

Barth, K.B. & Formoso, C.F. (2024). Estructura de conocimiento para desenvolvimiento e implementação de sistemas de medição de desempenho para Lean Construction. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas de congreso del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción (IX ELAGEC2024)*.

# ESTRUTURA DE CONHECIMENTO PARA DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO PARA A LEAN CONSTRUCTION

**Karina B Barth**<sup>1</sup> – [kbertotto@gmail.com](mailto:kbertotto@gmail.com)

**Carlos T. Formoso**<sup>2</sup> – [formoso@ufrgs.br](mailto:formoso@ufrgs.br)

<sup>1</sup>Núcleo Orientado para a Inovação da Construção (NORIE), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, RS, Brasil, [orcid.org/0000-0001-9612-6246](https://orcid.org/0000-0001-9612-6246)

<sup>2</sup> Núcleo Orientado para a Inovação da Construção (NORIE), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, RS, Brasil, [orcid.org/0000-0002-4772-3746](https://orcid.org/0000-0002-4772-3746)

## RESUMO

Devido às peculiaridades da construção civil, tais como produtos exclusivos, produção no local e organizações temporárias, a implementação da filosofia *Lean* nesse setor tem diferenças fundamentais em relação à manufatura. Projetos de construção podem ser considerados como sistemas sociotécnicos complexos, pois envolvem um grande número de partes distintas que interagem dinamicamente e uma variabilidade substancial nos processos e metas. Sistemas de Medição de Desempenho (SMD) podem apoiar a implementação *Lean* na construção, avaliando o impacto das mudanças e fornecendo informações para orientar as organizações nesse processo. A implementação *Lean* na construção cria demandas adicionais para o SMD em relação ao que sugere a literatura sobre medição de desempenho em geral. Este trabalho de pesquisa procura preencher essa lacuna, propondo uma estrutura de conhecimento prescritiva que inclui proposições preliminares para princípios e prescrições de projeto para o desenvolvimento de SMD adaptados para apoiar a implementação da filosofia *Lean* na gestão da produção na construção. Ainda, esta pesquisa propõe uma taxonomia de indicadores, a qual aumenta o escopo da medição de desempenho, evolui na compreensão do seu papel ao lidar com a variabilidade inesperada e faz recomendações para o desenvolvimento de *dashboards*.

## PALAVRAS-CHAVE

Desempenho; indicadores; *Lean*; *dashboard*; sistema sociotécnico complexo.

## INTRODUÇÃO

Em função das peculiaridades da indústria da construção, tais como produção baseada em projeto, longo *lead time* e pouca repetição devido ao produto ser executado no local de uso (Koskela, 2000), a implementação da filosofia *Lean* neste setor tem diferenças fundamentais em relação à manufatura (Koskela, 1992). Isto deu origem a um movimento que envolve a adaptação de conceitos e princípios da filosofia *Lean* para a construção civil, denominado de *Lean Construction* (LC), resultando em um conjunto de métodos e práticas de gestão da produção desenvolvidos para este setor.

Empreendimentos de construção civil podem ser classificados como Sistemas sociotécnicos complexos (SSC) pois envolvem um grande número de partes distintas que interagem dinamicamente, tais como componentes, tecnologias e organizações participantes (Baccarini, 1996). Além disto, seus processos e metas são caracterizados por um elevado grau de incerteza (Williams, 1999). De fato, é bastante comum identificar em empreendimentos de construção, uma lacuna entre o trabalho como imaginado (*WAI*<sup>1</sup>) e o trabalho como realizado (*WAD*), o uso de práticas informais de trabalho e a adaptação dos procedimentos a casos particulares (Hamerski et al., 2021).

SSC representam um tipo específico de sistema adaptativo complexo, composto por pessoas e tecnologia que interagem para produzir um resultado desejável (Soliman & Saurin, 2017). Este contexto requer modelos de gestão baseados na cooperação entre as partes, delegação de responsabilidades e auto-organização, em contraste com modelos centralizados e burocráticos, utilizados na gestão tradicional de empreendimentos (Bertelsen & Koskela, 2004). Na construção civil, assim como em outros sistemas complexos, os métodos e práticas de gestão da produção são utilizados para conviver com uma elevada variabilidade inesperada. O presente trabalho adota a premissa de que a LC representa uma forma de considerar a complexidade da construção civil, reduzindo a parcela da variabilidade que pode ser prevista e lidando com a parte da variabilidade que não pode ser prevista. A literatura aponta benefícios da aplicação da LC, sendo que alguns dos benefícios citados são menor prazo de entrega, redução de retrabalho, melhor coordenação e comunicação entre os envolvidos.

Nesse contexto, o sistema produtivo deve prever diferentes tipos de *slack* (folga), que pode ser definido como um meio de absorver a variabilidade de diferentes fontes e uma forma de mitigar a incerteza (Saurin & Werle, 2017). *Slack* pode ser implementado por um conjunto de recursos e estratégias que permitem a adaptação de organizações às pressões internas para ajuste ou às pressões externas para mudanças políticas (Bourgeois, 1981). Os recursos de *slack* podem ser do tipo estoque, tempo, equipamentos, pessoas, financeiro e informações (Saurin & Werle, 2017). As estratégias de implementação do *slack* são classificadas em redundância, flexibilidade e margens de manobra (Formoso et al., 2021). Há diferentes formas de introduzir *slack* em um sistema de produção, tais como o Projeto do Sistema de Produção, que introduz margens de manobra, o Sistema *Last Planner*, que introduz *slack* na forma de redundância e flexibilidade, e por meio da introdução de outras práticas de LC como o uso do trabalho padronizado (TP), *kanban* e outras ferramentas de gestão visual.

---

<sup>1</sup> WAI é a sigla em inglês para *Work as Imagined* e WAD é a sigla em inglês para *Work as Done*.

Sistemas de Medição de Desempenho (SMDs) podem apoiar a implementação da LC, permitindo avaliar os impactos das práticas introduzidas (Sarhan & Fox, 2013; Zanon et al., 2020) e fornecendo informações para orientar as organizações ao longo deste processo, indicando a direção a ser seguida (Teh & Pang, 1999). O equilíbrio entre indicadores de processo (*leading*) e de resultado (*lagging*) em um SMD pode contribuir para a mudança de cultura, reforçando comportamentos, valores e crenças desejados (Bourne et al., 2005; Naslund & Norrman, 2019).

Apesar da importância dos SMDs, a bibliografia sobre o uso de SMDs como suporte à implementação Lean é escassa (Naslund & Norrman, 2019; Robinson et al., 2005). Em muitas empresas de construção envolvidas na implementação de conceitos e princípios *Lean* utilizam apenas métricas relacionadas ao Sistema *Last Planner* (Hamzeh et al., 2019), um modelo de planejamento e controle amplamente disseminado no setor, além dos tradicionais indicadores de custo e desvio de prazo (Espana et al., 2012; Formoso & Moura, 2009; Sacks et al., 2017). Além disso, faltam estudos sobre como as empresas que implementam a filosofia *Lean* utilizam seus indicadores e até que ponto estes refletem o resultado de ações realizadas (Bellisario & Pavlov, 2018). Pode-se considerar que a implementação da filosofia *Lean* cria demandas adicionais aos SMDs em relação ao que sugere a literatura sobre medição de desempenho em geral.

Além disto, a literatura aponta vários outros problemas relacionados à medição de desempenho em empreendimentos de construção civil: (i) diversas empresas utilizam indicadores tradicionais, focados no resultado, que são ineficazes para apoiar decisões em tempo real (Sarhan & Fox, 2013) (ii) alguns SMDs contêm muitos indicadores, a maioria focada em processos de suporte e não críticos (Costa & Formoso, 2004); (iii) a implementação de SMDs é muitas vezes limitada à seleção de indicadores de forma isolada (Sacks et al., 2017); e (iv) os SMDs são integrados de forma ineficaz a iniciativas de melhoria contínua (Kennerley & Neely, 2003). Sarhan & Fox (2013) sugerem que o uso equivocado de SMDs é um fator crítico para o fracasso em programas de implementação da filosofia *Lean* na construção. Portanto, existem oportunidades para melhorar a medição de desempenho em empresas de construção que adotaram a filosofia *Lean*, especialmente em relação ao uso de indicadores relacionados a conceitos e princípios fundamentais, tais como produção puxada, WIP e fluxo contínuo.

A questão de pesquisa que orientou essa investigação é “**Como desenvolver SMDs para apoiar a implementação da filosofia *Lean* na gestão da produção de empresas do setor da construção**”. O foco desta pesquisa é o desempenho dos sistemas de produção de construção, que pode ser avaliado considerando diferentes dimensões: eficiência, tempo de execução, qualidade, segurança, impacto ambiental, etc. O objetivo desta pesquisa é propor uma estrutura de conhecimento de caráter prescritivo, que conecta princípios com prescrições de design para o desenvolvimento de SMDs que têm o propósito de apoiar a implementação de conceitos e práticas *Lean* na gestão da produção de empresas do setor da construção.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um SMD é definido no presente trabalho como um conjunto de indicadores usados para dar transparência a elementos tangíveis e intangíveis de forma quantitativa ou

qualitativa, com o objetivo de apoiar a tomada de decisão e a melhoria contínua. O desenvolvimento de um SMD envolve um esforço para integrar os indicadores à gestão de processos, não sendo restrito a um conjunto de métricas isoladas. O SMD possui diversos elementos: um conjunto de indicadores, métodos de medição, instâncias de análise e tomada de decisão, processos de retroalimentação e os usuários do sistema (Choong, 2014).

Para o desenvolvimento de um SMD, devem ser identificados os usuários e as suas necessidades de informação para, posteriormente, definir o propósito desse sistema. Utilizando a definição de medição de desempenho de Neely et al. (2005), o propósito de um SMD consiste em quantificar a eficiência e a eficácia das ações estabelecidas. Este objetivo pode ser analisado em relação ao atingimento das estratégias (buscando promover comunicação interna e externa à organização), em termos de melhorias locais ou em relação a programas de melhoria (Bourne et al., 2000). Além de medir o desempenho, monitorar as estratégias e promover comunicação interna e externa à empresa, SMDs têm o propósito de apoiar a tomada de decisão e de fomentar aprendizagem e melhoria contínua (Franco-Santos et al., 2007). Soma-se a estes propósitos o objetivo de tornar visíveis os atributos invisíveis do processo (Koskela, 1992).

O papel da medição de desempenho em sistemas de produção *Lean* difere daquele desempenhado quando da sua aplicação em sistemas gerenciais em geral (Maskell 1991). Esta mesma lógica deve ser considerada na indústria da construção. A medição de desempenho na gestão de empreendimentos de construção em geral se limita a avaliar o cumprimento dos prazos, os resultados de custo e a avaliação da qualidade (España et al. 2012). Esta visão se baseia no modelo do termostato, no qual controlar significa atender ao padrão através da correção de desvios, não dedicando muito esforço à identificação e eliminação das causas básicas destes desvios (Koskela & Howell, 2002). A medição de desempenho em sistemas de produção *Lean* deve apontar deficiências nos processos, que podem ser consideradas como fontes de tensões criativas para a melhoria contínua (Spear & Bowen, 1999). A gestão da construção com base na filosofia *Lean* enfatiza a identificação das causas-raiz dos desvios de forma a orientar a solução dos problemas (Koskela & Howell, 2002). Essa ideia apoia a premissa de que o SMD deve fornecer informações que serão usadas como referência para a melhoria e o aprendizado sobre o processo (Pavlov & Bourne, 2011). De fato, uma das principais ênfases de um SMD em um processo de implementação *Lean* está na melhoria contínua (Choong, 2014; Slack, 1983).

Em relação ao alinhamento estratégico, é correto afirmar que a medição de desempenho deve ser usada para alinhar os esforços e recursos aos objetivos estratégicos do negócio (Kaplan & Norton, 2004; Lantelme & Formoso, 2000). Entretanto, em se tratando da gestão da construção com base na filosofia *Lean*, é importante que este foco também inclua objetivos alinhados aos ideais *Lean* (Koskela, 1992). A geração de valor, a eliminação de desperdícios e a redução da variabilidade são exemplos de ideais *Lean* que devem nortear os avanços na gestão do negócio (Koskela, 1992). Outros fenômenos que podem ser citados são a redução de estoques, a redução do tamanho do lote e o aumento da confiabilidade.

## MÉTODO DE PESQUISA

*Design Science Research* (DSR) foi a abordagem metodológica adotada nesta pesquisa. Essa abordagem tem um caráter prescritivo, e consiste em desenvolver conceitos de solução, denominados de “artefatos”, para resolver diferentes classes de problemas (van Aken, 2004; Holmstrom & Ketokivi, 2009). O artefato proposto nesta pesquisa consiste em um conjunto de proposições preliminares para princípios e prescrições de design (*design principles and prescriptions*) referentes ao desenvolvimento de Sistemas de Medição de Desempenho que tem o propósito de apoiar a implementação de conceitos e práticas Lean na gestão da produção de empresas do setor da construção.

Uma prescrição de design pode ser definida como uma sugestão de curso de ação para uma determinada circunstância, a fim de obter um certo efeito (Ropohl, 1997). Os princípios de design representam categorias de prescrições de design, ou seja, recomendações gerais que apoiam a tomada de decisões no design de uma solução ou artefato, sendo considerados uma parte mais abstrata da estrutura de conhecimento (Vaishnavi & Kuechler, 2007). O artefato foi desenvolvido como resultado de dois estudos empíricos, por meio de trabalho colaborativo com duas empresas. Assim, o método de pesquisa pode ser posicionado como “*action design research*”, ou seja, design, implementação e avaliação de um artefato de forma colaborativa com potenciais usuários (Sein et al., 2011).

As duas empresas (Empresa A e B) foram escolhidas porque ambas estavam envolvidas em programas de longo prazo para implementar conceitos e práticas Lean na gestão da produção e também devido ao seu interesse em melhorar seu SMD. A Empresa A, fundada em 1922, é uma das maiores varejistas do Brasil, especializada na venda de vestuário, e atua como cliente para projetos de construção comercial. Anualmente, esta empresa realiza de 40 a 60 projetos rápidos e de pequeno porte, a maioria reformas. A Empresa B, fundada em 1965, é uma grande empresa que desenvolve e constrói projetos de construção residencial para mercados de classe baixa, média e média alta no Chile.

Ambos os estudos empíricos foram divididos em três etapas: (a) compreensão do problema em seu contexto com o objetivo de entender o problema real e formalizar um plano para a concepção do SMD (fevereiro a dezembro/19); (b) desenvolvimento e implementação do SMD envolvendo vários ciclos de planejamento, ação (implementação gradual do artefato), avaliação e reflexão (fevereiro/20 a setembro/21) e (c) análise e avaliação do SMD, realizado individualmente para cada empresa (junho a setembro/22). No início de cada estudo empírico foi criado um grupo de trabalho denominado “Grupo SMD”, composto por representantes de diferentes departamentos da organização para dar suporte ao desenvolvimento da pesquisa em cada empresa.

O conjunto de requisitos para SMDs proposto por Barth e Formoso (2021) foi utilizado como base para o desenvolvimento do trabalho do Grupo SMD. Iniciou-se com o desenvolvimento de mapas de objetivos e ações estratégicas para o programa de implementação Lean em cada empresa, com o objetivo de explicitar e priorizar ações de implementação no desenvolvimento do SMD. A partir da elaboração desses mapas, o Grupo SMD procedeu à definição dos elementos do SMD, que englobam não apenas os indicadores em si, mas também Performance Dashboards (PDs) e ciclos de aprendizagem e melhoria contínua dentro do SMD. Esses ciclos envolvem instâncias

de tomada de decisão, relatórios, atribuição de responsabilidades, frequência e entradas e saídas para cada etapa. Em ambos os estudos empíricos, os PDs foram parcialmente implementados devido a restrições de tempo e recursos humanos por parte das empresas.

Foram utilizadas múltiplas fontes de evidências, incluindo observação participante (reuniões do Sistema *Last Planner*, reuniões do Grupo SMD e reuniões com profissionais das empresas estudadas), observação direta durante visitas aos canteiros de obras, entrevistas individuais e em grupo, análise de documentos, análise de ferramentas de software existentes e banco de dados existente na empresa.

## RESULTADOS

Os **princípios de design** propostos no presente trabalho emergiram ao longo da realização dos estudos empíricos nas empresas A e B. Os mesmos foram desdobrados em **prescrições para o design** de SMDs e foram conectados a **práticas** observadas nos estudos empíricos. A Figura 1 apresenta a relação entre os nove princípios de design que compõe a estrutura de conhecimento. Três princípios são centrais no artefato, indicadores alinhados aos objetivos de alto nível (estratégicos ou ideais Lean), fornecer informações para lidar com a variabilidade que não pode ser removida, e promover melhoria e aprendizagem. A aprendizagem contribui para lidar com variabilidade inesperada, assim como lidar com a variabilidade inesperada é importante para atingir os objetivos definidos. A centralidade destes três princípios emergiu por meio do número de conexões que estes princípios possuem com os demais.

Três outros princípios de design contribuem para a aprendizagem. Estabelecer sistema de controle local possibilita gerar aprendizagem em um nível operacional, de forma colaborativa. A reflexão em instâncias para tomada de decisão fomenta a aprendizagem dos envolvidos. Por fim, a aprendizagem ocorre a partir das conexões geradas através da análise conjunta de indicadores *leading* e *lagging*, as quais podem permitir a análise de relações de causa e efeito. Um SMD flexível e atualizado, como consequência da aprendizagem ou como resultado de outras mudanças no sistema de produção e no ambiente interno e externo, também contribui para que a empresa lide com a complexidade do contexto da gestão de empreendimentos de construção.

Outra forma de lidar com a complexidade é ampliar o escopo da medição, considerando uma maior diversidade de dimensões do desempenho (por exemplo, resiliência, confiabilidade, colaboração). A inclusão de outros indicadores é também necessária para relacionar o SMD aos propósitos gerais da filosofia *Lean*. Por fim, conhecer o status da produção permite adotar produção puxada, que representa um dos pilares da filosofia *Lean*.



**Figura 1.** Relação entre os princípios de design que compõem o artefato desenvolvido nesta pesquisa.

A seguir são descritos os princípios e prescrições de *design* apresentados na Figura 2.

### 1. Alinhar indicadores com objetivos de alto nível os quais podem ser objetivos estratégicos ou ideais *Lean*.

A inclusão de ideais *Lean* como **objetivos de alto nível** permite **priorizar a seleção dos indicadores**. Como decorrência desse princípio de design foi estabelecida a prescrição de **desenvolver mapas de objetivos e ações estratégicas para o programa de implementação *Lean*, explicitando a conexão entre os indicadores e os objetivos do programa**. Nas empresas envolvidas nos estudos empíricos foram incluídos objetivos para apoiar o programa de implementação *Lean* nos mapas de curto e médio prazo.

### 2. Ampliar o escopo da medição de desempenho.

Foi proposta uma prescrição vinculada a este princípio, que é **considerar uma maior diversidade de dimensões do desempenho** relacionada aos objetivos da filosofia *Lean*. A partir da revisão bibliográfica e dos estudos empíricos foi proposta uma taxonomia de indicadores, que inclui: geração de valor, melhoria contínua e aprendizagem, controle do slack, confiabilidade, colaboração e empoderamento da mão de obra, integração com a cadeia de suprimentos e resiliência.

### 3. Mostrar o status da produção

Este princípio permite adotar sistemas puxados, os quais autorizam a liberação do trabalho com base no status do sistema, de forma a evitar o WIP (Hopp & Spearman, 1996). A partir deste princípio foi proposta a prescrição de **monitorar o status da produção através da matriz para controle do status**. Nos estudos empíricos foram utilizados diversos indicadores *leading* e dispositivos visuais para monitorar o status da produção.

#### **4. Fornecer informações para lidar com a variabilidade que não pode ser removida.**

Os empreendimentos de construção civil, assim como outros SSC, são caracterizados por um elevado grau de variabilidade (Williams, 1999). O SMD deve fornecer informações que permitam conviver com esta variabilidade. Estão vinculados a este princípio as seguintes prescrições:

- **Monitorar as mudanças na quantidade de *slack* do sistema de produção** (Bourgeois, 1981). *Slack* representa uma forma de proteger o sistema da variabilidade que não pode ser removida (Browning & de Treville, 2021).
- **Medir algumas categorias de perdas consideradas como fundamentais**, tais como de WIP, trabalho inacabado, retrabalho e falta de qualidade (Formoso et al., 2020).
- **Dar visibilidade a processos e resultados**, conforme sugerido por Saurin et al. (2013), que envolve não apenas as anomalias, mas também as práticas informais de trabalho. A ideia é tornar a complexidade visível para que as pessoas possam aprender a partir de informações sobre anomalias e práticas informais.
- **Explicitar a lacuna entre *WAI* e o *WAD* através da medição de desempenho**, decorrente prescrição anterior.

#### **5. Ser flexível e atualizado de tempos em tempos**

A atualização e melhoria do SMD deve ser realizada em função de mudanças ocorridas no ambiente interno e externo. Estas mudanças ocorrem em decorrência do processo de aprendizagem (Bellisario & Pavlov, 2018), da existência de variabilidade no sistema de produção (Maskell, 1991), de mudanças estruturais (Nudurupati et al., 2007) e de mudanças no ambiente empresarial externo (Kennerley & Neely, 2003). As prescrições decorrentes deste princípio são:

- **Monitorar as mudanças no sistema de produção e no ambiente interno e externo**, de forma a manter o SMD atualizado. Além dos indicadores que monitoram o resultado, o SMD deve incluir indicadores que permitam monitorar e antecipar as mudanças no ambiente.
- **Incluir ciclos de revisão de informações de forma evolutiva**, estabelecendo novos indicadores e removendo indicadores antigos como consequência das mudanças ocorridas na empresa.

#### **6. Incluir um conjunto de indicadores *leading* e *lagging* que se complementam e evitam distorções nas análises.**

Indicadores utilizados de forma isolada podem distorcer a interpretação, levando a conclusões equivocadas. Indicadores *lagging* permitem identificar se um projeto vem se mantendo dentro da meta estipulada, mas são de pouca utilidade quando se busca gerenciar o resultado no futuro e podem até ser prejudiciais (Penaloza et al., 2020). Mesmo indicadores *leading*, quando analisados individualmente, fornecem informações limitadas (indicador PPC, por exemplo). Assim, os indicadores *leading* e *lagging* devem ser combinados, fornecendo uma visão mais ampla a partir de diferentes perspectivas de desempenho.

Associada a este princípio está a prescrição **utilizar controles combinados para antecipar resultados futuros** (monitorar o ritmo, aumentar confiabilidade nos planos, usar de dados reais para projetar resultados futuros e considerar a terminalidade dos processos). Como exemplo de prática identificada nos estudos pode-se citar a análise de indicadores *lagging* (como avanço físico) em conjunto com indicadores *leading* (como a confiabilidade nos planos e a projeção de entrega) e outros gráficos (como as curvas de ritmo) que permitiram antecipar possíveis cenários nos estudos empíricos.

## 7. Promover melhoria e aprendizagem

Apoiar a melhoria e a aprendizagem representa um dos propósitos de um SMD (Franco-Santos et al., 2007). Este princípio foi associado a duas prescrições:

- **Aprender com os erros e com o trabalho normal**, no sentido de que os indicadores fornecem dados que permitem compreender os desvios e suas causas, as ações que geram bons resultados e as tendências futuras.
- **Identificar conexões emergentes** (não intencionalmente projetadas) **entre indicadores como uma forma de aprendizagem dos usuários do SMD**. O uso de PDs como apoio à discussão em reuniões favorece a aprendizagem, permitindo que novas conexões sejam identificadas por meio da análise de cenários.

## 8. Apoiar a tomada de decisão fornecendo feedback significativo e oportuno aos usuários

A medição de desempenho deve fornecer informações rápidas, relevantes e confiáveis para apoiar a tomada de decisão (Neely et al., 2005). Quatro prescrições são associadas a esse princípio de design.

- **Identificar a necessidade de informação de diferentes stakeholders**. A escolha dos indicadores e a forma como são exibidos dependem das necessidades específicas de cada usuário (por exemplo, gerentes, trabalhadores e empresas subcontratadas). Além disso, as partes interessadas devem entender o significado e a importância das informações fornecidas (Maskell, 1991).
- **Usar dashboards como dispositivos de gestão visual**. Aumentar a transparência do processo está fortemente relacionada à eficácia da retroalimentação. Dispositivos visuais devem ser projetados para os usuários e disponibilizados para que as informações necessárias estejam acessíveis (Valente et al., 2017). Ainda, o uso de *dashboards* representa uma forma visual de monitorar o status da produção, dar visibilidade a resultados e antecipar resultados através da conexão entre indicadores. Uma prescrição decorrente é **conectar a análise dos PDs a alguma instância de tomada de decisão**. É importante destacar que a simples conexão dos *dashboards* às instâncias de análise não garante sua utilização para a tomada de decisão. A combinação de diferentes princípios de design é que permite alcançar os efeitos desejados.
- **Considerar diferentes perspectivas na tomada de decisão**, que também pode ser considerada como um exemplo de prática de implementação de *slack* (Saurin et al., 2013).

- Usar a tecnologia de informação (TI) para automatizar a coleta e o processamento dos dados e para desenvolver os *dashboards*, e definir os recursos humanos para sua implementação. A TI permite reduzir o tempo e o esforço necessário para coleta e processamento dos dados (Bhasin, 2008). Não menos importante é a necessidade de definir os responsáveis pela implementação dos *PDs*.

## 9. Estabelecer sistemas de controle local

Estes sistemas adotam construtos, ou conceitos locais relevantes para um contexto específico, para definir controles. Indicadores de controle local devem considerar as ações no nível operacional e fornecer uma avaliação confiável da realidade existente para as pessoas envolvidas nas iniciativas de melhoria (Bellisario & Pavlov, 2018). Nesse sentido, algumas informações podem fornecer conclusões errôneas ou perder o significado se forem removidas de seu contexto (Eckerson 2005).

Foram associados a este princípio três prescrições:

- **Introduzir certo grau de liberdade** para que as equipes em nível operacional possam se envolver na proposição de indicadores e melhorias (flexibilidade) (Maskell, 1991). Essa prescrição representa um contraponto ao princípio que estabelece que os indicadores devem estar alinhados aos objetivos de alto nível. Deve ser permitido certo grau de liberdade (Perry & Turner, 2006).
- **Dar autonomia para tomada de decisão em nível operacional.** Essa prescrição também possui relação com o princípio de apoiar a tomada de decisão fornecendo feedback significativo e oportuno aos usuários. Uma maior valorização da tomada de decisão no nível operacional reforça o empoderamento da mão de obra sugerido através da taxonomia de indicadores.
- **Antecipar e monitorar o impacto de pequenas mudanças (Saurin et al., 2013).** Esta prescrição propõe que os sistemas de controle local podem identificar pequenas mudanças, o que permite avaliar seu impacto. Essa prescrição está diretamente ligada à prescrição de monitorar as mudanças no sistema de produção e no ambiente interno e externo.

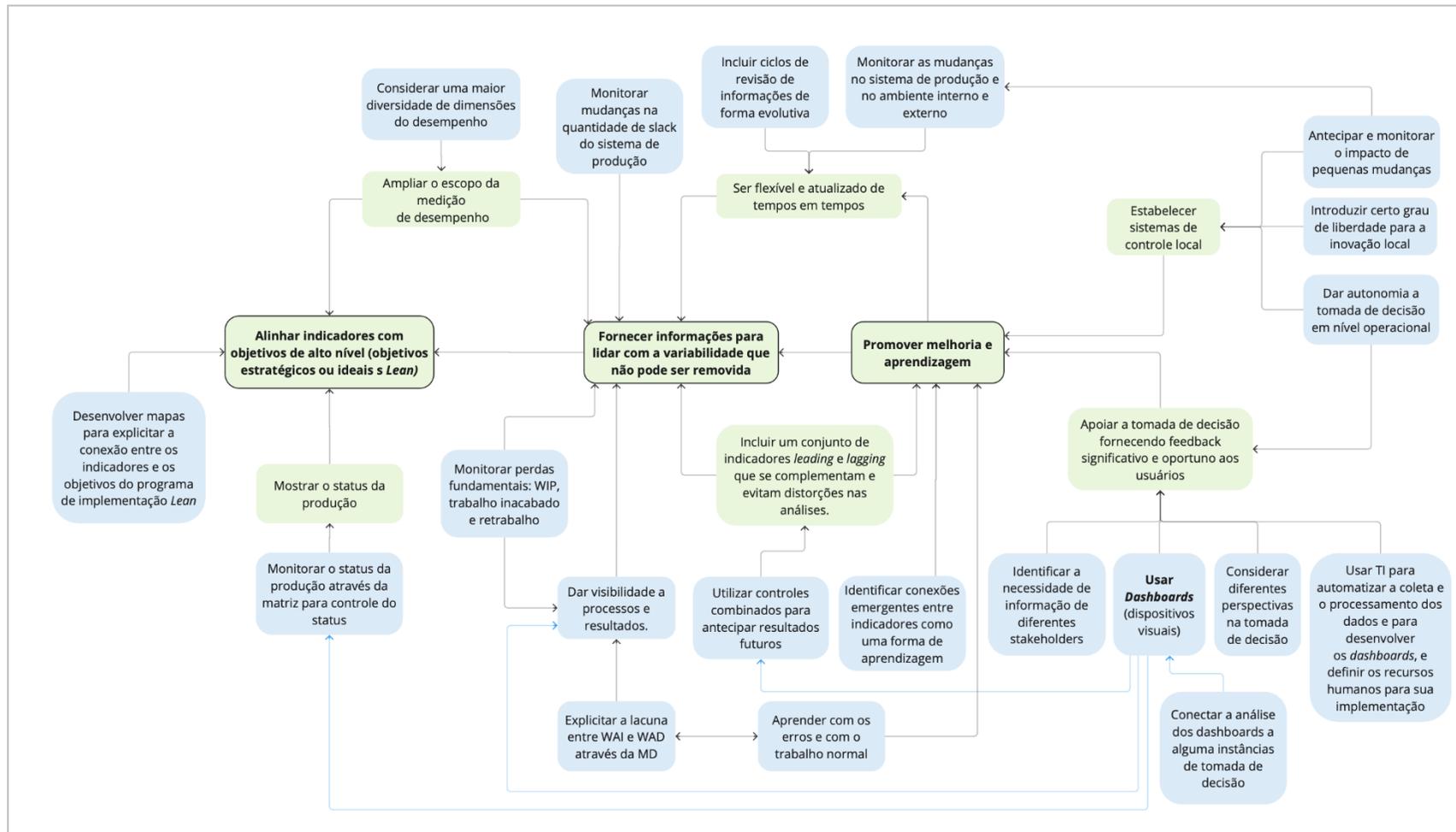


Figura 2. Artefato desenvolvido nesta pesquisa: estrutura de conhecimento que relaciona os princípios com as prescrições design.

A figura 3 a seguir, apresenta exemplos da relação entre princípios e prescrições de design com algumas das práticas identificadas.

Princípios de design	Prescrição de design	Exemplo de prática identificada
Ampliar o escopo da medição de desempenho	Considerar uma maior diversidade de dimensões do desempenho.	Inclusão de indicadores para monitorar a confiabilidade, melhoria contínua e aprendizagem, controle do <i>slack</i> e eliminação de desperdícios.
Mostrar o status da produção	Monitorar o status da produção através da matriz para controle do status da produção e mapas de calor	Uso da matriz para controle do status da produção.
<b>Fornecer informações para lidar com a variabilidade que não pode ser removida</b>	Monitorar mudanças na quantidade de <i>slack</i> em um sistema	Inclusão e monitoramento dos <i>buffers</i> de tempo no plano de longo prazo das obras da empresa A, uma estratégia de <i>slack</i> que introduz redundância de recursos
	Medir as perdas fundamentais de WIP, trabalho inacabado, retrabalho e falta de qualidade	Medição do WIP através da diferença entre o avanço físico com e sem terminalidade.
Ser flexível e atualizado de tempos em tempos	Monitorar as mudanças no sistema de produção e no ambiente interno e externo, de forma a manter o SMD atualizado.  Relacionada com <b>monitorar impacto pequenas mudanças</b>	Monitoramento dos gráficos de aderência ao lote planejado em conjunto com as curvas de ritmo permitiu identificar, antecipadamente, a necessidade de alterar a estratégia de execução da obra para evitar impacto no resultado.
Incluir um conjunto de indicadores <i>leading</i> e <i>lagging</i> que se complementam e evitam distorções nas análises.	Utilizar controles combinados para antecipar resultados futuros  Relacionada com <b>usar dashboards</b>	Análise de indicadores <i>lagging</i> (avanço físico) em conjunto com indicadores <i>leading</i> (confiabilidade nos planos e a projeção de entrega) e outros gráficos (curvas de ritmo) permitiram antecipar possíveis cenários.
Apoiar a tomada de decisão fornecendo feedback significativo e oportuno aos usuários	Conectar a análise dos <i>dashboards</i> a alguma instância de tomada de decisão	<i>Dashboards</i> de planejamento foram conectados às reuniões do SLP, passando, assim, a ser analisados pelos participantes.

**Figura 3.** Exemplos de algumas relações entre princípios e prescrições de design com práticas identificadas nos estudos empíricos.

## AValiação DO ARTEFATO

A **utilidade** dos princípios de design foi avaliada de acordo com sua eficácia em atingir o objetivo de permitir o desenvolvimento de SMDs para apoiar a implementação da LC. Assim, a avaliação da utilidade foi realizada através dos critérios de aprendizagem, antecipação, apoio à tomada de decisão (tempo das informações e relevância), escopo e abrangência do SMD e interconectividade (entre níveis gerenciais). Estes critérios foram definidos a partir da revisão da literatura que incluiu, dentre outras, publicações sobre SMDs (Neely et al., 2005; Maskell 1991), LC (Koskela 1992), SSC (Saurin et al., 2013). As práticas apresentadas Figura 3 representam exemplos de evidências de que as prescrições e, conseqüentemente, os princípios, foram utilizadas pelas empresas nos estudos empíricos.

A **aplicabilidade** do artefato foi avaliada de acordo com os critérios de facilidade de uso e a possibilidade de ser utilizado em outros contextos e expansividade. Aspectos sobre a facilidade de uso do artefato foram avaliados em relação aos indicadores que compõe o SMD desenvolvido nos estudos empíricos. Em relação à possibilidade de ser utilizado em outros contextos e expansividade do artefato, é importante destacar que as empresas dos estudos empíricos atuam em contextos que apresentam diferenças consideráveis. Ainda, na empresa A, a proposta de SMD desenvolvida para a gestão das obras, foi expandida para o processo de desenvolvimento de projetos de edificações.

## CONCLUSÕES

A estrutura do conhecimento proposta constitui-se na contribuição principal da pesquisa, sendo formada por um conjunto de nove princípios de design. Três destes princípios têm um papel de centralidade no artefato, por terem muitas conexões com os demais princípios. São eles: alinhar indicadores aos objetivos de alto nível (estratégicos ou ideais *Lean*), fornecer informações para lidar com a variabilidade que não pode ser removida, e promover melhoria e aprendizagem. A partir do conjunto de nove princípios, foram propostas vinte prescrições de design, as quais foram conectadas a exemplos de práticas identificadas nos estudos empíricos. Tais práticas representam instanciações do conjunto de princípios e prescrições de design, e representam evidências da utilidade da estrutura de conhecimento no contexto de empreendimentos complexos.

Em relação à aplicação das prescrições de design, apenas duas não foram exploradas nos estudos empíricos: *introduzir certo grau de liberdade para a inovação local e antecipar e monitorar o impacto de pequenas mudanças*. Ambas as prescrições estão relacionadas ao princípio de **estabelecer sistemas de controle local**. Também relacionada ao mesmo princípio, a prescrição *dar autonomia à tomada de decisão em nível operacional*, também conectada ao princípio de **estabelecer sistemas de controle local**, foi implementada de forma incipiente, por limitações no contexto organizacional da Empresa B. Assim, uma importante limitação do presente trabalho é o fato de que este princípio não foi investigado em profundidade no presente trabalho.

Pode-se argumentar que o princípio de **estabelecer sistemas de controle local** consiste em uma prática avançada no processo de implementação da filosofia *Lean*, representando uma grande mudança em relação às práticas tradicionais. Contudo, a possibilidade de criar **sistemas de controle local** representa uma proposição importante deste trabalho de pesquisa. Por um lado, os SMDs devem ter medidas padronizadas, que permitem monitorar o alinhamento com os objetivos estratégicos da organização e com os ideais *Lean*. Por outro lado, deve-se permitir certo grau de liberdade para que as pessoas utilizem alguns indicadores que não estão conectados às estratégias, mas que fornecem informações importantes para o monitoramento dos processos e identificação de oportunidades de melhoria. Alguns destes indicadores podem ser utilizados por um período e deixar de ser utilizados como consequência da aprendizagem.

**Esta pesquisa também avançou ao conectar as ideias da medição de desempenho à implementação da filosofia *Lean* em empreendimentos de construção, considerando estes na perspectiva de SSC.** O princípio de fornecer informações para lidar com a variabilidade que não pode ser removida tem um papel central na estrutura de conhecimento, sendo que o mesmo está vinculado a outros princípios e a prescrições

fortemente vinculados à gestão da complexidade. Pode-se citar como exemplo, ampliar o escopo da medição de desempenho, ser flexível e atualizado de tempos em tempos, promover melhoria e aprendizagem, monitorar as mudanças na quantidade de *slack*, dar visibilidade a processos e resultados, dentre outros. Grande parte destas contribuições para a medição de desempenho estão relacionadas a mecanismos utilizados para lidar com a complexidade, o que mostra um importante aspecto da aplicação da filosofia *Lean* na indústria da construção. Assim, a implementação da filosofia *Lean* **cria demandas adicionais aos SMDs** em relação ao que sugere a literatura sobre medição de desempenho em geral.

Considerando as contribuições práticas da pesquisa, os resultados do presente trabalho podem ter um impacto importante no desenvolvimento do SMD em empresas similares àquelas que participaram dos estudos empíricos. O conjunto de princípios e prescrições de design representam conceitos de solução que podem ser adaptados a diferentes contextos.

Em relação às limitações, deve-se destacar que os princípios e prescrições de design não foram suficientemente testados, tendo emergido ao longo do trabalho. Logo, a estrutura de conhecimento desenvolvida pode ser considerada como um conjunto de proposições preliminares que necessitam ser testadas em diferentes contextos. Ainda, houve **limitações de tempo e de recursos humanos** por parte das empresas para a implementação dos SMDs. Esta, inclusive, é uma **barreira** para a implementação de SMDs em geral citada na literatura. Alguns destes desafios, como a integração do SMD às operações diárias e a resistência à mudança, foram enfrentados a partir de uma implementação *bottom-up* de indicadores para a gestão da produção, principalmente pela implementação colaborativa do Sistema *Last Planner, Takt planning*, etc. Em outras dimensões do desempenho da produção, como qualidade e segurança, há necessidade de estudos futuros.

## REFERENCIAS

- Baccarini, D. (1996). The concept of project complexity a review. *International Journal of Project Management*, 14(4), 201–204.
- Bertelsen, S. (2003). Complexity - A New Way of Understanding Construction. In *Proc. 11<sup>th</sup> Ann. Conf. Int. Group for Lean Constr.*, pp. 1-12.
- Bertelsen, S., & Koskela, L. (2004). Construction beyond lean: A new understanding of construction management. In *Proc. 12<sup>th</sup> Ann. Conf. Int. Group for Lean Constr.*, pp. 1-12.
- Bellisario, A., & Pavlov, A. (2018). Performance management practices in lean manufacturing organizations: a systematic review of research evidence. *Production Planning & Control*, 29(5), 367–385. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1432909>
- Bhasin, S. (2012). Performance of Lean in large organisations. *J. of Manufacturing Systems*, 31(3), 349–357. [doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.04.002](https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.04.002)
- Bourgeois, J. L. (1981). The measurement of organizational commitment. *The Academy of Management Review*, 6(1), 29–39. [https://doi.org/10.1016/0001-8791\(79\)90072-1](https://doi.org/10.1016/0001-8791(79)90072-1)
- Bourne, M., Mills, J., Wilcox, M., Neely, A. & Platts, K. (2000), Designing, implementing and updating performance measurement systems, *Int. J. of Operations & Production Management*, 20(7), 754-771. [doi.org/10.1108/01443570010330739](https://doi.org/10.1108/01443570010330739)

- Bourne, M., Kennerley, M., & Franco-Santos, M. (2005). Managing through measures: A study of impact on performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(4), 373–395. <https://doi.org/10.1108/17410380510594480>
- Browning, T. R., & de Treville, S. (2021). A lean view of lean. *Journal of Operations Management*, 67(5), 640–652. <https://doi.org/10.1002/joom.1153>
- Choong, K. K. (2014). The Fundamentals of Performance measurement systems: A Systematic Approach to Theory and a Research Agenda. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(7), 879–922. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2013-0015>
- Costa, D. B. & Formoso, C. T. (2004). A set of evaluation criteria for performance measurement systems in the construction industry. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 9(2), 91–101.
- Eckerson, W. W. (2011). *Performance dashboards measuring, monitoring, and managing your business*. Wiley.
- España, F., Tsao, C. C.Y. & Houser, M. (2012). Driving Continuous Improvement by Developing and Leveraging Lean Key Performance Indicators. In *Proc. 20<sup>th</sup> Ann. Conf. Int. Group for Lean Constr.*, pp. 1–10.
- Franco-Santos, M., Kennerley, M., Micheli, P., Martinez, V., Mason, S., Marr, B., Gray, D. & Neely, A. (2007). Towards a definition of a business performance measurement system. *Int. J. Operations & Production Management*, 27(8), 784–801. [doi.org/10.1108/01443570710763778](https://doi.org/10.1108/01443570710763778)
- Formoso, C. T., & Moura, C. B. (2009). Evaluation of the impact of the Last Planner system on the performance of construction projects. In *Proc. 17<sup>th</sup> Ann. Conf. Int. Group for Lean Constr.*, pp. 153–164.
- Holmstrom, J. & Ketokivi, M. (2009). Bridging Practice and Theory: A Design Science Approach. *Decision Sciences*, 40(1), 65–87. [doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00221.x](https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00221.x)
- Hamerski, D. C., Fernandes, L. L. A., Porto, M. S., Saurin, T. A., Formoso, C. T. & Costa, D. B. (2021). Production Planning and Control as-Imagined and as-Done: The Gap at the Look-Ahead Level. In *Proc. 29<sup>th</sup> Ann. Conf. Int. Group for Lean Constr.*, pp. 767-776. [doi.org/10.24928/2021/0169](https://doi.org/10.24928/2021/0169)
- Hamzeh, F. R., El Samad, G., & Emdanat, S. (2019). Advanced Metrics for Construction Planning. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(11). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001702](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001702)
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2004). The strategy map: Guide to aligning intangible assets. *Strategy & Leadership*, 32(5), 10–17. <https://doi.org/10.1108/10878570410699825>
- Kennerley, M. & Neely, A. (2003). Measuring performance in a changing business environment. *Int. J. of Operations & Production Management*, 23(2), 213–229. [doi.org/10.1108/01443570310458465](https://doi.org/10.1108/01443570310458465).
- Koskela, L. & Howell, G. A. (2002). The underlying theory of project management is obsolete. In *Proceedings of the PMI Research Conference*, pp. 293-302.
- Lantelme, E., & Formoso, C. T. (2000). Improving Performance Through Measurement: The Application of Lean Production and Organisational Learning Principles. In *Proc. 8<sup>th</sup> Ann. Conf. Int. Group for Lean Constr.*, pp. 1-10.
- Maskell, B. H. (1991). *Performance measurement for world class manufacturing: A model for American companies*. Productivity Press.
- Naslund, D. & Norrman, A. (2019). A performance measurement system for change initiatives: An action research study from design to evaluation. *Business Process Management Journal*, 25(7), 1647–1672. [doi.org/10.1108/BPMJ-11-2017-0309](https://doi.org/10.1108/BPMJ-11-2017-0309)

- Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (2005). Performance measurement system design: A literature review and research agenda. *International Journal of Operations and Production Management*, 25(12), 1228–1263. <https://doi.org/10.1108/01443570510633639>
- Nudurupati, S., Arshad, T., & Turner, T. (2007). Performance measurement in the construction industry: An action case investigating manufacturing methodologies. *Computers in Industry*, 58(7), 667–676. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2007.05.005>
- Pavlov, A. & Bourne, M. (2011). Explaining the effects of performance measurement on performance: An organizational routines perspective. *Int. J. of Op. & Prod. Manag*, 31(1), 101–122. [doi.org/10.1108/01443571111098762](https://doi.org/10.1108/01443571111098762)
- Peñaloza, G. A., Saurin, T. A., & Formoso, C. T. (2020). Monitoring complexity and resilience in construction projects: The contribution of safety performance measurement systems. *Applied Ergonomics*, 82, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102978>
- Parry, G. C. & Turner, C. E. (2006). Application of lean visual process management tools. *Production Planning and Control*, 17(1), 77–86. [doi.org/10.1080/09537280500414991](https://doi.org/10.1080/09537280500414991)
- Ropohl, G. (1997). Knowledge Types in Technology. *International Journal of Technology and Design Education*, 7, 65-72.
- Robinson, H. S., Anumba, C. J., Carrillo, P. M., & Al-Ghassani, A. M. (2005). Business performance measurement practices in construction engineering organisations. *Measuring Business Excellence*, 9(1), 13–22. [doi.org/10.1108/13683040510588800](https://doi.org/10.1108/13683040510588800)
- Sacks, R., Seppänen, O., Priven, V., Savosnick, J. (2017). Construction flow index: A metric of production flow quality in construction. *Construction Manag. and Economics*, 35(1–2), 45–63. [doi.org/10.1080/01446193.2016.1274417](https://doi.org/10.1080/01446193.2016.1274417)
- Saurin, T. A., Rooke, J., & Koskela, L. (2013). A complex systems theory perspective of lean production. *International Journal of Production Research*, 51(19), 5824–5838. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.796420>
- Sarhan, S., & Fox, A. (2013). Performance measurement in the UK construction industry and its role in supporting the application of lean construction concepts. *Construction Economics and Building*, 13(1), 23-35. [doi.org/10.5130/AJCEB.v13i1.3069](https://doi.org/10.5130/AJCEB.v13i1.3069)
- Sein, M. K., Henfridsson, O., Purao, S., Rossi, M., & Lindgren, R. (2011). Action Design Research. *MIS Quarterly*, 35(1), 37-56. [10.2307/23043488](https://doi.org/10.2307/23043488)
- Slack, N. (1983). Flexibility as a Manufacturing Objective. *International Journal of Operations & Production Management*, 3(3), 4–13. <https://doi.org/10.1108/eb054696>
- Soliman, M., & Saurin, T. A. (2017). Lean production in complex socio-technical systems: A systematic literature review. *Journal of Manufacturing Systems*, 45, 135–148. [doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.09.002](https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.09.002)
- Spear, S., & Bowen, H. K. (1999). Decoding the DNA of the Toyota Production System. *Harvard Business Review*, 77(5), 96-106.
- Teh, A., & Pang, L. C. (1999). Performance measurement for public sector organisational transformation. *Int. J. of Business Performance Management*, 1(4), 433-454. [doi.org/10.1504/ijbpm.1999.004473](https://doi.org/10.1504/ijbpm.1999.004473)
- Vaishnavi, V. K., & Kuechler, W. (2007). *Design Science Research Methods and Patterns: Innovating Information and Communication Technology*. Auerbach Publications. <https://doi.org/10.1201/9781420059335>
- Van Aken, J. E. (2004). Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. *Journal of Manag. Studies*, 41(2), 219–246. [doi.org/10.1111/j.1467-6486.2004.00430.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2004.00430.x)
- Williams, T. M. (1999). The need for new paradigms for complex projects. *Int. J. Project Manag*, 17(5), 269–273. [doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00047-7)