

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**JHUN BRUNO YANO
JORGE LUCAS PEREIRA**

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE JOGO PARA ENSINO DA FILOSOFIA
*LEAN CONSTRUCTION***

CURITIBA

2022

**JHUN BRUNO YANO
JORGE LUCAS PEREIRA**

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE JOGO PARA ENSINO DA FILOSOFIA
*LEAN CONSTRUCTION***

**Development and application of game for teaching the lean construction
philosophy**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Alfredo Iarozinski Neto.

**CURITIBA
2022**



Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**JHUN BRUNO YANO
JORGE LUCAS PEREIRA**

**DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE JOGO PARA ENSINO DA FILOSOFIA
*LEAN CONSTRUCTION***

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 02/12/2022

Alfredo Iarozinski Neto
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Curitiba

Carlos Alberto Da Costa
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Curitiba

Cezar Augusto Romano
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Campus Curitiba

**CURITIBA
2022**

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todas as pessoas que estiveram presentes durante os anos que investimos na conquista de finalizar o curso de Engenharia Civil.

Ao nosso orientador Prof. Dr. Alfredo Iarozinski Neto, pelos conselhos e conhecimentos compartilhados que nos auxiliaram a concluir esta trajetória.

Aos nossos colegas de sala que estiveram presentes no dia a dia no decorrer dos anos, Lucas, Patrícia, Willian, Pedro e todos os outros que participaram de alguma forma.

Aos nossos pais, irmãos, avós e familiares que nos deram todo o incentivo, amor, e que acreditaram em nós para concluirmos essa etapa.

Aos familiares que perdemos durante a pandemia.

A Janina, que durante todos os anos desse desafio mostrou sua parceria, incentivo e amor nos bons e maus momentos.

A Rebeca, que acima de tudo é uma grande amiga, sempre presente nos momentos difíceis com palavras de incentivo, apoio e amor.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná e todos seus professores e colaboradores que direta ou indiretamente possibilitaram que chegássemos à conclusão.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Onde não há padrão, não pode haver melhoria.”

Taiichi Ohno

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a assimilação de conhecimento transmitido por meio de um jogo didático sobre a filosofia *Lean Construction* aplicado em sala de aula para os alunos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Foram utilizados os conceitos do *design thinking* para a elaboração do jogo, que consiste basicamente em blocos de montar casas, a fim de transmitir os principais tópicos da construção enxuta em cinco etapas: compreender as necessidades da indústria da construção civil (empatia), definição do problema da construção civil (definição), desenvolvimento do jogo (idealização), aperfeiçoamento do jogo (prototipação) e aplicação do jogo em sala de aula (validação). A partir disso, o jogo foi aplicado em sala de aula simulando a montagem das casas de duas formas, uma pelo sistema de gerenciamento de obras convencional e outra pelo sistema Lean, com ênfase na aplicação da linha de balanço, então foi coletado o tempo de montagem correspondente a cada sistema de gerenciamento e posteriormente foi aplicado um questionário aos alunos da classe. Ao final do jogo, foi identificado que a montagem por meio do sistema de gerenciamento *Lean Construction* proporcionou redução de tempo, maior organização, criação de fluxo contínuo de atividades e possibilitou a transmissão do conhecimento da construção enxuta em sala de aula.

Palavras-chave: *lean*; *construction*; jogo; simulação.

ABSTRACT

The main objective of this work is to evaluate the assimilation of knowledge transmitted through a didactic game about the Lean Construction philosophy applied in the classroom for students of the Federal Technological University of Paraná. Design thinking concepts were used to develop the game, which basically consists of building blocks for houses, in order to convey the main topics of lean construction in five stages: understanding the needs of the civil construction industry (empathy), defining the construction problem (definition), game development (idealization), game improvement (prototyping) and application of the game in the classroom (validation). From this, the game was applied in the classroom simulating the assembly of the houses in two ways, one by the conventional works management system and the other by the Lean system, with emphasis on the application of the balance line, then the time of construction was collected. assembly corresponding to each management system and later a questionnaire was applied to the students of the class. At the end of the game, it was identified that assembly through the Lean Construction management system provided time reduction, greater organization, creation of a continuous flow of activities and enabled the transmission of knowledge of lean construction in the classroom.

Keywords: lean; construction; game; simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O sistema Toyota de produção	18
Figura 2 - Modelo de processo na filosofia gerencial tradicional	22
Figura 3 - Modelo de processo da Construção Enxuta	23
Figura 4 - Os oito desperdícios Lean	24
Figura 5 - Exemplo de gráfico com aplicação da linha de balanço.....	28
Figura 6 - Vista frontal	34
Figura 7 - Vista lateral esquerda	34
Figura 8 - Vista lateral direita.....	35
Figura 9 - Vista dos fundos.....	35
Figura 10 - Fundação	36
Figura 11 - Estrutura	36
Figura 12 - Vedação/Esquadrias	37
Figura 13 - Lareira.....	37
Figura 14 - Cobertura	38
Figura 15 - Distribuição de peças pelo método convencional	40
Figura 16 - Montagem da primeira casa pelo método convencional	41
Figura 17 - Peças separadas por atividade	42
Figura 18 - Montagem das casas concluídas	43
Figura 19 - Linha de balanço da montagem de cinco casas de blocos	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo de artigos sobre jogos e simulações de Lean Construction30

LISTA DE QUESTIONÁRIOS

Questionário 1 - Quais dos seguintes conceitos relacionados ao <i>Lean Construction</i> você percebeu durante a realização do jogo.....	44
Questionário 2 - De 0 a 10, qual o nível de compreensão a respeito dos conceitos <i>Lean</i> o jogo te ajudou a perceber.....	44
Questionário 3 - De 0 a 10, qual foi o seu nível de percepção com relação a influência do ritmo de produção na produtividade.....	45
Questionário 4 - De 0 a 10, qual o nível de facilidade que a divisão das atividades em etapas gerou na montagem das casas.....	45
Questionário 5 - De 0 a 10, qual foi o nível de influência/facilidade de disponibilidade do material gerou na montagem das casas.....	46
Questionário 6 - De 0 a 10m como a aplicação do jogo foi útil para a assimilação dos conceitos da construção enxuta.....	46
Questionário 7 - De 0 a 10, você acredita que a aplicação do jogo em canteiro de obras pode ajudar na introdução do <i>Lean Construction</i>	47
Questionário 8 - Descreva quais as principais diferenças que você percebeu no processo de montagem dos dois sistemas de gerenciamento.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGLC	International Group for Lean Construction
JIT	Just in Time
LC	Lean Construction
LPS	Last Planner System
NBR	Normas Brasileiras
PCP	Planejamento e Controle de Produção
PPC	Porcentagem do Plano Concluído
STP	Sistema Toyota de Produção
TQC	Total Quality Control
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
1.2	Justificativa.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	<i>Lean Production</i>	16
2.1.1	O sistema de produção em massa	16
2.1.2	A origem da produção enxuta	17
2.1.3	Os pilares do Sistema Toyota de Produção	18
<u>2.1.3.1</u>	<u>Just in time</u>	<u>18</u>
<u>2.1.3.2</u>	<u>Jidoka ou Automação</u>	<u>18</u>
<u>2.1.3.3</u>	<u>Estabilidade Operacional e cultura</u>	<u>19</u>
2.1.4	Ferramentas para o Lean Production	19
2.2	<i>Lean Construction</i>.....	21
2.2.1	O método convencional e a construção enxuta.....	22
2.2.2	Os desperdícios na filosofia Lean.....	23
2.2.3	Last Planner	24
<u>2.2.3.1</u>	<u>Pull Plan</u>	<u>26</u>
<u>2.2.3.2</u>	<u>Look-Ahead Plan</u>	<u>26</u>
<u>2.2.3.3</u>	<u>Programação Semanal.....</u>	<u>26</u>
<u>2.2.3.4</u>	<u>Reuniões diárias.....</u>	<u>27</u>
2.2.4	Linha de Balanço.....	27
2.2.5	Takt-Time	28
2.3	O uso de jogos para o ensino do <i>Lean Construction</i>	29
2.3.1	<i>Design Thinking</i> para elaboração de jogos	31
3	METODOLOGIA	32
3.1	Etapa da Empatia.....	32
3.2	Etapa da definição do problema	32
3.3	Etapa da Idealização	33
3.4	Etapa da prototipação.....	33
3.5	Etapa da Validação.....	38
4	RESULTADOS OBTIDOS	40

5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Com o fim da segunda guerra mundial e a devastação das indústrias de produção, as fábricas japonesas buscaram implantar inúmeras mudanças e melhorias no seu processo produtivo. Nesse cenário de recuperação, a *Toyota Motor Corporation*, fundada em 1937, adotou sistemas de manufatura que tornaram as suas fábricas mais produtivas e eficientes para competir no mercado internacional (OHNO, 1997).

O engenheiro Taiichi Ohno e sua equipe foram os responsáveis pela implantação das mudanças nas fábricas da Toyota, que tinham como objetivo entregar um produto com preço acessível, de alta qualidade e agilidade na fabricação e entrega. Para isso, foram adotados métodos que reduziam desperdício de tempo e material, resultando em um meio de produção enxuta. Essa forma de produção foi denominada *lean manufacturing* e compõe o Sistema Toyota de Produção (STP).

Após algumas décadas de comprovação da eficiência do modelo enxuto de fabricação, em 1992, Lauri Koskela publicou um relatório científico pela Universidade de Stanford intitulado “*Application of the New Production Philosophy to Construction*”, a fim de implementar essas melhorias no setor da construção, adaptando os princípios do STP e sendo precursor do que viria a se tornar o *Lean Construction* (construção enxuta).

Ao longo da década de 90, a filosofia que Koskela sugeriu foi estudada, revisada e complementada e foram elaboradas várias ferramentas para o gerenciamento da construção. Em 2000, Herman Glenn Ballard publicou junto à Universidade de Birmingham sua tese de doutorado “*The Last Planner System of Production Control*”, que veio a se tornar uma ferramenta importante para a aplicação da filosofia *Lean*. Outra ferramenta que dita a filosofia é o conceito de *Just in Time*. Ambos serão abordados bem como demais conceitos.

Para compreender melhor a importância do estudo do *Lean Construction* é importante entender o contexto da construção civil e a sua representatividade. A indústria da construção civil no Brasil é responsável pela geração de R\$288 bilhões em incorporação, construção e prestação de serviços de construção, empregando mais de 1,9 milhões de pessoas e composta por mais de 125 mil empresas. Os gastos com mão de obra e consumo de materiais representam cerca de 56,4% da estrutura de custos e despesas da indústria da construção civil. Dentro desse cenário pode-se

entender a importância fundamental da gestão dos recursos para a otimização da indústria (IBGE, 2021).

Apesar da representatividade e importância da construção civil na economia brasileira, o setor é um dos mais atrasados na indústria, com baixa produtividade e ineficiente do sistema de produção. A falta de planejamento, gerenciamento ineficaz, falha nas comunicações, escassez de mão de obra especializada, sistema construtivo ultrapassado e de baixa produtividade, pouca ou ausência de responsável com conhecimento técnico e a falta de elaboração de relatórios de avaliação de serviço periódico são os maiores geradores de desperdício e tempo na cadeia produtiva da construção civil, resultando em retrabalho atraso na entrega do produto.

Conforme Nassar (2002), o uso de jogos de simulação para fins didáticos tem tido bons resultados quando usados juntos do ensino tradicional para transmissão e assimilação de conceitos, pois aproximam o jogador da realidade e tornam o ensino mais prático e tangível.

Dentro do contexto das deficiências na indústria da construção civil no Brasil e os benefícios já comprovados da produção enxuta, este trabalho irá estudar os conceitos e ferramentas do sistema Lean Construction. A partir disto, aplicando um jogo interativo, será transmitido o conhecimento acerca da filosofia enxuta e validado, a partir do desempenho dos jogadores, se estes foram assimilados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a assimilação de conhecimento transmitido por meio de um jogo didático sobre a metodologia *Lean Construction* para os alunos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos secundários, o trabalho pretende:

- Estudar a filosofia *Lean Construction* bem como suas ferramentas e métodos;

- Realizar um jogo para transmitir conhecimentos acerca da produção enxuta;
- Validar se os conhecimentos foram assimilados pelos participantes.

1.2 Justificativa

Os cursos de engenharia no Brasil, de forma geral, possuem uma alta taxa de evasão. As causas para esse problema são diversas, porém dentro desse cenário, 14% dos estudantes não terminam seus cursos por conta da desmotivação de estudar devido ao emprego de práticas de ensino tradicionais e ultrapassadas (REIS; CUNHA; SPRITZER, 2012).

Com a crescente demanda do mercado para o modelo de construção enxuta, muitos professores buscam diferentes métodos de ensino da filosofia *lean* a fim de promover a fixação do conteúdo, interação entre os alunos, a interdisciplinaridade, estimular a criatividade e tomada de decisão (TORTORELLA *et al.*, 2020 *apud* VIANA; SANTOS; VASCONCELOS, 2022).

A deficiência do processo produtivo, como por exemplo a visão do planejamento de longo, médio e curto prazo, gestão de estoque de materiais e equipamentos etc. tradicionalmente faz com que a atenção do gestor do canteiro de obras fique nas atividades que não agregam valor, aumentando a atividade do tipo “apagar incêndio”, ao invés de direcionar a atenção para planejamento de médio e curto prazo dos futuros processos produtivos.

Desta forma, a introdução da filosofia de *Lean Construction* nos processos construtivos foi uma alternativa adotada por diversas empresas para melhoria do planejamento de obra e gestão de projetos em canteiro de obra. O método consiste no planejamento e elaboração de cronograma de obra para redução dos desperdícios de materiais, melhoria do planejamento e da qualidade do produto final, por meio da adoção das ferramentas *Last Planner*, Linha de Balanço e *Takt Time*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para que o jogo possa ser desenvolvido e aplicado, é necessário que se compreenda a filosofia Lean, a motivação para sua criação, seus conceitos e a sua adequação para a indústria da construção civil. Por isso, nessa seção será exposta uma revisão teórica a respeito do assunto, bem como o uso de jogos de simulação podem contribuir para o ensino tradicional no objetivo de fixar aprendizados e promover o desenvolvimento de tomada de decisão e análise de riscos.

2.1 *Lean Production*

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, no início da década de 50, a infraestrutura e a economia japonesa estavam completamente devastadas, com aproximadamente 80% das indústrias destruídas. Por meio da parceria econômica entre Estados Unidos e Japão, a economia japonesa começou a reestruturação. O investimento em equipamento de capital triplicou para 30% do PIB e o país investiu em pesquisas e tecnologias para modernização das indústrias de produção (VALE, 1992).

Diante desse cenário de renovação da economia, a indústria automobilística estava prestes a inovar a indústria de bens de consumo. Para Ohno (1997, pg. 9) “O Sistema Toyota de Produção evoluiu da necessidade. Certas restrições no mercado exigiram a produção de pequenas quantidades de muitas variedades sob condições de baixa demanda”. A partir dessa necessidade foram desenvolvidos e estruturados os princípios do *Lean Production*.

2.1.1 O sistema de produção em massa

A indústria automobilística possui um papel importante no que se refere à produção, tecnologia e controle de qualidade na produção de bens. Ela é capaz de alterar o que e como consumimos e produzimos. A montadora *Ford Motor Company*, em meados de 1910 deu início a uma revolução para a época, o chamado sistema de produção em massa, que consistia em diminuir o custo unitário conforme se aumenta o volume de produção de automóveis (WOMACK; JONES; ROSS, 2004).

O sistema da Ford se tornou referência em produção para a indústria. Uma das estratégias adotadas para diminuir o tempo de montagem de um automóvel foi a linha de produção, onde o profissional responsável não se deslocava pelos postos de trabalho, poupando tempo e acelerando o processo de montagem. Quanto mais unidades eram produzidas, menor se tornava o custo de produção de cada veículo. No início do ano 1920 a Ford conseguiu diminuir 2/3 do custo real para o consumidor (WOMACK; JONES; ROSS, 2004).

A fim de atingir a alta produtividade, as fábricas da Ford precisavam manter um grande estoque de insumos para abastecer suas máquinas e mantê-las funcionando em máximo nível de produção. Este fato, somado ao fluxo empurrado de produção, geravam defeitos na construção dos veículos na linha de montagem que passavam despercebidos, fazendo com que entregassem produtos de menor qualidade (HOWELL, 1999).

2.1.2A origem da produção enxuta

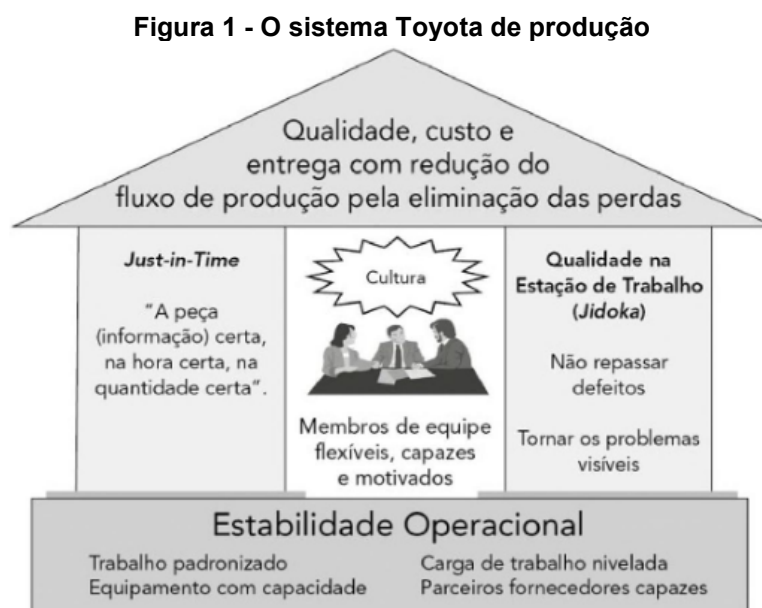
A produção enxuta é o conjunto de princípios desenvolvidos pela *Toyota Motor Corporation*, no Japão, sob a liderança do engenheiro Taiichi Ohno. A motivação para o desenvolvimento destes princípios foi a busca pela redução dos custos da cadeia produtiva por meio da melhoria operacional e diminuição de desperdício de material e mão de obra (PÁDUA, 2014).

Ao contrário do sistema produtivo empregado pela Ford nos Estados Unidos, o que Ohno buscava para a Toyota com a produção enxuta não era baseado no sistema de produção em massa, mas sim um sistema baseado na produção de pequenos lotes de produtos, quase como se a produção fosse exclusiva para cada cliente. Dessa forma não havia geração excessiva de estoque nem desperdício, permitindo que o controle de qualidade seja mais rígido e realizando uma entrega instantânea (HOWELL, 1999).

Para Ohno (1997) a principal diferença entre os sistemas de fordismo e Toyotismo, é que o primeiro entrega uma produção empurrada, onde a indústria produz sob máximo funcionamento das máquinas e espera que o mercado absorva. Já o segundo produz sob uma demanda puxada, ou seja, é produzido somente o necessário conforme as linhas de produção dão o comando, evitando superprodução. Dessa forma, é o cliente quem dá a demanda, e não a fábrica.

2.1.3 Os pilares do Sistema Toyota de Produção

Segundo Liker (2022), para que a Toyota atingisse o objetivo de entregar um automóvel com maior qualidade, menor custo e menor tempo de produção (*lead time*), 4 elementos são essenciais e estão representados na Figura 1.



2.1.3.1 Just in time

Quem concebeu a ideia originalmente foi Toyoda Kiichiro, o fundador da Toyota. Conforme Ohno (1997, p.131), o conceito *just in time (JIT)* significa “a possibilidade de adquirir produtos na hora e na quantidade necessárias, o desperdício, as irregularidades e as irracionalidades podem ser eliminados e a eficiência aperfeiçoada”.

2.1.3.2 Jidoka ou Autonomia

O conceito é atribuído a Sakichi Toyoda, quando no início do século XX inventou uma máquina de fiação (tear) que quando identificava um fio solto, parava a produção imediatamente. Esse processo automático auxiliava para que um operador pudesse supervisionar várias máquinas simultaneamente sem que o erro se

alastrasse. Esse processo transfere inteligência humana para a máquina (WOMACK; JONES, 2004).

2.1.3.3 Estabilidade Operacional e cultura

O alicerce para os dois princípios anteriores é a estabilidade operacional, gerando um fluxo de trabalho estável e nivelado (LIKER, 2022). Para o autor, esse princípio é essencial para que a produção não pare, ou seja, resolver os problemas à medida que eles aparecem, assim mantendo o fluxo exigido pelo JIT.

Ainda para Liker (2022), a cultura da empresa deve ser de pessoas flexíveis, capazes e motivadas, dedicadas à melhoria contínua. Elas são o cérebro da operação que executam a solução de problemas.

2.1.4 Ferramentas para o Lean Production

Existem ainda alguns outros conceitos que fazem parte do sistema enxuto de produção e visam evitar desperdícios. São bem definidos, porém abordados por diversos autores.

Segundo Ohno (1997), *Kanban*, ou “etiqueta” é uma maneira simples de comunicar o quanto a produção deve avançar, geralmente feita em um pedaço de papel. O *kanban* é necessário para que o JIT tenha um fluxo contínuo. Conforme Ghinato (1996) existem 5 regras para a aplicação do *kanban*, são elas:

1. O processo subsequente deve retirar, no processo precedente, os produtos necessários, nas quantidades necessárias e no ponto necessário em tempo;
2. O processo precedente deve produzir seus produtos nas quantidades requisitadas pelo processo subsequente;
3. Produtos com defeitos não devem ser enviados ao processo subsequente;
4. O número de *Kanbans* deve ser minimizado;
5. *Kanban* é usado para adaptar pequenas flutuações na demanda. (MONDEN, 1984 apud GHINATO, 1996)

Pela definição de Womack e Jones (2004), *Kaizen* é uma filosofia de melhoria contínua, que é implementada a partir da geração de valor por meio da redução de desperdícios.

Segundo a Factory Magazine (1989, p. 11) o conceito por trás do *Poka-Yoke* já existia, porém foi o engenheiro Shigeo Shingo quem desenvolveu o método para o ambiente de produção. O método ficou conhecido como “*fool-proofing*” (à prova de

tolos), porém para não ser degradante aos operários, Shingo o definiu como “*mistake-proofing*” (à prova de erros). De acordo com Shingo (1996), o *Poka-Yoke* trata-se de uma ferramenta que, por meio de comparação com um molde, avalia se determinado produto foi montado de forma incorreta, e pode tanto parar a linha de montagem, quanto avisar ao operário que algo está fora do padrão. Essa ferramenta trabalha em conjunto com o pilar de *Jidoka*.

De acordo com Womack e Jones (2004) o *takt time* sincroniza a velocidade de produção à velocidade de venda para o cliente. O objetivo é medir quanto tempo leva para a montagem de determinado produto e ajustar o fluxo de produção para que sempre siga esse tempo, visando reduzir o custo e o risco de antecipação de vendas. Esse conceito está associado ao *just in time* (SURI, 1998).

O 5s fazem parte da filosofia *Kaizen* e tem o objetivo de eliminar atividades que não agregam valor à produção. De acordo com Visco (2015), cada “s” significa uma palavra em japonês. As palavras e seus respectivos significados são seiri (utilização), seiton (organização), seiso (limpeza), seiketsu (saúde e higiene e shitsuke (disciplina).

Segundo o autor, esses pilares trazem vários benefícios para a produção, como economia de tempo buscando por ferramentas, reduz a necessidade de deslocamento para realizar tarefas, aumenta a segurança, aumenta a confiabilidade no equipamento com o qual se trabalha, libera espaço na fábrica e ajuda a assentar as fundações para a melhoria contínua.

Segundo Ohno (1997), nas fábricas da Toyota, quando um erro surgia, o método dos 5 porquês era usado. Ele consiste em fazer 5 perguntas a fim de encontrar a raiz do problema e corrigi-lo. De acordo com o autor, se não se chegar a raiz, apenas um fusível seria trocado, porém em alguns meses o problema voltaria. Ohno dá um exemplo de como realizar as perguntas.

1. Por que a máquina parou?
Porque houve uma sobrecarga e o fusível queimou.
2. Por que houve uma sobrecarga?
Porque o mancal não estava suficientemente lubrificado.
3. Por que não estava suficientemente lubrificado?
Porque a bomba de lubrificação não estava bombeando o suficiente.
4. Por que não estava bombeando suficientemente?
Porque o eixo da bomba estava gasto e vibrando.
5. Por que o eixo estava gasto?
Porque não havia uma tela acoplada e entrava limalha (OHNO, 1997).

Ao praticar esse método, é possível chegar à real causa do problema. Ainda, é possível que se chegue na causa mesmo em menos perguntas.

2.2 Lean Construction

Segundo Sarcinelli (2008), a construção civil de maneira geral funciona sob um modelo de produção ineficiente, famoso por gerar altos índices de desperdícios, altos custos, baixa qualidade e resistente à inovação, conservando métodos e processos antigos.

A indústria da construção civil tem dificuldades e resiste a incorporar inovações propostas por outras indústrias, como a automotiva, isso porque nas linhas de produção, são fabricadas peças pequenas que ao serem montadas formam um todo. Já a construção civil desenvolve projetos mais complexos em meio a um ambiente cheio de incertezas e variações que afetam os cronogramas gerando pressão para entrega dos projetos (HOWELL, 1999).

Koskela (1992), observa os avanços conquistados pela filosofia *lean* e em seu artigo “*Application of The New Production Philosophy to Construction*” lança as bases do que viria a se tornar o *Lean Construction*. Segundo o autor, na década de 1980 muitos livros foram publicados analisando e explicando o método enxuto de produção, e no início dos anos 1990 esse método já estava sendo aplicado em vários setores da indústria. Para Koskela, dois conceitos formam base para a aplicação da nova filosofia para a construção, são eles o *Just in Time* e *Total Quality Control (TQC)*.

Para Howell (1999), os princípios *lean* são os mesmos independente do setor nos quais são aplicados. A busca pela perfeição despertada em Ohno em sua experiência na Toyota por meio da eliminação de desperdícios e de atividades que não geram valor, são a motivação para a adaptação da filosofia para a construção.

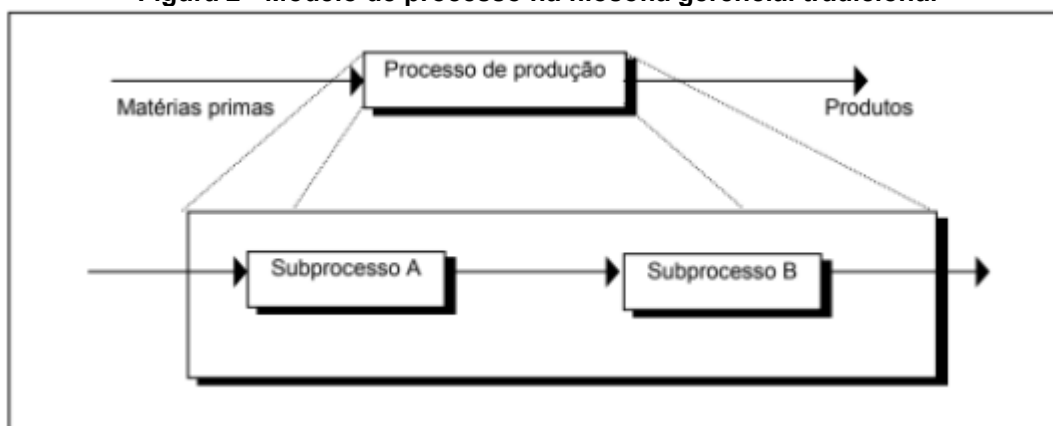
Dessa forma, no início da década de 90 iniciou-se um esforço por parte de diversos estudiosos, professores e entusiastas afim de desenvolver e propagar a filosofia *lean construction*. Desse esforço surgiu o *International Group for Lean Construction* cujo objetivo é reunir conhecimentos e discutir ideias para processos, educação e pesquisas para uma mudança radical e implantação da nova filosofia. Anualmente são realizados congressos internacionais sediados em vários países, organizados pelo IGLC. Os estudos que são apresentados nesses congressos estão

registrados no site oficial do grupo, dentre os quais encontram-se autores muito relevantes como Lauri Koskela, Gregory Howell e Glenn Ballard (IGLC, 2012).

2.2.1 O método convencional e a construção enxuta

Para Sarcinelli (2008), a principal diferença entre o método convencional de gestão e o método enxuto é conceitual. O método convencional de construção, ou método de conversão, realiza o gerenciamento por meio de atividades de conversão, que transformam insumos em produtos intermediários, como alvenaria e estrutura, ou finais, como a edificação em si. Por conta disso, quando há minimização nos custos, ela ocorre somente em subprocessos e seus insumos, e não no projeto como todo. Além disso, o método de conversão não considera as atividades que possuem processos que não agregam valor e são intrínsecas ao modelo, como transporte, espera por material, retrabalhos, entre outros (FORMOSO, 2002).

Figura 2 - Modelo de processo na filosofia gerencial tradicional



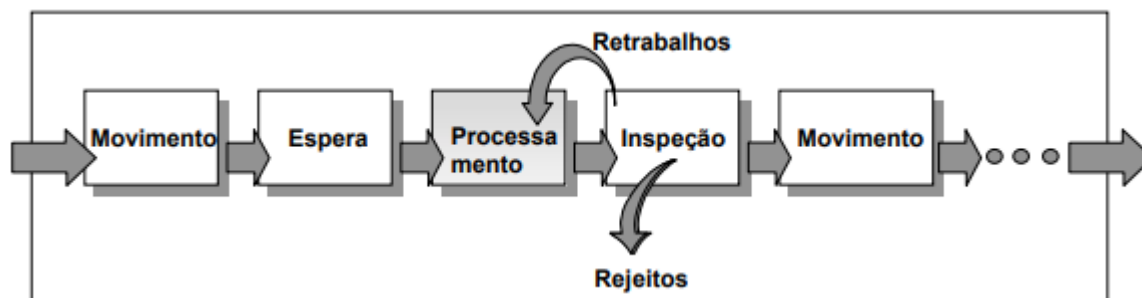
Fonte: Formoso (2002, p. 3)

Já no modelo de construção enxuta, o processo assumido consiste no fluxo de materiais de toda a execução do modelo, desde a matéria prima até o produto final, sendo considerado o transporte, espera, processamento e inspeção. Além do processamento, as demais atividades não agregam valor, e por isso são chamadas de atividades de fluxo. A diferença com relação ao modelo tradicional é que as atividades são divididas em:

- a) Atividades que geram valor;
- b) Atividades que não geram valor, porém são necessárias;
- c) Atividades que não geram valor e, portanto, devem ser eliminadas do processo (MAIA FILHO, 2019).

É possível identificar esses processos conforme mostrado na Figura 3:

Figura 3 - Modelo de processo da Construção Enxuta



Fonte: Koskela (1992)

Ainda, segundo Koskela (2000), mesmo que haja processos envolvidos na produção que não geram valor, o objetivo é aprimorar essas atividades para que haja menos desperdício de tempo e insumos. Segundo o autor, os princípios mais importantes para o conceito de fluxo na produção e que indicam os fundamentos na busca da melhoria são:

- a) Reduzir a quantidade de atividades que não agregam valor;
- b) Reduzir o *lead time*;
- c) Reduzir a variabilidade;
- d) Minimizar o número de passos;
- e) Aumentar a flexibilidade;
- f) Aumentar a transparência do processo (KOSEKLA, 2000).

O principal objetivo da filosofia *lean* é a diminuição de desperdício por meio de agregação de valor. Tendo isto em vista, na construção enxuta:

O conceito de valor está diretamente vinculado à satisfação do cliente, não sendo inerente à execução de um processo. Assim, um processo só gera valor quando as atividades de processamento transformam as matérias primas ou componentes nos produtos requeridos pelos clientes, sejam eles internos ou externos (FORMOSO, 2002).

Já para Koskela (2000), no modelo de conversão o princípio cerne da geração de valor está associado à economia em cada parte do processo. “O custo total do processo pode ser minimizado minimizando o custo de cada subprocesso”. Mediante a isto, pode-se observar que a diferença entre os dois métodos é conceitual.

2.2.2 Os desperdícios na filosofia Lean

Ohno (1997) estabeleceu 7 erros que causam desperdício na produção, não agregando valor e gerando custos desnecessários. Posteriormente, observaram-se 8 erros, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Os oito desperdícios Lean



Fonte: Marques (2020)

2.2.3 Last Planner

A forma mais eficaz de aumentar a produtividade e eficiência no setor da construção civil é melhorar o planejamento e controle de produção. O estudo nesta área iniciou-se na década de 90 com os estudos e conceitos desenvolvidos pelos Ballard e Howell e é conhecido como *Last Planner System of Production Control* (LPS) (BALLARD, 1994).

Um empreendimento na construção civil possui diversas etapas construtivas em sequência e independente, cada uma com necessidade de fornecimento de material e mão de obra qualificada, e se for o caso a prévia conclusão da etapa anterior. Para Bernardes (2001), a construção civil é imprevisível, complexa e incerta, sendo conduzida, na maioria das vezes, por planejamento informal e desorganizado. A crença de que um engenheiro civil com conhecimento técnico e experiência é suficiente para garantir uma boa gestão de obra não é verdadeira, e por isso há uma forte necessidade de implementar um método de gestão e gerenciamento de obra.

Segundo Grohmann (1998), os desperdícios de materiais em canteiro de obra podem ser explicados pela falta de mão de obra qualificada e ausência de orientações técnicas. Os setes fatores que influenciam a produtividade e desperdício de materiais na construção civil são:

- a. Deficiências de projeto e planejamento que dificultam a construção da obra e que, normalmente, são causados pela falta de detalhamento no projeto;
- b. Ineficiência da gestão administrativa que enfatiza a correção dos problemas ao invés da prevenção dos mesmos. Isto ocorre devido ao pouco envolvimento dos administradores com o processo produtivo;
- c. Métodos ultrapassados e/ou inadequados de trabalho que não observam as experiências advindas de projetos anteriores, o que ocasiona a repetição dos erros;
- d. Pouca vinculação da obra com as atividades denominadas de apoio, como: compras, estoques e manutenção;
- e. Problemas com os recursos humanos decorrentes da pouca especialização da mão-de-obra e alta taxa de turnover do setor;
- f. Problemas com a segurança dos trabalhadores gerados, principalmente, pelo não fornecimento e/ou uso dos equipamentos de proteção individual ou coletivo;
- g. Deficiências dos métodos utilizados para o controle de custos projetados e executados (SURPELL, 1993 *apud* GROHMANN, 1998).

Os custos em retrabalho na construção civil variam entre 1% a 10% dos custos totais dos empreendimentos. Desta forma, estima-se que dos US\$1,7 trilhões de investimentos de 2014 os custos adicionais causados por retrabalho na indústria da construção civil nos Estados Unidos da América representam perdas anuais de US\$85 bilhões. (MASTENBROEK, 2010; CONSTRUCTION INDUSTRY INSTITUTE, 2013 *apud* MELLO; BANDEIRA; BRANDALISE, 2018). Considerando a mesma proporção para a indústria da construção civil brasileira, os custos provenientes dos retrabalhos são estimados em aproximadamente R\$ 15,1 bilhões, uma vez que os investimentos no setor foram de R\$ 302,5 bilhões em 2021 (IBGE, 2022).

Ballard (1994) afirma que o meio mais eficaz para melhorar a eficiência do setor da construção civil é investir em pesquisas relacionadas às melhorias do modelo do planejamento e controle de produção (PCP), ferramentas desenvolvidas por Ballard e Howell (1997). Uma vez que o sistema tradicional de construção foca na elaboração de um único cronograma com visão de longo prazo, o Sistema *Last Planner* visa introduzir planejamento com foco operacional com horizonte de tempo de curto e médio prazo, aumentando o desempenho do PCP.

O *Last Planner* não elimina a necessidade de elaboração do plano mestre de obra - planejamento de longo prazo -, mas permite uma visão geral do plano de gerenciamento de obra, a partir da identificação das etapas produtivas, sequenciamento do trabalho, definição do ritmo e duração do trabalho (PIVETI, 2022).

2.2.3.1 Pull Plan

O *Pull Planning* tem como objeto estabelecer as fases de planejamento de projeto por meio do estudo e análise das diferentes etapas construtivas de médio prazo para definição de um planejamento mais eficiente operacionalmente e financeiramente. É realizado as listagens dos planejamentos e o meio de transição das atividades de forma detalhada. A partir do prazo do projeto são definidos fluxos e sequência de trabalho, ou seja, o ritmo de produção (PIVETI, 2022).

2.2.3.2 Look-Ahead Plan

O *Look-Ahead Plan* tem como objetivo garantir a estabilidade básica da produção, por meio da identificação da falta de insumos, materiais, equipamentos, mão de obra, falta de documentação ou alterações de projetos. As soluções desses obstáculos exigem a participação do gestor da obra e requer mais tempo. Esse planejamento possui horizonte de tempo de médio prazo, entre 2 a 6 semanas (PIVETI, 2022).

2.2.3.3 Programação Semanal

A Programação Semanal ou Plano de Comprometimento possui maior nível de detalhamento e listam as atividades a serem executadas com base na seleção de atividades exequível definido pelo gestor, e atribuem pacotes de trabalho às equipes de produção. A programação busca identificar os problemas e direcionamento de controle de produção, reduzindo as incertezas relativas à falta de insumos e mão de obra (IAROSINSKI, 2020).

As atividades gerenciais, necessidades físicas (materiais e equipamentos), financeira e informações de projeto. Os principais grupos de restrição em canteiro de obra são: mão de obra, materiais, equipamentos, projeto, planejamento, interferência do cliente e fornecedores.

Além da definição da programação semanal de atividades, nessa etapa é calculado a Porcentagem do Plano Concluído (PPC).

2.2.3.4 Reuniões diárias

As reuniões diárias têm como objetivo verificar, controlar e avaliar as atividades executadas diariamente e relacionar com os itens estipulados na Programação Semanal de Obra. Dessa forma, o gestor da obra poderá identificar se as atividades foram executadas corretamente conforme a programação e, em caso de desvios é possível criar planos de ação rápida para solucionar o problema.

Segundo Piveti, o *Last Planner* permite uma visão mais ampla do planejamento por meio da divisão das atividades com base na linha de tempo de execução, fornecendo as atividades de longo prazo de forma enxuta e os detalhes essenciais das atividades operacionais de curto e médio prazos (PIVETI, 2022).

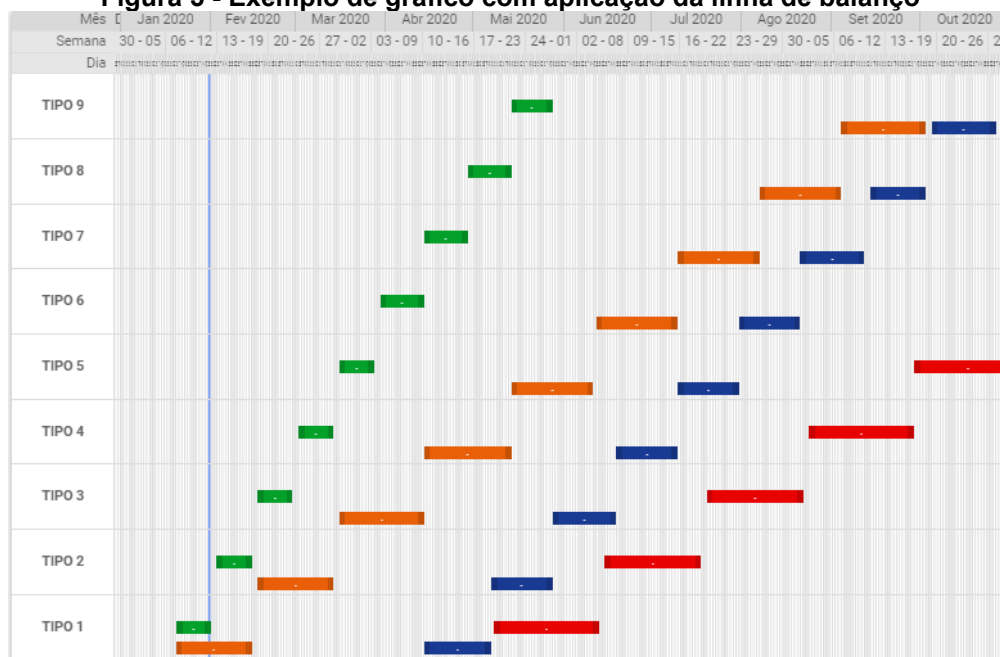
2.2.4 Linha de Balanço

O estudo nesta área iniciou nos anos 1940, na linha de produção industrial da empresa *Goodyear* e posteriormente, na década de 1950, a técnica foi desenvolvida pela Marinha dos Estados Unidos para controle e programação de projetos.

A linha de balanço é a ferramenta de planejamento e controle de prazo com método de calendarização que permite a visualização do fluxo de trabalho do projeto e construção por meio dos diagramas com linhas para representar execuções de diferentes tipos de trabalho, em determinados ambientes e período de tempo. Esse método é derivado do gráfico de barras (Gantt), inserindo no eixo vertical os pavimentos e no eixo horizontal o ritmo de avanço dos pavimentos (MONTEIRO; MARTINS, 2011).

É um método muito utilizado para planejamento de obras consideradas lineares, com processos produtivos repetitivos, como edifícios de múltiplos pavimentos, conjuntos habitacionais, túneis, estradas, obras de infraestrutura de redes de saneamento etc. O objetivo principal é o atendimento do cronograma e financeiro da obra conforme demonstrado na Figura 5 (SCHMITT, 1992 *apud* PRADO, 2002).

Figura 5 - Exemplo de gráfico com aplicação da linha de balanço



Fonte: Losekann (2020)

2.2.5 Takt-Time

Takt-Time é um conceito de produção da filosofia Lean e significa ritmo de produção, buscando sincronizar o tempo de produção de acordo com as demandas de trabalho. O *takt-time* é definido a partir da demanda do mercado e o tempo disponível para produção, ou seja, o ritmo de produção necessário para atender a demanda de mercado. Matematicamente é representado pela razão entre o tempo disponível para produção e o número de unidades a serem produzidas (ALVAREZ; ANTUNES, 2001).

Segundo Alvarez e Antunes (2001), o *takt-time* pode ser entendido como o tempo de produção que determina o fluxo de materiais na linha de produção ou execução de atividades, e está relacionado diretamente com a Função Processo, por se tratar de fluxo dos materiais ao longo do processo produtivo no tempo e espaço.

A programação do *takt-time* na construção civil é realizada por fases a partir do modelo *Pull Planning*, na qual é estabelecido as listagens das atividades de longo prazo. Todas as sequências de atividades posteriores são definidas a partir do *takt-time* das atividades de cada etapa produtiva, de acordo com a produtividade da equipe, número de mão de obra, tempo de trabalho, cronograma de entrega de materiais, tempo de transição entre as atividades e demanda do mercado para entrega do produto final (ALVAREZ; ANTUNES, 2001).

2.3 O uso de jogos para o ensino do *Lean Construction*

Segundo Nassar (2002), os jogos de simulação já têm sido usados para fins didáticos e são capazes de apresentar uma nova dinâmica ao processo de aprendizado. Esses tipos de jogos são capazes de simular situações da vida profissional real e desenvolver uma porção de habilidades para quem participa, como por exemplo a tomada de decisões e gerenciamento. Para o autor, o uso de jogos não substitui o ensino teórico tradicional, porém deve ser usado de forma a complementar o ensino, pois facilita o entendimento e faz com que quem participa se envolva e queira ir bem no jogo, assim absorvendo o conteúdo teórico ensinado em sala de aula.

Nota-se que durante uma partida de jogo, seja ela qual for, os participantes estão empenhados em entender as regras e traçar a melhor estratégia para alcançar a vitória ou a conquista do objetivo final. Ao se encerrar a partida, é comum que os participantes do jogo façam constatações sobre suas escolhas, se o resultado delas trouxe um encerramento positivo ou negativo, se fariam algo diferente e como o fariam. (MORATORI, 2003 *apud* ROMANEL, 2009). Esses questionamentos típicos da simulação e dos jogos são muito importantes pois são capazes de estimular a criatividade, o pensamento crítico e a busca por soluções que trarão resultados mais positivos (ROMANEL, 2009).

Dentro das conferências anuais organizadas pelo IGLC, entre 2017 e 2021, alguns artigos foram publicados abordando o desenvolvimento e experimento com jogos de simulação para ensino das metodologias *Lean Construction* e foram catalogados conforme observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Resumo de artigos sobre jogos e simulações de Lean Construction

AUTOR	ANO	NOME DO ARTIGO
Pollesch, P., Rovinsky, A., Alvarado III, R. & Alves	2017	A Simulation of Lean Construction Principles
Binninger, M., Dlouhy, J., Oprach, S. & Haghsheno, S.	2017	Learning Simulation Game for Takt Planning and Takt Control
Raghavan, N., Varghese, K., Mahalingam, A. & Delhi, V. S.	2018	Simulation Exercise for Collaborative Planning System / Last Planner System (COLPLASSE)
Jacobsen, E. L., Strange, N. S. & Teizer, J.	2021	Lean Construction in a Serious Game Using a Multiplayer Virtual Reality Environment
Pütz, C., Lühr, G. J., Wenzel, M. & Helmus, M.	2021	Potential of Gamification for Lean Construction Training: An Exploratory Study
Rybkowski, Z. K., Alves, T. C. L. & Liu, M.	2021	The Emergence and Growth of the on-Line Serious Games and Participatory Simulation Group "APLSO"
Cisterna, D., Hergl, M., Oprach, S. & Haghsheno, S.	2021	Digitalization of Lean Learning Simulations: Teaching Lean Principles and Last Planner® System
Obulam, R. & Rybkowski, Z. K.	2021	Development and Testing of the 5S Puzzle Game
Bhatnagar, S. & Devkar, G.	2021	Development and Testing of a Simulation Game on Waste Elimination Using Lean Practices
Biotto, C. N., Herrera, R. F., Salazar, L. A., Pérez, C. T., Luna, R. M., Rodigheri, P. M. & Serra, S. M. B.	2021	Virtual Parade Game for Lean Teaching and Learning in Students From Brazil and Chile

Fonte: Os autores (2022)

2.3.1 *Design Thinking* para elaboração de jogos

A metodologia *design thinking*, tem se desenvolvido em todo o mundo e está fortemente ligada ao desenvolvimento de empresas, gestão e resolução de problemas. Isso porque atualmente as empresas têm se sentido ameaçadas diante do rápido avanço no campo da tecnologia e seus impactos na sociedade e no mercado. Segundo Vianna *et al.* (2012) o objetivo *design thinking* está em propor o rompimento com o raciocínio lógico linear da gestão e de solução de problemas centrados no usuário.

A primeira etapa do *design thinking* é a empatia, envolve pesquisas para compreender as necessidades e as motivações, identificando os problemas que envolvem e afetam a empresa, organização ou Instituição. É realizada uma a listagem dos problemas afim de identificá-los. (VIANNA *et. al*, 2012).

Em seguida, segundo Vianna *et al.* (2012), na etapa de definição dos problemas é realizada a interpretação e compreensão dos problemas, por meio da utilização de ferramentas que permitem o compartilhamento de ideias intuitivas dos participantes. É nessa fase que os problemas listados na etapa anterior são analisados detalhadamente, direcionando para compreensão e listagens dos itens a serem aprimorados.

O objetivo da terceira etapa, idealização, é gerar ideias inovadoras para o tema do projeto, estimulando a criatividade dos participantes para gerar soluções dos problemas listados na etapa anterior. Nesse momento, a equipe pode contribuir ao juntar as ideias por meio de perspectiva diferente, produzindo resultados mais ricos e aprimorados. (VIANNA *et. al*, 2012).

Na prototipação, quarta etapa do processo de criação, é realizado o auxílio das validações das ideias geradas, possibilitando a produção de informações valiosas dos detalhes da elaboração, junto a equipe do projeto, para visualização da interação do usuário com o problema analisado. Para Vianna *et al.* (2012) é possível identificar se o produto ou serviço está satisfazendo os usuários ou se apresenta aspectos que necessitam de ajustes.

Na quinta etapa, a validação, é realizada a validação dos problemas e soluções com foco na experiência do usuário para utilização do produto ou serviço, por meio de teste de jogo em sala de aula. O objetivo é refazer e analisar para aprimoramento contínuo da experiência do usuário. (VIANNA *et. al*, 2012).

3 METODOLOGIA

Na metodologia, será explicado como os conceitos do *Lean Construction* foram sintetizados para que pudessem ser usados no desenvolvimento e aplicação do jogo utilizando-se dos conceitos do *design thinking*.

3.1 Etapa da Empatia

Seguindo o processo do *design thinking*, na primeira etapa, a empatia, buscou-se compreender as necessidades do atual mercado da construção civil. A motivação da aplicação do sistema de gerenciamento *Lean* se dá por conta do alto desperdício de materiais e mão de obra, que são, em grande maioria, consequências de uma má gestão, resultando em gastos elevados e cronogramas defasados, ou ainda a inexistência deles. Foi identificado também que muitas vezes os gestores passam mais tempo corrigindo problemas e falhas do que de fato gerindo a obra.

3.2 Etapa da definição do problema

De acordo com a segunda etapa, definição dos problemas, foi interpretado como a universidade pode desenvolver um papel importante para promover o ensino da filosofia Lean e preparar melhor esses futuros profissionais. Entendeu-se que por muitas vezes o ensino apenas teórico pode não ser o suficiente para a fixação dos conceitos, principalmente para aqueles que não tem experiência no mercado de trabalho, ou ainda, mesmo aqueles que possuem experiência, porém trabalham sem um sistema de gerenciamento efetivo para gerir os desperdícios gerados dentro de um canteiro.

Além disso, foi estabelecido que um dos principais problemas da indústria da construção civil é a falta de padronização do sistema e métodos construtivos, sem a clara divisão das etapas, emprego de mão de obra não qualificada para execução de determinada atividade e a falta de planejamento físico e financeiro.

3.3 Etapa da Idealização

Através das pesquisas realizadas, entendeu-se que o uso de jogos de simulação pode agregar para a assimilação do conteúdo, desafiando os participantes a usar as ferramentas *Lean* na prática e entender como os conceitos são aplicados, gerando interesse e reflexões sobre como essa filosofia auxilia na redução de desperdícios.

A partir desse estudo, e dando sequência à etapa de idealização, decidiu-se pela aplicação de um jogo que pudesse simular duas situações de montagem de casas com blocos de montar, uma sem muitas instruções e organização, e outra simulando a filosofia *Lean*. O conteúdo teórico acerca da filosofia foi introduzido pelo professor Alfredo Iarozinski, que leciona a disciplina Gestão de Operações e Logística. Com isso, a atividade da montagem visa associar o conhecimento teórico com a prática, buscando facilitar a assimilação dos conceitos. Os princípios que se desejam ser transmitidos com a aplicação do jogo são os de uso de cronograma de obras, linha de balanço e ritmo de produção.

3.4 Etapa da prototipação

Para a prototipação, foi utilizado um kit contendo 44 peças de montar. Após ser definido qual seria o padrão de montagem, concluiu-se que seriam usadas somente 37 dessas peças. Como citado anteriormente, foi estabelecido que a montagem ocorreria de duas formas, uma simulando o sistema de gerenciamento convencional e outra simulando o sistema de gerenciamento *Lean*. Para a realização do jogo será necessário a participação de 5 voluntários, que serão os mesmos que irão participar da montagem dos dois sistemas.

Para o sistema convencional, as peças seriam fornecidas todas misturadas, não haveria distribuição de tarefas entre os participantes e a única instrução que eles receberiam seriam quatro imagens de ângulos diferentes da casa já montada, para que pudessem ter um referencial, conforme mostram as Figuras 6, 7, 8 e 9 a seguir.

Figura 6 - Vista frontal



Fonte: Os autores (2022)

Figura 7 - Vista lateral esquerda



Fonte: Os autores (2022)

Figura 8 - Vista lateral direita



Fonte: Os autores (2022)

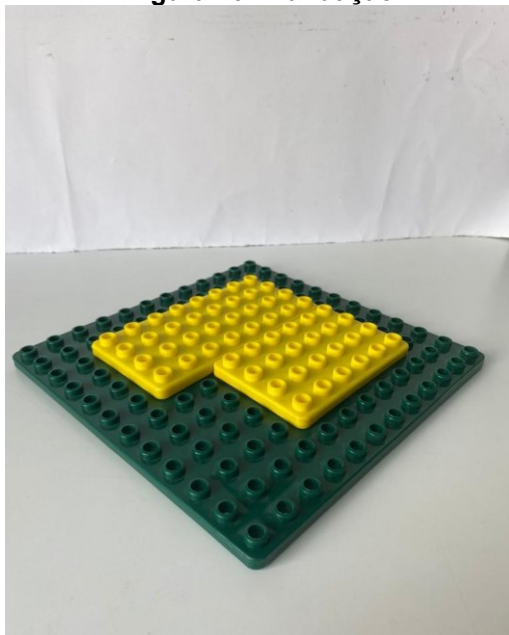
Figura 9 - Vista dos fundos



Fonte: Os autores (2022)

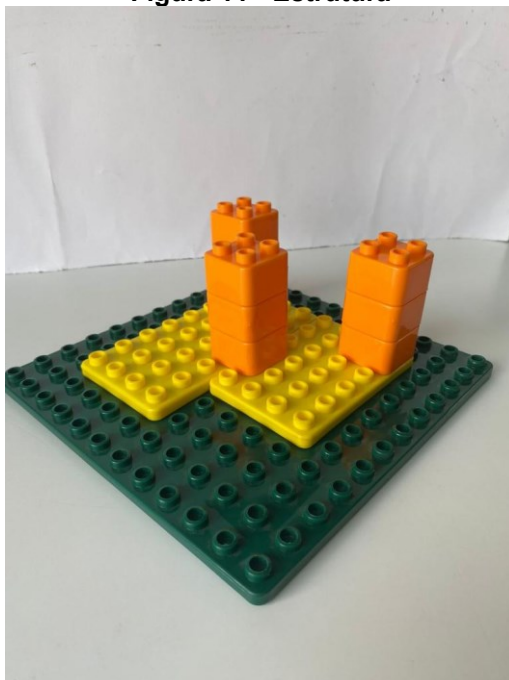
Já para a segunda montagem, serão usados os conceitos *Lean*. Para simular essa situação, a montagem da casa ocorrerá em cinco etapas divididas em: fundação, estrutura, vedações/esquadrias, lareira e cobertura. As peças serão fornecidas separadamente para cada uma das atividades. Além disso, cada participante receberá uma imagem referente a uma das etapas, conforme estão as Figuras 10, 11, 12, 13 e 14 a seguir.

Figura 10 - Fundação



Fonte: Os autores (2022)

Figura 11 - Estrutura



Fonte: Os autores (2022)

Figura 12 - Vedação/Esquadrias

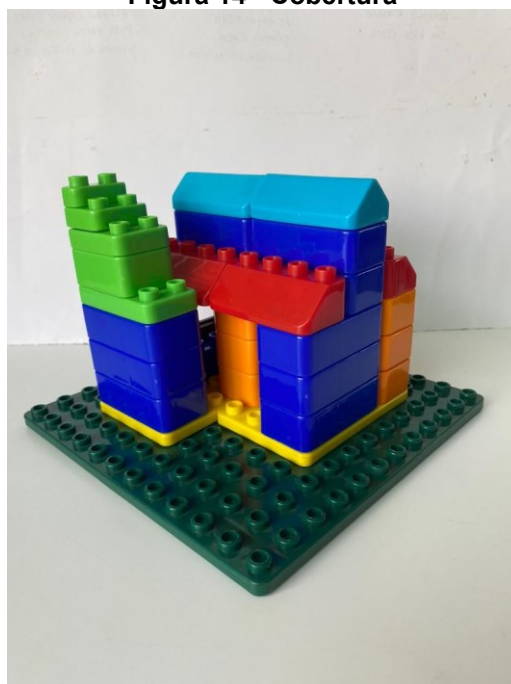


Fonte: Os autores (2022)

Figura 13 - Lareira



Fonte: Os autores (2022)

Figura 14 - Cobertura

Fonte: Os autores (2022)

Antes de levar o jogo para ser testado em sala de aula, foi medido quanto tempo em média demora para montar a casa em ambos os casos. No primeiro caso, mediu-se quanto tempo leva para a montagem completa pois não há separação em etapas. Já no segundo sistema de gerenciamento, mediu-se quanto tempo leva para a montagem de cada uma das cinco etapas, chegando num valor médio para posteriormente ser feita a linha de balanço.

3.5 Etapa da Validação

Por fim, seguindo o fluxo do *design thinking*, segue-se com a validação. Após ter definido como ocorreria a montagem do jogo, definiu-se que seria preciso 5 participantes, que terão que montar 5 casas, cada uma separa em uma mesa. Para a montagem seguindo o sistema de gerenciamento convencional, o grupo deve terminar uma casa para poder dar sequência na próxima e o tempo desde o início da montagem da primeira casa até o término da última casa será cronometrado e anotado para análise de resultados.

Já no segundo sistema, a montagem da casa segue a linha de balanço, após o participante responsável pelo primeiro processo finalizar a primeira casa, ele se direciona para a próxima unidade. O segundo participante, responsável pelo segundo processo, entra então para execução de sua tarefa na primeira unidade. Esse fluxo

de trabalho continua desde o primeiro participante iniciar seu processo na primeira unidade até o último participante finalizar o último processo na última unidade. Também é cronometrado e anotado o tempo para realização dessas atividades que serão analisados posteriormente.

Após a realização do jogo, a turma é convidada a responder um questionário para que avaliem quais conceitos *Lean* foram possíveis observar durante a aplicação e quanto isso os ajudou a assimilá-los. A partir das respostas e da cronometragem dos tempos para montagem, será validado o quanto a aplicação do jogo para auxiliar no ensino da filosofia *Lean*.

4 RESULTADOS OBTIDOS

O jogo foi apresentado a uma turma de 15 alunos do 5º período do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, na disciplina de Gestão de Operação e Logística, ministrada pelo professor Alfredo Iarozinski

Para a realização da montagem, cinco alunos foram escolhidos aleatoriamente e os blocos das cinco casas foram fornecidos sem qualquer divisão por atividade ou etapa, conforme mostra a Figura 15.

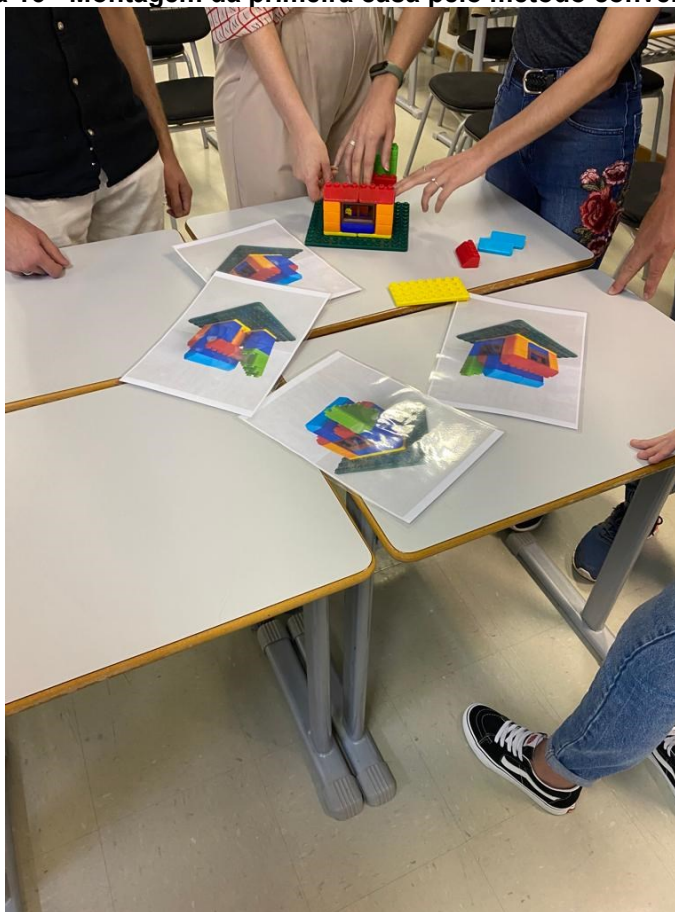
Figura 15 - Distribuição de peças pelo método convencional



Fonte: Os autores (2022)

Em seguida, foram separadas cinco mesas para montagem das cinco casas (uma casa em cada mesa) e fornecidas as imagens das quatro vistas como referência, sem orientação de como iniciar e desenvolver a montagem por parte dos autores e do professor orientador. Assim, os participantes iniciaram a montagem de maneira pouco organizada, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 - Montagem da primeira casa pelo método convencional



Fonte: Os autores (2022)

Foi observado que o tempo de montagem da casa foi diminuindo gradualmente entre a primeira e a quarta montagem, até que a velocidade se estabilizou entre o quarto e a quinta montagem, em virtude da curva de aprendizado dos alunos e a implementação da divisão de atividades pelos participantes. Constatou-se que a partir da terceira montagem os alunos separaram as atividades em duas etapas, com três alunos separando os blocos por cores e quantidades e realizando o deslocamento do local do bloco até o local de montagem da casa, e os outros dois alunos realizando a montagem da casa.

Após a montagem das casas pelo sistema de gerenciamento convencional, foi explicado aos alunos que será realizado a montagem de outras cinco casas pelo método da linha de balanço para estabelecer um fluxo contínuo de trabalho, e que o objetivo será comparar o desempenho operacional de montagem entre o sistema convencional e com a aplicação do *Lean Construction* (linha de balanço). Para a aplicação da linha de balanço foram fornecidas cinco imagens de cada etapa de montagem, dividida em fundação, estrutura, alvenaria/ esquadria, lareira e cobertura,

orientando cada aluno a iniciar a montagem logo após a conclusão da etapa anterior. Além disso, a distribuição das peças foi feita conforme cada pacote de serviço e para cada casa, conforme mostra a Figura 17.

Figura 17 - Peças separadas por atividade



Fonte: Os autores (2022)

Ao fim da montagem das casas pelo sistema *Lean*, observou-se que cada participante conseguiu trabalhar de forma focada em sua respectiva atividade, além de o ritmo de trabalho entre as atividades ter sido contínuo. Interessante notar que na montagem do pacote de “cobertura” foi necessário mais tempo para concluir a atividade, fato este que já era esperado, pois a linha de balanço, que foi projetada com base em testes preliminares, já considerava esse tempo maior.

Houve uma melhoria de qualidade, tempo de execução e ritmo de trabalho, devido ao fato da forma como as peças foram disponibilizadas e porque cada participante se tornou especialista em sua etapa de montagem. Ao final pode-se observar a finalização da montagem das casas, conforme mostra a Figura 18.

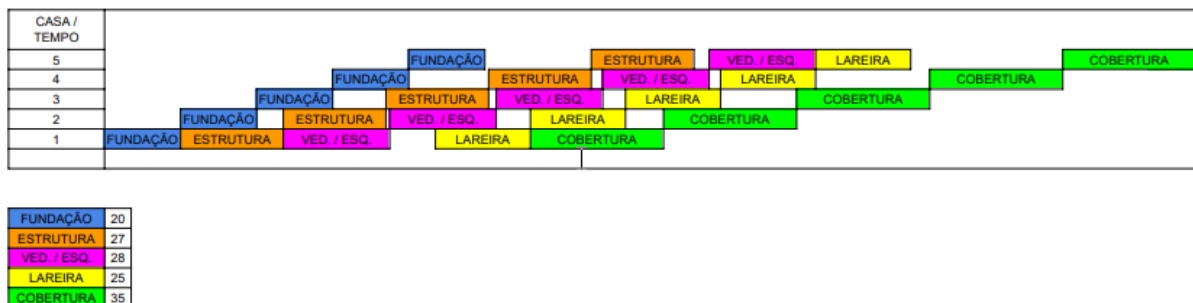
Figura 18 - Montagem das casas concluídas



Fonte: Os autores (2022)

Para aumentar a curva de aprendizagem dos alunos, foi fornecido a imagem da linha de balanço da montagem das cinco casas divididas em cinco etapas construtivas, conforme Figura 19.

Figura 19 - Linha de balanço da montagem de cinco casas de blocos



Fonte: Os autores (2022)

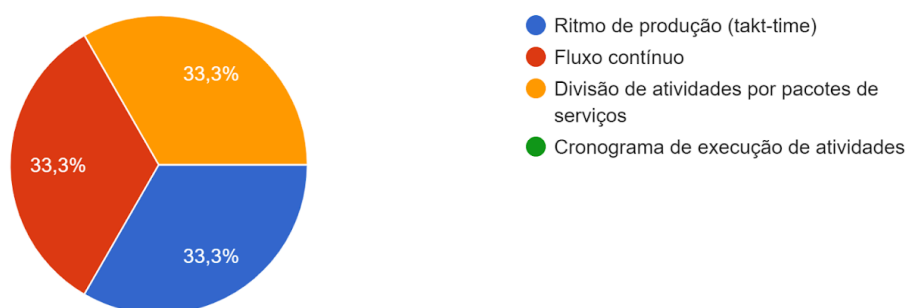
No decorrer das atividades, o tempo para montagem das 5 casas foi cronometrado em cada um dos métodos. No sistema de gerenciamento convencional,

foram 10 minutos e 16 segundos para completar a montagem, já no sistema *Lean*, usando a linha de balanço, foram necessários 3 minutos e 59 segundos.

Ainda, ao fim da atividade, os alunos da turma foram convidados a responder um questionário através do *Google Forms* com perguntas relativas à aplicação do jogo e como a realização dele auxilia no entendimento e assimilação dos conceitos *Lean*. Ao todo 12 alunos responderam os questionários, e as respostas podem ser verificadas a seguir.

Primeiramente, foram listados alguns conceitos do *Lean* e questionado quais deles os alunos puderam observar durante a simulação, as respostas foram conforme mostra o Questionário 1.

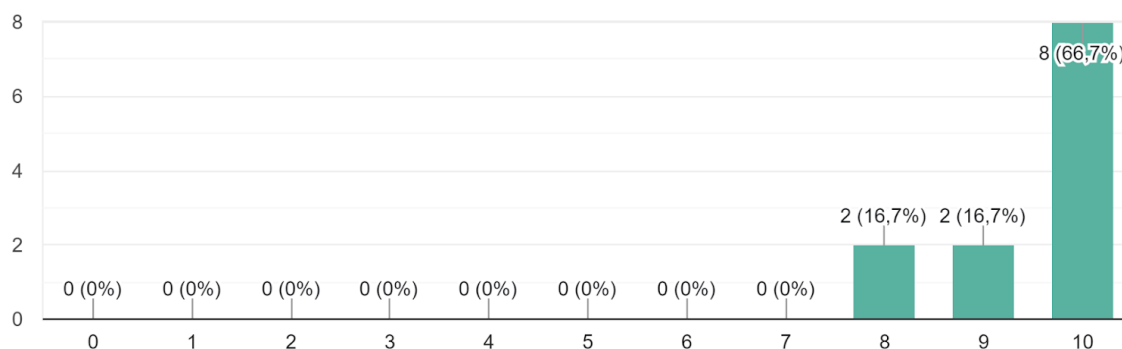
Questionário 1 - Quais dos seguintes conceitos relacionados ao *Lean Construction* você percebeu durante a realização do jogo



Fonte: Os autores (2022)

O Questionário 2 foi elaborado para avaliar se os participantes conseguiram assimilar os conceitos *Lean* que, como mencionado anteriormente, foram transmitidos aos alunos durante as aulas ministradas pelo professor Alfredo.

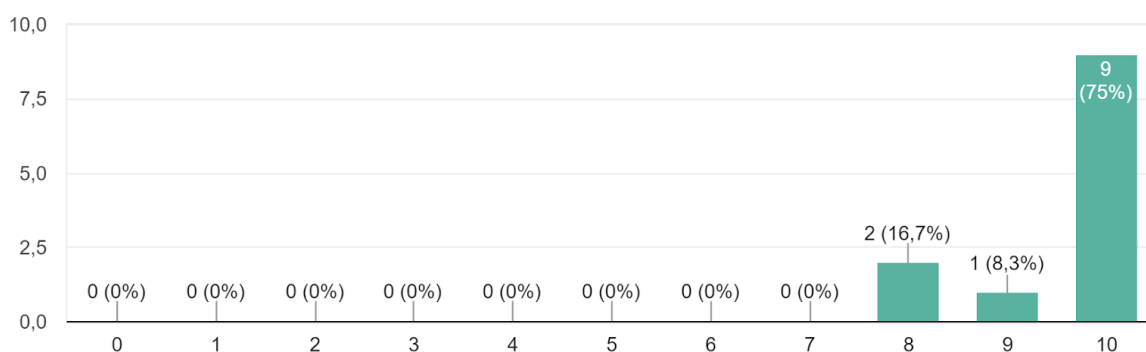
Questionário 2 - De 0 a 10, qual o nível de compreensão a respeito dos conceitos *Lean* o jogo te ajudou a perceber



Fonte: Os autores (2022)

O Questionário 3 procura entender se foi possível perceber, por parte dos alunos, que houve a criação de um ritmo de produção e que isso influencia na velocidade da produção.

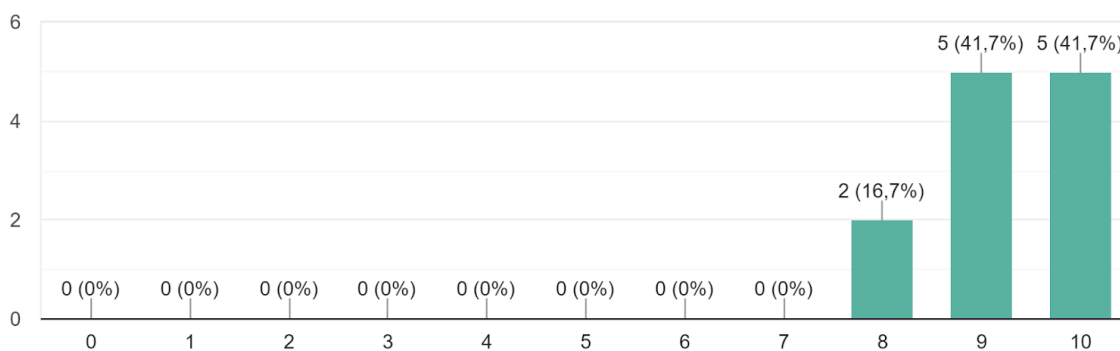
Questionário 3 - De 0 a 10, qual foi o seu nível de percepção com relação a influência do ritmo de produção na produtividade



Fonte: Os autores (2022)

O Questionário 4 avalia se foi possível perceber que fazer com que cada montador seja especialista em sua atividade melhora a velocidade e qualidade da produção.

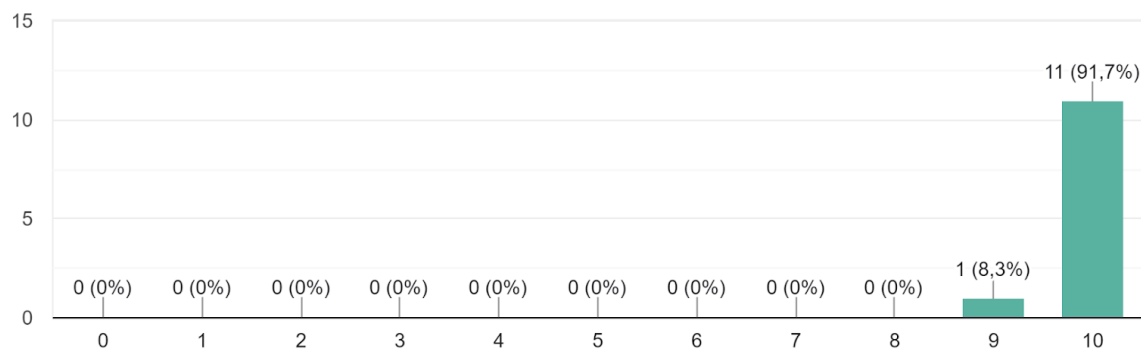
Questionário 4 - De 0 a 10, qual o nível de facilidade que a divisão das atividades em etapas gerou na montagem das casas



Fonte: Os autores (2022)

Conforme mencionado anteriormente, para a montagem das casas no sistema *Lean* as peças foram disponibilizadas de maneira organizada de acordo com a quantidade que cada casa iria precisar e separado por atividades. O Questionário 5 avalia se os alunos perceberam que esse modo de organização otimizou o processo de montagem e o ritmo da produção.

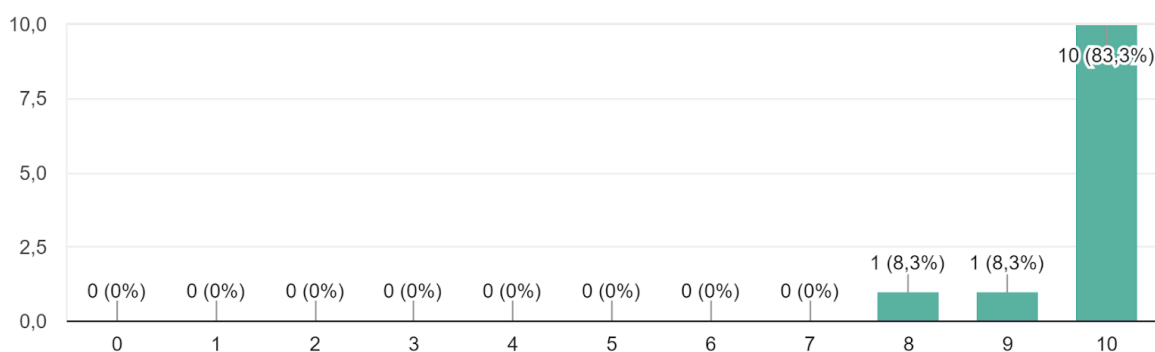
Questionário 5 - De 0 a 10, qual foi o nível de influência/facilidade de disponibilidade do material gerou na montagem das casas



Fonte: Os autores (2022)

Conforme estudado, os jogos de simulação usados para ensino têm se mostrado de muito valor para reforçar os conceitos teóricos transmitidos em sala de aula. O Questionário 6 avalia se a aplicação do jogo auxiliou na assimilação dos conceitos teóricos sobre a construção enxuta.

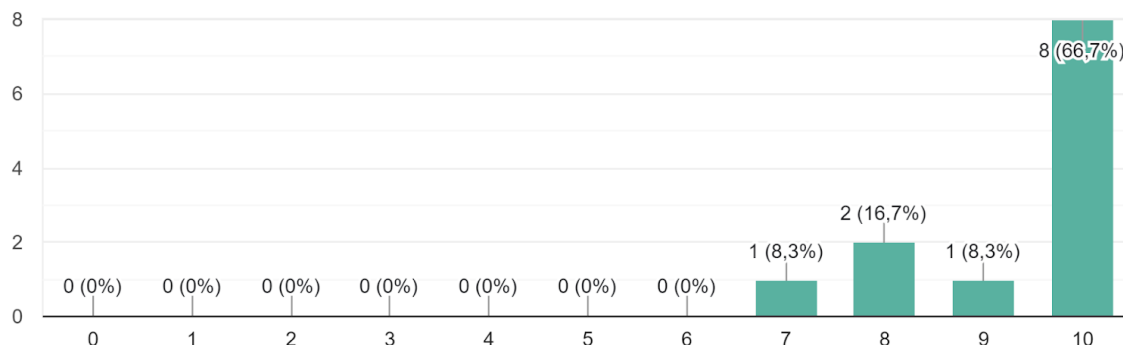
Questionário 6 - De 0 a 10m como a aplicação do jogo foi útil para a assimilação dos conceitos da construção enxuta



Fonte: Os autores (2022)

O objetivo do ensino da filosofia *Lean Construction* é que ela seja usada para o gerenciamento de obras. Para isso, os engenheiros, gestores e estagiários precisam conhecer seus conceitos e ferramentas. Mas para que as equipes de mão de obra possam ser integradas a esse sistema, é importante que elas sejam introduzidas a conceitos como redução de desperdícios e ritmo de produção. Por isso o Questionário 7 avalia se, pela visão dos alunos, o jogo poderia ser aplicado em canteiro de obras.

Questionário 7 - De 0 a 10, você acredita que a aplicação do jogo em canteiro de obras pode ajudar na introdução do *Lean Construction*



Fonte: Os autores (2022)

No oitavo e último questionário aberto, os participantes responderam a percepção das principais diferenças entre o sistema de gerenciamento convencional e o sistema da construção enxuta.

As respostas estão abaixo, no Questionário 8, e estão principalmente relacionadas com a diminuição do tempo de execução da atividade e a maior organização da equipe e dos materiais para a montagem da casa.

Questionário 8 - Descreva quais as principais diferenças que você percebeu no processo de montagem dos dois sistemas de gerenciamento

No segundo método o tempo de realização das atividades foram menores além de ter uma diminuição de erros/retrabalho

As principais diferenças foram o tempo da montagem final entre os dois métodos, e a organização do canteiro para as etapas e a divisão das etapas em um padrão.

Agilidade e definição de atividades

Organização e fluxo de serviço!

No primeiro havia muita bagunça, materiais desorganizados e equipe sem saber o que estava acontecendo. No segundo momento, a equipe se organizou e continuou em uma rotina fixa de trabalho, foi possível ver os locais onde o serviço ficou mais preso.

Organização das etapas e melhor aproveitamento do tempo

Mais simples e rapido

O segundo método torna o processo com um fluxo muito mais contínuo onde cada processo é executado por uma pessoa mais facilmente e acaba acelerando o resultado

Todas as pessoas trabalhando(fluxo contínuo) e especialista na função

Menos tempo ocioso de pessoal, melhor curva de aprendizado

Otimização dos serviços e melhor divisão/designio das tarefas

Fonte: Os autores (2022)

5 CONCLUSÃO

O objetivo geral do trabalho foi avaliar a assimilação de conhecimento transmitido por meio de um jogo de blocos de montar sobre a filosofia *Lean Construction* para os alunos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Nesse sentido, foi realizada uma revisão dos conceitos do *Lean Construction*, com ênfase na linha de balanço, trabalho padronizado e organização visando suportar a proposição do trabalho.

A partir das pesquisas realizadas, foi desenvolvida a montagem de casas com blocos de montar, aplicando o conceito do *Lean Construction* e observado o resultado entre o sistema de gerenciamento convencional e linha de balanço em sala de aula. O tempo de montagem das casas entre os dois sistemas teve uma redução de 61%, 10 minutos e 11 segundos e 3 minutos e 59 segundos, respectivamente, sendo possível identificar uma redução substancial do tempo de execução.

Através dos questionários respondidos pelos alunos, foi possível constatar que, além da diminuição do tempo de montagem entre os dois sistemas, os participantes conseguiram identificar que o sistema da construção enxuta possibilita a organização e divisão das atividades e processo produtivo, fluxo contínuo de serviço, criação de ritmo de trabalho, organização dos materiais e aceleração do tempo de execução do serviço.

Os objetivos secundários foram atingidos, principalmente através do feedback dos alunos que possibilitaram a identificar a assimilação dos conhecimentos da filosofia *Lean Construction*, a partir da aplicação de jogo em sala de aula, possibilitando a transmissão do conhecimento não somente na teoria, mas também pela aplicação de materiais didáticos que permite a aplicação dos conceitos mais próximo da realidade.

Por fim, sugerimos o desenvolvimento do jogo para a aplicação em canteiro de obra, para transmitir aos trabalhadores da indústria da construção civil os conceitos da construção enxuta, como meio de conscientização da importância da aplicação da filosofia *Lean Construction* ou um meio para adoção da construção enxuta para as empresas que ainda não adotaram a construção enxuta em seus ambientes de trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R.; ANTUNES, J. **Takt-Time: Conceitos e contextualização dentro do sistema Toyota de produção**. *Gestão & Produção*, v.8, n.1, p. 1-18, abril, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/RZFdSpRQdjVmWcjT6ZCLJnM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 07 abril 2022.
- BALLARD, G. The Last Planner. *In: Spring Conference of the Northern California Construction Institute*, 1994, Monterey. **Anais eletrônicos [...]** Monterey, 1994. p. 1-8. Disponível em: <https://leanconstruction.org.uk/wp-content/uploads/2018/09/LastPlanner.pdf>. Acesso em: 07 abril 2022.
- BALLARD, G.; HOWELL, G. A. **An update on Last Planner**. *In: Conference Of The International Group For Lean Construction*, 11. Proceedings IGLC-11. Virginia, USA. 2003.
- BERNARDES, M. M. S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- FACTORY MAGAZINE, **Poka-Yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects**. 1. ed. Productivity Press. 1989.
- MAIA FILHO, J. O. **Lean Construction: análise e estratégia de uso**. 2019
- FORMOSO, C. T. **Lean Construction: Princípios Básicos e exemplos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2000.
- GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção – mais do que simplesmente just-in-time – Automação e Zero Defeitos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, UFRGS, Caxias do Sul: Educs, 1996.
- GROHMANN, M. Z. Redução do desperdício na construção civil: levantamento das medidas utilizadas pelas empresas em Santa Maria. *In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 1998, Niterói. **Anais do XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**.
- HOWELL, G. A. 1999, 'What Is Lean Construction - 1999' *In: 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Berkeley, California, USA, 26-28 jul. 1999.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Anual da Indústria de Construção 2019**. Brasília: IBGE, 2021. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic_2019_v29_informativo.pdf. Acesso em: 21 mar. 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos 2021**. Pesquisa Anual da Indústria da Construção. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

International Group for Lean Construction Charter and Operating procedures. 2012.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. VTT Technical Research Centre of Finland, 2000.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Technical. Report. 72, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford Univ., Stanford, CA, Sept., 75 pp. 1992.

LIKER, J. **O modelo toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.

LOSEKANN, G. O que é linha de balanço. **Prevision**. 17 jul 2020. Disponível em: <https://www.prevision.com.br/blog/linha-de-balanco-o-que-e/>. Acesso em 07 abril 2022.

MARQUES, N. **Os 8 desperdícios para o Lean Construction**. 13 ago. 2020. *LinkedIn*: Nathalia Marques. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/os-8-desperd%C3%ADcios-para-o-lean-construction-nathalia-marques>. Acesso em 12 set. 2022

MELLO, B.; BANDEIRA, R.; BRANDALISE, N. Seleção de metodologia de mensuração de retrabalho através da utilização do método AHP. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 25, n. 1, p. 94-106, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/8mRPj8fRy7C6qzYQxCQnRqd/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 08 abril 2022.

MONTEIRO, A.; MARTINS, J. P. Linha de Balanço - Uma nova abordagem ao planeamento e controlo das actividades da construção. **Artigo em Livro de Atas de Conferência Nacional**. Universidade do Porto, Porto, 2011. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/images/Artigo_LOB.pdf. Acesso em 07 abr. 2022.

NASSAR, K. **Simulation gaming in construction: Er, The Equipment Replacement Game**. *In: Journal of Construction Education*. Spring 2002, Vol. 7, No. 1, pp. 16 – 30. Electronic Proceedings. Disponível em: <http://www.ascjournal.ascweb.org/journal/2002/no1/Spring%202002,%20Vol.%207,%20No.%201,%20pp.%2016-30.pdf>. Acesso em: 7 abr. 2009.

NETO, A. I. Programação semanal de obra. **Youtube**. 26 out. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=PjPBMVR7m1s>. Acesso em 07 abril 2022.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PÁDUA, R. C. **Implementação de Práticas de Lean Construction em uma Obra Residencial em Goiânia - Estudo de Caso**. 2014. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

PIVETI, G. Last Planner System: o método de planejamento eficaz de obra. **Prevision**. 26 Abril 2022. Disponível em: <https://www.prevision.com.br/blog/last-planner-system/>. Acesso em 02 abril 2022.

PRADO, R. L. **Aplicação e Acompanhamento da programação de obras de múltiplos pavimentos utilizando a técnica da Linha de Balanço**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

REIS, V. W.; CUNHA, P. J. M.; SPRITZER, I. M. P. Evasão no ensino superior de engenharia no Brasil: um estudo de caso no CEFET/RJ. *In: Congresso brasileiro de educação em engenharia*, 40, 2012, Belém. **Anais...** Belém – SC, 2012, 12 p.

ROMANEL, F. B. **Jogo “Desafiando a Produção”**: Uma Estratégia para a Disseminação dos Conceitos da Construção Enxuta entre Operários da Construção Civil. 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2009.

SARCINELLI, W.T. **Construção enxuta através da padronização de tarefas e projetos**. Monografia apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais para a obtenção do título de especialista em construção civil, Vitória/ES, 2008.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de produção e produção**: do ponto de vista da engenharia de produção. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SUGAI, M.; SOARES BEZERRA, J.; URUSHIMA DE AZEVEDO, P.; GAMEIRO DOS SANTOS, L.; BARBALHO, G.; ARAÚJO DE OLIVEIRA, F.; SANTOS DE SOUSA, M. Design Thinking: uma nova forma de pensar. **QUIPUS**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 31-40, 22 ago. 2013. Disponível em: <https://repositorio.unp.br/index.php/quipus/article/view/441/340>. Acesso em: 14 maio 2022.

SURI, R. **Quick Response Manufacturing**: A Companywide Approach to Reducing Lead Times. New York: Productivity Press. 1998.

VALE, G. Japão - Milagre econômico e sacrifício social. **Revista de Administração de Negócios**, São Paulo, 32, 2, p. 44-57, abril, 1992. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rae/a/yQxnDxDvd6pQZ9h6Y3b7dkF/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 27 de abril de 2022.

VIANA, M. R.; SANTOS, D. de G.; VASCONCELOS, C. A. Jogo didático no ensino de conceitos lean na disciplina de administração de obras: relato de experiência. **Revista Internacional de Educação Superior**, Campinas, SP, v. 7, p. e021045, 2021. DOI: 10.20396/riesup.v7i0.8660257. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/riesup/article/view/8660257>. Acesso em: 9 maio. 2022.

VIANNA, M.; VIANNA, Y.; ADLER, I.; LUCENA, B.; RUSSO, B. **Design thinking**: inovação em negócios. Rio de Janeiro: MJV Press, 2012. 162p. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/Design_Thinking_Inova%C3%A7%C3%A3o_em_Neg%C3%B3cios/FKC3rEd9xicC?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=design+thinking&printsec=frontcover. Acesso em: 14 mai. 2022

VISCO, D. **5s Made Easy**: A Step-By-Step Guide to Implementing and Sustaining Your 5s Program. Productivity Press. 2015.

WERKEMA, C. **Seis Sigma**: Perguntas e respostas sobre o Lean Seis Sigma. 1. ed. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2008.

WOMACK J.; JONES D. e ROOS D. **A máquina que mudou o mundo**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas** – Elimine o desperdício e crie riquezas. 6. ed. Rio de Janeiro: Campus. 2004.