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

Integração entre Linha de Balanço e Curvas de Agregação de Recursos – Uma Visão Integrada a partir da Construção Enxuta

Integration between Line of Balance and Resource Aggregation Curves - An Integrated View on Lean Construction

Vinícius Capistrano de Paiva Veras
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | viniciuscapistrano@alu.ufc.br
Antonio Nunes de Miranda Filho
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | anmirandaf@yahoo.com.br
Luiz Fernando Mahlmann Heineck
Universidade Estadual do Ceará | Fortaleza | Brasil | freitas8@terra.com.br
Alexandre Araújo Bertini
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | bertini@ufc.br

Resumo

Este artigo mostra como a Curva de Agregação de Recursos (Curva S) incorpora um grande número de conceitos ligados à produção enxuta, dando continuidade a uma abordagem que discute como outra ferramenta gerencial, a Linha de Balanço, também assim o faz. O argumento é que a Curva S deixa explícitos os recursos consumidos em uma obra a partir de sua programação de atividades. Os aspectos gráficos da Curva S e da Linha de Balanço são tratados como símbolos a serem interpretados pelas noções de semiótica (teoria geral das representações que estuda os signos e a convertibilidade entre seus significados).A partir da representação das noções de estabilidade, capacidade, perdas, ritmos, fluxos contínuos, just-in-time, transparência, aprendizagem, benchmarking, set up e trabalho em progresso (WIP – Work in Progress) demonstra-se, de forma gráfica, a dualidade das representações de Curva S e de Linha de Balanço, e, em consequência, desta com aspectos básicos da Construção Enxuta.

Palavras-chave: Curva de Agregação de Recursos, Linha de Balanço, Construção Enxuta, Semiótica.

Abstract

This article demonstrates how the S Curve representing a building development work progress naturally incorporates a large number of concepts related to lean production, including those of a strategic nature like logistics and availability of productive resources and also such operational concepts as wastes, set up, rhythm, flow, pull planning, transparency, learning, work in progress, benchmarking. Line of Balance concepts are also brought into the discussion. The pont is made that S Curves and Lines of Balance represent a similar concept. A semiotic

Como citar:
VERAS, V.; MIRANDA FILHO, A.; HEINECK, L.; BERTINI, A. Integração entre Linha de Balanço e Curvas de Agregação de Recursos – Uma Visão Integrada a partir da Construção Enxuta. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2024

research method is employed, addressing the use of S Curves to convey lean concepts as documented in the IGLC Congresses since its inception in 1993 and their integration to Lean Construction.

Keywords: S Curve, Line of Balance, Lean Construction, Semiotics

INTRODUÇÃO E METODOLOGIA

Este trabalho segue o mesmo argumento em [1] ao propor que técnicas e conceitos ligados ao gerenciamento tem forte interligação: naquele se mantinha que os conceitos *Lean* poderiam ser diretamente representados na forma gráfica de expressão da técnica de programação da Linha de Balanço; neste se mantém que a chamada Curva S, pode ser aproximada aos conceitos da Linha de Balanço, e por conseguinte, também aos conceitos Lean. O argumento é mantido a partir da revisão de artigos, listados ao final deste trabalho, apresentados nos congressos do IGLC, *International Group for Lean Construction*, desde seu evento inicial em 1993 até os dias atuais (2023). Discute-se que estes artigos, em seu propósito de apresentar de forma abrangente os aspectos teóricos e práticos da construção enxuta, em uma perspectiva centrada no uso de recursos produtivos, terminam recorrendo, de forma explicita ou implícita, a expressão gráfica da chamada Curva de Agregação de Recursos – Curva S.

A Curva S é documentada em [2]. Os desenhos que aproximam aspectos da curva S à discussão reportada na revisão bibliográfica são retirados de [3]. Estas notas de aula formam um curso abrangente que em 10 capítulos discute como representar os vários conceitos da construção enxuta de forma gráfica. O presente trabalho se dirige ao Capítulo 6 destas notas de aula, onde se apresentam as implicações para gerência relativas ao emprego de recursos no canteiro e no empreendimento. Estes recursos são tratados de maneira indistinta quer sejam mão de obra, materiais, pessoal em cargos gerenciais, equipamentos, espaço físico e recursos financeiros.

Os métodos de pesquisa da Semiótica são adequados a cada aplicação específica [4][5] na medida em que conduzem a uma avaliação do (a) signo em si, do (b) objeto a que se refere e a (c) relação com quem o interpreta (forma, existência e valor, respectivamente). Para a Curva S, (a) está ligada a adequação do desenho da letra S para sua caracterização e sua interpretação como um somatório matemático de recursos empregados em cada momento (ou a integral na visão do cálculo diferencial) conforme em [2]. Quanto à (b), o objeto é a ligação deste somatório com diferentes tipos de recursos (materiais, mão de obra, equipamentos, ou como síntese, custos, progresso físico e desempenho econômico financeiro do empreendimento. Finalmente em relação à (c) a interpretação das curvas S de um projeto está ligada a vivencia de cada um dos envolvidos (operários, mestres, engenheiros de obra, supervisores e diretores).

No argumento que se segue, usa-se o método hipotético dedutivo para determinar a forma do signo (curva S agregada ou desagregada) e para estabelecer sua ligação com os objetos: estes objetos são retirados dos conceitos de construção enxuta, a saber noções de estabilidade, capacidade, perdas, ritmos, fluxos contínuos, just-in-time, transparência, aprendizagem, benchmarking, set up e trabalho em progresso (WIP –

Work in Progress). Prepara-se o caminho cognitivo para que, em outros trabalhos acadêmicos, seja possível realizar a interpretação destes signos. Este último passo, fora do escopo deste trabalho, requer o entendimento do contexto e da vivência de cada integrante do processo produtivo para finalmente afirmar o caráter de síntese interpretativa da Curva S (como anteriormente advogado para a Linha de Balanço) quanto aos conceitos da Construção Enxuta. A futura interpretação da similitude entre as aludidas ferramentas gerencias e os conceitos que elas representam está ligada aos mecanismos de percepção da mente humana segundo o ramo da Gestalt em psicologia [6].

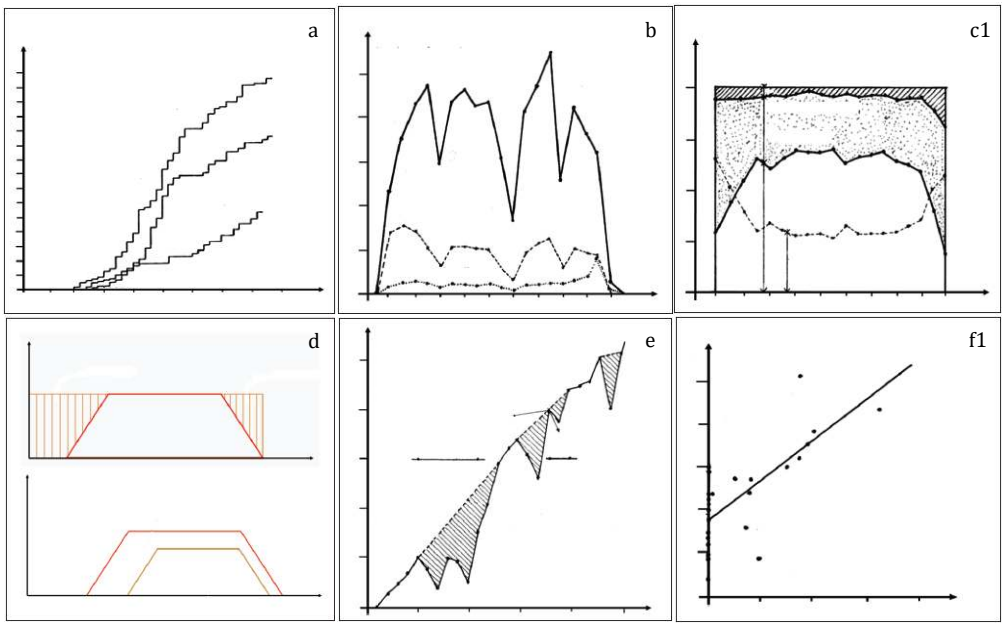
REFERENCIAL TEÓRICO

O argumento central desta proposta – a curva S é uma decorrência da aplicação da Linha de Balanço, enquanto ferramenta básica de construção enxuta, quanto vista a partir dos conceitos pela última – não é respaldada por trabalhos prévios. Constrói-se aqui a sua fundamentação, exemplificando como vários trabalhos específicos da literatura se reportam ao tema, de forma implícita ou explicita. São privilegiados essencialmente aqueles artigos da bibliografia relacionados a curva S.

Autores seminais [7] usam a forma mais simples de curva S agregada, uma simples linha reta, para exemplificar que o início de uma atividade pode ser postergado, desde que se utilize um ritmo maior para cumprir a mesma data final de entrega, se o tempo assim ganho com esta postergação for empregado para proteger a produção. Por esta mesma época, os mesmos autores [8] documentam o progresso em várias etapas de execução de um serviço através da Curva S, passando pela pré-fabricação de componentes e posterior montagem em obras industriais. A tríade de autores pioneiros com o mesmo argumento é completada em [9].

A apresentação em forma agregada pode ser vista na figura a1 a seguir, retirada de trabalhos anteriores ao advento da Construção Enxuta, como em [10], e posteriores a esta [11]. O primeiro artigo deixa transparecer falta de intensidade na aplicação de recursos no canteiro e o segundo, de forma positiva, as melhorias do ritmo de produção depois de uma intervenção baseada nos conceitos de construção enxuta. O potencial para representação do que realmente ocorre quanto a alocação de recursos em obra é mostrada nas figuras b1 e c1 [12][13][14], para os tempos produtivos em obra ao longo das horas do dia, assim como também é apresentado por [15]: o esforço produtivo não é constante ao longo do dia.

Figura 1: Representação da Curva S e Consumo de Recursos na Literatura



Fonte: o autor.

A perspectiva dos recursos é apresentada na figura d1 [3]. A curva S (desagregada), nada mais é do que o comprometimento de recursos (quer sejam humanos, materiais ou de qualquer outra natureza) à um empreendimento: admite-se que este comprometimento tenha uma fase de mobilização de recursos, uma de estabilidade e uma de desmobilização. O patamar da figura pode ser associado ao conceito de estabilidade dos processos em obra, conceito fundacional para a produção enxuta. O signo é o trapézio; na parte intermediária do trapézio, o objeto potencialmente representado é a estabilidade. A figura, com os lados do trapézio e sua parte superior como linhas retas, indica como objeto a regularidade de esforço produtivo.

Ainda na figura d1., entende-se que estes recursos devem ser mobilizados em quantidades, a priori, maiores do que as efetivamente necessárias, e com certa antecedência, como mostrado na parte inferior da figura d1. A diferença entre a curva maior e a menor - de efetiva alocação de recursos - é algo a ser evitado em um ambiente sem perdas.

A mobilização de recursos pode ser problemática, como representado na figura e1 [16]: para a citada autora, diante do mau tempo, não se consegue mobilizar a quantidade necessária de recursos de mão de obra, pela relutância ao comparecimento dos trabalhadores diante da adversidade climática. Para dramatizar a questão da capacidade produtiva dos recursos, segundo a mesma autora, a figura f1 mostra que a mão de obra mantida no canteiro torna-se menos produtiva na medida em que é deslocada para atividades protegidas do mau tempo: para cada hora de recursos realocada, tem-se praticamente um aumento de uma hora no consumo de trabalho na atividade que recebeu a mão de obra transferida, como indica a linha a 45 graus da figura.

Outro conjunto de autores [17] argumenta que os conceitos da construção enxuta podem ser vistos, de uma maneira mais ampla, como parte da estratégia operacional

da empresa, campo em que se insere a intensidade de recursos a ser empregado em um empreendimento. As questões financeiras são abordadas em [18] através de um jogo didático, onde se mostra as implicações de decisões quanto ao ritmo e sequência das atividades no fluxo de caixa do empreendimento.

As curvas de agregação de recursos são peça fundamental da sistemática da Gerência de Projetos, por sua vez originada nas técnicas PERT/CPM e assim criticadas quanto a sua inadequação para modelar o processo produtivo [19][20][21]. Em [22] é proposto um método para manter as análises de Valor Agregado, próprias da curva S, livres da influência compensatória do conjunto de atividades em andamento, algumas, por hipótese, com desempenho adequado e outras não, o que depõe contra a visão detalhada, específica, individualizada das análises a partir da construção enxuta.

O argumento do presente trabalho é de que dada a curva S de uma obra, dela se pode derivar sua linha de balanço, e ao contrário, dado sua linha de balanço pode-se inferir sua curva S. Esta visão de integração e comparação das técnicas gerenciais pode transcender somente os aspectos sinaléticos da Curva S (a integral de um gráfico em forma de paralelogramo, representando a alocação de recursos na linha de balanço, é um trapézio, uma curva S desagregada). A transcendência se dá porque o nível de recursos pode ser associado a sua capacidade produtiva [23][24]. Não basta a existência de recursos, há a pressuposição de que estes recursos sejam capazes, no sentido de prover o ritmo, a qualidade e demais exigências de desempenho do projeto.

O patamar de uma curva S desagregada tem sido usado como uma evidência de estabilidade e capacidade do processo produtivo, que pode ser obtida via programação de obra, pelo conceito de nivelamento de recursos [25] ou planejamento Takt [26]. De forma ainda mais específica, a estabilidade pode ser obtida pela combinação das diferentes intensidades de trabalho em cada frente de operações, conforme estes mesmos autores. Assim, estabilidade, capacidade e intensidade podem ser associadas na forma de objetos ao signo da Curva S.

De forma ainda mais ampla, estabilidade, capacidade e intensidade devem ser suportadas pela identificação e mobilização da quantidade e qualificação de recursos disponíveis na sociedade como em [27][28]. A questão de logística e suprimentos no canteiro, ilustrado em [29][30], insere-se neste contexto mais amplo. A curva S de suprimentos e a de execução no canteiro são integradas a partir de interesses comuns na cadeia produtiva. Um caso notável são os esforços gerenciais para fazer com que os subempreiteiros também se adequem aos ritmos e necessidades de obra como em [31].

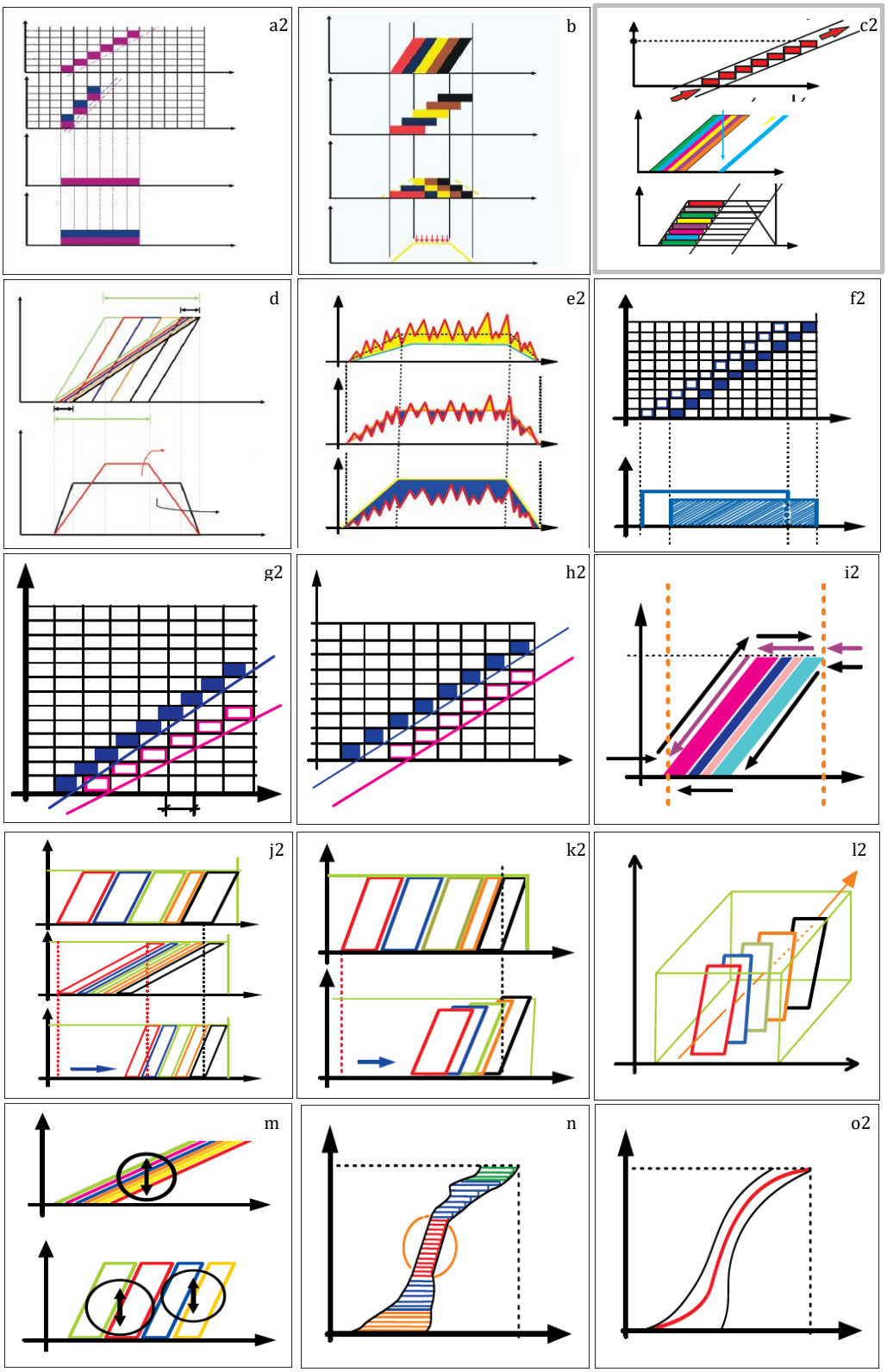
Finalmente, buscando atender as características típicas de instabilidade, variabilidade e descontinuidade do processo produtivo, faz-se a integração da curva de agregação de recursos com suas folgas, variações, esforços maiores do que estimados ou planejados, como discutidos nos conceitos de pulmões de tempo ou atividades (buffers) [32], trabalho em processo (*work in progress)[33]*, conflitos no uso do espaço de trabalho [34], “fazendo com o que se tem” (*making do) [35]*, “deixando pronto” (*making ready) [36]* e antecipações [37]. Estas atividades, ou o tempo que consomem, são acrescentados aquilo que se obteria de uma ligação linear, direta, entre as

atividades e seu consumo de recursos. O consumo de recursos e sua distribuição ao longo do tempo são maiores e diferentes daquilo que seria obtido simplesmente pelo seu somatório. Neste caso, este somatório inicial, derivado do orçamento e da programação de obras, é realizado com um reconhecimento incipiente das dificuldades e complexidades do processo produtivo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras a seguir decorrem das referências citadas anteriormente que motivam, de forma gráfica, a expressão dos conceitos de iteração da linha de balanço com a curva S, e em decorrência, dos conceitos da curva S com a construção enxuta. A figura a2 reafirma que o somatório dos recursos empregados em uma atividade, expressos na forma de uma linha de balanço, é um cronograma de barras para este esforço produtivo. Ao se executar a atividade com o dobro de equipes, os recursos são obviamente duplicados, período a período. Com isto, consegue-se demonstrar que os recursos alocados em forma de linha de balanço, como na parte superior da figura b2, se transformam em um cronograma de barras para as atividades na parte intermediária da figura. Nas partes inferiores da figura, as barras se encaixam e produzem um trapézio de alocação de recursos.

Figura 2: Interpretação da Curva S para Conceitos da Construção Enxuta



Fonte: o autor.

Admite-se, na parte superior da figura c2, que uma linha de balanço (para uma atividade qualquer) é uma sequência de barras indicando a presença e o consumo de recursos em cada unidade de repetição. Para um conjunto de atividades, as barras inclinadas, na parte intermediária da figura, resultam em um envelope de esforço na

forma de um paralelogramo. Na parte inferior da figura, este paralelogramo de esforço (consumo de recursos) pode ser descrito tanto como um paralelogramo como por um trapézio, o último associado com a forma da curva S desagregada. São representações equivalentes: a linha de balanço pode ser representada como uma Curva S; a Curva S representa um somatório de linhas de balanço para diferentes atividades, tanto nas figuras b2 quanto c2.

A quantidade total de recursos demandados depende do ritmo das atividades, unidade de repetição a unidade de repetição, e da duração específica de cada atividade na unidade de repetição. É o que ilustra a figura d2, inferindo que a maior estabilidade no uso de recursos seria obtida por uma obra com ritmos menores e durações também menores em cada unidade de repetição. Esta é uma proposição ligada a maior estabilidade do processo, mas também a melhorias na execução de cada tarefa com consequente com redução de durações, como possível em esforços de kaizen.

A figura e2 relaciona-se a um aspecto clássico da adequação da demanda por recursos e sua oferta, como tratado em texto de administração da produção [38]. A capacidade produtiva pode ser planejada para atender aos vales, a média ou os picos da demanda, ordem em que se apresentam os gráficos neste caso. A construção enxuta, ao recomendar o trabalho a menos da capacidade, faria uma programação de recursos pelos picos de demanda. A Curva S permite modelar o conceito de trabalho a menos da capacidade da produção enxuta, conceito este explicitado em [3], retrocitado.

A figura f2 apresenta a conformação usual das questões logísticas em obra, onde o fluxo de recursos antecede o fluxo de operações no canteiro, podendo eventualmente incluir perdas a serem combatidas. Os conceitos da construção enxuta tendem a superposição das 2 proposições, tanto na parte superior (linha de balanço) como inferior do gráfico (curva S): a diminuição dos estoques e perdas induzem a esta superposição.

As figuras g2 e h2 ilustram conceitos objeto de compromissos (do inglês trade-offs) na adoção da construção enxuta e sua expressão através dos fluxos da linha de balanço. Cada atividade em g2 segue um ritmo próprio, determinado pela quantidade de esforço produtivo que requer e do número de homens e equipamentos alocados a cada equipe (o chamado ritmo natural das atividades [39]). Isto implica em uma linha de balanço desbalanceada. Já em h2, a atividade predecessora é feita em um ritmo menor do que o tecnicamente possível, apenas para manter-se em paralelo com a atividade sucessora e, por extensão, com todas as atividades do canteiro.

Segundo o mesmo autor [39] este é o conceito de ociosidade forçada imposta a uma atividade. Perde-se em eficiência, mas ganha-se em estabilidade dos fluxos para a obra como um todo: adota-se um fluxo ajustado entre atividades em detrimento da melhor eficiência em cada atividade isolada. Este autor contribui para a aproximação dos conceitos que ligam a linha de balanço a curva S: a programação com atividades em seu ritmo natural é chamada de programação de recursos, enquanto que a programação utilizando ociosidades forçadas é chamada de programação paralela. Em uma das vertentes de planejamento de obras, a programação de recursos, a linha de balanço é desenhada para a otimização e continuidade do consumo destes últimos.

A figura i2 contempla a integração dos conceitos da linha de balanço com o CPM, a partir de uma obra com fluxos balanceados (programação paralela). Isto permite a definição do caminho crítico do CPM em uma linha de balanço. Dito de outra maneira, todas as atividades, suas durações em cada unidade de repetição e seus ritmos passam a ser críticos. A curva de agregação de recursos, nestas circunstancias, tem para cada duração total do projeto, o maior nível máximo de recursos a ser alocado no período de estabilidade. Este ganho de eficiência deve ser comparado com as possíveis vantagens de uma programação mais flexível, cotejando equilíbrio nas melhorias de conversão e fluxo. A descontinuidade, falta de sequência e variabilidade que podem assolar os canteiros [40] sugerem o uso de folgas (buffers) entre atividades [32].

A figura j2 mostra as estratégias de executar uma obra seguindo diferentes formatos da linha de balanço paralela (e da curva S daí derivada), com a possibilidade de postergar o início das obras, ainda atendendo o prazo final. Corresponde ao conceito de programação puxada, pedra angular da produção enxuta [41]. Da mesma maneira, a figura k2 mostra uma estratégia ainda mais ousada, na medida em que as atividades são realizadas de maneira superposta, mais para o final do prazo de entrega da obra. Conforme ilustrado na figura l2 ganha-se maior transparência, inter-relação e coordenação entre as equipes, emulando um ambiente favorável como o da figura m2.

Na figura m2 tem-se o chamado ambiente de célula, com as equipes a cada momento, sendo capazes de entender as atividades umas das outras, colaborando para avaliar as repercussões recíprocas de seus trabalhos e permitindo a solução conjunta de problemas que interfiram nas interfaces das operações. Para cada desenho da programação de obra em linha de balanço, das figuras j2 até m2, existem diferentes formatos de trapézios correspondentes ao consumo de recursos.

A figura n2 retrata a incorporação do efeito aprendizado [42] na programação dos serviços em obra, seguindo a linha de trabalho expressa em uma série de artigos [43][44][45][46] Nestes procura-se incorporar conceitos da construção enxuta e da estratégia de produção na programação por linha de balanço. Na figura n2 a efetividade é menor nas primeiras repetições, com durações maiores e maior gasto de mão de obra, para um mesmo efetivo. O mesmo acontece, potencialmente, ao final de obra, com o chamado efeito de fim, quando há um esmorecimento do esforço produtivo.

Complementarmente, na parte central da figura, aparece um conceito novo, chamado de momento de *benchmark, uma interpretação diferente de seu entendimento usual na produção enxuta. Este corresponde* a um nível otimizado de execução e progresso em obra (ritmo intenso e durações menores): não necessariamente esta idealização do esforço produtivo pode ser mantida durante toda a execução da obra, mas vale seu registro como meta a ser perseguida e como alvo passível de repetição no futuro.

A figura O2 dá a entender que existe uma linha de balanço demarcando o início das atividades, uma linha de balanço para o seu final e eventualmente uma linha de balanço para um esforço produtivo médio. Esta é a Curva S agregada, situada entre duas Linhas de Balanço (ou o que é o mesmo, duas Curvas S agregadas) de início e fim

de atividades. São expressões gráficas do espalhamento da obra para diferentes frentes de trabalho e de sua terminalidade em cada uma destas.

Assim prosseguem as evidências analisadas graficamente em [3] e sintetizadas, por razão de espaço neste trabalho.

CONCLUSÃO

A discussão anterior associa os conceitos de Curva S com os desdobramentos acadêmicos relativos a princípios, conceitos e técnicas utilizados pela comunidade de Construção Enxuta, como expresso em uma série de trabalhos apresentados no International Group for Lean Construction, desde os seus anos iniciais na década de 1990. A ligação da Curva S com a Linha de Balanço é também propiciada pelos trabalhos referenciados mais recentes, ligados tanto a técnica da LBMS como do Planejamento Takt, herdeiros diretos das técnicas de programação de obras repetitivas.

Estas relações são estabelecidas a partir de uma metodologia ligada ao significado dos símbolos (signos), inicialmente avaliando o caso da forma da Curva S desagregada. O exame de signos é também estendido para associar a Curva S, agora em sua forma agregada, à uma linha reta inclinada representando o progresso de uma atividade em obra (um proxi para uma Linha de Balanço). Cumpre-se assim os 2 primeiros passos da análise semiótica, identificando os símbolos em si e os objetos aos quais fazem referência.

Assim, como proposto inicialmente, pode-se corroborar a hipótese de que a Curva S é a Linha de Balanço. Se a linha de balanço incorpora em si grande parte dos das modernas teorias de fluxo (lean construction), como discutido anteriormente, deduz-se que a Curva S também é Produção Enxuta. Em futuros trabalhos deverá ser possível completar a analise semiótica em sua terceira etapa, qual seja que os signos são representativos para o entendimento a partir de seus interpretes, no caso os gerentes de empreendimentos da construção civil. Com isto busca-se facilitar a compreensão e a divulgação de conceitos que, de forma integrada, possam contribuir para a melhoria gerencial da construção civil.

REFERÊNCIAS

[1] MOURA, R. S. L. M., MONTEIRO, J. M. F. & HEINECK, L. F. M. 2014. Line of Balance – Is it a synthesis of lean production principles as applied to site programming of works? , 22ND ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, p. 703-714.

[2] HEINECK, L. F. M. Curvas de Agregação de Recursos no planejamento e controle da edificação – aplicação a obras e a programas de construção, **Caderno de Engenharia CE-31/89**, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 49 p.,1989.

[3] HEINECK, L. F. Notas de aula – Linha de Balanço e os Conceitos de Construção Enxuta, Programa de Pós-graduação em Estruturas e Edificações, Universidade Federal do Ceara, 2008, 275 laminas.

[4] ECO, Umberto, **Estrutura Ausente**: introdução à pesquisa semiológica, Editora Perspectiva, 7 edição, 432 p., 2001.

[5] REIS, M. C. dos; ALMEIDA, C. C. de; FERNEDA, E. A questão dos métodos de análise semiótica: contribuições à Ciência da Informação. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, *[S. l.]*, v. 16, p. 1–30, 2020. Disponível em: https://rbbd.febab.org.br/rbbd/article/view/1379. Acesso em: 25 jul. 2024

[6] SCHULTZ, D. P.; SCHULTZ, S. E., **História da Psicologia Moderna,** 4 edição**,** Cengage, São Paulo, SP, 2020, 496 p.

[7] BALLARD, G., HOWELL, G. 1994. Implementing lean construction: improving downstream performance, 2ND ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION.

[8] BALLARD, G., HOWELL, G. 1994. Implementing lean construction: improving downstream performance, 2ND ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION.

[9] KOSKELA, L., LAHDENPERÄ, P. & TANHUANPÄÄ, V. 1996. Sounding the potential of Lean Construction: a case study, 4TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION.

[10] RODERICK, I. F., Examination of the Use of Critical Path Methods in Building, Building Research Establishment Current Paper n. 12/77, BRE, Garston, U.K., March 1977.

[11] FOSSE, R., KALSAAS, B. T. & DREVLAND, F. 2014. Construction site operations madeleaner and standardized: a case study, 22ND ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, p. 823-834.

[12] HEINECK, L. F., The Analysis of Activity Durations, Precedence and Sequence of Work on Housebuilding Sites of Repetitive Nature – graphical software to enhance the printed output from the Building Research Establishment Site Analysis Package, Internal Report, Department of Civil Engineering, University of Leeds, January 1986, https://lume.ufrgs.br/handle/10183/149130.

[13] HEINECK, L. F., Some Causes of the Variability of the Level of Resources assigned to Building Sites Programmes of Work, Internal Report, Department of Civil Engineering, University of Leeds, United Kingdom, (U.K.), February 1982a, https://lume.ufrgs.br/handle/10183/149130.

[14] HEINECK, L. F., The Examination of possible Causes of the Lack of Success in the Application of Programming Techniques to Building Sites, Internal Report, Department of Civil Engineering, University of Leeds, February 1982b, , https://lume.ufrgs.br/handle/10183/149130.

[15] PICARD, H. E. 2002. Construction process measurement and improvement, 10TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION.

[16] CLAPP, M. A. Weather conditions and productivity – detailed study of five building sites. Building, v.211, n.6439, October 1996, p. 171-180.

[17] LIDELOW.H.; SIMU, K. Lean construction as an emergent operations strategy, 24TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 20 – 22 July 2016, Boston, USA, section 1, p. 153-162.

[18] ESQUENAZI, A. & SACKS, R. 2006. Evaluation of lean improvements in residential construction using computer simulation, 14TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, p. 137-149.

[19] KOSKELA, L. , HOWELL, G. , PIKAS, E. & DAVE, B. 2014. If CPM is so bad, why have we been using it so long, 22ND ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, p. 27-37.

[20] KOSKELA, L. & HOWELL, G. 2001. Reforming project management: the role of planning, execution and controlling, 9TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION.

[21] HOWELL, G. A. & KOSKELA, L. 2000. Reforming project management: the role of lean construction, 8TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION.

[22] BOSCHÉ, F. & LARABI-TCHALAIA, K. 2023. Enhancing earned value analysis with intrinsic schedule performance metrics, THE 31ST ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC31) , p. 1116-1126. doi.org/10.24928/2023/0109.

[23] MOSSMAN, A. & RAMALINGAM, S. 2022. Capacity building: learning from corporate successes outside construction, 30TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC), p. 996-1007. doi.org/10.24928/2022/0209.

[24] RIZK, L. , HAMZEH, F. & EMDANAT, S. 2017. Introducing new capacity planning metrics in production planning, 25TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, p. 679-686. doi.org/10.24928/2017/0203.

[25] BINNINGER, M., DLOUHY, J., OPRACH, S. & HAGSCHSHENO, S. 2016. Methods for production leveling – transfer from lean production to lean construction, 24TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION.

[26] SINGH, V., TOMMELEIN, I. D. & BARDAWEEL, L. 2020. Visual tool for workload leveling using the work density method for Takt Planning, 28TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION.

[27] MOLLER, M. & BEJDER, E. 2004. Resource Basins - A Strategic challenge for the building industry, 12TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION.

[28] GORDON, E., RAWLINSON, K., DAHBHADE, N. & REED, D. 2022. Assessing quality performance outcomes and the relationship with Staffing: a general contractor case study, 30TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC), p. 973-983. doi.org/10.24928/2022/0207.

[29] TETIK, M., PELTTOKORPI, A., SEPPÄNEN, O., VIITANEN, A. & LEHTOVAARA, J. 2019. Combining Takt Production with industrialized logistics in construction,. 27TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC), p. 299-310. doi.org/10.24928/2019/0156.

[30] WERNICKE, B., LIDELÖW, H. & STEHN, L. 2017. Flow and resource efficiency measurement method in off-Site production, 25TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, p. 861-868. doi.org/10.24928/2017/0094.

[31] DAVE, B., SEPPÄNEN, O. & MODRICH, R. 2016. Modeling information flows between Last Planner and Location Based Management System, 24TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION.

[32] BATAGLIN, F. S., VIANA, D. D. , COELHO, R. V. , TOMMELEIN, I. D. & FORMOSO, C. T. 2021. Buffer types and methods of deployment in construction, 29TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION (IGLC), p. 849-858.

[33] FALOUGHI, M., LINNIK, M. , MURPHY, D. & FRANDSON, A. G. 2015. WIP Design in a construction project using Takt Time Planning, 23RD ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, p. 163-172.

[34] BASCOUL, A. M. & TOMMELEIN, I. D. 2017. Visualizing daily on-site space use, 25TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, p. 597-604. doi.org/10.24928/2017/0258.

[35] KOSKELA, L. 2004. Making-Do - the eight category of waste, 12TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION.

[36] MITROPOULOS, P. 'Planned Work Ready': a proactive metric for project Control, 13TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, p. 235-242.

[37] GROSSKOPF, J., MENEZES, A. S. & SANTOS, D. G. 2013. Proposal of activities that facilitate work in order to avoid workflow interruptions caused by Making-Do, 21TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, p. 719-728.

[38] CORRÊA, h. l., CORRÊA, C. A., Administração de Produção e Operações – manufatura e serviços: uma abordagem estratégica, 4 Edição, Ed. Atlas, Grupo Gen, São Paulo, 2017.

[39] LUMSDEN, P., **The Line of Balance Method**, Pergamon Press Ltd, Industrial Training Division, Oxford, 71 p.

[40] HEINECK, L. F., On the Analyses of Activity Durations on three House Building Sites, Thesis, Department of Civil Engineering, University of Leeds, March 1983, 275 p., https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/149019/000011837.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[41] HOPP, W. J.; SPEARMAN, **A Ciência da Fábrica**, 3 Edição, Bookman, Porto Alegre, 694 p. 2013.

[42] HEINECK, L. F. M., Efeito aprendizagem, efeito continuidade e efeito concentração no aumento da produtividade das alvenarias, 3 SIMPOSIO DE DESEMPENHO E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, Florianópolis, UFSC, 1991, 8 p.

[43] GOMES, M. M. B; OLIVEIRA, M. B. P de, HEINECK, L. F. M.; Representações gráficas para uma visão conjunta de Lean Construction e Linha de Balanço, XII SIBRAGEC – SIMPOSIO BRASILEIRA DE ECONOMIA E GESTÃO DA CONSTRUÇÃO, Maceió, Estado de Alagoas, Porto Alegre, ANTAC, p. 1-8, 2021.

[44] OLIVEIRA, M. B. P. de; GOMES, M. M. B.; HEINECK, L. F. M.; Considerações gráficas para incorporação de ferramentas gerenciais e conceitos da produção enxuta na Linha de Balanço, ENEGEP 2021, XLII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Foz do Iguaçu, Estado do Paraná, 18 a 21 de Outubro de 2021.

[45] CAVALCANTE, V. C.; HEINECK, L. F. M.; GOMES, M. M. B. Sistematização e incorporação de elementos gerenciais tácitos à Linha de Balanço de uma empresa para planejamento de edifícios altos, ENEGEP 2021, XLII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Foz do Iguaçu, Estado do Paraná, 18 a 21 de outubro de 2021.

[46] F.; MOREIRA, K. M.; CRUZ, L. G.; CRUZ, A. C.; MORORO, M. S.; HEINECK, L. F. M. . Identificação gráfica de elementos da construção enxuta no planejamento de obras com a Linha de Balanço, 7 SIBRAGEC, Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 2011, Belém. Volume 1, 2011.