e absorção do conhecimento.

Os métodos tradicionais de ensino não têm alcançado o objetivo de promover nos estudantes de engenharia um aprendizado e domínio profundo dos conceitos fundamentais e habilidades *soft* para entender, avaliar e solucionar os desafios cotidianos sob diferentes perspectivas (ILBEIGI; BAIRAKTAROVA; MORTEZA, 2023). O uso de jogos de simulação vai em contrapartida dessa problemática, aumentando o engajamento e produtividade durante suas práticas, motivando estudantes a um aprendizado mais efetivo, duradouro e que pode ser extrapolado a outros contextos, alcançando níveis mais altos da Taxonomia de Bloom (SUBHASH; CUDNEY, 2018).

Diante desse contexto, o presente trabalho atua no problema de que o ensino de LBs na graduação não aborda de forma sistêmica os aspectos analíticos que devem ser considerados na sua elaboração. A consequência disso, é a entrega de profissionais ao mercado que acabam gerando modelos de planejamento distantes da realidade do canteiro, bem como a deficiência no julgamento crítico dos resultados.

O objetivo deste artigo é ampliar a inserção e absorção dos conceitos analíticos envolvidos na elaboração de LBs, por meio do uso de simulações com alunos de graduação, conforme proposto por Poget e Granja (2015). Os principais aspectos abordados neste estudo são: (i) duração das atividades, (ii) duração da unidade de repetição, (iii) índices de produtividade, (iv) duração do cronograma, (v) número e composição de equipes, (vi) fluxo contínuo e (vii) tempo takt.

Como contribuições, este trabalho, comparado a aplicações de simulações anteriores, incorpora novas variáveis que aumentam o número de aspectos analíticos envolvidos na elaboração de LBs, bem como melhorias no método anteriormente utilizado, buscando alcançar um nível de entendimento mais profundo dos alunos, fomentando a autonomia e maior desempenho na tomada de decisão desses futuros profissionais.

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 Universo de estudo

O universo de estudo é composto por estudantes de graduação, do 4º ano do curso de Engenharia Civil. No momento da aplicação da simulação, os alunos possuíam conhecimento prévio acerca do processo tradicional de programação de empreendimentos, mas ainda não tinham tido contato com a programação por LBs. Assim, antes de aplicar a simulação, foi dado aos alunos uma explicação teórica dos conceitos gerais de PBL e LBs, buscando nivelar o conhecimento, sobretudo dos aspectos analíticos envolvidos na simulação (Figura 1-a).

2.2 Objetivo da simulação

O objetivo da simulação é abordar os aspectos teóricos da elaboração das LBs, comparando-se um método tradicional de execução com o PBL. Para isso, é apresentada a realização de um empreendimento de seis casas idênticas como unidades de repetição (UR), vinculadas a um prazo máximo de conclusão (Figura 1-b).

Figura 1: Exposição teórica (a) e aplicação da simulação (b)



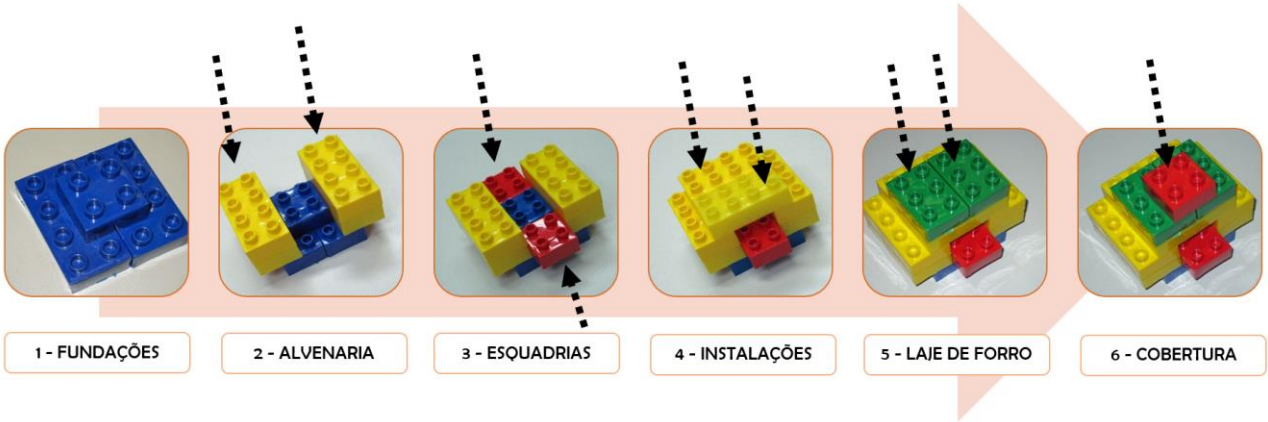
(a) (b)

Fonte: Autores (2023)

2.3 Apresentação e regras

O empreendimento simulado consiste em seis lotes disponíveis para montagem de seis casas idênticas com peças encaixáveis. Uma rede lógica de precedência de atividades é apresentada para os participantes e a cada atividade são designadas um conjunto diferente de peças e instruções de montagem. A sequência de atividades e peças está detalhada na Figura 2.

Figura 2: Sequência de montagem da Unidade de Repetição



Fonte: Autores (2023)

Os participantes são instruídos a designar um responsável para cada atividade, onde cada um representa um subempreiteiro contratado para executar uma atividade específica, obedecendo-se a regra de que é permitido apenas um subempreiteiro por vez em cada lote.

2.4 Aplicação da simulação

A simulação consiste na aplicação de três rodadas sucessivas da montagem das peças apresentadas na execução das seis casas: na primeira, os participantes estão livres para completar as URs no menor prazo possível, com base no planejamento tradicional; na segunda são utilizadas as LBs para que os participantes abordem os princípios de fluxo e *takt time;* na terceira os participantes são questionados a apresentar

sugestões de otimização no cronograma com base nos conceitos aprendidos sobre LB. Em todas as etapas são cronometrados os tempos de execução de cada UR e o prazo total da obra.

Inicialmente, foram apresentadas as regras da simulação. Na primeira rodada, os participantes foram informados que estavam livres para decidir a estratégia de montagem das peças e os responsáveis por cada atividade. Os tempos de conclusão de cada UR foram registrados, assim como o tempo total para entrega das seis UR.

Para as próximas rodadas, foram calculados os tempos de execução de cada atividade da UR, por meio da Equação (1), que compõe uma melhoria metodológica proposta, em relação a aplicações anteriores.

$$D = Q \times I \tag{1}$$

Em que D é a duração da atividade, em segundos; Q é a quantidade de serviço, dada em número de peças; e I é o índice de produtividade do serviço, dado em Homem.segundo/peça.

Para a determinação de I, foi levado em consideração o grau de dificuldade do encaixe de cada peça: 1 = elementar e 1,5 = difícil. Como as atividades são executadas por uma pessoa, a duração em segundos é igual à quantidade de H.s necessárias para cada atividade.

A Figura 3 apresenta o processo de cálculo.

Figura 3: Cálculo das durações de cada atividade

Atividade	Peças
Fundações	3
Alvenaria	4
Esquadrias	2
Instalações	2
Laje de forro	2
Cobertura	1

Atividade	Índice (H.s/peça)
Fundações	1.00
Alvenaria	1.50
Esquadrias	1.50
Instalações	1.50
Laje de forro	1.50
Cobertura	1.00

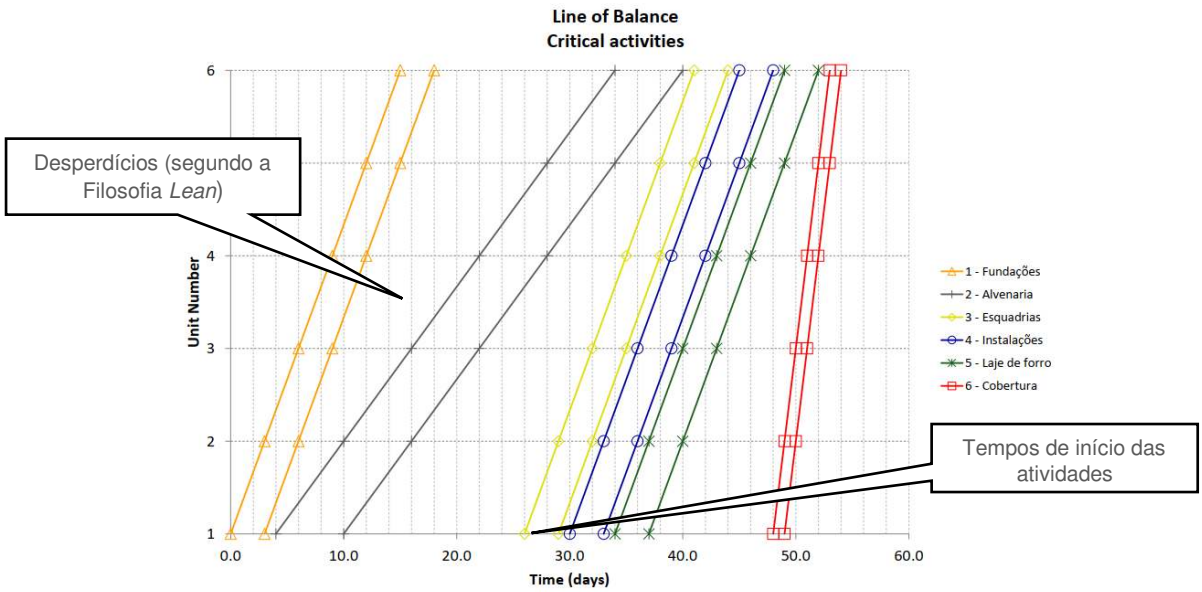
Duração (s) = Peças x Índice

Atividade	Duração (s)
Fundações	3
Alvenaria	6
Esquadrias	3
Instalações	3
Laje de forro	3
Cobertura	1

Fonte: Autores (2023)

Na segunda rodada, foi apresentado o cronograma com LB elaborado a partir das durações propostas (Figura 4). Como forma de automatizar os cálculos e plotar graficamente a LB, foi utilizado o aplicativo desenvolvido por Poget e Granja (2015), que usa a linguagem de programação *Visual Basic for Applications* (VBA). A Figura 5 contém os valores numéricos utilizados para plotar os gráficos das LBs, destacando-se os tempos de início de cada atividade.

Figura 4: Linha de balanço proposta para a segunda rodada



Fonte: Autores (2023)

Figura 5: Dados de plotagem das LBs (Etapa 2)

Activity		Fundações (ID=1) Nb of crews: 1				Alvenaria (ID=2) Nb of crews: 1				Esquadrias (ID=3) Nb of crews: 1				Instalações (ID=4) Nb of crews: 1				Laje de forro (ID=5) Nb of crews: 1				Cobertura (ID=6) Nb of crews: 1			
Times (days)		ES	EF	LS	LF	ES	EF	LS	LF	ES	EF	LS	LF	ES	EF	LS	LF	ES	EF	LS	LF	ES	EF	LS	LF
Unit number	1	0.0	3.0	0.0	3.0	4.0	10.0	4.0	10.0	26.0	29.0	26.0	29.0	30.0	33.0	30.0	33.0	34.0	37.0	34.0	37.0	48.0	49.0	48.0	49.0
	2	3.0	6.0	3.0	6.0	10.0	16.0	10.0	16.0	29.0	32.0	29.0	32.0	33.0	36.0	33.0	36.0	37.0	40.0	37.0	40.0	49.0	50.0	49.0	50.0
	3	6.0	9.0	6.0	9.0	16.0	22.0	16.0	22.0	32.0	35.0	32.0	35.0	36.0	39.0	36.0	39.0	40.0	43.0	40.0	43.0	50.0	51.0	50.0	51.0
	4	9.0	12.0	9.0	12.0	22.0	28.0	22.0	28.0	35.0	38.0	35.0	38.0	39.0	42.0	39.0	42.0	43.0	46.0	43.0	46.0	51.0	52.0	51.0	52.0
	5	12.0	15.0	12.0	15.0	28.0	34.0	28.0	34.0	38.0	41.0	38.0	41.0	42.0	45.0	42.0	45.0	46.0	49.0	46.0	49.0	52.0	53.0	52.0	53.0
	6	15.0	18.0	15.0	18.0	34.0	40.0	34.0	40.0	41.0	44.0	41.0	44.0	45.0	48.0	45.0	48.0	49.0	52.0	49.0	52.0	53.0	54.0	53.0	54.0

Fonte: Autores (2023)

Os participantes foram instruídos a obedecer aos tempos de início de cada atividade e se comprometerem a executá-las nas durações propostas, o que se relaciona com aspectos teóricos do *Last Planner System* e caracteriza-se como outra melhoria metodológica. Esta etapa, além de introduzir conceitos de comprometimento de equipes na contratação, contempla de maneira mais aprofundada os conceitos de fluxo (Figura 6) e *takt time*, pois permitem aos participantes observar que haverá menos tempo de espera caso obedeçam às durações previstas em cada UR. Entre cada atividade, foi considerado um *buffer* de 1 segundo para mobilização da equipe de montagem.

Figura 6: Subempreiteiros obedecendo o tempo de entrada para manter o fluxo contínuo

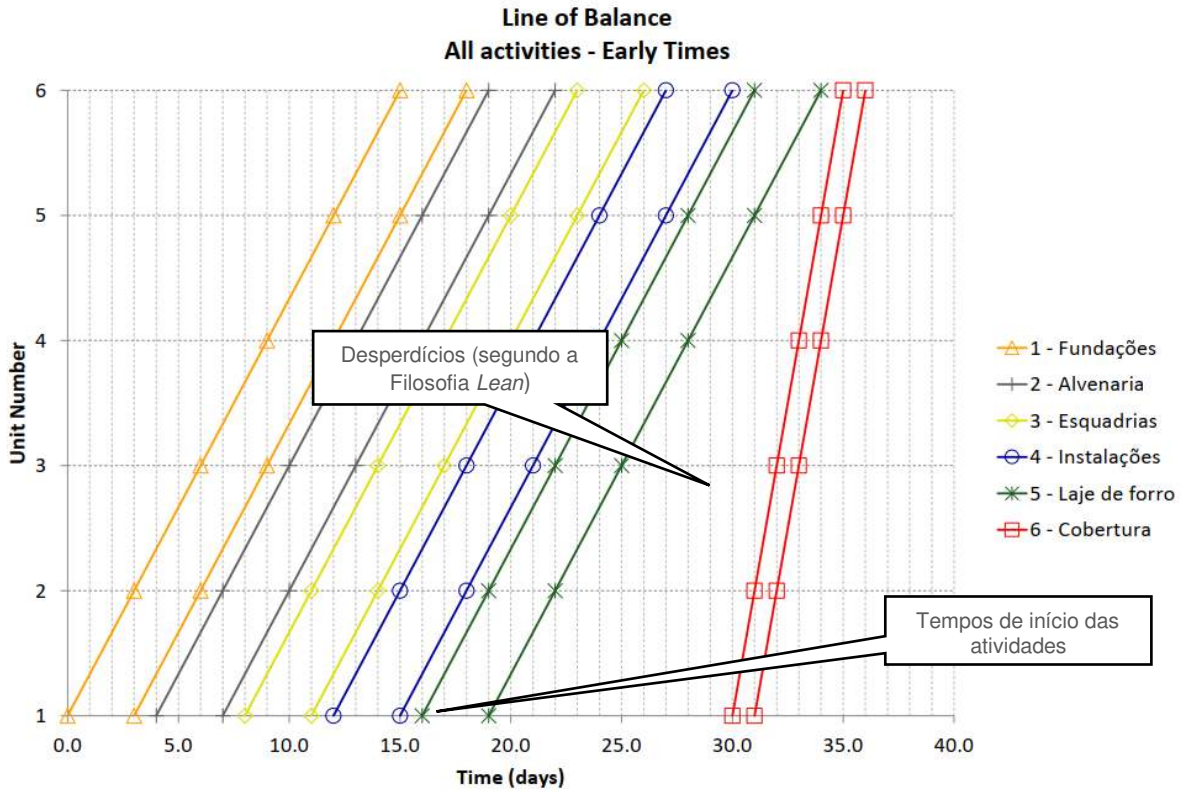


(a) (b)

Fonte: Autores (2023)

A terceira rodada tem o intuito de estimular o raciocínio analítico dos participantes ao questioná-los sobre oportunidades de melhoria em relação à etapa anterior. Os participantes conseguiram detectar o gargalo na atividade de alvenaria e propuseram que a sua duração fosse reduzida pela metade com a adição de dois participantes na atividade. Isso resultou em uma nova LB (Figura 7), na qual o ritmo da alvenaria foi balanceado com as demais atividades, reduzindo o tempo de espera e o prazo total de conclusão das URs. Ressalta-se que a atividade 6 (cobertura) não pôde ser balanceada com as demais, uma vez que sua curta duração (montagem elementar) implica em uma taxa de produtividade superior às demais. A Figura 8 contém os tempos de entrada de cada uma das atividades.

Figura 7: Linha de balanço proposta para a terceira rodada



Fonte: Autores (2023)

Figura 8 Dados de plotagem das LBs (Etapa 3)

Activity		Fundações (ID=1) Nb of crews: 1				Alvenaria (ID=2) Nb of crews: 1				Esquadrias (ID=3) Nb of crews: 1				Instalações (ID=4) Nb of crews: 1				Laje de forro (ID=5) Nb of crews: 1				Cobertura (ID=6) Nb of crews: 1			
Times (days)		ES	EF	LS	LF	ES	EF	LS	LF	ES	EF	LS	LF	ES	EF	LS	LF	ES	EF	LS	LF	ES	EF	LS	LF
Unit number	1	0.0	3.0	0.0	3.0	4.0	7.0	4.0	7.0	8.0	11.0	8.0	11.0	12.0	15.0	12.0	15.0	16.0	19.0	16.0	19.0	30.0	31.0	30.0	31.0
	2	3.0	6.0	3.0	6.0	7.0	10.0	7.0	10.0	11.0	14.0	11.0	14.0	15.0	18.0	15.0	18.0	19.0	22.0	19.0	22.0	31.0	32.0	31.0	32.0
	3	6.0	9.0	6.0	9.0	10.0	13.0	10.0	13.0	14.0	17.0	14.0	17.0	18.0	21.0	18.0	21.0	22.0	25.0	22.0	25.0	32.0	33.0	32.0	33.0
	4	9.0	12.0	9.0	12.0	13.0	16.0	13.0	16.0	17.0	20.0	17.0	20.0	21.0	24.0	21.0	24.0	25.0	28.0	25.0	28.0	33.0	34.0	33.0	34.0
	5	12.0	15.0	12.0	15.0	16.0	19.0	16.0	19.0	20.0	23.0	20.0	23.0	24.0	27.0	24.0	27.0	28.0	31.0	28.0	31.0	34.0	35.0	34.0	35.0
	6	15.0	18.0	15.0	18.0	19.0	22.0	19.0	22.0	23.0	26.0	23.0	26.0	27.0	30.0	27.0	30.0	31.0	34.0	31.0	34.0	35.0	36.0	35.0	36.0

Fonte: Autores (2023)

Esta última rodada tem por intuito apresentar os conceitos de índices de produtividade na composição das equipes como estratégia para otimização do cronograma, evidenciando que o balanceamento das atividades deve ser realizado em atividades específicas e não necessariamente em todas.

2.5 Avaliação da simulação

Ao final da simulação, os alunos responderam, por meio de questionário eletrônico estruturado e anônimo, o grau de entendimento acerca de cada aspecto analítico trabalhado, em relação à explicação teórica ministrada no primeiro momento. Para cada aspecto analítico, era possível escolher que o entendimento conceitual “ficou mais confuso”; “permaneceu igual”; ou “ficou mais claro”.

3 RESULTADOS, DISCUSSÕES E LIÇÕES APRENDIDAS COM A SIMULAÇÃO

Na explicação introdutória, essencialmente expositiva, os alunos tiveram o primeiro contato com os conceitos teóricos do PBL e da elaboração de LBs. Na sequência, os participantes foram convidados à simulação proposta, com o intuito de exemplificar de forma prática as atividades realizadas em casos simulados da construção civil, por meio de três rodadas.

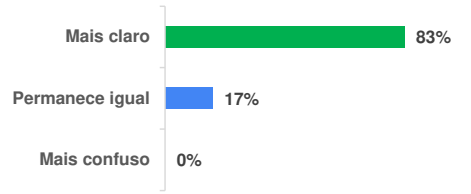
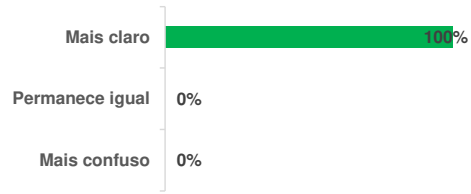
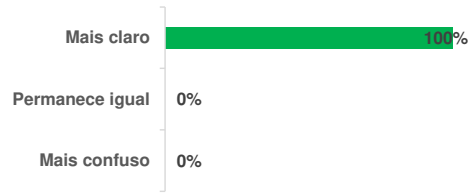
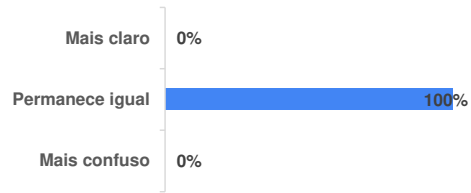
A primeira rodada emulou o planejamento tradicional e evidenciou oportunidades de melhoria quando este é substituído pelo PBL. Ao final da rodada, após discussões, os alunos relataram que o maior problema encontrado foi a interrupção da montagem em cada local de trabalho, percebendo tempos ociosos entre cada atividade executada.

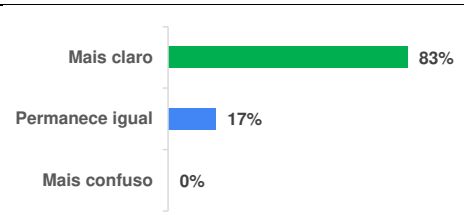
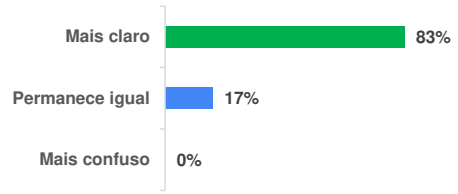
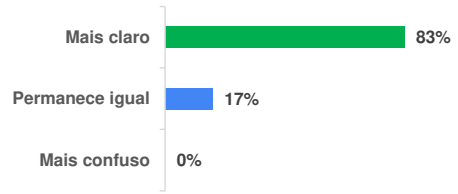
Para a segunda rodada, foi apresentado o gráfico das LBs no cronograma previsto, bem como os tempos de início de cada atividade, que deveriam ser obedecidos pelos participantes. Ao final da rodada, os alunos relataram que ao aguardar o tempo correto de início da montagem, obteve-se menos interrupções no processo de montagem, o que permitiu a visualização evidente dos conceitos de fluxo contínuo e tempo *takt*. Ainda, relataram maior compreensão do efeito das durações das atividades no cronograma e foram capazes de detectar os gargalos ocasionados principalmente pela alvenaria.

A terceira e última rodada teve início após a discussão suscitada pelos facilitadores de como os participantes poderiam reduzir o prazo do cronograma. Os alunos relataram que a melhor abordagem seria reduzir o tempo da atividade gargalo (alvenaria), balanceando-a com as demais. Para isso, os alunos sugeriram dobrar o número de pessoas na alvenaria, possibilitando uma redução do seu tempo pela metade. A partir desta verificação, foi apresentado um novo cronograma com LBs e novos tempos de início para cada atividade. Ao final da rodada 3, os alunos informaram que puderam compreender melhor o efeito do cálculo das taxas de produtividade individuais das equipes para obtenção das durações das atividades como alternativa para o balanceamento das mesmas e melhoria do fluxo.

O Quadro 1 sintetiza os aspectos analíticos abordados na simulação, os momentos de ocorrência, bem como os graus de entendimento dos alunos, capturados na etapa de avaliação.

Quadro 1: Aspectos analíticos abordados na simulação

ASPECTO ANALÍTICO	MOMENTO PRINCIPAL DE ABORDAGEM NA SIMULAÇÃO	GRAU DE ENTENDIMENTO, EM COMPARAÇÃO À AULA TEÓRICA EXPOSITIVA
Duração das atividades	Determinadas por meio do uso da Equação 1, que é elementar no cálculo de durações de atividades.	
Duração da UR	Extraída do tempo cronometrado na primeira rodada; e extraída graficamente da LB na segunda e terceira rodada.	
Índices de produtividade	Determinados a partir do grau de dificuldade de encaixe das peças de cada atividade.	
Duração do cronograma	Extraída graficamente a partir da LB gerada em ambas rodadas.	

Número/composição de equipes	Determinadas por meio do uso da Equação 1, alterando o Índice de produtividade.	
Fluxo contínuo	Identificado pelos próprios alunos no momento de ocorrência de esperas de conclusão de serviços predecessores.	
Tempo *takt*	O tempo teórico (esperado) foi determinado graficamente a partir da LB gerada. O tempo real foi determinado a partir do tempo cronometrado de entrega de cada UR.	

Fonte: Autores (2023)

É possível observar que a simulação, comparada com a exposição teórica tradicional, deixou a maioria dos aspectos analíticos mais claros. De forma mais específica, a determinação e impactos do tempo de duração da UR e dos Índices de produtividade foram os aspectos que deixaram mais lacunas durante a exposição teórica e que foram consolidadas de forma mais clara durante a simulação. Em contrapartida, a duração total do cronograma e suas relações com demais fatores de projeto ficaram claros durante a exposição teórica e não tiveram o entendimento alterado após a aplicação da simulação.

A partir da avaliação e comentários dos alunos durante a simulação, a determinação de durações, número/composição de equipes e suas relações com os índices de produtividade ficaram explicitamente mais claros após a execução da simulação, permitindo uma visualização na prática dos efeitos que cada aspecto analítico tem na execução do projeto. Além disso, o conceito de fluxo contínuo e a sua importância ficaram evidenciados quando, na primeira rodada, os alunos iniciaram suas atividades o mais cedo possível e perceberam que ficaram vários momentos parados aguardando a finalização dos serviços predecessores, entendendo a importância de balancear as atividades, iniciar no tempo certo, evitar esperas e entregar as URs em um ritmo constante (tempo *takt*).

Analisando o comportamento dos alunos durante a simulação, observou-se maior motivação e engajamento, suscitando mais questões e possibilidades de ações por meio de estratégias de produção, como a organização do *layout* do canteiro. Além disso, foram observados diversos momentos de diálogo e debates de estratégias, o que puxa habilidades *soft* como interação, protagonismo e proatividade na busca por resolver problemas. Isso valida a teoria de que metodologias ativas despertam maior interesse e atenção dos estudantes, envolvendo maior atividade cerebral do que em aulas expositivas.

Ainda, para evitar que conceitos relevantes passassem despercebidos, ao final da simulação os facilitadores promoveram uma reflexão acerca dos conceitos explorados, conectando teoria e prática.

A partir dos resultados, nota-se que os objetivos foram atingidos, permitindo que conceitos analíticos importantes fossem melhor absorvidos do que somente em uma exposição teórica tradicional, fornecendo maior base conceitual para análise crítica que vai além da elaboração e interpretação de LBs, mas que alcança os efeitos de cada aspecto nos projetos, ampliando a capacidade de solucionar os desafios cotidianos sob diferentes perspectivas, formando profissionais que analisam situações de planejamento de forma mais sistêmica.

4 CONCLUSÕES

O presente artigo buscou ampliar a inserção e absorção dos conceitos analíticos envolvidos na elaboração de LBs, por meio do uso de simulações com alunos de graduação, contribuindo na incorporação de novas variáveis que aumentam o número de aspectos analíticos envolvidos no ensino da elaboração de LBs, bem como melhorias no método, em relação a aplicações anteriores.

Após a simulação, foi aplicado um questionário com os alunos acerca do entendimento dos principais aspectos abordados. As repostas coletadas sugerem fortemente que o nível de entendimento foi maior após a aplicação da simulação. O tempo de duração da UR e dos Índices de produtividade apresentaram lacunas durante a exposição teórica, porém facilitadas após a simulação. A duração total do cronograma e sua dependência com as variáveis de projeto apresentaram um nível inalterado de entendimento após a aplicação da simulação.

A determinação de durações, número/composição de equipes e suas relações com os índices de produtividade ficaram mais evidentes após a simulação, permitindo uma visualização prática dos impactos de cada aspecto analítico na execução do projeto. O conceito de fluxo contínuo e sua importância tiveram maior destaque na primeira rodada, onde os alunos perceberam que o início de suas atividades o mais cedo possível ocasionou interrupções no processo de montagem.

As rodadas 2 e 3 foram importantes na verificação de oportunidades de melhoria no planejamento. Os alunos, já munidos do conhecimento teórico e prático (decorrente da rodada 1), formularam em conjunto estratégias válidas para a otimização do cronograma e redução dos desperdícios. Desta forma, os facilitadores constataram que os participantes já tinham uma percepção suficiente do fenômeno para elaborar uma solução ao problema apresentado e foram capazes de agir de forma corretiva para a tomada de decisões.

Este estudo contribuiu no resgate dos aspectos analíticos mencionados trazendo uma abordagem mais aprofundada no ensino do PBL e da elaboração das LBs, aumentando o engajamento e produtividade durante a atividade de simulação e motivando estudantes a um aprendizado mais efetivo, duradouro e que pode ser extrapolado a outros contextos, alcançando maiores níveis da Taxonomia de Bloom. Ainda, contribuiu no fomento de aprendizado e domínio aprofundado dos conceitos fundamentais e habilidades *soft* para entender, avaliar e solucionar desafios cotidianos sob diferentes perspectivas.

5 AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPq pela concessão de bolsa de mestrado (processo n°146326/2021-0). O segundo autor evidencia que o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ARDITI DAVID; ALBULAK M. ZEKI. Line-of-Balance Scheduling in Pavement Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 112, n. 3, p. 411–424, 1986.

BIOTTO, C. et al. **Comparing Production Design Activities and Location-Based Planning Tools**. Em: 25TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Heraklion, Greece: 2017.

ILBEIGI, M.; BAIRAKTAROVA, D.; MORTEZA, A. Gamification in Construction Engineering Education: A Scoping Review. **Journal of Civil Engineering Education**, v. 149, n. 2, p. 04022012, 1 abr. 2023.

KEMMER, S.; HEINECK, L. F. M.; ALVES, T. C. L. Using the Line Of Balance for Production System Design. Proceedings of the 16th Annual Lean Construction Conference, Manchester, 2008.

KENLEY, R.; SEPPANEN, O. Location-based management for construction: Planning, scheduling and control. 1. ed. Abingdon: Spon Press, 2010.

LOMBARDO, M. M.; EICHINGER, R. W. **Career Architect Development Planner**. 5th edição ed. Minneapolis: Lominger, 2010.

MENDES JR., R.; HEINECK, L. F. M. **Towards Production Control on Multi-Story Building Construction Sites**. 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. **Anais [**...] 7TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION. Berkeley, California, 1999.

MORAES, M. N.; CARDOSO, P. A. Jogos para ensino em engenharia e desenvolvimento de habilidades. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 1, n. 39, p. 19, 17 abr. 2018.

POGET, M.; GRANJA, A. D. Proposta didática para comparação entre métodos de planejamento tradicionais e lean. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 9, 2015, São Carlos, **Anais…** São Carlos: ANTAC, 2015.

POH, M.-Z.; SWENSON, N. C.; PICARD, R. W. A wearable sensor for unobtrusive, long-term assessment of electrodermal activity. **IEEE transactions on bio-medical engineering**, v. 57, n. 5, p. 1243–1252, maio 2010.

SEPPÄNEN, O.; EVINGER, J.; MOUFLARD, C. Effects of the location-based management system on production rates and productivity. **Construction Management and Economics**, v. 32, n. 6, p. 608–624, 2014.

SUBHASH, S.; CUDNEY, E. A. Gamified learning in higher education: A systematic review of the literature. **Computers in Human Behavior**, v. 87, p. 192–206, 1 out. 2018.

YANG, I.; IOANNOU, P. G. Scheduling system with focus on practical concerns in repetitive projects. **Construction Management and Economics**, v. 22, n. 6, p. 619–630, 2004.