

Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil:
Construção e Infraestrutura



ESCOLA DE ENGENHARIA
UFRGS

Karina Bertotto Barth

**Sistemas de Medição de Desempenho como apoio à
implementação da filosofia Lean na gestão da
produção na construção civil**



PPGCI

Porto Alegre
2023

KARINA BERTOTTO BARTH

**SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO COMO APOIO
À IMPLEMENTAÇÃO DA FILOSOFIA LEAN NA GESTÃO
DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil

Prof. Carlos Torres Formoso
Ph.D. pela University of Salford, Reino Unido
Orientador

Porto Alegre
2023

KARINA BERTOTTO BARTH

**SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO COMO APOIO
À IMPLEMENTAÇÃO DA FILOSOFIA LEAN NA GESTÃO
DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Esta Tese de Doutorado foi julgada como parte dos requisitos para obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA CIVIL, área de pesquisa Gestão e Economia da Construção e aprovada em sua forma final pelo Professor Orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 18 de dezembro de 2023.

Prof. Carlos Torres Formoso

Ph.D. pela University of Salford, Reino Unido
Orientador

Prof. Ana Carolina Badalotti Passuello
Coordenador PPGCI/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Prof. Luís Fernando Alarcón Cárdenas (PUC Chile)
Ph.D., University of California, US

Prof. Elvira Maria Vieira Lantelme (IMED)
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof. Tarcísio Abreu Saurin (PPGCI/UFRGS)
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer ao meu orientador, professor PhD Carlos Torres Formoso, pela dedicação, paciência e amizade. Também por todas as oportunidades proporcionadas e por acreditar na minha capacidade.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado durante este percurso acadêmico, agradeço por seu amor incondicional, apoio moral e encorajamento constante.

Agradecimento especial ao meu marido, Marcus, por estar ao meu lado fornecendo atenção e apoio, fundamentais para o andamento deste trabalho.

Ao meu filho, Luca, por ter entendido a importância deste trabalho e por todos os abraços carinhosos para me deixar mais feliz.

Agradeço muito à minha mãe, por seu amor incondicional, apoio moral e encorajamento constante, e ao meu pai, por ter me apoiado em momentos importantes.

Ao meu irmão, por me alegrar com as piadas e por me apoiar nas dificuldades.

Aos meus sogros, por todo o carinho que sempre dedicaram a mim, mas especialmente neste período de doutorado.

À Maria Denise, por me auxiliar a enfrentar este grande desafio.

Aos amigos que compartilharam risos, apoio emocional e momentos de descontração, agradeço sinceramente.

Às empresas e profissionais que permitiram a realização dos estudos empíricos.

Aos professores Dra Claudia Antonello, Dra Patrícia Tzortzopoulos e PhD Lauri Koskela, pelos ensinamentos e pelas importantes orientações.

Aos colegas do grupo de gestão e economia da construção, pela ajuda, em especial: Dra. Fernanda Bataglin, Douglas Hamersky, Fabrício Vargas, Barbara Pedó e Dra. Lisiane Lima.

Por fim, gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste doutorado. Este trabalho não teria sido possível sem o suporte e contribuição de cada uma destas pessoas.

A todos, meu profundo agradecimento.

“A inteligência é o único meio que possuímos para
dominar os nossos instintos.”

(Sigmund Freud)

RESUMO

BARTH, K. B. **Sistemas de Medição de Desempenho como apoio à implementação da filosofia Lean na gestão da produção na construção civil.** 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

A filosofia da *Lean Production* tem sido adotada por diversos setores, incluindo manufatura, saúde, aviação, serviços e construção. Em função das peculiaridades da indústria da construção, tais como produtos únicos, produção no local e organizações temporárias, a implementação da filosofia Lean neste setor tem diferenças fundamentais em relação à manufatura. Empreendimentos de construção civil podem ser classificados como sistemas sociotécnicos complexos, pois envolvem um grande número de partes distintas que interagem dinamicamente e pelo elevado grau de variabilidade presente em seus processos e metas. Sistemas de Medição de Desempenho podem apoiar a implementação dos conceitos e princípios Lean na construção civil, avaliando o impacto das ações realizadas e fornecendo informações para orientar a organização através deste processo de mudança. Na construção civil a implementação da filosofia Lean cria demandas adicionais aos Sistemas de Medição de Desempenho em relação ao que sugere a literatura sobre MD em geral. Entretanto, a literatura sobre o uso de indicadores para apoiar a implementação da filosofia Lean na construção civil é escassa. O presente trabalho tem como objetivo propor uma estrutura de conhecimento (*knowledge framework*) de caráter prescritivo, a qual é composta por um conjunto de proposições preliminares para princípios e prescrições de design (*design principles and prescriptions*) para o desenvolvimento de Sistema de Medição de Desempenho que tem o propósito de apoiar a implementação da filosofia Lean na gestão da produção no setor da construção. Pode-se destacar também como contribuições do trabalho a proposta de taxonomia de indicadores que busca aumentar o escopo da medição de desempenho, a compreensão do papel da medição de desempenho para lidar com a variabilidade inesperada, e recomendações para o desenvolvimento de dashboards. Como contribuição prática, o conjunto de princípios e prescrições de design representa um conceito de solução que pode ser utilizado por empresas construtoras para desenvolver SMDs em diferentes contextos.

Palavras-chave: Sistema de medição de desempenho, medição de desempenho, filosofia lean, indicador, painel de controle, complexidade.

ABSTRACT

BARTH, K. B. **Performance Measurement Systems to support the implementation of the Lean philosophy in production management in construction.** 2023. [Thesis \(Doctoral in Civil Engineering\)](#) - Postgraduate Program in Civil Engineering: Construction and Infrastructure, Engineering School, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.

The Lean Production philosophy has been adopted by several sectors, including manufacturing, healthcare, aviation, services and construction. Due to the peculiarities of the construction industry, such as unique products, on-site production and temporary organizations, the implementation of the Lean philosophy in this sector has fundamental differences in relation to manufacturing. Construction projects can be regarded as complex sociotechnical systems because they involve a large number of distinct parts that interact dynamically and due to the high degree of existing variability in processes and goals. Performance Measurement Systems can support the implementation of Lean concepts and principles in construction, by evaluating the impact of changes and providing information to guide organizations through this implementation process. The implementation of the Lean Production philosophy in construction creates additional demands for Performance Measurement Systems in relation to what suggests the literature on performance measurement in general. However, the literature on the use of indicators to support Lean implementation in construction is scarce. This research work aims to propose a prescriptive knowledge framework that consists of a set of preliminary propositions for design principles and prescriptions for the development of Performance Measurement Systems to support the implementation of the Lean philosophy in production management in the construction sector. Besides the knowledge framework, the main contributions of this research study is a taxonomy of indicators that increases the scope of performance measurement, the understanding of the role of performance measurement in dealing with unexpected variability, and recommendations for developing dashboards. As a practical contribution, the set of design principles and prescriptions represents a solution concept that can be used by construction companies to develop Performance Measurement Systems in different contexts.

Keywords: Performance Measurement Systems, performance measurement, lean philosophy, indicator, dashboard, complexity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Características da MD na gestão de projetos de construção e na gestão de projetos com base em conceitos da <i>Lean Construction</i>	50
Figura 2 - Categorias e exemplos de indicadores de desempenho propostos para sistemas de produção enxuta.....	54
Figura 3 - Relação entre os princípios, prescrições de design e práticas.....	63
Figura 4 – Delineamento da pesquisa.....	64
Figura 5 – Cronologia da pesquisa.	65
Figura 6 – Descrição das 5 empresas dos estudos exploratórios.	67
Figura 7–Organograma simplificado da Empresa F (elaborado pela autora).....	69
Figura 8 – Organograma simplificado da Empresa C no início do trabalho (elaborado pela autora).....	71
Figura 9 – Organograma simplificado da Empresa C no final do trabalho (elaborado pela autora).....	71
Figura 10 – Fontes de evidência dos estudos exploratórios.	72
Figura 11 – Duração das fontes de evidência do estudo empírico na empresa F.....	73
Figura 12 – Fontes de evidência da etapa de compreensão na Empresa F.....	76
Figura 13 – Fontes de evidência da etapa de desenvolvimento e implementação na Empresa F.	80
Figura 14 – Dados relativos às entrevistas para análise e avaliação do SMD na Empresa F...	81
Figura 15 – Fontes de evidência da etapa de análise e avaliação na Empresa F.....	82
Figura 16 – Fontes de evidência para o desenvolvimento dos <i>dashboards</i> para o processo de desenvolvimento de projetos de edificações na Empresa F.	83
Figura 17– Duração das fontes de evidência dos estudos empíricos na empresa C.....	84
Figura 18 – Fontes de evidência da etapa de compreensão na empresa C.....	85
Figura 19 – Fontes de evidência da etapa de desenvolvimento e implementação na empresa C.	88
Figura 20 - Dados relativos às entrevistas para análise e avaliação do SMD na empresa C....	89
Figura 21 – Fontes de evidência da etapa de análise e avaliação na empresa C.....	90
Figura 22 - Avaliação da adoção dos requisitos no SMD.	92
Figura 23 – Quadro PPM e indicador OTP.	94
Figura 24 – Exemplo da matriz para controle do status da produção e mapa de calor.	96
Figura 25 - Exemplo de gráfico para monitorar o ritmo de um processo crítico.	98
Figura 26 - Exemplo de gráfico para monitorar o ritmo de diferentes processos.	98
Figura 27 - Exemplo de gráfico para monitorar a aderência ao lote.	99
Figura 28 - Exemplo de gráficos para monitorar o tempo de ciclo.	99
Figura 29 - Indicadores usados pelas cinco empresas para apoiar a implementação de práticas Lean.	100
Figura 30 - Classificação dos indicadores observados nas empresas de acordo com princípios ou conceitos da filosofia <i>Lean</i>	102
Figura 31 - Taxonomia de indicadores de desempenho em sistemas de produção Lean.	103
Figura 32– Mapa com ações de curto prazo da Empresa F.....	108

Figura 33 - Mapa com ações de médio prazo da Empresa F.....	109
Figura 34 - Mapa com ações de longo prazo da Empresa F.....	109
Figura 35 – Proposta de instancias de tomada de decisão da Engenharia SAE, incluindo participantes e frequência.	111
Figura 36 – <i>Dashboard</i> Operacional de Planejamento Semanal.....	112
Figura 37 - <i>Dashboard</i> Operacional da Empresa F.....	116
Figura 38 – <i>Dashboard</i> Tático da Empresa F.....	117
Figura 39 - Proposta de processo para gerar <i>dashboards</i> e relatório lições aprendidas SAE, incluindo responsáveis e conexão com instâncias de tomada de decisão.....	120
Figura 40 - Proposta de fluxo de informações dos informes do SMD da Engenharia SAE...	120
Figura 41 – Resumo dos envolvidos, instâncias de tomada de decisão e respectivo dispositivo de apoio.....	120
Figura 42 - Informações coletadas com as entrevistas de análise e avaliação.	123
Figura 43 – Tela 1 do <i>dashboard</i> Estratégico da Empresa F.....	124
Figura 44 – Tela 2 do <i>dashboard</i> Estratégico da Empresa F.....	124
Figura 45 – Sugestão de <i>dashboard</i> estratégico.	125
Figura 46 – Análise do <i>dashboard</i> estratégico e sugestão da autora desta tese.	126
Figura 47 – Comparação entre indicadores de <i>dashboards</i> estratégico, tático, operacional e operacional de planejamento semanal.	127
Figura 48 – Tela 1 do <i>dashboard</i> estratégico de projetos de edificações da Empresa F.....	128
Figura 49 - Proposta de <i>dashboard</i> tático para desenvolvimento de projetos de edificações.	130
Figura 50 – Proposta de <i>dashboard</i> operacional para desenvolvimento de projetos de edificações.	131
Figura 51 – Exemplo de quadro de gestão visual da empresa C.	133
Figura 52 – Extrato do <i>Planning and Performance Management (PPM) Board</i> da empresa C.	133
Figura 53– Mapa com ações de curto prazo da empresa C.	135
Figura 54- Mapa com ações de médio prazo da empresa C.	135
Figura 55- Mapa com ações de longo prazo da empresa C.	136
Figura 56 - <i>Dashboard</i> de planejamento de curto prazo da empresa C.	138
Figura 57- <i>Dashboard</i> de planejamento de médio prazo da empresa C.....	140
Figura 58 – Exemplo de gráficos para controle da aderência ao lote planejado e tempo de ciclo.	140
Figura 59– Proposta de instancias de tomada de decisão da empresa C, incluindo participantes e frequência.....	143
Figura 60 – <i>Dashboard</i> operacional da empresa C, opção de visualização 1.	146
Figura 61 – <i>Dashboard</i> operacional da empresa C, opção de visualização 2.	147
Figura 62 – Anexo 1 do <i>dashboard</i> operacional da empresa C (gráficos de aderência).	148
Figura 63– Anexo 2 do <i>dashboard</i> operacional da empresa C (matriz status da produção)..	149
Figura 64 – <i>Dashboard</i> tático da empresa C.	151
Figura 65 – <i>Dashboard</i> estratégico da empresa C (dados ilustrativos).	151
Figura 66 - Proposta de processo para gerar <i>dashboards</i> e relatório de lições aprendidas, incluindo responsáveis e conexão com instâncias de tomada de decisão.....	152

Figura 67- Proposta de fluxo de informações dos informes do SMD da empresa C.	153
Figura 68 - Informações coletadas com as entrevistas de análise e avaliação.	158
Figura 69 – Exemplo de aplicação dos princípios e prescrições de design e sua aplicação prática.	159
Figura 70 –Relação entre os princípios de design que compõe o artefato desenvolvido nesta pesquisa.	160
Figura 71 - Artefato desenvolvido nesta pesquisa: estrutura de conhecimento que relaciona os princípios com as prescrições design.....	169
Figura 72– Relação entre princípios e prescrições de design com exemplos de práticas identificadas nos estudos empíricos.	170

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BI – *Business Intelligence*

BIM – *Building Information Modeling* (modelagem de informação para a construção)

DSR - *Design Science Research* (Pesquisa de Ciência do Design)

EE: Escola de Engenharia

IRR – Índice de Remoção de Restrições

JIT – *Just in Time*

LC – *Lean Construction*

LOB – Linha de Balanço (*Line of Balance*)

NORIE: Núcleo Orientado para a Inovação da Construção

PCBL – Planejamento e Controle Baseado em Localização

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PPC – Percentual de Pacotes Concluídos

PPGCI: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura

PPM - *Planning and Performance Management*

SAE – Setor de Arquitetura e Engenharia

SLP – Sistema *Last Planner*

SMD – Sistema de Medição de Desempenho

SMDs – Sistemas de Medição de Desempenho

SPL – Sistema de Produção Lean

SSC – Sistema Sociotécnico Complexo

STP – Sistema Toyota de Produção

TI – Tecnologia de Informação

TP – Trabalho Padronizado

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

WAI – *Work as Imagined*

WAD – *Work as Done*

WIP – *Work in Progress*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	QUESTÕES DE PESQUISA.....	21
1.2	OBJETIVOS	21
1.3	LIMITAÇÕES	22
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2	APLICAÇÃO DA LEAN PRODUCTION	25
2.1	FILOSOFIA DA LEAN PRODUCTION.....	25
2.2	EMPREENHIMENTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COMO SISTEMA SOCIOTÉCNICO COMPLEXO	29
2.3	GESTÃO DA CONSTRUÇÃO COM BASE NA FILOSOFIA LEAN.....	31
3	SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO.....	36
3.1	MEDIÇÃO DE DESEMPENHO.....	36
3.2	ELEMENTOS DE UM SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO	39
3.3	DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO	41
3.3.1	Concepção do sistema de medição de desempenho	42
3.3.2	Implementação do sistema de medição de desempenho	43
3.3.3	Uso e atualização do sistema de medição de desempenho	43
3.4	BARREIRAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO	44
3.4.1	Barreiras ligadas à fase de concepção do SMD	44
3.4.2	Barreiras ligadas à fase de implementação do SMD.....	44
3.4.3	Barreiras ligadas à fase de uso e atualização do SMD.....	45
3.5	PAPEL DA MEDIÇÃO DE DESEMPENHO NA IMPLEMENTAÇÃO DA LEAN CONSTRUCTION	47
3.6	REQUISITOS PARA SMD NA PERSPECTIVA DA LEAN CONSTRUCTION.....	50

3.7	DASHBOARDS COMO ARTEFATOS PARA APOIO À MEDIÇÃO DE DESEMPENHO	55
3.7.1	Definição de <i>Dashboards</i>	56
3.7.2	Função dos <i>Dashboards</i>	56
3.7.3	Funcionalidades necessárias para cumprir com as funções dos <i>Dashboards</i>	58
4	MÉTODO DE PESQUISA	61
4.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA	61
4.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA	63
4.2.1	Ciclo 1 – Estudos exploratórios	65
4.2.2	Ciclo 2 - Estudos empíricos	65
4.2.2.1	Etapa de Compreensão	65
4.2.2.2	Etapa de Desenvolvimento e Implementação	66
4.2.2.3	Etapa de Análise e Avaliação	66
4.2.3	Ciclo 3 - Avaliação e Reflexão do artefato	66
4.3	DESCRIÇÃO DAS EMPRESAS ESTUDADAS	67
4.3.1	Empresas envolvidas nos estudos exploratórios	67
4.3.2	Empresas envolvidas nos estudos empíricos	68
4.3.2.1	Empresa F	68
4.3.2.2	Empresa C	69
4.4	DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS	72
4.4.1	Estudos Exploratórios	72
4.4.2	Estudo Empírico na Empresa F	72
4.4.2.1	Etapa de Compreensão – Empresa F	73
4.4.2.2	Etapa de Desenvolvimento e Implementação – Empresa F	78
4.4.2.3	Etapa de Análise e Avaliação do SMD – Empresa F	81
4.4.3	Estudo Empírico na Empresa C	83
4.4.3.1	Etapa de Compreensão – Empresa C	84
4.4.3.2	Etapa de Desenvolvimento e Implementação – Empresa C	86
4.4.3.3	Etapa de Análise e Avaliação do SMD – Empresa C.....	89
4.5	AVALIAÇÃO E REFLEXÃO DO ARTEFATO	90
5	RESULTADOS DOS ESTUDOS EMPÍRICO	91
5.1	CICLO 1: ESTUDOS EXPLORATÓRIOS	91

5.1.1	Visão geral do SMD das empresas analisadas	91
5.1.2	Indicadores utilizados pelas empresas.....	93
5.1.3	Oportunidades de melhoria identificadas nos estudos exploratórios.....	100
5.1.4	Proposta de taxonomia para SMDs	102
5.2	CICLO 2: ESTUDOS EMPÍRICOS	105
5.2.1	EMPRESA F	105
5.2.1.1	Etapa de Compreensão – Empresa F	105
5.2.1.2	Etapa de Desenvolvimento e Implementação – Empresa F	107
5.2.1.2.1	<i>Mapas de objetivos e ações estratégicas para a implementação Lean.....</i>	<i>107</i>
5.2.1.2.2	<i>Instância para tomada de decisão.....</i>	<i>109</i>
5.2.1.2.3	<i>Dashboards</i>	<i>112</i>
5.2.1.3	Etapa 3 - Análise e Avaliação – Empresa F	121
5.2.1.3.1	<i>Dashboards da área de engenharia desenvolvidos nesta pesquisa</i>	<i>121</i>
5.2.1.3.2	<i>Dashboards da área de engenharia desenvolvidos pela Empresa Delta.....</i>	<i>123</i>
5.2.1.3.3	<i>Dashboards da área de arquitetura desenvolvidos pela Empresa Delta.....</i>	<i>127</i>
5.2.2	EMPRESA C.....	132
5.2.2.1	Etapa de Compreensão do SMD – Empresa C.....	132
5.2.2.2	Etapa de Desenvolvimento e Implementação do SMD – Empresa C	134
5.2.2.2.1	<i>Mapas de objetivos e ações estratégicas para a implementação Lean.....</i>	<i>134</i>
5.2.2.2.2	<i>Proposta de novos indicadores e Dashboards de planejamento (SLP)</i>	<i>136</i>
5.2.2.2.3	<i>Teste dos dashboards de PCP (SLP).....</i>	<i>140</i>
5.2.2.2.4	<i>Instancias para tomada de decisão</i>	<i>142</i>
5.2.2.2.5	<i>Dashboards Operacional, Tático e Estratégico.....</i>	<i>143</i>
5.2.2.2.6	<i>Teste do dashboard operacional</i>	<i>153</i>
5.2.2.3	Etapa de Análise e Avaliação do SMD – Empresa F	154
6	APRESENTAÇÃO DO ARTEFATO E DISCUSSÃO.....	159
6.1	APRESENTAÇÃO DO ARTEFATO	159
6.2	AVALIAÇÃO DO ARTEFATO	172
6.2.1	Avaliação da utilidade do artefato	172
6.2.2	Avaliação da aplicabilidade do artefato	174
6.3	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA	175
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS.....	180

7.1	CONCLUSÕES	180
7.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	184
	REFERÊNCIAS	185

1 INTRODUÇÃO

Os conceitos e princípios da filosofia da *Lean Production* (Produção Enxuta), originados na indústria automotiva, vem sendo adaptados para outros setores, incluindo manufatura, saúde, aviação, serviços e construção (Spear & Bowen, 1999). No entanto, enquanto algumas empresas promovem uma mudança profunda, a partir da aplicação dos conceitos da filosofia Lean, outras apenas adotam práticas e ferramentas específicas (Braglia et al., 2019; Liker, 2004). A forma como as empresas lidam com esse processo de transformação pode determinar a continuidade das mudanças (Spear & Bowen, 1999). Empresas que adotam a filosofia Lean de forma holística e a conectam a seus objetivos estratégicos, são mais propensas a seguir um processo de longo prazo de implementação desta filosofia (Hines et al., 2004).

Sistemas de Medição de Desempenho (SMDs) podem apoiar este processo de mudança, permitindo avaliar os impactos das práticas introduzidas pelos programas de melhoria (Sarhan & Fox, 2013). A medição de desempenho fornece informações para orientar uma organização ao longo deste processo de implementação, indicando a direção a ser seguida (Teh & Pang, 1999). Um SMD também permite avaliar e monitorar o impacto das ações realizadas durante o programa de implementação Lean (Zanon et al., 2020). Um SMD que equilibre indicadores de processo (*leading*) e de resultado (*lagging*), pode contribuir para uma mudança de cultura, reforçando comportamentos, valores e crenças desejados (Bourne et al., 2005; Naslund & Norrman, 2019).

Além disto, os SMDs podem ser usados para conectar iniciativas de melhoria contínua aos objetivos estratégicos, indicando oportunidades de melhora ou a necessidade de modificações (Kennerley & Neely, 2003). Um SMD também pode apontar benefícios intermediários obtidos com a implementação de programas de melhoria com base na filosofia Lean, tais como o aumento da capacidade de gestão, a redução do trabalho em progresso (WIP¹), a identificação mais rápida de problemas e uma contínua e maior disposição para a mudança (Crawford & Cox, 1990). É importante evidenciar essas melhorias de forma a manter a motivação e o apoio dos diferentes participantes, uma vez que algumas metas normalmente estabelecidas nestes programas, tais como a redução de prazos e de custos, exigem mais tempo para serem

¹ WIP é a abreviação de *Work in Progress*.

alcançadas. O apoio dos gestores é considerado como um dos fatores chave para o sucesso de um programa de implementação da filosofia Lean (Demirkesen et al., 2019; Lodgaard et al., 2016). Além disso, a redução do prazo e do custo também pode ser justificada por outros processos de melhoria ou por mudanças no ambiente de negócios (Naslund & Norrman, 2019).

É importante destacar que, diferentemente da implementação de métricas isoladas, um SMD envolve um esforço para integrar as medidas à gestão dos processos. Além da seleção dos indicadores que farão parte do sistema, os elementos chave de um SMD incluem (Neely et al., 1997): (i) procedimentos para coleta e processamento de dados; (ii) planos e protocolos para a distribuição de informações de desempenho aos usuários dentro e fora da organização; (iii) uma abordagem de aprendizagem na qual são definidas ações para melhorar o desempenho; e (iv) um processo de revisão com o objetivo de atualizar regularmente o SMD. A medição de desempenho pode ser apoiada pela adoção da gestão visual (Bititci et al., 2016). Dispositivos visuais são meios de melhorar o desempenho dos sistemas de produção (Valente et al., 2019), mas é por meio de sua efetiva utilização para análise e tomada de decisão que esse mecanismo pode alcançar todo o seu potencial (Parry & Turner, 2006). Na medição de desempenho, dispositivos visuais como os *dashboards* (painéis de controle), melhoram a comunicação (Bititci et al., 2016) pois facilitam a distribuição da informação (Waal & Counet, 2008) e fomentam a participação das pessoas (Greif, 1991). Através da análise combinada de indicadores, *dashboards* possibilitam a realização de avaliações e projeção de cenários mais consistentes (Pauwels et al., 2009).

Apesar da importância dos SMDs no apoio à implementação da filosofia *Lean*, pesquisas sobre o uso de indicadores para avaliar os impactos deste processo de mudança são escassas (Sanchez & Pérez, 2004). Diversos estudos propõem modelos de maturidade, em alguns casos propondo um índice único capaz de medir o grau de implementação da filosofia *Lean*. Zanon et al. (2020), por exemplo, propuseram uma estrutura para avaliar o nível de maturidade da filosofia *Lean* e do SMD, de forma a alavancar os esforços combinados de melhoria. (Wong et al., 2012) desenvolveram um índice para avaliar o nível de adoção de práticas *Lean* (*leanness level*), permitindo estabelecer objetivos a serem seguidos por todos os envolvidos na implementação. (Wan & Frank Chen, 2008) propuseram um indicador único para quantificar o nível de implementação *Lean* de um sistema de manufatura, tendo como base um nível de aplicação ideal de referência. Pakdil & Leonard (2014) propuseram uma ferramenta de avaliação do progresso da implementação *Lean* baseada em medidas quantitativas e qualitativas. Narayanamurthy & Gurumurthy (2016) propuseram um índice *Lean* sistêmico para avaliar o

nível de implementação dos elementos Lean e como estes se relacionam. No entanto, estes modelos de maturidade da implementação da filosofia *Lean* normalmente avaliam o grau de adoção das práticas e não o desempenho que seu uso proporcionou aos processos produtivos da empresa.

Sob outra perspectiva, Crawford & Cox (1990) propuseram diretrizes para o desenvolvimento de SMD, considerando empresas que adotaram Just in Time (JIT). Arif-Uz-Zaman & Ahsan (2014) desenvolveram um estudo sobre medição de desempenho da cadeia de suprimentos e propuseram um modelo para avaliar os efeitos de ferramentas baseadas na filosofia *Lean* e de estratégias competitivas no desempenho da cadeia de suprimentos.

Diversos autores propuseram diferentes dimensões da medição de desempenho, como uma forma de analisar a sua abrangência. Por exemplo, Neely et al. (2005) sugeriram a medição em quatro dimensões: qualidade, tempo, custo e flexibilidade, enquanto Kaplan & Norton (1996) propuseram quatro perspectivas de medição: financeira, cliente, interna e aprendizado e crescimento. Sangwa & Sangwan (2018), por sua vez, propuseram um modelo integrado de medição de desempenho para avaliar a eficácia da implementação da filosofia *Lean* considerando todas as funções de uma organização. Fullerton & Wempe (2009) analisaram como a medição do desempenho não financeiro na manufatura afeta a relação entre a gestão da produção e a rentabilidade (desempenho financeiro). Bortolotti et al. (2015) analisaram fatores de sucesso para a implementação da filosofia *Lean*, incluindo a cultura organizacional e a adoção de práticas de gestão (*soft practices*). Estas práticas de gestão (*soft*) incluem a resolução de problemas, o envolvimento de trabalhadores multitarefa, o foco nos requisitos do cliente, parcerias com fornecedores e melhoria contínua, enquanto práticas *hard* se referem a ferramentas técnicas e analíticas (Bortolotti et al., 2015).

No que se refere a SMDs para implementação de iniciativas de mudança organizacional, Naslund & Norrman (2019) desenvolveram e implementaram um modelo para medir e comparar a percepção dos diferentes stakeholders sobre iniciativas de mudança organizacional, considerando 4 etapas: disposição para a mudança, implementação (mudança propriamente dita), padronização e resultado. Este modelo estabelece um sistema de medição capaz de captar as melhorias do processo em termos de eficácia (cliente) e de eficiência (recursos, tempo, custo, qualidade) (Naslund & Norrman, 2019). Contudo, o referido modelo não se atém a propor indicadores que possam dar suporte a um processo de mudança. Karlsson & Åhlstrom (1996) propuseram um modelo para avaliar as mudanças que ocorrem em um esforço para implementar

a filosofia Lean na manufatura, através de um conjunto de determinantes e respectivos atributos mensuráveis, os quais se baseiam fortemente nos conceitos propostos por Womack et al. (1990). Sánchez & Pérez (2001) se basearam no trabalho de Karlsson & Åhlstrom (1996) para propor um modelo adaptado a empresas envolvidas na implementação *Lean* no ambiente de serviços. Os determinantes e atributos mensuráveis apresentados por Karlsson & Åhlstrom (1996) e Sánchez & Pérez (2001) podem ser utilizados como pontos de partida para o desenvolvimento um SMD para avaliar as mudanças ocorridas na implementação *Lean*. Entretanto, nenhum destes estudos foi desenvolvido para o contexto da construção civil.

A literatura sobre Sistemas Sociotécnicos Complexos (SSC) apresenta contribuições para a medição de desempenho que possuem conexões com a filosofia *Lean*, particularmente no contexto da indústria da construção, que pode ser caracterizado como de alta complexidade. Peñalosa et al. (2020) investigaram o uso de SMDs com foco na segurança para monitorar os fatores que afetam a complexidade em empreendimentos de construção e identificaram que esta influência pode ser desejada ou indesejada. Disconzi et al. (2022) conceituaram e propuseram sete princípios para o projeto do sistema de trabalho com a intenção de influenciar o desempenho resiliente. Okwir et al. (2018) exploraram o surgimento da complexidade durante a implementação e o uso de SMDs. Segundo os referidos autores, a ênfase excessiva em indicadores tradicionais e a falta de integração das medidas a iniciativas de melhoria dificultam o processo de mudança (Okwir et al., 2018).

Apesar da ampla gama de estudos relacionados à MD, a bibliografia carece de pesquisas empíricas sobre o papel dos SMDs como suporte a iniciativas que envolvem mudança organizacional (Naslund & Norrman, 2019; Robinson et al., 2005). 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 MD em geral. O desenvolvimento de um SMD adequado possui um papel de grande importância na implementação de novas iniciativas, tais como a implementação da filosofia *Lean* na construção (Sarhan & Fox, 2013). Contudo, grande parte das empresas de construção civil envolvidas na implementação de conceitos e princípios *Lean* na gestão da produção utilizam apenas métricas relacionadas ao Sistema *Last Planner*, um modelo de planejamento e controle amplamente disseminado no setor, além dos tradicionais indicadores de custo e desvio de prazo (Espanña et al., 2012; Formoso & Moura, 2009; Sacks et al., 2017).

Outros problemas envolvendo a medição de desempenho em empreendimentos de construção civil têm sido apontados na literatura: (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 (Beatham et al., 2004); e (iv) os SMDs são integrados de forma ineficaz a iniciativas de melhoria contínua (Kennerley & Neely, 2003). Sarhan & Fox (2013) apontaram que o uso equivocado de SMDs é um fator crítico para o fracasso em programas de implementação da filosofia *Lean* na construção civil. 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.

1.1 QUESTÕES DE PESQUISA

Com base no problema de pesquisa apresentado, foi proposta a questão de pesquisa apresentada a seguir:

“Como desenvolver Sistemas de Medição de Desempenho para apoiar a implementação da filosofia *Lean* na gestão da produção de empresas do setor da construção”.

A partir da questão de pesquisa principal, foram estabelecidas as seguintes questões de pesquisa secundárias:

- Qual deve ser o escopo da medição de desempenho para apoiar a implementação da filosofia *Lean* na gestão da produção em empresas de construção civil?
- Como desenvolver e implementar *dashboards* para apoiar a tomada de decisão em sistemas de medição de desempenho?

1.2 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo principal **propor uma estrutura de conhecimento (*knowledge framework*) de caráter prescritivo, a qual é composta de um conjunto de proposições preliminares para princípios e prescrições de design (*design principles and prescriptions*) para o desenvolvimento de Sistemas de Medição de Desempenho que tem o**

propósito de apoiar a implementação da filosofia Lean na gestão da produção de empresas do setor da construção. Uma prescrição de design pode ser definida como uma sugestão de ação para uma determinada circunstância para alcançar um determinado efeito, enquanto princípios de design são categorias de prescrições, ou seja, recomendações gerais que apoiam a tomada de decisão no design de uma solução ou artefato (Vaishnavi e Kuechler, 2015). Busca-se, assim, contribuir para a criação de um referencial teórico prescritivo relativo à medição de desempenho na construção civil no contexto da implementação da filosofia Lean.

Foram também propostos objetivos secundários para a pesquisa:

- Desenvolver uma taxonomia de indicadores, buscando ampliar o escopo da medição de desempenho para apoiar programas de implementação da filosofia *Lean* na construção;
- Propor recomendações para o desenvolvimento e uso de *dashboards* como dispositivo de gestão visual que apoia a medição de desempenho.

Para tanto, foi adotada a abordagem metodológica da *Design Science Research* (DSR), tendo sido realizados cinco estudos exploratórios e dois estudos empíricos em empresas de construção civil.

1.3 LIMITAÇÕES

Algumas limitações desta pesquisa devem ser destacadas. A primeira está relacionada à realização de estudos empíricos em apenas duas empresas. Isso se justifica pela dificuldade em identificar empresas que apresentem as características necessárias para permitir o trabalho: desenvolverem programas de longo prazo de implementação da *Lean Construction* e possuir interesse em implementar melhorias nos seus SMDs. Entretanto, em cada um destes estudos foram coletados e analisados dados de diversas obras.

Em ambos os estudos empíricos a implementação dos dashboards foi parcialmente realizada, por limitações de tempo e de recursos humanos, por parte das empresas. Na Empresa C os dashboards de planejamento e o operacional foram testados, mas a proposta de dashboards tático e estratégico foi apresentada aos representantes da empresa em formato de *mock-up*². Na

² O *mock-up* consiste na representação gráfica de um produto para apresentação e discussão de ideias antes da fase de produção. Um *mock-up* simula o tamanho, formato, cores e demais aspectos de um produto.

Empresa F foi testado o dashboard de planejamento, sendo que as propostas de dashboards operacional e tático foram entregues em formato de *mock-up*.

Outro fator que impactou no tempo para realização da pesquisa foi a restrição de distanciamento social durante o período da pandemia do Covid-19. Como consequência, uma parte do trabalho teve de ser realizado de maneira remota (on-line).

Finalmente, deve-se considerar que a autora desenvolvia atividade profissional na Empresa C, como consultora, desempenhando um papel ativo no processo de mudança, o que pode trazer um viés na análise dos resultados, pois a mesma não era vista como um membro externo à empresa ao coletar seus dados, sendo que muitas informações foram obtidas de maneira informal por meio de observações diretas ou participantes.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta tese está dividida em sete capítulos. Após esta introdução, os capítulos 2 e 3 apresentam a revisão de literatura que embasou a realização da pesquisa. O capítulo 2 trata sobre a aplicação da Produção *Lean* (*Lean Production*), iniciando com uma revisão dos conceitos da filosofia Lean. Este capítulo ainda trata sobre empreendimentos de construção civil como sistemas sociotécnicos complexos e finaliza com uma análise das diferenças da aplicação da filosofia *Lean* à construção civil. O capítulo 3 aborda o tema Sistemas de Medição de Desempenho, caracterizando os elementos que fazem parte deste sistema, as fases para desenvolvimento de sistemas de medição de desempenho e as barreiras identificadas neste processo. O referido capítulo ainda aborda o papel e os requisitos da medição de desempenho na implementação da *Lean Construction*. O capítulo 3 finaliza com uma revisão da literatura sobre *dashboards* como artefatos para apoio à medição de desempenho.

O capítulo 4 apresenta o método de pesquisa, no qual é descrita a estratégia adotada para esta pesquisa, o delineamento da pesquisa, bem como a descrição das empresas estudadas. A seguir, ainda no capítulo 4, é realizada uma descrição das atividades realizadas nos estudos empíricos e fontes de evidência utilizadas.

O capítulo 5 descreve os resultados obtidos nos estudos empíricos, subdivididos de acordo com os três ciclos da pesquisa: estudos exploratórios, realizados em cinco empresas, e estudos empíricos, realizados em duas empresas de construção civil, denominadas Empresa F e Empresa C.

No capítulo 6 apresenta as contribuições práticas e teóricas desta tese. A primeira seção apresenta o artefato proposto nesta tese, seguido pela sua avaliação e pelas contribuições teóricas da pesquisa.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões dos estudos empíricos e as recomendações para trabalhos futuros.

2 APLICAÇÃO DA LEAN PRODUCTION

O presente capítulo tem o objetivo de analisar as características da gestão da construção sob a perspectiva da filosofia *Lean*. Para tanto, as ideias advindas da manufatura precisam ser adaptadas, considerando as características da construção civil. Assim, o capítulo inicia com uma revisão da literatura sobre a filosofia da *Lean Production*. Neste trabalho, empreendimentos de construção civil são caracterizados como sistemas sociotécnicos complexos e, por isso, faz-se necessário compreender os aspectos desse tipo de sistema. O capítulo finaliza com a aplicação da filosofia *Lean* no setor da construção.

2.1 FILOSOFIA DA LEAN PRODUCTION

O modelo de produção em massa apresentou notável eficiência na tarefa de produzir grandes quantidades de um produto único e altamente padronizado, em um contexto predominantemente estável (Bartezzaghi, 1999). De fato, o sistema de produção proposto por Henri Ford foi projetado para funcionar na estabilidade da produção em massa de produtos uniformes, não em um processo em constante mudança (Dankbaar, 1997).

O Sistema Toyota de Produção (STP) adotou algumas ideias fundamentais do taylorismo e do fordismo e as aplicou a um contexto com diferentes necessidades e características (Liker, 2004; Ohno, 1988). Segundo Ohno (1988), o STP evoluiu da necessidade, causada pela demanda por pequenas quantidades de uma grande variedade de produtos. Este sistema emergiu de um longo período de experimentação e aprendizagem e teve grandes vantagens competitivas, mesmo em escalas menores de produção (Dankbaar, 1997).

Shah & Ward (2007, p.791) descrevem *Lean Production* como "um sistema sociotécnico integrado" cujo objetivo é eliminar o desperdício, minimizando a variabilidade interna, do fornecedor e do cliente. Este sistema evoluiu em conjunto com os sistemas social e técnico dos quais faz parte (Cusumano et al., 2021). Para Ballard & Howell (2003), o STP foi fundamentalmente uma inovação conceitual, uma nova forma de pensar sobre a produção e a gestão da produção. O STP combina as vantagens da produção artesanal e da produção em massa, mas evita suas desvantagens, como os altos custos da primeira e a rigidez da segunda (Dankbaar, 1997). Para Bartezzaghi (1999, p. 235), a filosofia da *Lean Production* (ou filosofia

Lean) consiste em um “conjunto coerente de princípios compartilhados para o planejamento e gestão de sistemas de produção que reúnem diversos modelos e práticas de diferentes setores, países e tipos de empresa”. Segundo o referido autor, o que ocupou o lugar do fordismo-taylorismo não foi um modelo ou um conjunto de métodos, técnicas e abordagens, mas um sistema com uma variedade de soluções dependentes do contexto.

Mesmo em diferentes contextos, os princípios subjacentes a estas soluções apresentam similaridades (Bartezzaghi, 1999). Dentre os esforços para generalizar o STP e entender seus fundamentos podem ser destacados os trabalhos de Womack e Jones (1998), que propuseram cinco princípios para a produção *Lean*, Liker (2004), que propôs quatorze princípios para a gestão *Lean*, e Koskela (1992), que estabeleceu onze princípios para gestão da produção. Na manufatura os cinco princípios apresentados por Womack e Jones (1998) proporcionam uma compreensão madura do assunto. Contudo, no campo da construção os princípios propostos por Koskela (1992) representam uma abordagem mais ampla e conceitualmente rigorosa para a produção e a gestão.

Um elemento que diferencia fortemente a produção em massa da filosofia *Lean* é a **melhoria contínua** (*Kaizen*), uma parte central desta última (Liker, 2004). Segundo a filosofia *Lean*, sempre existe uma maneira melhor de realizar uma tarefa, devendo as melhorias serem identificadas e propostas pelos trabalhadores, ou incentivadas pelos supervisores (Spear & Bowen, 1999). O STP é organizado para se adaptar continuamente às mudanças, e a melhoria contínua é parte deste sistema (Dankbaar, 1997). A **aprendizagem** de forma sistemática e contínua é outra característica necessária para as empresas que possuem práticas *Lean* implementadas, o que as torna altamente adaptáveis a um ambiente em constante mudança (Cusumano et al., 2021; Koskela, 2000). A organização do desenvolvimento de novos produtos e a estreita cooperação com os fornecedores também são partes importantes da filosofia *Lean*. Juntos **melhoria contínua, engenharia simultânea e colaboração com fornecedores** - três elementos presentes na filosofia *Lean* - proporcionam a característica de constante adaptação às mudanças, elemento de grande importância em ambientes dinâmicos (Dankbaar, 1997).

A base do STP é a eliminação do desperdício (Ohno, 1988). As perdas devem ser sistematicamente identificadas e reduzidas por meio da remoção de atividades que não agregam valor (Koskela, 2000). Nesse sentido, dois tipos de desperdício devem ser minimizados: o desperdício direto, causado por atividades desnecessárias, e o desperdício indireto, mais difícil de gerenciar, causado pela **variabilidade** (Hopp & Spearman, 2020). A variabilidade adiciona

custos que podem aparecer como *buffers* de capacidade ou estoque, ou como custos extras com trabalhadores e administração (Browning & de Treville, 2021). O uso de *buffers* é a maneira mais comum de mitigar a variabilidade (Hopp & Spearman, 2004). Alguns *buffers* proporcionam ao sistema uma maior capacidade de lidar com a parcela da variabilidade que não pode ser removida (Browning & de Treville, 2021). Ainda, em um ambiente instável, a remoção completa dos *buffers* pode causar a paralisação do sistema de produção (Cusumano, 2021).

A filosofia *Lean* também engloba modelos de gestão subjacentes, o *just-in-time* (JIT) e o controle da qualidade total (Koskela, 1992), além de envolver equipes de trabalho e gestão de fornecedores como um sistema integrado (Shah & Ward, 2007). De acordo com Cusumano et al. (2021), a filosofia *Lean* introduziu uma produção em lotes reduzidos, um sistema puxado (para reverter o fluxo de informações de maneira a controlar a produção com mais precisão) e o uso de *Kanbans*, para acionar no momento exato (JIT) o fluxo de trabalho das estações de trás para frente. A redução do tamanho do lote também foi possível através da redução dos tempos de preparo (*set-up times*) (Ballard & Howell, 2003b). A produção de pequenos lotes controlada por um sistema puxado, gera ciclos de *feedback* mais rápidos. Além disso, o novo sistema de produção dá aos funcionários autonomia para inspecionar seu próprio trabalho antes de transferi-lo para a próxima estação (Cusumano, 2021). Isso resultou em ciclos de aprendizagem mais rápidos, redução de defeitos e de equipes de inspeção, e aumento da qualidade e produtividade (Cusumano, 2021).

Sistemas puxados autorizam a liberação do trabalho com base no status do sistema de forma a evitar que o estoque cresça além de um limite especificado (Hopp & Spearman, 1996). Em oposição, sistemas empurrados liberam o trabalho com base em datas de entrega pré-estabelecidas. Nesse sentido, para o estabelecimento de um sistema puxado, é necessário o monitoramento do status da produção (Hopp & Spearman 2011). No sistema puxado, o processo subsequente retira as peças do processo anterior através do *Kanban* (Monden, 2012), uma forma de regular o estoque e o WIP (Ohno, 1988).

Kanbans são sinais visuais utilizados para coordenar a produção puxada em pequenos lotes (Monden, 2012). O *Kanban* introduz autonomia para os trabalhadores e torna os desperdícios aparentes, permitindo ações para sua redução (Ohno, 1988). O sistema *Kanban* está diretamente relacionado ao estabelecimento de kits dos componentes necessários para a execução das tarefas (materiais, informações, ferramentas, etc.). O uso de kits é uma forma de garantir que os

componentes necessários (e somente estes) sejam entregues no local de trabalho (Tetik et al. 2019), enquanto o uso associado do *Kanban* é uma forma de garantir que estes componentes sejam entregues JIT (Ohno, 1988).

Ferramentas visuais, como o *Kanban*, introduzem transparência ao processo, facilitando a identificação e a redução dos desperdícios (Hopp & Spearman, 2020). Esses dispositivos são frequentemente projetados em conjunto com grupos de trabalhadores com o objetivo de melhorar continuamente os processos de produção (Beynon-Davies & Lederman, 2017). Dispositivos visuais permitem compartilhar informações rapidamente e sem a necessidade de explicações complementares (Galsworth, 1997). Complementarmente, a GV apoia a identificação de anormalidades, facilitando a realização dos *Gemba walks* e apoiando a aplicação do *Kanban* e do trabalho padronizado (Ohno, 1988).

O trabalho padronizado (TP) é um sistema ou método de análise do trabalho (Marksberry et al., 2011). Consiste no melhor método conhecido para realizar o trabalho (Martin & Bell, 2011). Os benefícios do TP incluem a formalização do processo real, a redução da variabilidade, a simplificação do treinamento de novos funcionários, a diminuição de acidentes e o estabelecimento de uma linha de base para melhoria (LIB, 2003; Marksberry, 2011). O TP é expresso por meio de três elementos: tempo *takt*, sequência do trabalho e estoque padrão disponível (Ohno, 1988). Os documentos que comumente fazem parte do trabalho padronizado são: planilha de capacidade de produção, tabela de combinação do trabalho padronizado e diagrama de trabalho padronizado (LIB, 2003; Mariz et al., 2012)

O trabalho padronizado só pode ser definido e revisado no *gemba* (LIB, 2003), termo japonês normalmente utilizado para se referir ao local em que ocorre o trabalho que agrega valor (Womack, 2011). Para visualizar e compreender possibilidades de gerar mais valor com menos desperdícios são realizados eventos de *Gemba walk* (Womack, 2011). São observados dois tipos de *Gemba walk*, cada um com um objetivo diferente (LIB, 2003). O primeiro, e mais antigo, é a caminhada do fluxo de valor, para aumentar a conscientização sobre as possibilidades de melhoria, desde o início do processo de criação de valor até o final. O segundo trata-se de uma caminhada com ênfase no sistema de gestão, buscando avaliar a capacidade deste sistema de manter a estabilidade, que também é a base para uma melhoria bem-sucedida. Antes de iniciar a caminhada, é necessário definir claramente o propósito do fluxo de valor que se pretende analisar (LIB, 2003). Uma vez que o propósito é compreendido, pode-se prosseguir para questões de como criar o melhor o processo para alcançar esse objetivo e como envolver as

peças de forma criativa na implementação, operação e aprimoramento desse processo (Womack, 2011).

2.2 EMPREENDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL COMO SISTEMA SOCIOTÉCNICO COMPLEXO

O surgimento de novas tecnologias de informação e comunicação, a constante mudança nas demandas dos clientes, a crescente incerteza do mercado e as cadeias de fornecimento cada vez maiores, resultam em **sistemas sociotécnicos** cada vez mais **complexos** (Soliman e Saurin, 2020). **Sistemas sociotécnicos complexos (SSC)** representam um tipo específico de sistema adaptativo complexo, composto por pessoas e tecnologia que interagem para produzir um resultado desejável (Soliman & Saurin, 2017).

Empreendimentos de construção civil podem ser classificados como SSC pois envolvem um grande número de partes distintas que interagem dinamicamente, tais como componentes, tecnologias e organizações participantes (Baccarini, 1996). Além disso, seus processos e metas são caracterizados por um elevado grau de incerteza (Williams, 1999). Ainda, é bastante comum identificar em empreendimentos de construção, uma lacuna entre o trabalho como imaginado (*WAI*³) 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). Outras características da construção civil podem ser destacadas, como produção baseada em projeto, longo *lead time* e pouca repetição devido ao produto ser executado no local de uso (Koskela, 2000). O canteiro de obras é um local que, devido ao caráter temporário, forma um sistema social transitório (Bertelsen, 2003). 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). Assim dizendo, a indústria da construção possui grande dificuldade em lidar com a complexidade de seus projetos (Baccarini, 1996).

Walker et al. (2010) apontam três formas de abordar a complexidade: (a) visão de atributo - conceito de complexidade tem várias características bastante distintas (multiplicidade, dinamismo, dificuldade, incerteza e importância); (b) visão da teoria da complexidade - abordagem focada na equivalência computacional e definição de medidas de complexidade - permite que alguns dos atributos sejam quantificados; e (c) visão de sistemas complexos -

³ WAI é a sigla para *Work as Imagined* e WAD é a sigla para *Work as Done*.

complexidade como uma característica emergente dos sistemas sociotécnicos. A visão de atributo é a mais utilizada, mesmo que esta se limite a descrever o problema (espaço) sem oferecer soluções para os problemas que ele contém (Walker et al., 2010).

Saurin e Gonzalez (2013) descrevem as características de SSC por meio quatro meta-atributos, buscando fomentar uma discussão conjunta e interconectada. Estes atributos são: (a) **grande número de elementos** que interagem dinamicamente, causando uma rápida propagação de erros e criam dificuldade em isolar elementos problemáticos; (b) **grande diversidade de elementos** que, como resultado, causa aumento na variedade da natureza das relações entre os elementos; (c) **variabilidade inesperada**, causada por variabilidade na tomada de decisão e pela relação do sistema com o ambiente externo; e (d) **resiliência** - propriedade adaptativa de um sistema complexo que lida com a variabilidade criada pelos outros atributos e, ao mesmo tempo, se beneficia deles. Segundo Soliman e Saurin (2020), estes atributos podem ser divididos em duas grandes categorias: complexidade estrutural e funcional. A complexidade estrutural se refere ao número de elementos e suas interdependências. No domínio funcional, a complexidade representa a medida de variabilidade inesperada no cumprimento dos requisitos funcionais especificados para o sistema (Elmaraghy et al., 2014).

Um sistema sociotécnico ainda pode ser analisado em termos de seus subsistemas (Hendrick, 2007; Saurin & Gonzalez, 2013; Soliman & Saurin, 2020): (a) o subsistema social; (b) o subsistema técnico; (c) o subsistema de organização do trabalho; e (d) o subsistema de ambiente externo. Estes quatro subsistemas interagem uns com os outros, sendo que uma mudança em qualquer um deles afeta os outros três de forma planejada ou imprevista e disfuncional (Hendrick, 2007). Os atributos de complexidade propostos por Saurin e Gonzalez (2013) podem se manifestar de diversas maneiras nestes quatro subsistemas que compõem um sistema sociotécnico (Soliman et al., 2018). Com base nesta afirmação, Soliman e Saurin (2020) concluem que os Sistemas de Produção *Lean* (SPL) podem ser classificados como SSC, considerando que abrangem tanto os quatro atributos de complexidade quanto os quatro subsistemas sociotécnicos.

Saurin et al. (2013) identificaram um conjunto de prescrições para a gestão de SSC com base na engenharia de resiliência e engenharia de sistemas cognitivos, e relatos sobre experiências práticas em setores como construção e a área da saúde. As prescrições propostas foram: (a) dar visibilidade a processos e resultados; (b) incentivar a diversidade de perspectivas na tomada de decisões; (c) antecipar e monitorar o impacto de pequenas mudanças; (d) projetar slack; (e)

monitorar e entender a lacuna entre prescrição e prática; (f) criar um ambiente que suporte a resiliência (a resiliência é uma característica esperada em SSC, mas o uso das prescrições apresentadas anteriormente é um meio de criar um ambiente que apoie a resiliência).

A resiliência é uma propriedade funcional de SSC que lhes confere a habilidade de se ajustar antes, durante ou após mudanças e perturbações, de modo que possa manter suas operações em condições esperadas e inesperadas (Hollnagel et al., 2011, 2013). Esse autoajuste permite que um sistema complexo desenvolva ou altere sua estrutura interna de forma adaptativa para lidar com o ambiente (Saurin et al, 2013). Nesse sentido, os sistemas resilientes são caracterizados por quatro habilidades essenciais (Hollnagel et al., 2011, 2013):

- **Responder:** capacidade de lidar (responder) com o **real. Saber o que fazer.** Habilidade do sistema em se adaptar a eventos esperados ou inesperados de forma efetiva e flexível;
- **Monitorar:** capacidade de lidar (monitorar) com o **crítico. Saber o que procurar.** Habilidade de monitorar condições internas e externas, que podem resultar em oportunidades e desafios. Pode facilitar a habilidade de responder a tempo;
- **Antecipar:** capacidade de lidar (antecipar) com o **potencial. Saber o que esperar.** Habilidade de antecipar desafios e oportunidades futuros, com base no pensamento criativo e consideração de diferentes perspectivas;
- **Aprender:** capacidade de lidar (aprender) com os **fatos. Saber o que aconteceu.** Habilidade de aprender a partir de eventos passados pela compreensão do que deu certo ou errado.

É necessário determinar a importância relativa das quatro habilidades, ou seja, quanto de cada uma é necessário para cada empresa. A proporção correta deve ser baseada no conhecimento do sistema em questão. No entanto, nenhuma das quatro habilidades pode ser desconsiderada se o objetivo for obter um sistema resiliente (Hollnagel et al., 2011).

2.3 GESTÃO DA CONSTRUÇÃO COM BASE NA FILOSOFIA LEAN

Em função das peculiaridades da indústria da construção, como produtos únicos e exclusivos, produção no local e organizações em projetos temporários, a implementação da filosofia *Lean* neste setor tem diferenças fundamentais em relação à manufatura (Koskela, 1992). Isto deu origem a um movimento envolvendo acadêmicos e profissionais da indústria, denominado de

Lean Construction (LC). A LC envolve a adaptação de conceitos e princípios da filosofia *Lean* para a construção civil, resultando em vários métodos e práticas de gestão da produção desenvolvidos para este setor. A implementação da LC impacta na forma como os projetos de construção são executados, alterando práticas tradicionais por práticas que melhoram o desempenho do projeto (Sarhan et al., 2017). 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 (Locatelli et al., 2013; Nahmens & Ikuma, 2012). Ainda, a adoção da LC aumentou o nível de inovação no setor de construção ao longo do tempo (Sarhan et al., 2017). Entre os métodos e práticas de gestão da produção desenvolvidos para este setor podem-se destacar o **Sistema *Last Planner***, o **Projeto do Sistema de Produção** e o **Planejamento e Controle Baseado em Localização**.

O **Sistema *Last Planner* (SLP)** de Controle da Produção, desenvolvido originalmente por Ballard & Howell (1994) visa a alcançar a estabilidade básica, por meio da redução da variabilidade de fluxos a montante, gestão de compromissos e curto ciclo de aprendizagem. Busca-se proteger as unidades de produção da variabilidade previsível através da identificação e remoção sistemática de restrições e de maior confiabilidade na atribuição de tarefas no planejamento de curto prazo (Ballard, 1997). Trata-se de um modelo de Planejamento e Controle da Produção (PCP) colaborativo e hierarquizado, o que permite lidar com a grande complexidade inerente aos empreendimentos de construção (Ballard et al., 2007). A obtenção da estabilidade, que pode ser definida como a garantia de que o trabalho possa ser realizado de forma previsível, sem interrupção e com o nível de qualidade exigido (Sacks et al., 2009), permite que outros conceitos e práticas mais avançadas sejam implementados e outros esforços de melhoria possam ser introduzidos. Além disso, o SLP tem sido associado a resultados bem-sucedidos quando aplicado a projetos de construção complexos (Castillo et al., 2018). O nível de planejamento *look-ahead* permite o desenvolvimento de um sistema puxado (Ballard, 2000). Com a remoção antecipada das restrições cria-se uma janela de confiabilidade na qual todos os pré-requisitos estão disponíveis para as atribuições (Koskela, 2000). Aliado ao SLP, ferramentas de gestão visual que incorporem informações sobre o status da produção (como a matriz para controle do status da produção), permitem realizar produção puxada, já que o planejamento das tarefas do dia a dia da obra é realizado considerando o estado da produção.

O **Projeto do Sistema de Produção (PSP)**, consiste no desenvolvimento do projeto da operação e do processo alinhado com o projeto do produto, a estruturação das cadeias de suprimentos, a alocação de recursos e os esforços de projeto para a execução (Ballard et al.,

2007). Busca-se antecipar decisões estratégicas para a gestão da produção e alinhá-las, estabelecendo uma referência para a gestão da produção durante a etapa de obras (Ballard et al., 2001; Schramm et al., 2006). O PSP tem um caráter sistêmico por integrar várias decisões referentes à concepção do sistema de produção. Cumpre também um papel importante em evitar os efeitos nocivos da variabilidade previsível, pela definição de folgas, incluindo *buffers* de tempo e de capacidade (Barth et al., 2020).

O Planejamento e Controle Baseado em Localização (PCBL) consiste em um modelo de planejamento da produção, que é caracterizado por estabelecer um sistema de localização hierarquizado (Kenley & Seppänen, 2010). É uma técnica de planejamento fortemente enraizada em indicadores relacionados ao controle do WIP, tamanho do lote e fluxo contínuo e ininterrupto (Seppänen et al., 2010). Aumenta a transparência do PCP ao considerar aspectos relativos ao fluxo de trabalho e às restrições físicas (Kenley & Seppänen, 2010). O planejamento por localização cumpre um papel central na elaboração do PSP, fornecendo uma representação gráfica dos planos, gerada através de um processo colaborativo (Seppänen et al., 2010). O PCBL tem sido fortemente relacionado ao tempo *takt*, um conceito usado para descrever o ritmo em que um produto (ou serviço) precisa ser produzido para satisfazer à demanda do cliente no tempo estabelecido (Martin & Bell, 2011). Uma vez que um ritmo é definido, cada linha de produção (ou atividade, no caso da construção civil) pode ocorrer em sincronia com outras em um processo de fluxo contínuo (Binninger et al., 2017). Uma forma de explicitar a existência ou a falta de sincronização entre atividades é por meio da técnica da linha de balanço (Arditi et al., 2002). Algumas das formas de ajustar a duração de cada atividade ao tempo *takt* são redefinir a quantidade de trabalhadores por equipe, redimensionar o número de equipes ou promover melhorias nas operações (Linnik et al., 2013).

Além destes três modelos de planejamento e controle da produção, outros conceitos e práticas mais avançadas, vinculados à filosofia *Lean*, têm sido implementados. Alguns deles são destacados neste capítulo, por terem sido utilizados pelas empresas participantes desta pesquisa:

- a) ***Kanban***: além de facilitar a comunicação entre trabalhadores, torna mais fácil para o gerenciamento rastrear a produção real e o consumo de materiais no local de aplicação (Tezel et al., 2010). *Kanbans* permitem o gerenciamento de materiais com o mínimo de desperdício (estoques desnecessários e tempo de processamento, tempo de espera e desperdício físico) (Arbulu et al., 2003). O uso conjunto do sistema *Kanban* com o conceito de kits possibilita que as atividades sejam iniciadas com todos os elementos necessários

para sua execução, impactando positivamente na redução do excesso de WIP (Ronen, 1992);

- b) Trabalho **padronizado (TP)**: a literatura sobre a aplicação do TP na construção civil apresenta poucos exemplos práticos (Saggin et al., 2017). A alta variabilidade dos empreendimentos deste setor exige que os elementos do TP sejam adaptados (I. R. Bulhões & Picchi, 2011). Bonesi (2022), por exemplo, propôs a inclusão e explicitação das folgas como um elemento complementar na implementação do TP na construção civil. O elemento *estoque padrão*, por exemplo, pode ser ampliado para *kit padrão*, relacionado a um conjunto de requisitos para iniciar e concluir as atividades sem interrupções e perda de eficiência (Ronen, 1992). A *sequência padrão*, foi subdividida em dois elementos, a saber: *trajetória padrão de execução* e *sequência padrão de operações* (De Luca, 2022). Outro exemplo está associado à adaptação do conceito de tempo *takt*. Na manufatura as tarefas são repetitivas e os tempos de ciclo são estabelecidos em termos de minutos ou segundos (Liker, 2004). Devido ao longo tempo de ciclo dos processos de construção (normalmente definidos em termos de horas ou dias), o tempo *takt* não é diretamente utilizado como um parâmetro de controle para a evolução da produção (Fazinga & Saffaro, 2012). A aplicação do TP na construção civil requer certa flexibilidade e autonomia aos trabalhadores, de forma que seja possível lidar com a variabilidade inesperada (Vargas et al., 2023);
- c) **Gestão Visual (GV)**: a gestão visual consiste em uma estratégia de comunicação sensorial de curto alcance, adotada para aumentar a disponibilidade de informações no ambiente de trabalho (Tezel et al., 2016). A transparência pode ser obtida por meio da medição e exibição visual dos resultados medidos (Koskela, 1992). Ao implementar a filosofia *Lean* busca-se aumentar a transparência do sistema de produção para que todos os envolvidos possam auxiliar na sua gestão (Ballard & Howell, 2003a). Ainda, alguns dispositivos visuais podem oferecer suporte para lidar com a complexidade da construção civil, compartilhando as informações certas na hora certa e removendo as barreiras de informação no ambiente de trabalho (Valente et al., 2019).

Na construção civil, assim como em outros sistemas complexos, os métodos e práticas de gestão da produção são utilizados para conviver com um volume de variabilidade inesperada, diferentemente da manufatura em que uma parcela da variabilidade é removida. Na implementação da filosofia *lean* na construção civil o sistema produtivo deve prever folgas em maior quantidade e diversidade, em comparação a setores com características como as da

manufatura. Um conceito mais amplo no que se refere às folgas é o *slack*, um meio de absorver a variabilidade de diferentes fontes e uma forma de mitigar a incerteza⁴ (Saurin & Werle, 2017). *Slack* consiste em um conjunto de recursos e estratégias que permitem que uma organização se adapte com sucesso 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/ou informações (Saurin & Werle, 2017). As estratégias de implementação do *slack* são classificadas em redundância, flexibilidade e margens de manobra (Formoso et al., 2021). A redundância envolve a disponibilização de recursos adicionais ou quando mais de um recurso executa uma mesma função (Azadeh et al., 2016). A flexibilidade em relação a diversos recursos pode ser usada de diferentes formas, em resposta a mudanças no ambiente ou condições internas (Gerwin, 2005). As margens de manobra estão relacionadas ao grau de liberdade para a ação (Saurin & Werle, 2017), e representam uma combinação de redundância com flexibilidade (Formoso et al., 2021). Em síntese, o *slack* representa uma forma mais ampla (em relação aos *buffers*) de lidar com a variabilidade de forma a proteger o sistema de produção. Portanto, é fundamental definir uma combinação equilibrada de recursos e estratégias de *slack* (Hopp & Spearman, 2020)

Uma das formas de lidar com a variabilidade na construção civil é através da realização do PSP, antecipando decisões estratégicas e, assim, removendo parte da variabilidade inesperada (Saurin et al., 2021). Nesse sentido, a realização de um PSP representa uma forma de introduzir *slack* no sistema através de margens de manobra. Os efeitos da variabilidade inesperada também podem ser reduzidos através do PCP. Isso é possível através da introdução de *slack* na forma de redundância (planejamento de equipamentos e trabalhadores além do necessário) e flexibilidade (força de trabalho multifuncional e com treinamento cruzado) (Saurin, et al., 2013). Outra forma de introduzir *slack* no sistema é por meio da introdução das práticas de LC como o uso do TP, *Kanban* e outras ferramentas de GV. Busca-se com isso, aumentar a adequação destas práticas aos níveis crescentes de complexidade que caracterizam os projetos de construção (Saurin et al., 2021).

⁴ Neste trabalho, a incerteza é interpretada como a variabilidade inesperada. Entende-se que uma parte da variabilidade pode ser prevista e outra não, sendo denominada de variabilidade inesperada (Saurin & Werle, 2017). Variabilidade inesperada não pode ser reduzida abaixo de um certo limiar em sistemas verdadeiramente complexos, que são inerentemente incertos (Soliman et al., 2018).

3 SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO

Este capítulo apresenta uma revisão da bibliografia sobre sistemas de medição de desempenho. O propósito não é esgotar a literatura sobre o assunto, mas gerar uma base de conhecimento que permita subsidiar o desenvolvimento deste trabalho. Este capítulo está dividido em sete partes. Na primeira parte, busca-se definir um sistema de medição de desempenho e os termos relativos a esse tema. Na segunda parte são apresentados os elementos de um sistema de medição de desempenho. A seguir, o processo de desenvolvimento de um sistema de medição de desempenho é apresentado, considerando três fases, seguido pelas dificuldades encontradas neste processo. A quarta parte apresenta uma discussão sobre a revisão de literatura sobre medição de desempenho. A seguir, são apresentados *dashboards* como artefatos para apoio à medição de desempenho, considerando que estes tiveram um papel de grande importância para fomentar a implementação dos SMDs nos estudos realizados nesta tese. As últimas duas partes deste capítulo relacionam a medição de desempenho com os conceitos apresentados no capítulo anterior, abordando o papel e os requisitos para a medição de desempenho na implementação da filosofia *Lean* na indústria da construção.

3.1 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO

A literatura sobre medição de desempenho apresenta diferentes definições para termos fundamentais, como “**medição**”, “**medição de desempenho**” e “**sistema de medição de desempenho**”. De acordo com Choong (2014) algumas vezes o termo “sistema de medição de desempenho” é usado como sinônimo de “medição de desempenho”. A importância de diferenciar esses termos reside no fato de que eles desempenham papéis diferentes, têm objetivos diferentes e exigem diferentes atributos de medição quando da sua implementação (Choong, 2014). Na medida em que o campo da medição de desempenho se torna mais amplo e multidisciplinar, aumenta a necessidade de definição destes termos, de forma a estabelecer uma base conceitual clara e evitar interpretações equivocadas.

De acordo com a teoria das escalas de medição, “**Medição**” significa associar numerais a quantidades físicas (objetos) ou fenômenos (eventos) de acordo com regras pré-estabelecidas (Stevens, 1946). Esse significado equivale à definição de medição de Neely et al. (2005, pg. 80) como "o processo de quantificação". Para que o resultado dessa atribuição faça sentido, é necessário associá-lo a algum tipo de escala, como as utilizadas para medir comprimento e peso.

Ainda assim, vale ressaltar que existem várias regras para a atribuição de números, o que leva à existência de diferentes tipos de escalas e diferentes tipos de medição (Stevens, 1946). Assim, é correto dizer que a medição está ligada à quantificação, mas é importante ressaltar que essa quantificação nem sempre se refere à medição de desempenho, podendo estar relacionada a outras escalas.

Quanto à definição de “**Medição de Desempenho**” (MD), Choong (2014) identificou a partir de uma revisão sistemática da literatura que o uso do termo "processo" é central para vários autores. Neely et al. (1995, p. 80), referem-se à MD como o "processo de quantificação da eficiência e eficácia da ação". Em contrapartida, Bititci et al. (2016) a definem em termos de o que medir, como medir e como reportar seus resultados. Para Choong (2013), a MD está relacionada à melhoria, e requer a definição de metas, de forma que a medição e avaliação possam ser comparadas a um referencial adequado.

Para definir um “**Sistema de Medição de Desempenho**” (SMD) é importante esclarecer no que consiste um sistema. À luz da teoria geral dos sistemas, o termo sistema denota algo colocado junto, sendo que o todo é mais do que a soma de suas partes (Hendrick, 2007). Um sistema é um conjunto de componentes, princípios ou leis que se correlacionam uns com os outros ou interagem de uma determinada maneira que formam um todo coerente e apresenta um propósito comum (Johnson et al., 1964). Um sistema representa uma tentativa de organização do meio, de forma que seus subsistemas possam estar inter-relacionados (Von Bertalanffy et al., 1968).

Choong (2013) afirma que a MD como um sistema compreende um efeito de sinergia entre seus subsistemas. Significa que a interação entre seus subsistemas resulta em uma melhor utilização dos recursos e um processamento de informações mais eficiente, obtido através do atingimento da congruência de metas. Para Bititci et al. (1997), um SMD permite integrar as informações de outros sistemas, permitindo uma visão abrangente do desempenho organizacional. Segundo os mesmos autores, esse sistema de informação permite vincular os indicadores a objetivos estratégicos e táticos e a retroalimentação das informações, facilitando a tomada de decisões. Nessa mesma linha, Forza & Salvador (2000) afirmam que um SMD realiza duas funções principais: possibilita e estrutura a comunicação entre unidades organizacionais (indivíduos, equipes, processos, funções etc.); e apoia a coleta, processamento e entrega de informações sobre desempenho. Franco-Santos et al. (2012) definem um SMD como um conjunto de indicadores de desempenho, financeiros e não financeiros, utilizados para operacionalizar

objetivos estratégicos. Para Franco-Santos et al. (2012), um SMD envolve processos específicos de provisão de informações e um método de coleta e análise de dados. Em contrapartida, Neely et al. (1995, p. 81), se baseiam em sua definição de MD para descrever um SMD como um conjunto de métricas utilizadas para “quantificar a eficiência e a eficácia das ações”. Bourne et al. (2003) concentram a definição no aspecto multidimensional dos indicadores de desempenho escolhidos para planejar e gerenciar. Por fim, para Okwir et al. (2018), SMDs possuem um grande número de elementos interligados e interdependentes, que evoluem com o tempo e se adaptam às mudanças no ambiente interno e externo.

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 deve fazer parte de um sistema de informação que integra diferentes subsistemas que interagem entre si para alcançar um objetivo comum. Esses subsistemas são formados por indicadores (de desempenho ou não), métodos de medição, instâncias de análise e tomada de decisão, processos de retroalimentação e os usuários do sistema (ou subsistema) propriamente ditos.

Segundo Franco-Santos et al. (2007), os limites do SMD são definidos pela especificação das características do sistema (propriedades ou elementos que compõem o sistema, ou seja, medidas de desempenho e métodos de medição), do papel desempenhado pelo sistema (propósitos ou funções que são desempenhadas pelo sistema) e dos processos que compõem o sistema (ações que se combinam para formar o sistema). Choong (2013) salienta que a explicitação dos componentes (dados/variáveis, atributos de medição e métodos de medição), *stakeholders*, metas e informações de um SMD facilita a proposição de um sistema mais alinhado com as iniciativas de melhoria de uma organização. Os atributos de medição representam métricas e indicadores. Cabe ressaltar que não há consenso na literatura para o significado destes atributos, sendo que por vezes os mesmos são utilizados de forma equivalente (Choong, 2013) Métricas estão relacionadas a uma forma quantitativa de apresentação, enquanto indicadores podem ser uma combinação de formas qualitativas e quantitativas (Choong, 2014). Dessa forma, os indicadores são mais adequados para representar fatores que não podem ser totalmente quantificados, tais como satisfação do cliente, comportamento das pessoas e qualidade do serviço (Choong, 2014).

3.2 ELEMENTOS DE UM SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO

Para que possa ser estabelecido um SMD, devem ser identificados seus usuários 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, Franco-Santos et al. (2007) atribuem a SMDs os propósitos de **apoiar a tomada de decisão** e de **fomentar aprendizagem e melhoria contínua**. Soma-se a estes propósitos o objetivo de **tornar visíveis os atributos invisíveis do processo** (Koskela, 1992).

Uma vez definido o propósito do SMD, devem ser **selecionados os indicadores que irão compor o sistema**. A literatura aponta que existem diferentes dimensões de desempenho, além da financeira (Franco-Santos et al., 2007; Ghalayini & Noble, 1996; Kaplan & Norton, 1992; Kennerley & Bourne, 1980), entre as quais geração de valor para o cliente, processos internos e a perspectiva de inovação e aprendizagem (Kaplan e Norton, 1992), indicadores sociais e ambientais (Asiaei e Bontis, 2018), indicadores para gestão da cadeia de suprimentos (Eriksson, 2010) e para gestão da segurança (Peñaloza et al., 2020). Por fim, DeBusk et al. (2003) concluem que o número de perspectivas em um SMD depende das estratégias, das dimensões competitivas e das condições econômicas enfrentadas pela organização. Segundo Neely et al. (1996), o conjunto de indicadores deve fornecer dados que permitam monitorar o desempenho realizado e planejar ações para melhorar o desempenho futuro. Ainda, deve conter indicadores que se complementem e que sejam compatíveis com a cultura organizacional e os sistemas de premiação disponíveis, além de fornecer dados para comparação externa (Neely et al., 1996). Este conjunto de indicadores deve incluir indicadores de processo (*leading*) e de resultado (*lagging*), no contexto interno e externo da organização, e que promovam uma integração vertical e horizontal, distribuídos em diversos níveis hierárquicos (Franco-Santos et al., 2007).

Atenção deve ser dada à **seleção dos indicadores**, pois a inclusão de métricas inapropriadas pode causar impactos negativos nos processos produtivos (Franceschini et al., 2013), pois estes podem gerar interpretações equivocadas. A escolha dos indicadores de desempenho a serem monitorados indica as áreas ou elementos que a empresa gostaria que fosse dada maior atenção

(Jordan & Messner, 2012). Além de orientar a ação da gerência, os indicadores de desempenho representam instrumentos de controle, colocando um foco particular nas ações e atenção em certos aspectos, em detrimento de outros considerados menos importantes. Tradicionalmente as empresas monitoram indicadores de prazo, custo e qualidade. Cabe à alta gerência ampliar o escopo da medição de desempenho para que outras dimensões sejam monitoradas (Jordan & Messner, 2012). Ainda, deve-se definir claramente os indicadores por meio de diversas características (Neely et al., 1997): título, finalidade, objetivo com o qual o indicador está relacionado, meta, fórmula, frequência de coleta e reporte, quem mede, fonte dos dados, quem age sobre os dados, o que eles fazem, notas e comentários.

Os **procedimentos para coleta, processamento e análise de dados** também representam elementos importantes de serem definidos em um SMD (Neely et al., 1997). É necessário prever uma infraestrutura de apoio para a coleta e classificação dos dados, análise, interpretação e disseminação das informações decorrentes da medição de desempenho (Franco-Santos et al., 2007). Nesse sentido, especial importância deve ser dada para o uso das informações. Algumas ações decorrentes da análise dos indicadores podem ser padronizadas, mas grande parte delas é dependente do contexto (Neely et al. 1997). Assim, é necessário que os responsáveis pela tomada de decisão compreendam o significado e a importância das informações geradas (Maskell, 1991). A infraestrutura de apoio pode incluir mecanismos manuais ou automatizados, desde que permitam que o processo de medição forneça informações rápidas, relevantes e confiáveis para apoiar a tomada de decisão (Neely et al., 1997). Há um potencial crescente de utilização da tecnologia da informação para automatizar a coleta e o processamento de dados (por exemplo, o uso da computação móvel) para garantir que as informações sejam fornecidas em tempo hábil (Nudurupati et al., 2011; Tokola et al., 2016; Zanon et al., 2020).

O SMD também deve prever **planos e protocolos para distribuição das informações de desempenho a diferentes usuários (dentro e fora da organização)** (Neely et al., 1997). Considerando um processo descentralizado de tomada de decisão, a necessidade de distribuição da informação vertical e horizontalmente dentro de uma empresa é ainda maior (Okwir et al., 2018). Esse formato opõe-se ao fluxo *top-down* tradicional de estruturas rígidas de comando e controle. Dessa forma, é necessário que o SMD estabeleça planos e protocolos para garantir que a informação flua dentro da organização e que esteja disponível para uma variedade de usuários (Franco-Santos et al., 2007).

Complementarmente ao processo de medição, é necessário estabelecer momentos formais para análise das informações geradas pelos indicadores e definição de ações em decorrência destas informações (Bourne et al., 2000). Para tanto, devem ser definidas **instâncias para análise e tomada de decisão** (Lantelme & Formoso, 2000). São necessárias reuniões regulares, com a participação de profissionais que possuem responsabilidade pelo desempenho que está sendo medido e que tenham governança para responsabilizar-se pelas ações (Parry & Turner, 2006). A seleção dos participantes e a frequência das reuniões deverá ser definida de acordo com as rotinas do SMD.

O SMD deve apoiar a aprendizagem (Neely et al., 1997), fornecendo dados que permitam compreender os desvios e suas causas, as ações que geraram bons resultados e as tendências futuras. Isso implica em mudar a forma como a gestão é conduzida dentro da organização, criando um ambiente mais transparente e participativo (Lantelme & Formoso, 2000). A abordagem de aprendizagem envolve o estabelecimento de ações para corrigir desvios e melhorar o desempenho, ou como decorrência da necessidade de atualização do sistema.

De fato, o SMD deve incluir um **processo de atualização e melhoria em função de mudanças ocorridas** no ambiente interno e externo (Lohman et al., 2004). Estas mudanças podem ser decorrentes, principalmente, do processo de aprendizagem (Bellisario & Pavlov, 2018), mas também da existência de variabilidade no sistema produtivo (Maskell, 1991), de mudanças estruturais (Nudurupati et al., 2007) e de mudanças no ambiente empresarial externo (Kennerley & Neely, 2003). Para tanto, o SMD deve possuir procedimentos para atualização periódica e reuniões para análise crítica do sistema como um todo (Braz et al., 2011).

3.3 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO

Embora diversos modelos e diretrizes para desenvolvimento de SMDs tenham sido propostos (Bititci et al., 2008), estes seguem uma abordagem tradicional de três fases (Beatham et al., 2005; Bourne et al., 2000; Braz et al., 2011; Kaplan & Norton, 1992; Kennerley & Neely, 2003; Neely & Bourne, 2000): (a) concepção, (b) implementação e (c) uso e atualização. As três fases são igualmente importantes para o sucesso do sistema e dependem da forma como a empresa adapta o SMD ao seu contexto (Choong, 2014; Neely, 1999). Salienta-se a importância da fase de concepção, pois o design inadequado do SMD pode aumentar a dificuldade do processo de medição nas fases subsequentes (Okwir et al. 2018).

Essa divisão em três fases não significa que deva existir um rigor na sequência entre elas. Segundo Bourne et al. (2000), estas fases de desenvolvimento de um SMD representam uma estrutura conceitual, sendo que normalmente existe uma sobreposição entre elas. Por exemplo, uma parte do sistema pode ser implementado antes que este tenha sido completamente concebido, permitindo um teste antecipado e a correção de parte dos elementos que compõe o SMD (Bourne et al., 2000).

Embora útil, essa divisão em concepção, desenvolvimento e implementação/uso representa uma visão muito ampla de um processo de desenvolvimento, podendo ser aplicada a qualquer tipo de sistema. Mas em se tratando do desenvolvimento de um SMD, estas etapas precisam ser mais especificamente definidas, de forma a evitar as barreiras apresentadas na literatura. A seguir, cada uma das três fases de desenvolvimento de um SMD é descrita em mais detalhes.

3.3.1 Concepção do sistema de medição de desempenho

A concepção de um SMD pode ser caracterizada como um exercício cognitivo, no qual as visões e necessidades de várias partes interessadas são traduzidas em um sistema coeso e balanceado (Bourne et al., 2000). Deve ser um processo colaborativo, que considera os requisitos de diversos usuários do SMD, e flexível, de forma a se adaptar ao contexto em que está inserido, com o objetivo de alcançar um propósito comum. Este processo possibilita maior aprofundamento das necessidades dos usuários e dos problemas da empresa, representando um momento de aprendizagem. A consideração da perspectiva dos colaboradores dos níveis operacionais também é desejável, não apenas na concepção, mas também durante a implementação e uso do SMD (Ukko et al., 2007).

Neely et al. (1997) limitam o design do SMD a identificar os objetivos-chave a serem medidos e a projetar os indicadores propriamente ditos. Entretanto, o design de um SMD envolve também a definição de toda a infraestrutura e ferramentas que permitirão que o processo de medição ocorra (Franco-Santos et al., 2007). Ou seja, um SMD é formado por diversos componentes que suportam o processo de medição (por exemplo, Bourne et al., 2000; Choong, 2013; Franco-Santos et al., 2007; Neely et al., 2005), conforme descrito no item 3.2 desta tese. A disponibilidade de dados é um ponto que também precisa ser considerado nesta etapa de desenvolvimento do SMD (Lohman et al., 2004). A inclusão de novos indicadores deve ser gradual, a medida em que os dados estejam disponíveis.

3.3.2 Implementação do sistema de medição de desempenho

Faz parte da implementação a **coleta, compilação, classificação e distribuição de dados** (Bourne et al., 2000). A medição do desempenho deve ser dinâmica para que os dados permaneçam relevantes e reflitam questões atuais (Sangwa & Sangwan, 2018). Esse processo requer novos procedimentos, manuais ou automatizados, para fornecer as informações necessárias (Okwir et al., 2018). De fato, a automação se justifica principalmente em SMDs que requerem informações regulares e que apresentem um grande volume de dados a serem processados (Bourne et al., 2000)

A implementação de um SMD redistribui o acesso à informação e esse processo pode gerar resistência por parte de alguns gestores, principalmente aqueles com perfil de gestão tradicional (Bourne et al., 2000). Para evitar essa barreira, é importante comunicar a todos os níveis hierárquicos e de forma clara os objetivos do SMD na empresa (Braz et al., 2011). Ainda, uma cultura não punitiva, que incentive o diálogo e análise, pode impactar positivamente na implementação de um SMD (Ukko et al., 2007).

3.3.3 Uso e atualização do sistema de medição de desempenho

Nessa etapa, busca-se assegurar que os indicadores sejam utilizados como parte do processo de tomada de decisão, ao mesmo tempo em que sua utilidade é testada (Okwir et al., 2018). Para isso, é necessário estabelecer discussões regulares sobre o conjunto de indicadores, com a presença dos diretores, gerentes ou outros envolvidos que tenham a responsabilidade de medir o desempenho (Bourne et al., 2000). Na etapa de uso do SMD, deve-se explicitar a forma como os funcionários devem estar comprometidos com a utilização do sistema (Ukko et al., 2007). Para que possa ser atualizado, o SMD precisa ser efetivamente utilizado como parte do sistema de monitoramento e tomada de decisão. Kennerley e Neely (2003) destacam quatro fatores como facilitadores dessa tarefa: (i) um **processo** de revisão, alteração e implementação dos novos indicadores precisa estar estabelecido; (ii) disponibilidade de **pessoas** com habilidade para usar, refletir sobre, modificar e implantar os indicadores; (iii) a existência de um **sistema** flexível que permita a coleta, análise e reporte de dados apropriados; e (vi) a existência de uma **cultura** que valorize a medição e a importância de manter os indicadores relevantes e apropriados.

3.4 BARREIRAS PARA O DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO

A literatura apresenta diversas barreiras para o desenvolvimento de SMDs, sendo que a perspectiva social do sistema representa um dos aspectos que requerem maior atenção (Okwir et al., 2018; Ukko et al., 2007; Waal & Counet, 2008). A não consideração do fator humano tem sido vista como uma das principais barreiras para o desenvolvimento de SMD (Waal & Counet, 2008), representada pela **falta de envolvimento dos colaboradores** e pela ênfase excessiva no aspecto **técnico do sistema** (Bourne, 2005).

A seguir são apresentadas as principais barreiras relacionadas ao desenvolvimento de SMDs, tendo como principal fonte a revisão de literatura realizada por Waal & Counet (2008). Estas barreiras são apresentadas de acordo com as etapas de concepção, implementação e uso de um SMD.

3.4.1 Barreiras ligadas à fase de concepção do SMD

A **falta de definição clara dos elementos do SMD** representa uma das barreiras identificadas na fase de concepção desses sistemas (Nudurupati et al., 2007). Inclui a falta de balanceamento entre indicadores de processo e resultado, ausência de instâncias para análise e tomada de decisão, falta de dispositivos visuais para difundir as informações aos envolvidos, e número de indicadores muito grande ou muito pequeno (Waal & Counet, 2008). Um dos motivos para o excesso de medidas é a falta de identificação dos processos mais importantes (Neely & Bourne, 2000). Como consequência, há uma sobrecarga de informações sem priorização (Waal & Counet, 2008).

Outra barreira identificada se refere à **centralização da concepção do SMD** (Waal & Counet, 2008). A contratação de um profissional externo para a concepção completa do SMD, a centralização da concepção do SMD em apenas um departamento ou pessoa, e a falta de envolvimento dos usuários do sistema contribuem para a barreira citada (Beatham et al., 2005; Waal & Counet, 2008). Esses fatores podem causar resistência por parte dos usuários, por não se sentirem envolvidos no processo (Neely & Bourne, 2000)

3.4.2 Barreiras ligadas à fase de implementação do SMD

Dentre as barreiras relacionadas à fase de implementação do SMD, pode-se citar a **falta de sensibilização ou treinamento dos colaboradores** sobre o SMD (Waal & Counet, 2008). O SMD deve ser apresentado para a equipe de forma clara, esclarecendo objetivos, indicadores, procedimentos, rotinas e responsabilidades (Parry & Turner, 2006). Nessa linha, Braz et al.

(2011) ressaltam a importância de **comunicar os objetivos** do SMD aos colaboradores de todos os níveis hierárquicos da empresa. Okwir et al. (2018) chamam a atenção para a necessidade de **distribuição da informação** horizontalmente dentro de uma empresa, em complemento à distribuição vertical. Mas não apenas com o objetivo de desdobramento de objetivos estratégicos, como fortemente destacado na literatura sobre SMDs em geral, mas para levar informações a todos aqueles que possam fazer uso de alguma forma.

A **falta de recursos para a implementação do SMD ou disponibilidade insuficiente** também representa uma barreira para a fase de implementação (Waal & Counet, 2008). Os SMDs podem falhar por falta de infraestrutura na empresa (Neely & Bourne, 2000). Os dados podem estar em bancos de dados individuais e desconectados, ou ainda em formatos inconsistentes (Neely & Bourne, 2000). Inicialmente, a introdução de mudanças exige um **esforço adicional** da equipe para a implementação e para que o SMD se mantenha atualizado (Taylor & Taylor, 2013). Muitas vezes os recursos (orçamento) e capacidade (pessoas) não são previstos, o que resulta em atraso ou adiamento da implementação (Waal & Counet, 2008). O uso de **tecnologia da informação** permite automatizar parte do processo de medição, tornando-o mais rápido e exigindo menos esforço dos envolvidos.

Outra barreira se refere à **falta de priorização do SMD pela gerência** (Waal & Counet, 2008), por serem definidas outras prioridades, tais como outras iniciativas na empresa, ou problemas financeiros (Bourne, 2005). As **restrições de tempo e a rotina diária** podem atrasar ou retardar a implementação do SMD (Waal & Counet, 2008). Ainda, a falta de **adesão de gerentes** à implementação e ao uso do SMD, pode fazer com que outras pessoas também deem menos importância. Neste caso, o SMD pode ser visto como mais uma iniciativa passageira e que logo será abandonada (Waal & Counet, 2008).

3.4.3 Barreiras ligadas à fase de uso e atualização do SMD

Pode-se citar como barreira ao uso e atualização dos SMDs **o longo tempo para retroalimentar as informações geradas pelos indicadores** (Waal & Counet, 2008). Muitas vezes a demora em coletar e processar as informações gera dados desatualizados e que não apoiam a tomada de decisão (Bourne et al., 2000). Como consequência, o SMD passa a ser gradualmente abandonado devido à diminuição da relevância e do valor agregado para os membros da organização (Beatham et al., 2005; Waal & Counet, 2008).

Algumas **empresas não percebem os benefícios do SMD**, o que representa uma barreira para o uso e atualização do mesmo (Waal & Counet, 2008). A gerência e os funcionários precisam

perceber valor no processo de medição, caso contrário o sistema torna-se desatualizado e deixa de ser utilizado gradualmente (Beatham et al., 2005). A adesão da gerência e da equipe é essencial para o sucesso do SMD (Waal & Counet, 2008). Há poucos relatos na literatura sobre SMDs em que os funcionários e gerentes de nível operacional e tático consideram a MD como algo que os apoia e que eles podem usar para seus próprios fins para avaliar o andamento de ações, identificar problemas, priorizar áreas, desenvolver ideias de melhoria, criar soluções para problemas concretos ou tomar decisões (Wouters & Wilderom, 2008).

O **uso dos indicadores para responsabilização de pessoas ou departamentos** também dificulta seu uso e atualização (Waal & Counet, 2008). O uso do SMD para buscar culpados pode acarretar uma manipulação dos dados por parte dos envolvidos (Waal & Counet, 2008). A medição de desempenho pode criar um clima de medo na empresa, diminuindo o engajamento dos funcionários (Smith & Bititci, 2017). O uso do SMD como um mecanismo de comando e controle também pode dificultar o envolvimento dos colaboradores (Nudurupati et al., 2011). Ainda, um SMD introduz maior transparência, tornando as informações sobre desempenho acessíveis (Waal & Counet, 2008). Alguns colaboradores podem resistir à maior transparência por sentir-se ameaçados como consequência da forma como as informações são utilizadas (Ahrens & Chapman, 2005; Neely & Bourne, 2000).

Outra barreira refere-se à **falta de definição de quando o SMD deve ser atualizado** (Waal & Counet, 2008). O SMD deve ser **atualizado** como consequência do processo de aprendizagem e deve estar alinhado com os objetivos estratégicos da empresa, para que permaneça relevante para seus usuários (Waal & Counet, 2008). Um SMD estático tende a fornecer informações que não atendem à necessidade da empresa (Beatham et al., 2005).

A **falta de conexão entre o SMD e os sistemas de premiação** também representa uma barreira para seu uso e atualização (Waal & Counet, 2008). Neste caso cada gerente define em quais indicadores colocar maior importância, sem considerar os objetivos da empresa. Isso faz com que os membros da organização trabalhem em outras questões e, ao mesmo tempo, considerem o SMD pouco relevante (Waal & Counet, 2008). Como consequência, os esforços de melhoria são apenas pontuais, não gerando grandes impactos no resultado como um todo.

3.5 PAPEL DA MEDIÇÃO DE DESEMPENHO NA IMPLEMENTAÇÃO DA LEAN CONSTRUCTION

A MD exerce um papel diferente nos sistemas de produção *Lean* quando comparada à sua aplicação em sistemas gerenciais em geral (Maskell, 1991), e esta mesma lógica deve ser considerada na indústria da construção. A MD na gestão de empreendimentos de construção em geral, se limita a avaliar o cumprimento de prazos, os resultados de custo e a avaliação da qualidade (España et al., 2012). Essa visão se baseia no modelo do termostato, no qual controlar significa atender ao padrão através da correção dos desvios, mas sem colocar muito esforço na identificação e eliminação das causas básicas desses desvios (Koskela & Howell, 2002). A MD 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 MD 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 o foco da MD também inclua **objetivos alinhados aos ideais *Lean*** (Koskela, 1992). Koskela (1992) complementa que a geração de valor, a eliminação de desperdícios e a redução da variabilidade são exemplos de ideais *Lean* a serem incorporados aos aspectos mais importantes do negócio. Outros fenômenos que podem ser citados são a redução de estoques, a redução do tamanho do lote e o aumento da confiabilidade.

Conseqüentemente, o SMD tem a função de **desdobrar e disseminar estes objetivos de alto nível através de metas** desafiadoras e viáveis para todos os níveis hierárquicos na organização (Hall et al., 1991). Contudo, além de permitir a difusão das metas, o SMD deve ser dinâmico, pois as metas se alteram como uma consequência da aprendizagem e da melhoria contínua e estão vinculadas à geração de valor para o cliente (Nudurupati et al., 2007). Ainda, flutuações externas podem causar mudanças nas estratégias da empresa. Conseqüentemente, os SMDs devem ser revisados para manter sua relevância (Nudurupati et al., 2011).

Uma das funções mais citadas da MD é conectar o nível estratégico às ações realizadas no nível operacional (Nudurupati et al., 2011; Parry & Turner, 2006). Por outro lado, as práticas referentes à MD utilizadas por empresas na implementação da filosofia *Lean* revelam um forte enfoque no nível operacional (Bellisario & Pavlov, 2018). Em ambos os casos, tanto a comunicação por meio de indicadores que disseminem os objetivos de alto nível (*top-down*) quanto a conexão das ações no nível operacional ao nível estratégico (*bottom-up*), é feita por meio de engajamento e participação, e fomenta o comprometimento de diferentes setores da empresa (Bhasin, 2012; Hopp & Spearman, 2020). A **MD apoia esse fluxo de informação *top-down* e *bottom-up***, contribuindo para envolver diferentes níveis hierárquicos, para que a implementação *Lean* possa avançar para toda a empresa (Bhasin, 2012).

A existência de um ambiente que incentive a **melhoria** e a **colaboração** é importante em todos os níveis da organização (Bellisario & Pavlov, 2018). A MD estabelece um fluxo de informação entre diferentes níveis gerenciais e departamentos (Hall et al., 1991). Essa visão, presente em SMDs em geral, é ampliada na abordagem da *Lean Construction*. Além de serem disseminados por meio de fluxos de informação, os indicadores de desempenho devem ser disponibilizados através de dispositivos visuais, de forma que os atributos invisíveis do processo se tornam visíveis para várias pessoas (Koskela, 1992). A difusão transparente das informações em conjunto com uma maior disponibilidade facilita a comunicação (Tezel et al., 2016). Ainda, dispositivos visuais apoiam a coordenação e a integração entre diferentes unidades e níveis hierárquicos, permitindo assim a delegação de responsabilidades (Bititci et al., 2016).

Ferramentas para controle visual de processos atuam como uma extensão aos indicadores e podem ser consideradas como um sistema de medição dinâmico (Parry & Turner, 2006). Estes dispositivos visuais para a disseminação das informações devem ser disponibilizados no ponto de uso e devem ser projetados de acordo com os requisitos de seus usuários (Valente et al., 2017). Dentre os diversos dispositivos visuais, os *dashboards* possuem grande importância para o processo de MD, devendo ser desenvolvidos de forma que atendam às necessidades de diversos usuários (Bititci et al., 2016; Yigitbasioglu & Velcu, 2012). Nesse sentido, o **envolvimento das equipes** é um elemento essencial para a implementação da filosofia *Lean* (Crawford & Cox, 1990) Para tanto, o SMD deve ser simples e de fácil compreensão, as informações devem estar disponíveis e devem ser utilizadas para discussão durante as reuniões ou outras instancias de análise (Brady et al., 2018; Crawford & Cox, 1990; Lantelme & Formoso, 2000)

Ainda, é fundamental comunicar regularmente a importância do processo de mudança em todas as suas etapas de forma a manter a motivação de toda a equipe (Whelan-Berry & Somerville, 2010). A **comunicação clara** garante que as informações, como os objetivos definidos pela gestão, sejam **compreendidas por todos os envolvidos** (Parry & Turner, 2006). Para tanto, além da definição de **metas claras** (Hopp & Spearman, 2020) e do **engajamento da alta administração** (Bititci et al., 2008; Bourne, 2005), o SMD deve ser composto por **indicadores *leading* e *lagging*** (Costa et al., 2006).

A necessidade de combinar **indicadores *leading* e *lagging*** está presente na literatura sobre MD em geral. Mas em SMDs que apoiam a implementação da filosofia *Lean*, estes indicadores *leading* e *lagging* enfatizam o monitoramento das mudanças durante o processo de implementação (Karlsson & Åhlstrom, 1996). Indicadores *leading*, proativos e intermediários, permitem avaliar o impacto das mudanças gerenciais desde os estágios iniciais da implementação *Lean* (Karlsson & Åhlstrom, 1996). Estes indicadores disponibilizam informações antecipadas para a tomada de decisão (Beatham et al., 2004), fornecem evidências para a compreensão de como um determinado resultado foi alcançado (Costa et al., 2006; Kagioglou et al., 2001) e permitem avaliar a implementação de princípios *Lean* (Sangwa & Sangwan, 2018), como melhoria contínua e controle da variabilidade. Ainda, indicadores *leading* podem monitorar o efeito da implementação de conceitos e ferramentas *Lean* no resultado (Bititci et al., 2011; Fullerton & Wempe, 2009)

Em contrapartida, os indicadores *lagging*, tais como medidas contábeis e financeiras, são orientados para o passado sendo, portanto, ineficazes para apoiar a tomada de decisão em tempo real (Sarhan & Fox, 2013). Estes indicadores são importantes para medir o impacto de iniciativas de melhoria no longo prazo e para embasar informes de resultado, mas não como guia para ações do dia a dia (Manoochchri, 1999). A falta de indicadores adequados dificulta a compreensão das razões para a obtenção de melhorias ou baixo desempenho (Sarhan & Fox, 2013). Além de representarem uma barreira frequentemente citada para alcançar o sucesso com iniciativas de melhoria (Crawford & Cox, 1990), de forma isolada os indicadores *lagging*, em geral, têm limitado impacto na aprendizagem e na melhoria contínua, dois importantes elementos na filosofia *Lean*.

A Figura 1 apresenta um resumo das características da MD na gestão de projetos de construção e na gestão de projetos com base em conceitos da *Lean Construction*.

Figura 1– Características da MD na gestão de projetos de construção e na gestão de projetos com base em conceitos da *Lean Construction*.

Características da MD na gestão de projetos de construção	Características da MD na gestão de projetos com base na <i>Lean Construction</i>
No controle de processos, o desempenho é medido ao final (ou início), sendo que desvios devem ser detectados para a correção dos processos (Koskela & Howell, 2002). Essa premissa incentiva o objetivo de minimizar esta variação em vez da melhoria contínua (Bourne et al., 2000).	Um SMD deve fornecer não apenas os dados necessários para o controle do processo, mas apontar deficiências nos processos , que podem ser consideradas como fontes de tensões criativas para a melhoria contínua (Spear & Bowen, 1999). Nesse sentido, o SMD deve fornecer informações que possam ser usadas como referência para a melhoria e o aprendizado sobre o processo (Pavlov & Bourne, 2011). Essa premissa indica que as causas-raiz dos desvios devem ser identificadas para garantir que os problemas possam ser eliminados (Koskela & Howell, 2002).
A MD permite alinhar os esforços e recursos aos aspectos mais importantes (ou objetivos estratégicos) do negócio (Kaplan & Norton, 2004).	Além dos objetivos estratégicos, a MD também deve se concentrar nos objetivos Lean , como a eliminação de desperdícios, a redução da variabilidade e o aumento da geração valor (Koskela, 1992).
Os SMDs devem ser usados para disseminar metas desafiadoras e viáveis na empresa (Hall et al., 1991).	Além da difusão das metas, o SMD deve ser dinâmico, pois as metas se alteram como uma consequência da aprendizagem e da melhoria contínua e estão vinculadas à geração de valor para o cliente (Nudurupati et al., 2007).
Fluxos de informações eficazes devem ser usados para fornecer comunicação entre diferentes níveis gerenciais e departamentos (Hall et al., 1991).	Além de serem disseminadas por meio de fluxos de informação, as medidas de desempenho devem ser disponibilizadas através de dispositivos visuais , de forma que os atributos invisíveis do processo se tornam visíveis para várias pessoas (Koskela, 1992).
O SMD deve ser composto por indicadores de processo e resultado (Costa et al., 2006).	SMDs que apoiam a implementação da filosofia <i>Lean</i> devem combinar indicadores de processo e resultado, enfatizando o monitoramento das mudanças durante a implementação (Karlsson & Åhlstrom, 1996).

3.6 REQUISITOS PARA SMD NA PERSPECTIVA DA LEAN CONSTRUCTION

Tendo em vista as diferenças e similaridades entre as recomendações gerais para SMDs e para gestão com base na *Lean Construction*, o presente trabalho propõe um conjunto de requisitos organizados em sete categorias. Este conjunto de requisitos pode ser interpretado como

prescrições para o desenvolvimento de SMDs para empreendimentos de construção, considerando a perspectiva da *Lean Production*.

- 1. Os indicadores de desempenho devem estar alinhados aos objetivos de alto nível (objetivos estratégicos ou ideais *Lean*):** dois motivos principais justificam esse requisito. Primeiro, a necessidade de avaliar se as ações que estão sendo realizadas resultam no atendimento das metas estratégicas (Bhasin, 2008). Em segundo lugar, as estratégias precisam ser traduzidas em indicadores operacionais que indiquem que metas são importantes para a empresa (Kaplan & Norton, 2004). Em programas de implementação *Lean*, as metas de alto nível podem estar relacionadas à estratégia corporativa da empresa ou a metas alinhadas aos objetivos *Lean*, como a eliminação de desperdícios e a geração de valor sob a perspectiva do cliente final (Koskela, 2000). Ainda, o uso de métricas que comuniquem os objetivos estratégicos da empresa favorece o comprometimento de diferentes setores da empresa (Bhasin,2008).
- 2. O SMD deve combinar indicadores *leading* e *lagging*:** no caso dos programas de implementação *Lean*, os indicadores *leading* são importantes para avaliar a implementação dos princípios fundamentais, como monitorar a melhoria contínua e manter a variabilidade sob controle (Koskela, 1992). Ademais, indicadores *leading* permitem avaliar o status do sistema de produção (Formoso et al., 2002; Beatham et al., 2004) e fornecem evidências para entender como um determinado resultado é alcançado (Costa et al., 2006; Kagioglou et al., 2001). Em contrapartida, indicadores *lagging*, como algumas medidas financeiras, são importantes para medir o impacto das iniciativas de melhoria, mas não como orientação para as ações diárias (Manoochehri, 1999).
- 3. Feedback significativo e oportuno deve ser fornecido aos usuários:** SMDs devem fornecer informações rápidas, relevantes e confiáveis para apoiar a tomada de decisão (Neely et al., 1997). A tecnologia da informação possui potencial de automatizar a coleta e o processamento dos dados (por exemplo, o uso da computação móvel), garantindo o fornecimento de informações em tempo hábil (Bhasin, 2008). Um rápido ciclo de entrega de informação permite a detecção precoce de desvios para garantir que a tomada de decisão e as ações corretivas possam ser realizadas rapidamente (Fullerton & Wempe, 2009). Nos programas de implementação *Lean*, esse requisito está fortemente relacionado a dois princípios fundamentais, redução do tamanho do lote e redução do tempo de ciclo, que permitem o *feedback* antecipado do processo (Koskela, 2000). Aumentar a transparência do

processo é outro princípio fortemente relacionado à eficácia da retroalimentação (Valente et al., 2017). A escolha dos indicadores e a forma como são exibidos dependem das necessidades específicas de cada usuário (por exemplo, gerentes, trabalhadores e subcontratados). Além disso, as partes interessadas devem entender o significado e a importância das informações fornecidas (Maskell, 1991).

4. **O SMD deve promover melhoria e aprendizagem:** os SMDs devem fornecer informações que incentivem a melhoria e o aprendizado, em vez de serem usados apenas para monitoramento e controle (Pavlov & Bourne, 2011). Os indicadores devem indicar áreas com oportunidades de melhoria, assim como aquilo que está dando resultado positivo (Maskell, 1991). Nesse sentido, é necessário combinar informações quantitativas e qualitativas, para permitir que as causas básicas dos problemas sejam adequadamente compreendidas. Para fomentar a aprendizagem, devem ser estabelecidos momentos de reflexão para avaliar os resultados e propor melhorias (Bititci et al., 2016). Por exemplo, podem ser realizadas reuniões formais em horários específicos de trabalho, nas quais a participação das partes interessadas seja incentivada (Lantelme & Formoso, 2000). Nesse contexto, a transparência do processo pode ser usada para facilitar a colaboração entre os membros da equipe (Ewenstein & Whyte, 2007), buscando mitigar problemas relacionados ao gerenciamento da complexidade (Viana, 2015) e para aumentar a motivação da força de trabalho (Galsworth, 1997).

5. **O SMD deve estabelecer sistemas de controle local:** a ideia de sistemas de controle local baseia-se no pressuposto de que fornecer um certo grau de liberdade para que os gerentes ou as equipes adotem indicadores que atendam às suas necessidades específicas é benéfico para a empresa (Maskell, 1991). Nesse tipo de controle, os indicadores 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). Esses sistemas geralmente adotam construtos para definir controles, ou seja, conceitos locais relevantes para um contexto específico. Algumas informações podem fornecer conclusões errôneas ou perder o significado se forem removidas de seu contexto (Eckerson 2005, Few, 2006). Portanto, pode ser difícil usar alguns desses indicadores para comparação sem entender o contexto por trás deles. Por exemplo, o número de iniciativas *Kaizen* é uma métrica adotada por algumas empresas, embora não haja uma definição amplamente aceita de uma iniciativa *Kaizen* (Maskell, 1991). Esse tipo de indicador pode ser diferente de um empreendimento (ou sistema de produção) para outro (Maskell, 1991). Esses indicadores

visam a estimular o envolvimento das equipes operacionais em iniciativas de melhoria contínua, que é um elemento importante nos sistemas de produção *Lean*.

6. **O SMD deve ser flexível e atualizado de tempos em tempos:** flexibilidade é a capacidade de responder efetivamente às circunstâncias em constante mudança (Gerwin, 2005). Um SMD deve ser flexível e adaptável para acompanhar as mudanças no sistema de produção (Maskell, 1991), satisfazendo aos requisitos de cada situação no caso de sistemas de produção flexíveis (Koskela, 1992). As mudanças no ambiente externo de negócios também podem exigir a atualização dos SMD (Kennerley e Neely, 2003). Nos programas de implementação *Lean*, as empresas devem adaptar continuamente seus SMDs para se adequar ao contexto e, conseqüentemente, estimular o debate e criar oportunidades de aprendizado (Bellisario e Pavlov, 2018).

7. **O escopo da medição de desempenho deve ser ampliado:** os indicadores adotados nos SMDs devem estar diretamente relacionados à implementação de alguns conceitos e princípios *Lean*. Koskela (1992) faz algumas recomendações para o desenvolvimento de SMDs para apoiar a aplicação dos conceitos da filosofia *Lean*: (i) investigar as **causas** dos problemas; (ii) medir o desperdício por meio da avaliação da parcela de **atividades que não agregam** valor; (iii) monitorar a **variabilidade**, o tempo de ciclo e os defeitos; e (iv) promover a **melhoria contínua** (ou **aprendizado**). Karlsson & Åhlström (1996) propuseram um conjunto de categorias para os atributos mensuráveis dos sistemas de produção *Lean* na manufatura, baseadas na conceituação proposta por Womack et al. (1990). Sánchez & Pérez (2004) propuseram uma estrutura semelhante de indicadores para empresas envolvidas na implementação da produção *Lean* em serviços. A classificação e exemplos de indicadores propostos por Karlsson & Åhlström (1996) e Sánchez & Pérez (2004) são apresentados na Figura 2. Pode-se observar que estas categorias enfatizam a eliminação de desperdícios e a melhoria contínua. Além disso, ambos os estudos propuseram vários indicadores relacionados a questões organizacionais (por exemplo, multifuncionalidade, responsabilidade descentralizada, funções integradas e sistemas de informação). Esses indicadores enfatizam a necessidade de considerar os fatores humanos na implementação da filosofia *Lean*. No entanto, essas duas taxonomias ignoram a importância de monitorar a variabilidade e medir a geração de valor, conforme sugerido por Koskela (2000).

Figura 2 - Categorias e exemplos de indicadores de desempenho propostos para sistemas de produção enxuta.

Karlsson & Åhlström (1996)		Sánchez & Pérez (2004)	
Categoria	Exemplo de indicador	Categoria	Exemplo de indicador
Eliminação de desperdícios	Valor do retrabalho em relação às vendas	Eliminação de desperdícios	Rotação do estoque
Melhoria contínua	Número de sugestões por funcionário e por ano	Melhoria contínua	Porcentagem de sugestões dos funcionários implementadas pela empresa
Zero defeitos	Trabalhadores retiram e ajustam peças defeituosas	-	-
Just-in-time	Tempo de execução da produção entre as configurações	Entrega <i>just-in-time</i>	Percentual de itens entregues <i>just-in-time</i> pelos fornecedores
-Puxar em vez de empurrar	Número de estágios do processo que são puxados em relação ao número total de estágios	-	-
Equipes multifuncionais	Porcentagem de funcionários que trabalham em equipes	Equipes multifuncionais	Porcentagem de funcionários que trabalham em equipes
- Responsabilidade descentralizada	Número de áreas funcionais sob a responsabilidade de equipes	-	-
- Funções integradas	Número de diferentes tarefas indiretas realizadas pelas equipes	-	-
- Sistemas de informação verticalizados	Número de áreas contidas nas informações fornecidas aos funcionários	- Sistemas de informação flexíveis	Número de reuniões mensais envolvendo os principais gerentes e funcionários
-	-	Integração da cadeia de suprimentos	Contrato de duração média com os principais fornecedores

3.7 DASHBOARDS COMO ARTEFATOS PARA APOIO À MEDIÇÃO DE DESEMPENHO

Embora *dashboards* tenham se popularizado como ferramentas de gestão, a literatura científica não reflete essa tendência. Diversas publicações voltadas para profissionais, como artigos na imprensa de negócios (Miller & Cioffi, 2004) e livros didáticos (por exemplo, Eckerson, 2005; Few, 2004), discutem o formato de visualização das informações nos *dashboards*, como monitorar e medir os negócios com *dashboards* e como os *dashboards* devem ser projetados. Contudo, apenas poucos estudos podem ser encontrados em periódicos acadêmicos (Bititci et al., 2016; Cahyadi & Prananto, 2015; Pauwels et al., 2009; Vilarinho et al., 2018; Yigitbasioglu & Velcu, 2012b).

Vilarinho et al. (2018) desenvolveram *dashboards* para apoiar o nível operacional e apontaram que a concepção do *layout* do *dashboard* representa uma das principais etapas do seu desenvolvimento. Para Yigitbasioglu & Velcu (2012), o design deve considerar características funcionais, além das características visuais. As características funcionais dependem do propósito do *dashboard*, dos tipos de tarefas realizadas, e das experiências prévias do usuário (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). Cahyadi & Prananto (2015) corroboram esta ideia, e complementam que o processo de concepção de um *dashboard* é frequentemente subestimado. Pauwels et al. (2009) ressaltam que a interface do *dashboard* constitui apenas a parte visual de um sistema mais amplo de suporte à tomada de decisão. Como parte do desenvolvimento dos *dashboards*, o trabalho de Pauwels et al. (2009) aponta a necessidade de prever relações causais entre os indicadores e a capacidade de projetar cenários.

No âmbito da construção civil, Bølviken et al. (2017) propuseram um *dashboard* para a ser utilizado pela equipe de obra (*last planners* ou últimos planejadores) como apoio ao planejamento e controle de produção por meio do LPS, mas essa proposta não chegou a ser testada na prática. Abou-Ibrahim et al. (2019) desenvolveram um *dashboard* para monitorar as mudanças observadas no desenvolvimento do produto através do modelo BIM, facilitando a interpretação e uso das informações pelos profissionais. Os resultados relatados pelos referidos autores mostram que o *dashboard* pode apoiar a gestão do processo de desenvolvimento do produto e pode ajudar a coordenar o desenvolvimento simultâneo de múltiplos projetos (Abou-Ibrahim & Hamzeh, 2019).

3.7.1 Definição de *Dashboards*

Dashboards (ou painéis de controle) são artefatos de gestão visual que reúnem informações importantes para atingir um ou mais objetivos, consolidadas e organizadas em uma única interface para que as informações possam ser combinadas e rapidamente analisadas por seus usuários (Yigitbasioglu & Velcu, 2012; Vilarinho et al., 2018). Um *dashboard* representa um dispositivo visual usado em SMDs, sendo que uma empresa pode possuir um conjunto de *dashboards* desdobrados nos níveis estratégico, tático e operacional, de forma que cumpram com seus objetivos (Eckerson, 2005).

Assim como qualquer dispositivo de gestão visual, o desenvolvimento de um *dashboard* engloba uma parte visual e uma parte não visual (Nicolini, 2007). Partindo desta ideia e de estudos de caso na construção civil, Valente et al. (2019) propuseram um modelo para desenvolvimento de sistemas de gestão visual composto por 4 etapas: **analisar o processo**, analisar as **necessidades dos usuários**, **integrar** o dispositivo visual **ao processo** ou à rotina e **definir os atributos do dispositivo visual**. É importante destacar que apenas a quarta etapa deste modelo envolve trabalho visual, sendo que as etapas de 1 a 3 representam uma parte substancial da concepção de sistemas gestão visual. Isso indica que o desenvolvimento de um sistema de gestão visual envolve muito mais do que apenas conceber o dispositivo propriamente dito (Valente et al., 2019). Assim como Valente et al. (2019), Eckerson (2005) utiliza a imagem de um iceberg para ilustrar que o dispositivo visual propriamente dito (*dashboard*) representa apenas uma parte do SMD do qual este faz parte. Considerando a definição de *dashboards* adotada neste trabalho, o modelo de Valente et al. (2019) pode ser aplicado ao desenvolvimento desse tipo de artefato.

3.7.2 Função dos *Dashboards*

A seguir são apresentadas as principais funções dos *dashboards* de acordo com a literatura.

- a. **Permitir o monitoramento das metas e estratégias:** *dashboards* permitem desdobrar os objetivos do nível estratégico aos níveis tático e operacional (DeBusk et al., 2003; Cahyadi & Prananto, 2015), possibilitando monitorar o atingimento das metas longitudinalmente e em vários níveis hierárquicos (Sarikaya et al., 2019).
- b. **Promover um fluxo de informações apoiando a comunicação dentro da empresa:** *dashboards* fomentam a comunicação entre gestores de diferentes departamentos e locais, apoiando o compartilhamento de informações (Pauwels et al., 2009; Vázquez-Ingelmo et al., 2020). Uma parte das informações do *dashboard* devem ser compartilhadas pelos

tomadores de decisão (gerentes ou operadores), em diferentes níveis. Essas informações compartilhadas criam um senso de pertencimento e apoiam o alinhamento dos colaboradores com os valores e princípios da empresa (Chiapello & Lebas, 2001).

- c. **Facilitar priorização:** *dashboards* permitem que os usuários identifiquem, explorem e priorizem as áreas problemáticas que precisam de ação corretiva (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). Um *dashboard* comunica aos colaboradores o que é mais importante para uma empresa através dos indicadores selecionados (Pauwels et al 2009). Ainda, a organização do *dashboard* e o uso de elementos visuais permite colocar maior destaque nos indicadores que devem ser priorizados (Eckerson, 2005). Assim, *dashboards* mantém os **funcionários concentrados nos principais problemas** e os direciona para áreas ou processos nos quais é preciso melhorar o desempenho (Vilarinho et al., 2018).
- d. **Apoiar a tomada de decisão:** *dashboards* fornecem informações para a avaliação do desempenho através de uma interface gráfica (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). As informações de desempenho apresentadas nos *dashboards* apoiam a tomada de decisão gerencial (DeBusk et al., 2003; Pauwels et al 2009; Sarikaya et al., 2019). Estas informações devem ser reunidas em um mesmo local e ser rapidamente acessáveis pelos gestores para a tomada de decisão (Eckerson, 2005).
- e. **Apoiar a melhoria e a aprendizagem:** *dashboards* fornecem dados que permitem antecipar possíveis resultados, possibilitam a identificação de problemas e a proposição de ações para correção (Parry & Turner, 2006; Cahyadi & Prananto, 2015). Um *dashboard* ainda fomenta a aprendizagem, identificando as causas dos problemas e estabelecem um referencial a partir do qual podem ser estabelecidas melhorias futuras (Pauwels et al., 2009; Vilarinho et al., 2018).
- f. **Estimular a obtenção de consistência das informações:** um *dashboard* deve permitir analisar a consistência dos indicadores e dos procedimentos de medição em todos os departamentos e unidades de negócios (Pauwels et al 2009). O uso frequente dos *dashboards* fomenta uma maior consistência dos dados, pois comunica aos colaboradores a importância da confiabilidade das informações fornecidas (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). Ainda, ao analisar os dados, os gestores podem identificar possíveis inconsistências no processo de medição.

3.7.3 Funcionalidades necessárias para cumprir com as funções dos *Dashboards*

O design do *dashboard* deve considerar características funcionais, além das características visuais. As características funcionais dependem do propósito do *dashboard*, dos tipos de tarefas realizadas, do conhecimento e da personalidade do usuário (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). Neste processo, a comunicação interdisciplinar desempenha um papel importante para a consideração de diferentes perspectivas (Cahyadi & Prananto, 2015). A funcionalidade é uma característica que descreve um produto ou o que ele oferece em termos de recursos ou habilidades. Se usado para planejamento, o *dashboard* deve permitir a análise de cenários. É importante que as funcionalidades do *dashboard* se ajustem ao(s) seu(s) objetivo(s) (Vilarinho et al., 2018).

As funcionalidades dos *dashboards* são expressas através dos atributos e recursos, que os tornam capazes de cumprir suas funções (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). Indicadores, elementos visuais, capacidade de detalhamento e a infraestrutura não visível, que inclui a existência de uma base de dados e sistema de TI, representam atributos dos *dashboards*, e são descritos a seguir. O conhecimento destes atributos contribui para o design dos *dashboards*, permitindo desenvolver artefatos mais alinhados com as necessidades dos usuários e da empresa (Cahyadi & Prananto, 2015).

Um *dashboard* deve apresentar um conjunto balanceado de indicadores *leading* e *lagging* de acordo com o nível hierárquico ao qual se destina (estratégico, tático ou operacional) (Eckerson, 2005). É importante que esse conjunto de indicadores permitam uma análise preditiva (usar dados para prever resultados futuros) (Cahyadi & Prananto, 2015). Estes indicadores devem fornecer dados precisos, completos, relevantes e oportunos (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). Ainda, os indicadores disponíveis nos *dashboards* devem fazer sentido para os usuários, refletindo suas necessidades (Sarıkaya et al., 2019).

Em relação aos **elementos visuais, *dashboards* devem comunicar as ideias com clareza e eficiência**. A interface com o usuário é um elemento de grande importância e requer atenção (Cahyadi & Prananto, 2015, Vilarinho et al. 2018). O uso de elementos visuais permite destacar as informações mais importantes, tornar coerentes grandes conjuntos de dados e incentivar a comparação de diferentes dados (Tufte, 2001). O uso de cores, sinais, símbolos e gráficos, pode apoiar a priorização, alertando o usuário para aquilo que requer atenção imediata (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). Contudo, o uso inapropriado destes elementos (por exemplo, excesso no uso

de cores e baixa proporção entre dados e tinta⁵) pode prejudicar a cognição, limitando a atenção dada às informações importantes e dificultando a tomada da decisão (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). Segundo Tufte (2006) elementos visuais devem chamar a atenção do usuário para o conteúdo dos dados, evitando incluir informações redundantes ou desnecessárias. A relação entre a quantidade de informações disponibilizadas e seu benefício para a tomada de decisão cresce até certo ponto em que o excesso de informações passa a impactar negativamente na análise (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). A repetição de padrões e a uniformidade no uso de elementos visuais também impactam na análise das informações, tornando esse processo mais rápido (Yigitbasioglu & Velcu, 2012).

***Dashboards* devem ser dinâmicos e conter recursos de detalhamento e segmentação** de dados (*drill-down*, *drill-up* e *slice-dice*⁶) (Sarikaya et al., 2019; Cahyadi & Prananto, 2015; Yigitbasioglu & Velcu, 2012). Embora seja altamente recomendável que as informações exibidas em um *dashboard* se limitem a uma única tela, estas devem permitir o acesso a informações complementares (Few, 2006) *Dashboards* dinâmicos permitem que o usuário navegue por diferentes interfaces com informações que complementem a análise, de forma a obter mais detalhes ou diferentes perspectivas (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). É importante que os usuários possam visualizar a forma como podem contribuir para o atingimento da estratégia da empresa ou do departamento a que fazem parte.

Ainda, *dashboards* dinâmicos mostram diferentes níveis de granularidade dos dados para usuários em diferentes níveis hierárquicos (Cahyadi & Prananto, 2015). Nesse sentido, os *dashboards* devem estar conectados por meio de uma hierarquia, de modo que, em um nível estratégico, seja possível navegar através dos níveis tático e operacional, para acessar dados mais detalhados (Eckerson, 2005). Essa funcionalidade atende à necessidade de informação específica de cada usuário em distintos níveis hierárquicos (Eckerson, 2005). O detalhamento significa que é possível passar de um nível mais geral para um nível mais detalhado das informações (Pauwels et al 2009).

⁵ Proporção entre dados e tinta (ou *data-ink ratio*) é a razão entre a tinta utilizada para representar os dados e o total de tinta utilizado no gráfico. A maior parte da tinta utilizada em um gráfico deve ser dedicada a dados ou informações não redundantes (Tufte, 2001).

⁶ *Drill-down*, *drill-up* e *slice-dice* são ferramentas do *Business Intelligence (BI)* para análise de dados. *Drill-down* significa examinar dados em um maior nível de detalhe. *Drill-up* é o oposto de *drill-down*, e significa analisar os dados de forma mais agregada. *Slice-dice* significa realizar uma segmentação dos dados para diferentes análises. *Drill-down* e *drill-up* representam formas de navegar no nível de granularidade da consulta. *Slice-dice* representa redução no escopo dos dados em análise.

Planejar uma base de dados que permita organizar os dados e manter um histórico da empresa (Chiapello & Lebas 2001; Cahyadi & Prananto, 2015). Os *dashboards* devem ser integrados a essa base de dados, de modo que os usuários tenham acesso às informações (Yigitbasioglu & Velcu, 2012) Ainda, o desenvolvimento dos *dashboards* deve considerar a disponibilidade e a confiabilidade nos dados. Como consequência, pode ser necessário realizar mudanças ou melhorias em processos em decorrência da implementação dos dashboards (Cahyadi & Prananto, 2015).

Prever o sistema de TI a ser empregado (Cahyadi & Prananto, 2015). Um *dashboard* pode ser gerado por meio de um sistema de *Business Intelligence* (BI), de forma a facilitar o seu gerenciamento (Eckerson, 2005). Sistemas interativos de suporte a tomada de decisão permitem o detalhamento da informação e análise de cenários. Contudo, Nicolini (2007) destaca que o uso de tecnologias rígidas pode dificultar o uso dos *dashboards*, impedindo que as pessoas realizem as adaptações necessárias. A adoção de soluções que sejam mais flexíveis e permitam atualizações pode representar uma estratégia a ser adotada (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). Nesse sentido, o uso de softwares mais acessíveis, como o MS Excel, introduz maior flexibilidade para que a empresa possa realizar atualizações sem depender de empresas de TI (Cahyadi & Prananto, 2015).

4 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo descreve a estratégia de pesquisa adotada nesta investigação, bem como as etapas envolvidas no processo de pesquisa. A primeira seção discute o posicionamento desta pesquisa como *Design Science Research* (DSR) e apresenta o artefato. A segunda seção apresenta o delineamento da pesquisa, seguida pela descrição das empresas envolvidas. A quarta seção descreve detalhadamente as atividades desenvolvidas em cada estudo, bem como as fontes de evidência utilizadas. A última seção deste capítulo apresenta a avaliação do artefato proposto nesta pesquisa.

4.1 ESTRATÉGIA 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 (Holmstrom & Ketokivi, 2009). A DSR não busca apenas descrever, explicar ou prever um fenômeno, como é o caso das pesquisas de caráter explanatório (*explanatory research*) (Romme & Damen, 2007; Van Aken, 2004), mas tem como objetivo desenvolver conhecimento válido e confiável, que possa ser aplicado na solução de problemas reais (Voordijk, 2009). O desenvolvimento deste conhecimento é feito através de um ciclo, que inicia pela compreensão do problema no seu contexto, passa pelo desenvolvimento e implementação do artefato, e finaliza com a avaliação (Van Aken, 2004). A DSR busca produzir um design genérico (artefato), incluindo a definição do seu escopo de aplicação, ou seja, onde e como o design genérico deve ser usado na prática (Van Aken et al, 2016). Considerando sua natureza, o processo de pesquisa na DSR pode ser apresentado por meio de duas dimensões, que são típicas de um processo de design. Na dimensão horizontal, podem ser representadas as etapas próprias do design: análise (compreensão do problema), síntese (desenvolvimento da solução) e avaliação do artefato (Markus & Arch, 1973). A dimensão vertical representa o crescente detalhamento da solução, do geral ao específico (Markus & Arch, 1973).

Alguns tipos de pesquisas que adotam a DSR possuem similaridades com a pesquisa-ação (*action-research*), por existir algum tipo de intervenção em um sistema real, buscando resolver um problema prático a partir do qual o artefato emerge (Holmstrom & Ketokivi, 2009). De fato, Järvinen (2007) afirma que a pesquisa-ação e a DSR são abordagens de pesquisa semelhantes.

Contudo, a pesquisa-ação, tal como utilizada nas ciências sociais, não visa ao desenvolvimento de um artefato, ou conceito de solução, como é o caso da DSR (Van Aken, 2004). Sein et al. (2011) usam a expressão *action design research* para descrever um processo de pesquisa no qual o artefato é desenvolvido de forma colaborativa com potenciais usuários.

Diversos autores discutem os produtos de pesquisas posicionadas como *design Science Research*. Para March e Smith (1995) os produtos da DSR são de quatro tipos: **constructos, modelos, métodos e instanciações**. Bunge (1967), Voordijk (2009) e Van Aken (2004), por sua vez, apontam as **Regras Tecnológicas**, representando produtos mais abstratos da DSR, os quais podem ser desdobradas em três categorias, conforme Ropohl (1997) e Voordijk (2009): (a) **leis tecnológicas**, (b) **regras funcionais**, e (c) **compreensões sociotécnicas**. Ambos os autores citam ainda as **Regras Estruturais** e o **Conhecimento Técnico** como produtos, mas estes não representam resultados comuns de pesquisas na área de gestão. Na definição de Romme (2003), Romme e Damen (2007) e Kuechler e Vaishnavi (2012), as leis tecnológicas equivalem a **Princípios de Design** e as regras funcionais equivalem a **Prescrições de Design**.

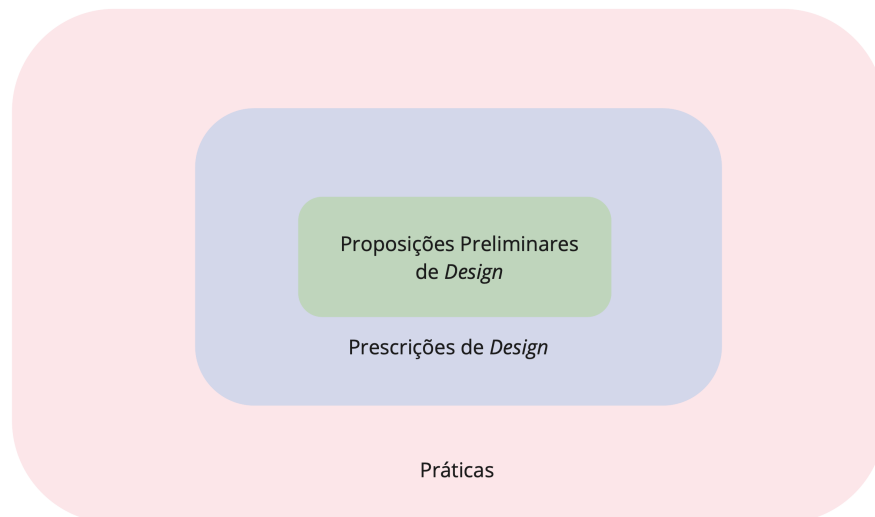
Princípios e prescrições de design estabelecem uma estrutura de linguagem comuns a pesquisadores, gestores e consultores, facilitando a soma de esforços (Romme & Damen, 2007). Tanto os princípios quanto as prescrições de design podem contribuir para o desenvolvimento de designs genéricos de forma a solucionar diferentes classes de problemas (Van Aken et al., 2005). Ainda, podem-se desenvolver e implementar diferentes formas e processos organizacionais a partir de um mesmo conjunto de princípios e prescrições de design (Romme & Damen, 2007).

Prescrições de Design especificam o que fazer, se um determinado resultado deve ser alcançado em determinadas circunstâncias (Ropohl, 1997). Prescrevem o curso da ação e indicam como proceder de forma a alcançar uma determinada meta (Bunge, 1967). Ou seja, estas prescrições representam um conjunto de diretrizes para o projeto e desenvolvimento de organizações embasadas em um conjunto de princípios (Romme & Damen, 2007). **Princípios de design**, por sua vez, consistem em um conjunto de ideias e proposições normativas fundamentadas em estudos organizacionais para a produção de novas estruturas e para a reconstrução das existentes (Romme & Damen, 2007). Princípios de design podem ser considerados como categorias de prescrições de design (Kuechler & Vaishnavi, 2012). Ou seja, os princípios de design representam os significados e intenções mais profundos por trás das prescrições de design (Romme & Damen, 2007).

Proposições preliminares de design compartilham semelhanças com hipóteses ou proposições, frequentemente usadas nas ciências **descritivas** (Romme, 2003; Voordijk, 2009). Mas diferentemente das hipóteses, que possuem caráter **explanatório**, as proposições preliminares de design, após testadas, podem orientar a construção do conhecimento **prescritivo**, expresso por meio de **princípios e prescrições de design** (*design principles and prescriptions*), semelhante ao que foi adotado por Ransolin et al. (2022).

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**. A Figura 3 apresenta um esquema da relação entre os princípios e as prescrições de design, considerando que quanto mais central maior o grau de abstração. Sob esta perspectiva, os princípios estão no centro em menor número, aumentando em direção à extremidade, que representa um caráter mais prático. Este artefato foi desenvolvido ao longo de dois estudos empíricos, através de um trabalho colaborativo com as empresas objeto de análise, podendo ser posicionado como *action design research*.

Figura 3 - Relação entre os princípios, prescrições de design e práticas.



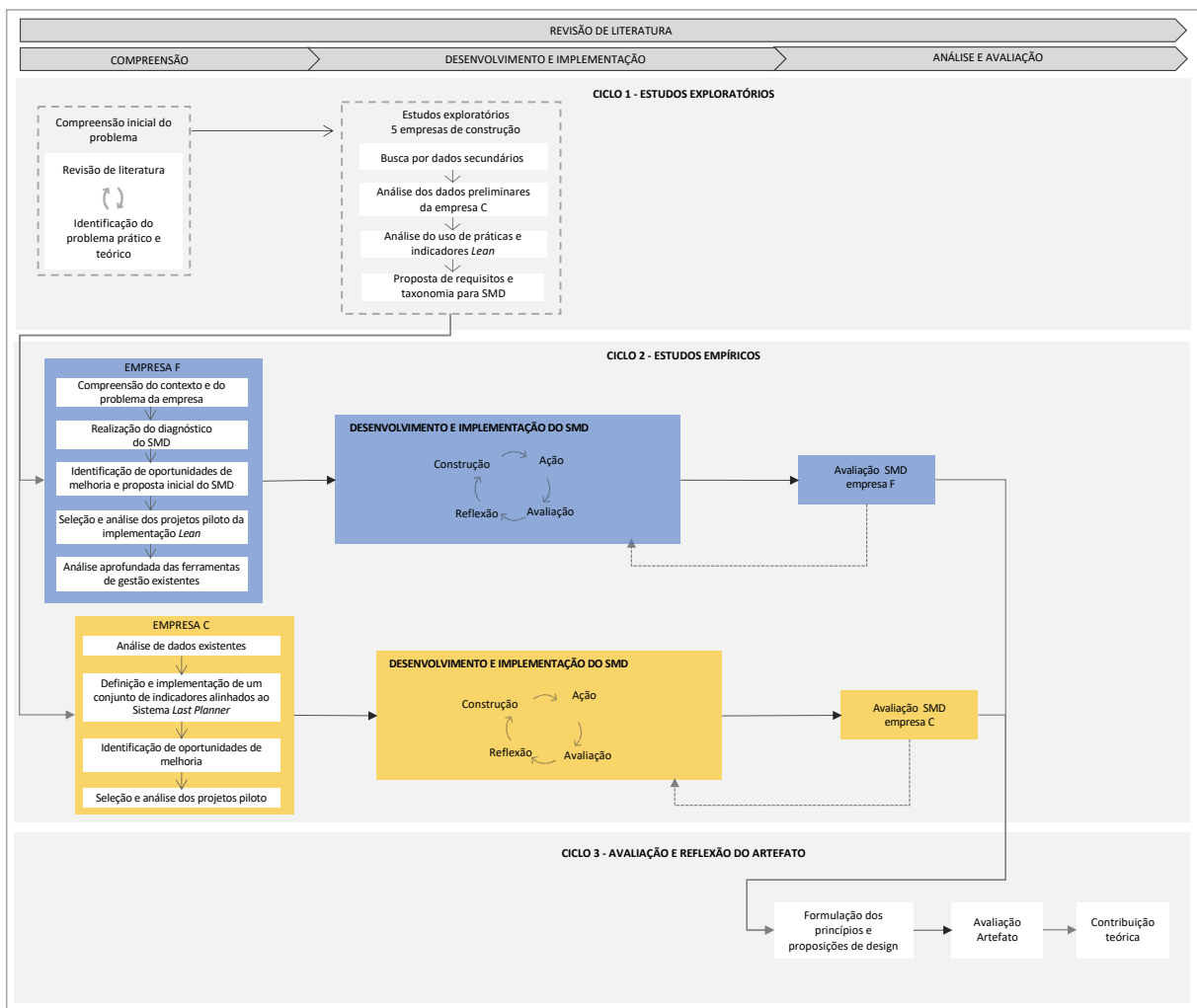
4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A Figura 4 apresenta o delineamento da pesquisa, dividido nas dimensões horizontal e vertical. Na dimensão **horizontal** foram definidas três etapas: (a) compreensão; (b) desenvolvimento e

implementação; e (c) análise e avaliação. Na dimensão **vertical** o trabalho foi dividido em três grandes ciclos: estudos **exploratórios**; estudos **empíricos**; e **avaliação do artefato e reflexão**. Estes três ciclos são descritos a seguir.

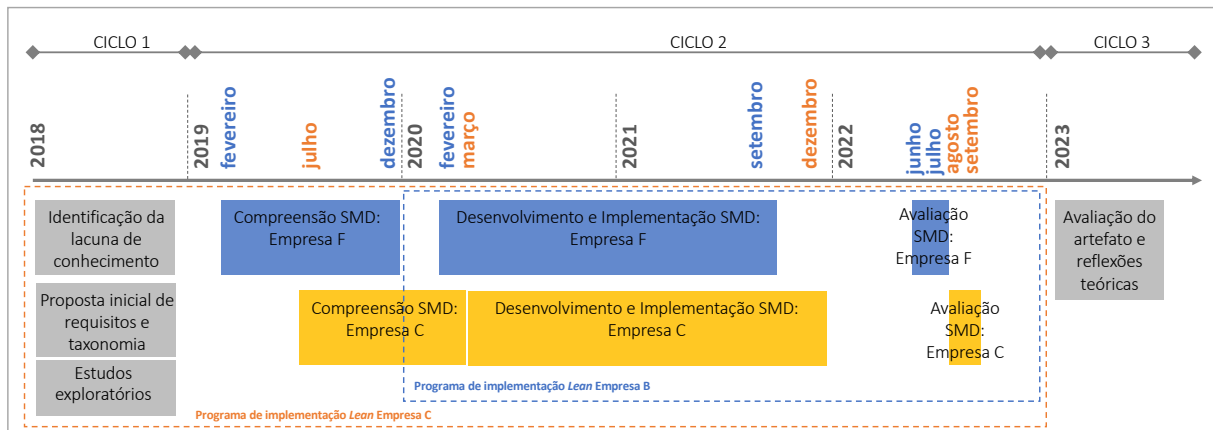
A medida em que o trabalho avança na dimensão **vertical** (do ciclo 1 ao 3) ocorreu um refinamento do problema de pesquisa e um detalhamento da proposta de solução para o contexto estudado. Além destes três grandes ciclos, houve ciclos (menores) de aprendizagem da pesquisadora na dimensão vertical.

Figura 4 – Delineamento da pesquisa.



A *Figura 5*, a seguir, posiciona cronologicamente os grandes ciclos da pesquisa. O estudo empírico na empresa C iniciou com uma pequena defasagem temporal em relação ao estudo na empresa F.

Figura 5 – Cronologia da pesquisa.



4.2.1 Ciclo 1 – Estudos exploratórios

O **primeiro grande ciclo** do estudo consistiu na realização de estudos exploratórios, que contribuíram para a compreensão do problema real. Estes estudos permitiram elaborar uma primeira proposta de requisitos para desenvolver e avaliar SMDs para a gestão da produção de obras, em empresas envolvidas na implementação de conceitos da *Lean Construction* (LC). Estes requisitos foram estabelecidos por meio da análise dos SMDs de cinco diferentes empresas construtoras. Além disto foi proposta uma taxonomia de indicadores relacionados à implementação da filosofia Lean na construção. A proposta de um conjunto de requisitos para SMDs e taxonomia de indicadores foi o ponto de partida para o desenvolvimento e implementação dos SMDs nos dois estudos empíricos durante o ciclo 2.

4.2.2 Ciclo 2 - Estudos empíricos

No **segundo grande ciclo** houve um maior aprofundamento do desenvolvimento da solução. A seguir, as etapas de compreensão, desenvolvimento e implementação e análise e avaliação são descritas.

4.2.2.1 Etapa de Compreensão

Esta etapa teve como **objetivos** sensibilizar e formalizar junto aos representantes das empresas estudadas a necessidade de desenvolver um SMD para apoiar o programa de melhorias com base na LC. Esta etapa foi de grande importância para o estudo, pois nenhuma das empresas estudadas reconhecia o problema, nem compreendia a necessidade de introduzir novos indicadores para dar suporte à implementação do programa de melhorias. A etapa de Compreensão também teve como objetivo entender o problema real, ou seja, o contexto da empresa e também as deficiências relacionadas aos sistemas de medição existentes. Assim, uma atividade comum a ambas as empresas foi a identificação de oportunidades de melhoria nos

seus SMDs. Por outro lado, devido à diferença do conhecimento da autora sobre a realidade das empresas envolvidas ciclo 2, a etapa de compreensão em cada uma destas empresas apresenta diferenças. Esse fato será mais bem explicado no item de descrição das empresas F e C.

4.2.2.2 Etapa de Desenvolvimento e Implementação

O **objetivo** desta etapa foi desenvolver e implementar uma proposta de SMD em obras piloto das empresas estudadas. A etapa de Desenvolvimento e Implementação foi composta por vários ciclos de construção do artefato, ação (implementação gradual do artefato), avaliação e reflexão, que são típicos dos ciclos iterativos de concepção e refinamento da solução da **action DSR** (Holmstrom & Ketokivi, 2009). Na prática, não houve separação entre desenvolvimento e implementação. O que houve foi uma ênfase inicial maior no desenvolvimento (construção) do SMD, quando este estava sendo concebido. Em certo momento, quando a equipe considerou que uma parte da proposta estava pronta para ser testada, a ênfase passou a ser na ação, avaliação e reflexão.

Um marco importante, que dividiu o desenvolvimento e a implementação dos SMDs, foi a decisão de cada uma das empresas em implementar estes sistemas, alocando uma equipe interna responsável por esta tarefa. Ainda, no desenvolvimento do SMD, a autora teve um papel de facilitadora. Além disto, foi formado em cada empresa um grupo de trabalho focado no desenvolvimento do SMD, formado por representantes da empresa e equipe de pesquisadores (Grupo SMD).

4.2.2.3 Etapa de Análise e Avaliação

A análise e avaliação do SMD foi realizada individualmente no âmbito de cada empresa, considerando a proposta implementada. Conforme descrito no item anterior, o SMD foi continuamente avaliado durante sua implementação. Mas esta avaliação gradual foi realizada de forma mais fragmentada, como parte do ciclo de construção-ação-avaliação-reflexão. Ao final do ciclo 2, foi realizada uma avaliação completa do SMD implementado em cada empresa.

4.2.3 Ciclo 3 - Avaliação e Reflexão do artefato

O objetivo da pesquisa em *design science* (DSR) é criar artefatos que sirvam aos propósitos humanos, diferentemente das ciências naturais que buscam compreender a realidade (March e Smith, 1995). A avaliação do artefato foi realizada em relação à sua **utilidade** e **aplicabilidade**. Uma reflexão teórica foi realizada a partir dessa avaliação. O ciclo 3 desta pesquisa apresenta maior grau de abstração em relação à avaliação do SMD em cada uma das empresas (parte do ciclo 2).

A **utilidade** do artefato foi avaliada de acordo com sua eficácia em atingir seus objetivos principais. Cinco critérios foram definidos para avaliar a utilidade do artefato: (i) **aprendizagem**, (ii) **antecipação**, (iii) **apoio à tomada de decisão** (tempo das informações e relevância), (iv) **escopo e abrangência do SMD** e (v) **interconectividade** (entre níveis gerenciais). A **aplicabilidade** do artefato foi avaliada de acordo com os critérios de **facilidade de uso e à possibilidade de ser utilizado em outros contextos e expansividade**. Por fim, foi realizada uma reflexão sobre as contribuições teóricas da solução proposta.

4.3 DESCRIÇÃO DAS EMPRESAS ESTUDADAS

4.3.1 Empresas envolvidas nos estudos exploratórios

A Figura 6 apresenta a descrição das cinco empresas nas quais foram realizados os estudos exploratórios do **ciclo 1**, sendo quatro do Brasil e uma do Chile. Um dos estudos exploratórios foi realizado na empresa C, objeto de análise do ciclo 2 desta pesquisa.

Figura 6 – Descrição das 5 empresas dos estudos exploratórios.

	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E
Porte da empresa	Grande	Grande	Grande	Pequeno	Médio
Atividades principais	Construtora para mercados residenciais de classe média e média alta	Serviços e soluções integradas para construção de edifícios industriais e plataformas offshore	Construtora e incorporadora para mercados residenciais de classe baixa, média e média alta	Construtora e incorporadora para mercados residenciais de classe média e média alta	Desenvolvimento e construção de edifícios para clientes privados (principalmente projetos industriais e de saúde)
Principais características	Considerada uma referência em construção enxuta, iniciou a implementação <i>Lean</i> na década de 1990	Empresa multinacional, iniciou a implementação <i>Lean</i> em projetos complexos (por exemplo, <i>offshore</i>) há 7 anos	Iniciou a implementação o <i>Lean</i> há menos de 3 anos	Empresa familiar, iniciou a implementação <i>Lean</i> há menos de 4 anos	Trabalha principalmente como prestador de serviços em uma ampla gama de projetos, iniciou a implementação <i>Lean</i> há 15 anos
Principais práticas <i>Lean</i> adotadas	SLP <i>Kanban</i> 5S Prototipagem Gestão visual Trabalho padronizado	SLP <i>Kanban</i> Equipes multifuncionais Gestão visual Trabalho padronizado Mapeamento do fluxo de valor	SLP Gestão visual 5S Controle de tarefas finalizadas	SLP Gestão visual Controle de tarefas finalizadas <i>Takt-time planning</i>	SLP Projeto do sistema de produção Gestão visual <i>Takt-time planning</i> Prototipagem

Fonte: Adaptado de Barth e Formoso (2020).

As empresas foram selecionadas por três razões principais: (i) possuíam SMDs bem estruturados; (ii) dados coletados em estudos anteriores estavam disponíveis (à exceção da empresa C); e (iii) implementaram com sucesso uma série de práticas de LC. Algumas das práticas identificadas nestas empresas são: projeto do sistema de produção (PSP), planejamento e controle da produção (PCP) com base no Sistema *Last Planner* (SLP), *Kanban*, planejamento e controle baseado na localização (PCBL), prototipagem, práticas de gestão visual, e trabalho padronizado.

4.3.2 Empresas envolvidas nos estudos empíricos

Os estudos empíricos principais foram realizados em colaboração com duas empresas atuantes no setor da construção, ambas envolvidas em programas de implementação de melhorias na gestão da produção, com base na LC, denominadas “Empresa C” e “Empresa F”. As duas empresas foram escolhidas por desenvolverem programas de longo prazo de implementação da LC, e pelo seu interesse em implementar melhorias nos seus SMDs.

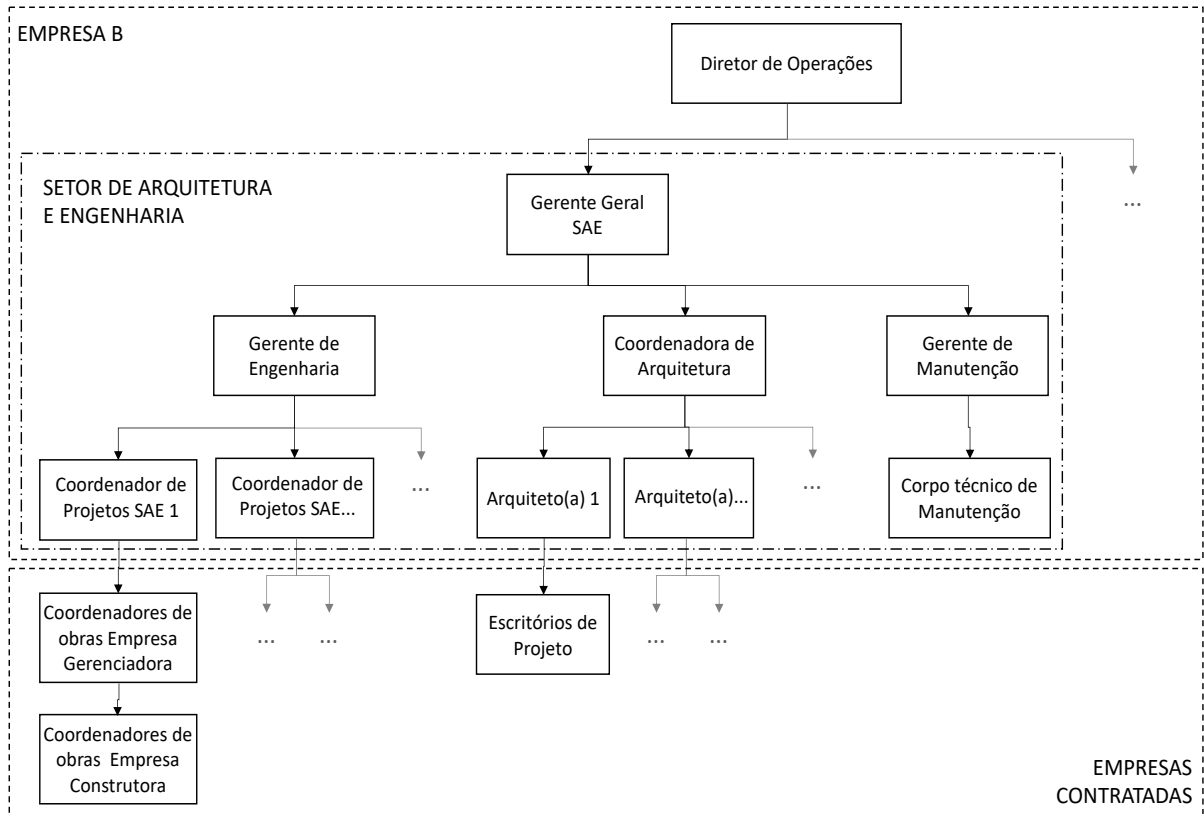
4.3.2.1 Empresa F

Fundada em 1922, a Empresa F é uma das maiores empresas varejistas do Brasil e atua como contratante de obras comerciais, muitas das quais de reforma. Com mais de 20.000 funcionários, possuía 385 lojas de departamento no país e em outros países da América Latina. A Empresa F manteve um acordo de cooperação acadêmica com a UFRGS de 2016 a 2022, para o desenvolvimento de diversos trabalhos de doutorado e mestrado, focados na implementação de conceitos de gestão ágil de projetos e da LC na gestão de empreendimentos de construção.

A Figura 7 representa o organograma da Empresa F. Este organograma foi elaborado pela autora com o intuito de ilustrar a equipe da empresa que esteve envolvida com o trabalho, além de fornecer uma noção da distribuição das funções. Assim, o organograma representa apenas o Setor de Arquitetura e Engenharia (SAE) e empresas subcontratadas diretamente ligadas a esse departamento. Cada uma das áreas de arquitetura, engenharia e manutenção possuía um responsável, que respondia diretamente ao **Gerente Geral do SAE**. O **Gerente de Engenharia** era encarregado de liderar os **Coordenadores de Projeto**, que por sua vez eram responsáveis pela etapa de construção dos empreendimentos da empresa. Para a execução das obras, eram subcontratados dois tipos de empresas, uma de gerenciamento de obras e outra de construção. Cada uma destas empresas disponibilizava um engenheiro residente na obra. A **Coordenadora de Arquitetura** era responsável pela equipe de arquitetura, que supervisionava o

desenvolvimento dos projetos (design) realizado por escritórios especializados subcontratados. O **Gerente de Manutenção** possuía uma equipe para realizar reparos nas lojas que haviam sido inauguradas.

Figura 7–Organograma simplificado da Empresa F (elaborado pela autora).



4.3.2.2 Empresa C

A Empresa C é uma grande empresa construtora e incorporadora que atua no mercado residencial do Chile, em diferentes faixas de renda, incluindo habitação de interesse social, e também empreendimentos para as classes média e média-alta. A empresa foi fundada em 1965, e durante a realização do estudo apresentava um total de mais de 6 mil funcionários.

Na Empresa C, o acesso foi facilitado pelo fato de que a autora fazia parte de uma equipe de consultores que atuou na implementação de conceitos e métodos baseados da LC entre setembro de 2017 e dezembro de 2022. Como consequência deste trabalho, foram implementadas diversos métodos e práticas de LC, tais como SLP, gerenciamento visual, programa 5S, PCBL, permitindo à pesquisadora atuar no desenvolvimento de um SMD para apoiar a implementação da LC. Assim, uma limitação deste estudo é o viés na realização da pesquisa. Dado o seu envolvimento por um prazo relativamente longo, a autora deve ser considerada como um membro ativo na organização. Por outro lado, este envolvimento permitiu que fossem obtidos

muitos dados da empresa de maneira informal, mesmo antes de início do estudo empírico na mesma.

A Figura 8 e a Figura 9 mostram o organograma da empresa no início e no final do trabalho, respectivamente. Ambos os organogramas representam uma visão simplificada, elaborada pela autora, focando na área de produção, de forma a ilustrar como estava distribuída a equipe que participou do desenvolvimento deste trabalho de doutorado. O trabalho de implementação da LC na Empresa C foi inicialmente apoiado por um **gerente de inovação**, que atuou durante todo o trabalho como um articulador entre a equipe de consultores (entre os quais a pesquisadora) e a equipe interna da empresa. Esse gerente se reportava ao Gerente BIM Lab, um departamento responsável pela implementação do BIM e por fomentar a inovação dentro da empresa.

Durante o desenvolvimento deste trabalho de doutorado, a empresa passou por mudanças em seu quadro de funcionários. No início do trabalho a área de construção era liderada pelo Gerente de Construção, logo acima dos gerentes de Contrato. Ainda, havia a figura da **Coordenadora da área de Controle e Gestão** (responsável pelo planejamento e apoio para a gestão de custos das obras) que se reportava diretamente para o Gerente de Construção. No final do ano de 2021 a função do Gerente de Construção passou a ser realizada por dois outros profissionais, dividindo a área de engenharia em empreendimentos horizontais e verticais. Seis meses após esta mudança a função da Coordenadora da área de Controle e Gestão foi descontinuada. A área de Controle e Gestão passou a ser liderada por uma **Gerente de Controle e Gestão** e um dos analistas foi promovido a **Analista Sênior de Controle e Gestão**. Estas alterações dificultaram a implementação do SMD, mais especificamente dos *dashboards*, principalmente pela saída da Coordenadora da área de Controle e Gestão, pois esta possuía um papel de liderança na implementação da LC e do SMD nas obras da empresa.

Durante a fase de construção, cada empreendimento era gerenciado por um Administrador de Obra⁷, que coordenava uma equipe formada por um Planejador, um Mestre de Obras, um Profissional de Terreno, um Encarregado de Qualidade, e um Técnico de Segurança do Trabalho (Figura 8 e Figura 9). Os Gerentes de Contrato eram responsáveis pela execução dos empreendimentos durante sua etapa de construção, respondendo por duas a quatro obras ao

⁷ O Administrador de Obra possui formação de construtor civil, sendo capacitado para construir, gerenciar, supervisionar e controlar obras de construção, dentre outras competências.

mesmo tempo. Ao final do trabalho os Analistas de Controle e Gestão respondiam diretamente à Analista Sênior, que respondia à Gerente de Controle e Gestão.

Figura 8 – Organograma simplificado da Empresa C no início do trabalho (elaborado pela autora).

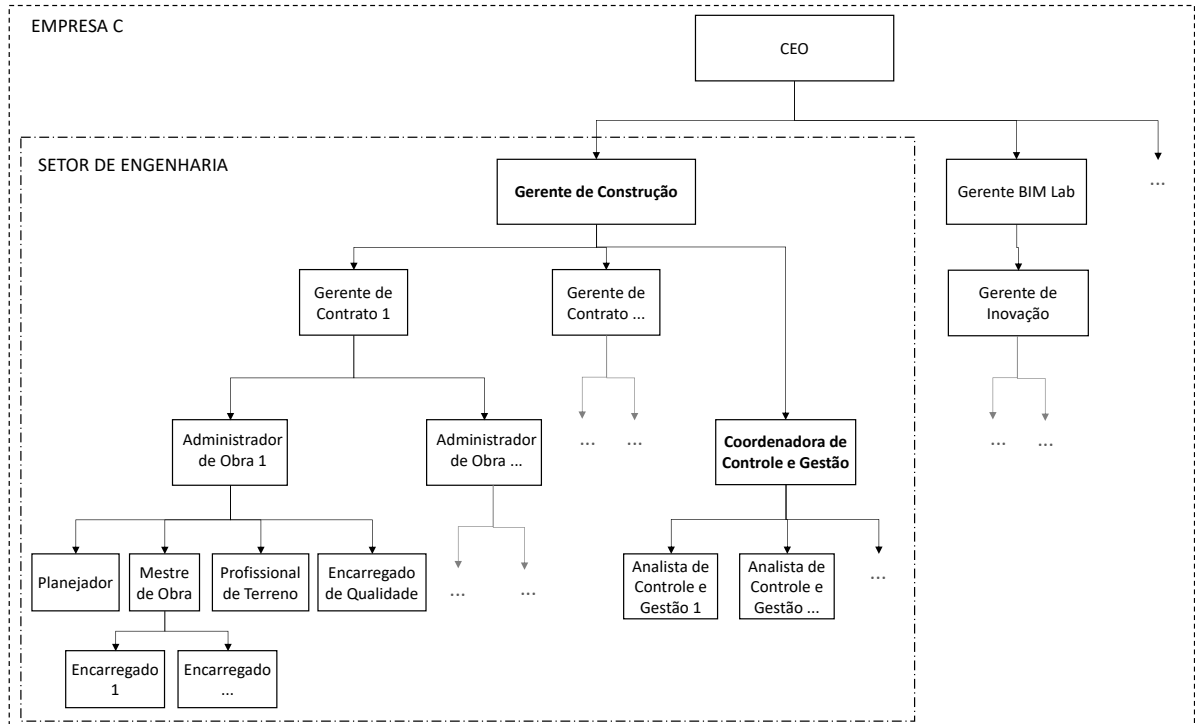
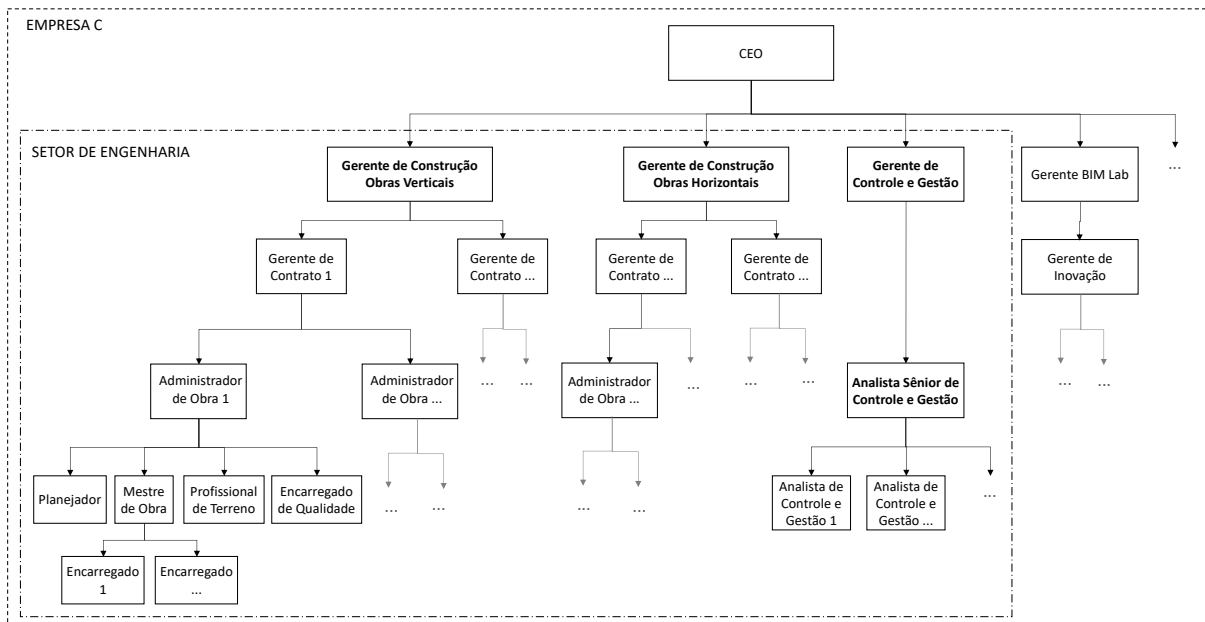


Figura 9 – Organograma simplificado da Empresa C no final do trabalho (elaborado pela autora).



4.4 DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS

4.4.1 Estudos Exploratórios

Múltiplas fontes de evidência foram usadas nos referidos estudos. A Figura 10 apresenta estas fontes de evidência para cada empresa. Os SMDs das cinco empresas foram avaliados, considerando os requisitos e taxonomia propostos com base na literatura. Após o processamento e a análise dos dados qualitativos, foi produzida uma **descrição geral do SMD para cada empresa**, incluindo as seguintes informações: os principais fluxos de informação, **descrições detalhadas dos indicadores** relacionados ao programa de implementação *Lean*, reuniões em que essas métricas foram analisadas e discutidas, pessoal envolvido no processamento e análise de dados e dispositivos visuais usados para a disseminação de informações.

Figura 10 – Fontes de evidência dos estudos exploratórios.

Fontes de evidência do estudo exploratório	Empresa
<p>Análise do banco de dados histórico de indicadores de desempenho adotados durante a implantação Lean.</p> <p>Análise de documentos: planos de produção, gráficos de controle, procedimentos de controle de qualidade, instruções de gestão de segurança, relatórios de gestão e apresentações.</p> <p>Observação participante em reuniões de PCP de 5 obras: 13 reuniões <i>look-ahead</i> e 19 reuniões de curto prazo.</p> <p>Observação direta em 5 obras em execução: dispositivos visuais, identificação de perdas do tipo WIP e trabalho inacabado, análise da sequência de execução, possibilidade de reduzir passos ou partes, análise de operações logísticas (acessos, transporte e áreas de estoque).</p>	C
Fontes secundárias de informação: procedimentos de planejamento e qualidade, manuais <i>Lean</i> , apresentações e outros registros realizados pela empresa.	B
Fontes secundárias de informação: procedimentos de planejamento e qualidade da empresa, artigos e relatórios de pesquisa (Barth & Formoso, 2008; Costa & Formoso, 2011; De Vargas, 2018; Fireman et al., 2013; Formoso et al., 2017; Saurin et al., 2008; Valente et al., 2017)	A, D e E

4.4.2 Estudo Empírico na Empresa F

O trabalho na Empresa F foi focado no Setor de Arquitetura e Engenharia (SAE) da mesma, que é responsável pela gestão dos empreendimentos, supervisão e controle da execução das obras, pela coordenação e gestão do projeto do produto, pelo *Visual Merchandising* das lojas e pela controladoria dos empreendimentos.

Paralelamente ao desenvolvimento do trabalho foi realizado um programa de capacitação em PCP e PSP para os profissionais da área de construção, e também de empresas subcontratadas (gerenciadoras, construtoras e principais projetistas). Este programa iniciou após a etapa de compreensão (em janeiro/2020) e envolveu a implementação de práticas de planejamento e controle com base na LC em obras piloto. O programa de capacitação permitiu a introdução de indicadores de processo para a gestão das obras na Empresa F, representando um ponto de partida importante para a concepção e implementação do SMD. A equipe de pesquisa da UFRGS (incluindo a autora desta tese) esteve à frente desse programa de implementação, garantindo que o trabalho mantivesse um foco único.

Ao longo das várias etapas da pesquisa, foram adotadas múltiplas fontes de evidência, incluindo observação participante, observação direta, entrevistas individuais e em grupo, análise de documentos, análise de sistemas (softwares de gestão) e análise de bases de dados existentes na empresa. Estas fontes de evidência estão apresentadas em figuras, de acordo com a etapa de trabalho na empresa. O uso destas múltiplas fontes de evidência permite a realização de triangulação, conforme sugerido por (Yin, 1994), o que contribui para aumentar a confiabilidade dos dados. A Figura 11 resume a duração de cada fonte de evidência, de acordo com a etapa de trabalho.

Figura 11 – Duração das fontes de evidência do estudo empírico na empresa F.

Etapa	Fonte de evidência	Empresa F (hs)
Compreensão	Observação participante	23,8
	Observação direta	6
	Entrevistas individuais e em grupo	12,5
Desenvolvimento e Implementação	Observação participante	61,5
	Observação direta	-
	Entrevistas individuais e em grupo	2
Análise e Avaliação	Observação participante	15,8
	Entrevistas individuais e em grupo	-
Total (hs)		121,5

4.4.2.1 Etapa de Compreensão – Empresa F

A compreensão do contexto da Empresa F levou um período relativamente longo, pois a empresa havia decidido fazer a migração de um sistema tradicional de gestão de empreendimentos para um sistema baseado em conceitos e princípios da filosofia *Lean*. Conforme mostrado no delineamento da pesquisa, a etapa de Compreensão na empresa F incluiu as atividades a seguir: compreensão do contexto e do problema da empresa; realização do diagnóstico focado no SMD; **identificação de oportunidades de melhoria e proposta**

inicial do SMD; seleção e análise dos projetos piloto para a implementação Lean; e análise aprofundada das ferramentas de gestão existentes. A Figura 12 apresenta as fontes de evidência utilizadas na etapa de compreensão na Empresa F.

A compreensão iniciou analisando o sistema de gestão da empresa, com ênfase no SMD, buscando entender as rotinas de trabalho do SAE e os problemas mais frequentes. Para tanto, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com os colaboradores do SAE e com representantes de empresas subcontratadas. Também foram realizadas observações participantes em reuniões e visitas a obras da empresa, além de análise de documentos. Ao longo do diagnóstico, os **resultados parciais foram apresentados e discutidos** com representantes da empresa em três eventos. Por fim, o diagnóstico foi consolidado e apresentado em um seminário envolvendo o gerente SAE, o gerente de engenharia e engenheiros coordenadores de obra.

O trabalho seguiu com a **identificação de oportunidades de melhoria para o SMD**. Para tanto foram realizadas 8 entrevistas com representantes da empresa, buscando obter a visão destes quanto à importância do SMD. Estas entrevistas apontaram uma fragmentação das ações de melhoria, e indicaram a necessidade de melhorar o fluxo de informações e de explicitar melhor as etapas do trabalho de pesquisa junto aos envolvidos. Para reduzir o impacto que estas dificuldades causavam na implementação *Lean*, foram elaborados **mapas** para priorizar as ações em desenvolvimento no setor de engenharia e unificar o foco dos esforços da equipe. Estes mapas são descritos na etapa de Desenvolvimento e Implementação do trabalho na Empresa F.

Posteriormente foram realizadas duas apresentações de uma primeira proposta de SMD, composta por requisitos e taxonomia de indicadores. Estas apresentações formalizaram junto aos representantes da empresa (incluindo gestores) a necessidade de desenvolver um SMD que desse suporte ao programa de implementação da *LC* e à identificação da necessidade de melhoria do Sistema de Gestão da Produção. A equipe discutiu que o SMD deveria englobar *dashboards* para os níveis operacional, tático e estratégico, focando na área de produção da empresa (área de construção do SAE). Contudo, a Empresa F havia contratado uma empresa (aqui chamada empresa Delta) para desenvolver um sistema de *dashboards* estratégicos para o SAE através de ferramentas PPM e Power BI (plataformas Microsoft). Assim, o SMD a ser desenvolvido como resultado desta tese não deveria incluir *dashboards* estratégicos para o SAE. Foram realizadas reuniões entre a equipe de pesquisadores UFRGS e representantes da

empresa subcontratada para troca de informações entre as partes. O objetivo era manter uma compatibilidade entre os dois sistemas desenvolvidos.

A etapa de Compreensão do estudo na Empresa F finalizou com uma reunião para **seleção de projetos piloto para implementação *Lean*** e para **uma análise aprofundada das ferramentas de gestão**. Foram selecionadas duas obras de reforma de lojas, uma localizada em um shopping no Rio de Janeiro/RJ e outra no aeroporto internacional Cumbica em Guarulhos/SP.

Figura 12 – Fontes de evidência da etapa de compreensão na Empresa F.

Fontes de evidência	Participantes	Quantidade	Duração aproximada
Compreensão do contexto e do problema da empresa:			
Entrevistas semiestruturadas com representantes da empresa	Gerente do SAE, Gerente de engenharia, 2 Coordenadores de projetos SAE, Estagiário de engenharia, Coordenadora de arquitetura, Arquiteta responsável pela coordenação do projeto, Arquiteta responsável pela implantação do BI (empresa Delta), Engenheiro responsável pela controladoria dos empreendimentos e Arquiteta responsável pelo <i>Visual Merchandising</i>	10 entrevistas	Em média 45min cada
Entrevistas semiestruturadas com representantes de empresas subcontratadas	Subcontratado responsável pela implantação do BI, 2 Coordenadores de obras de gerenciadoras e 2 Coordenadores de obras de construtoras	5 entrevistas	Em média 60min cada
Observação participante em reuniões de engenharia ⁸	Gerente de Engenharia, Coordenadores de Projetos SAE	2 eventos	Em média 180min cada
Observação participante em reunião de desenvolvimento de projeto	Arquiteta responsável pela coordenação do projeto, Escritórios de projeto	1 evento	60min
Observação direta em obras em execução	Coordenador de projetos SAE responsável pela obra visitada	2 obras	Em média 180min cada
Observação participante em reunião de planejamento semanal de obra	1 Coordenador de projetos SAE, Coordenador de obras da gerenciadoras, Coordenador de obras da construtora, equipe operacional de obra	1 evento	-
Análise de documentos	Atas de reuniões de obra e de desenvolvimento do projeto, cronogramas de obra, guias para solicitação de informações de projeto, apresentações realizadas internamente ao SAE (metas de projeto, obras e gerais do setor), contrato entre Empresa F e subcontratadas, diários de obra	-	-

⁸ A Reunião de Engenharia na Empresa F era um evento semanal com aproximadamente 3 horas de duração. Nestas reuniões os engenheiros coordenadores de obras se reuniam com o gerente do setor de engenharia para discutir o andamento dos projetos em execução. A reunião tinha como objetivos: troca de experiências entre representantes da empresa, definição de ações para solucionar problemas dos empreendimentos, informes gerais do SAE.

Figura 12 (continuação) – Fontes de evidência da etapa de compreensão na Empresa F.

Fontes de evidência	Participantes	Quantidade	Duração aproximada
Realização do diagnóstico do SMD:			
Análise inicial do software de gestão PPM e Power BI.	-	-	-
Análise de documentos	Planilha que compila os indicadores de várias obras, Relatório Semanal de Engenharia ⁹ , Planilhas para avaliação das subcontratadas (gerenciadora e construtora) controles de monto e justificativas de valores extra de obra.	-	-
Observação participante em reuniões para apresentação do diagnóstico	Gerente SAE e Gerente de engenharia.	3 eventos	Em média 90 min
Observação participante em seminários com equipe SAE.	Gerente do SAE, Gerente de engenharia, 4 Coordenadores de projetos SAE	2 eventos	180min cada
Identificação de oportunidades de melhoria e proposta inicial do SMD:			
Entrevistas semiestruturadas com representantes do SAE	6 Coordenadores de projetos SAE, Coordenadora de Arquitetura e 1 Arquiteta	8 entrevistas	Em média 25min cada
Observação participante em reunião para apresentação da proposta inicial de SMD	Gerente Geral SAE, Gerente de engenharia, Gerente de arquitetura, Coordenador de projetos SAE, Representante da subcontratada para desenvolvimento do <i>dashboard</i> estratégico (empresa Delta)	2 eventos	Em média 60min cada
Seleção e análise dos projetos piloto da implementação <i>Lean</i>:			
Observação participante em reunião com Grupo SMD para selecionar os projetos piloto	Grupo SMD	1 evento	45min
Análise aprofundada das ferramentas de gestão existentes:			
Observação participante em reunião para analisar o <i>dashboard</i> estratégico da empresa.	Gerente Geral SAE, Gerente de engenharia, 2 Coordenadores de projetos SAE	2 eventos	Em média 60min cada
Observação participante em reunião para aprofundamento das informações SMD.	Coordenador de projetos SAE responsável pelo projeto SMD na empresa	1 evento	90min
Análise aprofundada do software de gestão PPM e Power BI (plataforma Microsoft)	-	-	-

⁹ O Relatório Semanal de Engenharia era um documento que apresentava indicadores de acompanhamento de obra (curva de avanço físico, custo previsto e executado, desempenho de compras, efetivo), informações de segurança do trabalho e fotos da obra para acompanhamento da execução. Este relatório era elaborado pelo engenheiro da

4.4.2.2 Etapa de Desenvolvimento e Implementação – Empresa F

O desenvolvimento do SMD na empresa F começou efetivamente quando a empresa iniciou a implementação do SLP nas obras. Esse foi um ponto de grande importância para a melhoria do processo de gestão das obras desta empresa. Esta etapa iniciou com a criação do Grupo SMD, que realizava reuniões quinzenais, sendo formado pelo coordenador de obras responsável pelo projeto SMD na empresa, um segundo coordenador de obras e um pesquisador da UFRGS, além da autora do presente trabalho. Foi usado como ponto de partida para o desenvolvimento do trabalho do Grupo SMD o conjunto de sete requisitos para SMD propostos no ciclo 1 desta pesquisa (ver Capítulo 3). Iniciou-se pelo desenvolvimento de **mapas de objetivos e ações estratégicas do programa de implementação da LC na empresa**. Foram desenvolvidos mapas com visão de curto, médio e longo prazo. Estes mapas permitiram explicitar e priorizar as ações de implementação a serem consideradas no desenvolvimento do SMD.

A partir da elaboração dos mapas, deu-se início ao desenvolvimento do SMD. Com base em uma primeira proposta de SMD elaborada pela pesquisadora, o grupo seguiu com a definição dos componentes do SMD, que incluem as métricas propriamente ditas, os *dashboards* para análise e controle, e os ciclos de aprendizagem e melhoria contínua do SMD (instancias de tomada de decisão, informes, responsáveis, frequência, inputs e outputs de cada etapa). O desenvolvimento dos elementos do SMD seguia o seguinte ciclo: a pesquisadora desenvolvia uma proposta de mudança, o grupo discutia a proposta, definiam-se melhorias a serem implementadas, a pesquisadora revisava a proposta, e as melhorias eram implementadas.

Após diversas iterações entre os participantes do grupo SMD, uma proposta de SMD que emergiu destas discussões foi apresentada a um conjunto de profissionais da empresa, buscando obter uma avaliação sob uma perspectiva diferente daquela interna ao grupo. Dois gerentes de projetos com longo tempo de empresa foram selecionados para avaliar a proposta. Essa proposta compreendia os indicadores que deveriam ser coletados, um *dashboard* de planejamento para apoiar a reunião de PCP de curto prazo e outro para a reunião de PCP de médio prazo (*look-ahead*) e uma proposta de rotina para compilação dos dados e análise das informações. Essa proposta também recomendava o desenvolvimento de uma base de dados, criando um repositório de informações sobre o PCP. A proposta foi refinada a partir da discussão com os representantes da empresa e passou para uma etapa de implementação. Em paralelo, foi dado

gerenciadora subcontratada e enviado semanalmente pelo engenheiro coordenador da obra ao gerente do setor de engenharia.

andamento ao desenvolvimento da proposta de dispositivos visuais que reunissem indicadores de desempenho sobre outras dimensões do controle de obras (tais como custo, qualidade, segurança, etc.), e também que comparassem informações de diferentes empreendimentos para diferentes níveis hierárquicos da empresa.

A ênfase do trabalho empírico passou a ser a **implementação** no momento em que o SMD proposto inicialmente começou a ser utilizado por alguns empreendimentos, denominados “obras piloto”. A escolha dos pilotos considerou não apenas a disponibilidade de obras em execução, mas também a maturidade no uso das práticas *lean* relacionadas ao PCP e à disponibilidade dos profissionais para utilizar o SMD. **Duas obras piloto foram selecionadas para realizar o teste da proposta**, ambas de reforma de lojas de shopping center.

O acompanhamento do uso da ferramenta era realizado semanalmente pelos coordenadores de projeto responsáveis pelos empreendimentos, nas reuniões de PCP de curto e médio prazo. Posteriormente, os relatórios gerados eram discutidos nas reuniões do Grupo SMD. A **autora realizou observação participante em uma reunião de curto prazo e uma de médio prazo**. A equipe de obra apresentava o *dashboard* de planejamento semanal nas reuniões de planejamento, além de uma análise da situação atual da obra com base nos indicadores e um plano de ação para correção de desvios.

O Grupo SMD prosseguiu com o desenvolvimento da proposta final de SMD, com base na retroalimentação das equipes gerenciais envolvidas nos estudos pilotos, incluindo representantes da Empresa F e das subcontratadas. Nesta parte do trabalho o Grupo SMD atuava de forma mais autônoma para a proposição de indicadores e gráficos de análise. As ações eram divididas entre os participantes do Grupo, que ficavam responsáveis por apresentar uma proposta na reunião seguinte. A proposta final de SMD foi apresentada pelo Grupo SMD ao gerente do SAE e ao gerente de engenharia. Também foi apresentada a proposta inicial de SMD já utilizada pelas obras e uma proposta completa deste sistema que compreendia os indicadores distribuídos de acordo com as dimensões da medição, os *dashboards* operacional e tático, as rotinas para geração dos relatórios, instancias de análise das informações, responsáveis e envolvidos no processo. Ao término do estudo empírico na Empresa F, a proposta completa de SMD ainda não havia sido implementada, pois isso exigia o desenvolvimento de ferramentas computacionais relacionadas à gestão da empresa, tais como refinamento do plano de longo prazo das obras, estrutura de custeio e alteração nos critérios de avaliação da qualidade do produto e da prestação de serviços. Assim, apenas o *dashboard* de planejamento semanal foi de

fato implementado nas obras da empresa. Os *dashboards* operacional e tático foram entregues em formato de *mock-up*¹⁰. A Figura 13 apresenta as fontes de evidência utilizadas na etapa de desenvolvimento e implementação na Empresa F.

Figura 13 – Fontes de evidência da etapa de desenvolvimento e implementação na Empresa F.

Fonte de evidência	Participantes	Quantidade	Duração aproximada
Desenvolvimento:			
Observação participante em reuniões para desenvolvimento e discussão dos mapas.	Gerente Geral SAE, Gerente de Engenharia, Grupo SMD	4 eventos	60 a 90min
Observação participante em reunião <i>kick-off</i> para o desenvolvimento SMD.	Gerente Geral SAE, Gerente de Engenharia, 4 Coordenadores de Projetos SAE	1 evento	120min
Observação participante em reuniões com grupo SMD.	Grupo SMD	28 eventos	60 a 90min
Observação participante em reuniões de <i>follow-up</i> do projeto.	2 Coordenadores de Projetos SAE	7 eventos	60min
Apresentação da proposta SMD para representantes da empresa	2 Coordenadores de Projetos SAE	1 evento	90min
Implementação:			
Observação participante em reunião para <i>kick-off</i> da implementação do SMD.	2 Coordenadores de Projetos SAE	1 evento	60min
Observação participante em reuniões do grupo SMD.	Grupo SMD	6 eventos	60 a 90min
Observação participante em reunião de uso dos <i>dashboards</i> de curto prazo e médio prazo.	1 Coordenador de Projetos SAE, 1 Coordenador de obras Empresa Gerenciadora, 1 Coordenador de obras e Empresa Construtora	1 reunião de curto prazo e 1 reunião de médio prazo	45 min cada
Observação participante em reunião de Lições Aprendidas.	1 Coordenador de Projetos SAE, 1 Coordenador de obras e 1 Gerente Empresa Gerenciadora, 1 Coordenador de obras e 1 Gerente Empresa Construtora, equipe operacional de obra	1 evento	60min
Análise de documentos	Base de dados para gerar os <i>dashboards</i> , <i>dashboards</i> utilizados, planilhas de planejamento semanal e de <i>look-ahead</i> de obra.	-	-
Entrevista em grupo para apresentação da proposta final de SMD	Gerente Geral SAE, Gerente de Engenharia, Grupo SMD	1 evento	120min

¹⁰ O *mock-up* consiste na representação gráfica de um produto para apresentação e discussão de ideias antes da fase de produção. Um *mock-up* simula o tamanho, formato, cores e demais aspectos de um produto.

4.4.2.3 Etapa de Análise e Avaliação do SMD – Empresa F

A última etapa do trabalho na Empresa F foi a análise e avaliação do SMD. A principal fonte de evidência desta etapa consiste em entrevistas semiestruturadas com profissionais que utilizavam as informações geradas pelos indicadores. Nestas entrevistas buscou-se obter a percepção dos envolvidos sobre o SMD implementado. Outras fontes de evidência utilizadas foram uma entrevista em grupo e análise de documentos.

As questões para guiar as entrevistas foram elaboradas a partir dos requisitos para os SMDs propostos no ciclo 1 desta tese. Estas questões direcionam a análise para os seguintes critérios: **nível de utilização** do SMD como apoio à tomada de decisão, **instâncias para análise dos indicadores, conjunto de indicadores** que compõe os *dashboards* e sobre a **possibilidade de padronização** do SMD. A Figura 14 reúne os dados relativos aos entrevistados.

Figura 14 – Dados relativos às entrevistas para análise e avaliação do SMD na Empresa F.

	Entrevistado	Empresa	Data	Duração	Obras em que atua
1	Coordenador de Projetos SAE	Empresa F	23/6/22	60 min	Projeto 1, Projeto 2, Projeto 3, Projeto 4, Projeto 5
2	Coordenador de Obras	Construtora Subcontratada 1	21/6/22	60 min	Projeto 4, Projeto 6
3	Coordenador de Obras	Construtora Subcontratada 2	23/6/22	50 min	Projeto 7, Projeto 2, Projeto 8
4	Coordenador de Obras	Gerenciadora Subcontratada 1	24/6/22	50 min	Projeto 9, Projeto 13
5	Coordenador de Obras	Gerenciadora Subcontratada 2	27/6/22	60 min	Projeto 8, Projeto 5, Projeto 6
6	Coordenador de Obras	Gerenciadora Subcontratada 3	12/7/22	50 min	Projeto 10, Projeto 2, Projeto 3, Projeto 11, Projeto 12

Ainda, durante a etapa de análise e avaliação do SMD, a autora desta tese realizou uma avaliação dos *dashboards* estratégicos concebidos pela empresa Delta. Esta foi uma solicitação da gerência da Empresa F, aspirando uma futura integração entre os *dashboards* propostos neste trabalho de doutorado e as ferramentas desenvolvidas pela empresa Delta. Para tanto a autora entrevistou usuários dos *dashboards* estratégicos, além de proceder com uma análise dos *dashboards* propriamente ditos. A Figura 15 reúne as fontes de evidência utilizadas na etapa de análise e avaliação na Empresa F.

Figura 15 – Fontes de evidência da etapa de análise e avaliação na Empresa F.

Fontes de evidência	Participante	Quantidade	Duração aproximada
Análise e avaliação SMD <u>proposto nesta tese:</u>			
Entrevistas semiestruturadas com usuários do SMD	Apresentado em detalhes na tabela 5.		
Observação participante em reunião para discussão dos resultados	Gerente geral SAE, Gerente de engenharia e Coordenador de projetos SAE.	1 evento	120min
Análise de documentos	<i>Dashboards</i> de planejamento semanal.	-	-
Análise e avaliação <i>dashboards</i> estratégicos <u>desenvolvidos pela empresa Delta:</u>			
Entrevistas abertas com usuários dos <i>dashboards</i> estratégicos de engenharia	Gerente geral SAE, o Gerente de engenharia, a Coordenadora de Arquitetura e uma arquiteta do SAE.	4 entrevistas	45 a 60min cada
Observação participante em reunião para discussão dos resultados	Gerente geral SAE, Gerente de engenharia, a Coordenadora de arquitetura, uma Arquiteta do SAE.	1 evento	90min
Análise de documentos	<i>Dashboards</i> estratégicos de engenharia e arquitetura.	-	-

Ainda na etapa de análise e avaliação do SMD na Empresa F, foram desenvolvidos *dashboards* para o processo de desenvolvimento de projetos de edificações, **como forma de avaliar a aplicabilidade dos princípios gerados neste trabalho a outro processo gerencial.**

Inicialmente a autora desta tese participou de uma reunião de planejamento e controle do processo de projeto, envolvendo a arquiteta responsável pela implementação do SMD na etapa de projeto e um escritório de desenvolvimento de projeto de arquitetura. A observação participante desta reunião serviu para identificar o tipo de informação que seria necessária apoiar este processo. Em seguida, foi realizada uma análise dos *dashboards* estratégicos desenvolvidos pela empresa Delta para o processo de desenvolvimento de projetos de edificações. Posteriormente, foram realizadas reuniões com a coordenadora de arquitetura, a arquiteta responsável pela implementação do SMD e o gerente de engenharia. O fechamento do trabalho foi realizado através de uma reunião em que a pesquisadora apresentou a proposta de *dashboards* para o processo de desenvolvimento de projetos de edificações. Essa proposta incluía: *dashboard* operacional, *dashboard* tático, instâncias para tomada de decisão, fontes de informação, processo de geração dos *dashboards* e os responsáveis e envolvidos no processo. A Figura 16 reúne as fontes de evidência utilizadas para o desenvolvimento dos *dashboards* para apoiar o processo de desenvolvimento de projetos de edificações.

Figura 16 – Fontes de evidência para o desenvolvimento dos *dashboards* para o processo de desenvolvimento de projetos de edificações na Empresa F.

Fontes de evidência	Participante	Quantidade	Duração aproximada
Observação participante em uma reunião de planejamento e controle do processo de projeto	Arquiteta SAE e um escritório de desenvolvimento de projeto de arquitetura	1 evento	45min
Observação participante em reuniões para desenvolvimento dos <i>dashboards</i> para o processo de projeto	Coordenadora de arquitetura, Arquiteta SAE e o gerente de engenharia	9 eventos	Em média 90min
Observação participante em uma reunião para apresentação da proposta de <i>dashboards</i> para o processo de desenvolvimento de projetos de edificações	Coordenadora de arquitetura, Arquiteta SAE, Gerente geral SAE e o gerente de engenharia	1 evento	90min
Análise de documentos	<i>Dashboards</i> estratégicos de projeto de edificações desenvolvidos pela empresa Delta	-	-

4.4.3 Estudo Empírico na Empresa C

A implementação da *LC* na empresa começou com o desenvolvimento de um modelo de PCP fortemente baseado no SLP e no planejamento e controle baseado em localização. A implementação do PCP foi seguida pelo desenvolvimento e implementação de um modelo de PSP, também fortemente centrado no planejamento baseado em localização. A pesquisa sobre SMD propriamente dita iniciou quando o tema passou a receber maior ênfase no programa de implementação *LC* na empresa. A empresa havia desenvolvido e disseminado os modelos de PCP e PSP para todos seus empreendimentos. Como forma de aprofundar a melhoria contínua, ampliou-se o uso de indicadores de processo, buscando analisar e agir sobre dados do processo de PCP e, conseqüentemente, buscando melhorar a confiabilidade dos indicadores de resultado. Um programa de capacitação foi realizado com os gerentes e técnicos da área de construção de maneira a apoiar a implementação.

Da mesma forma que no estudo realizado na Empresa F, foram adotadas múltiplas fontes de evidência (apresentadas nas tabelas ao longo das etapas descritas a seguir) e triangulação dos dados, de forma a aumentar a confiabilidade das informações. A Figura 17 apresenta um resumo da duração de cada uma das etapas do estudo empírico na empresa C.

Figura 17– Duração das fontes de evidência dos estudos empíricos na empresa C.

Etapa	Fonte de evidência	Empresa C (hs)
Compreensão	Observação participante	26,5
	Observação direta	13,5
	Entrevistas individuais e em grupo	5
Desenvolvimento e Implementação	Observação participante	106,5
	Observação direta	-
	Entrevistas individuais e em grupo	-
Análise e Avaliação	Observação participante	1,5
	Entrevistas individuais e em grupo	6,3
Total (hs)		159,3

4.4.3.1 Etapa de Compreensão – Empresa C

Diferentemente da Empresa F, a empresa C já utilizava indicadores vinculados ao SLP em todas as obras. Contudo, o conjunto de indicadores utilizado era limitado e não fornecia informações suficientes para mostrar os resultados intermediários do programa de implementação de melhorias com base na *LC*. A identificação da necessidade de ampliar o SMD de forma a apoiar a implementação *Lean* foi o ponto de partida do trabalho do ciclo 2 na empresa C. Como a autora já vinha trabalhando com a empresa, não foi necessária a realização de um diagnóstico. Contudo, foi realizada uma **análise dos dados existentes no SMD** através de observação participante em reuniões de planejamento do SLP, visitas às obras e análise de documentos e software de planejamento. Para tanto, o trabalho de implementação *Lean* foi direcionado para avaliar as ferramentas de controle de obra que forneciam dados para o SMD. A Figura 18 apresenta as fontes de evidência utilizadas na etapa de compreensão.

A partir desta análise, foram realizados seminários e reuniões para **discussão das oportunidades de melhoria**. Por fim, foram **selecionados quatro projetos piloto** para o desenvolvimento e implementação do SMD e realizada uma análise aprofundada dos dados gerados pelos indicadores nestes pilotos. Os projetos piloto foram selecionados considerando sua etapa de execução, a disponibilidade e o perfil da equipe responsável. O Grupo SMD deu preferência para obras que estivessem em uma etapa inicial de execução e equipes gerenciais que apresentassem um perfil voltado ao aprendizado.

Figura 18 – Fontes de evidência da etapa de compreensão na empresa C.

Fontes de evidência	Participante	Quantidade	Duração aproximada
Análise de dados existentes:			
Observação participante em reuniões de planejamento (SLP) em obra	Curto Prazo (CP): Administrador da Obra, Planejador, Mestre de Obras, Profissional de Terreno, Encarregado de Qualidade, Prevencionista de Riscos, Analista de Controle e Gestão, encarregados da empresa C e de subcontratadas. Médio Prazo (MP): Gerente de Contrato (em algumas reuniões), Administrador da Obra, Planejador, Mestre de Obras, Profissional de Terreno, Encarregado de Qualidade, Prevencionista de Riscos, Analista de Controle e Gestão.	5 eventos 9 eventos	CP: em média 60min cada. MP: em média 120min cada
Observação direta em visitas a obras para análise do uso das ferramentas de planejamento e controle da produção: quadro de gestão visual da sala de reuniões e dispositivo visual para planejamento e controle das atividades no “chão de obra”.	-	4 obras visitadas, sendo 9 visitas no total	-
Análise de documentos	Planilhas para gerar indicadores (percentual de pacotes concluídos (PPC) e causas de não cumprimento, Índice de remoção de restrições (IRR) e natureza das restrições, etc.), Planilhas de planejamento semanal e de <i>look-ahead</i> de obra, Cronogramas de longo prazo de obra (linha de balanço).	-	-
Análise de software de planejamento e relatórios gerados pelo software.	-	-	-
Identificação das oportunidades de melhoria:			
Observação participante em reuniões para apresentar as oportunidades de melhoria no SMD.	Gerente de construção, Gerentes de contrato, Administradores da Obra, Coordenadora de Controle e Gestão, Analistas de Controle e Gestão, Gerente BIM Lab e Gerente de Inovação.	1 evento	150min
Entrevistas abertas em grupo para apresentar e formalizar as oportunidades de melhoria no sistema de gestão da produção e SMD.	Gerente de construção, Coordenadora de Controle e Gestão e Gerente de inovação	5 entrevistas	Em média 60min cada
Seleção e análise dos projetos piloto:			
Observação participante em reuniões para selecionar os projetos piloto.	Gerente de construção, Coordenadora de Controle e Gestão e Gerente de inovação	1 evento	60 min

4.4.3.2 Etapa de Desenvolvimento e Implementação – Empresa C

O Grupo SMD era formado pela coordenadora de controle e gestão, o gerente de inovação e a autora da presente tese. As reuniões apresentavam frequência semanal e eventualmente outros representantes da empresa eram convidados para algumas discussões.

Utilizando da experiência obtida na Empresa F, a autora propôs a concepção de mapas com objetivos e ações estratégicas para o programa *Lean* na empresa, explicitando e priorizando as tarefas que seriam realizadas no trabalho. Logo após a consolidação dos mapas, o Grupo SMD passou a trabalhar no desenvolvimento de uma proposta de SMD focada no planejamento, enfatizando o SLP. Foram realizadas reuniões para discussão de outros indicadores, tais como controle do status da produção, desvio de ritmo, tempo de ciclo e aderência ao lote planejado. Além da definição dos indicadores e de um *dashboard* de planejamento, esta proposta de SMD representava uma base de dados que agrupava os indicadores de planejamento em um único local, permitindo análises mais completas da situação do projeto e fornecendo dados históricos para projetos futuros. O SMD era composto por indicadores vinculados ao planejamento de curto e médio prazo. A proposta contemplava a rotina para a coleta, processamento e análise dos indicadores.

A proposta de SMD com foco no SLP foi apresentada aos analistas de controle e gestão. Estes profissionais trabalham diretamente no apoio às equipes gerenciais de obra, o que trouxe uma perspectiva mais vinculada à prática das obras. As sugestões da equipe foram incorporadas e a proposta passou para a implementação. Semelhante à Empresa F, o Grupo SMD da empresa C seguiu desenvolvendo o restante do SMD juntamente com o acompanhamento do uso da proposta inicial.

O SMD proposto foi testado nos quatro projetos piloto selecionados ao final da etapa de compreensão. Foi realizada uma reunião com cada projeto piloto para apresentar a proposta aos representantes da empresa, enfatizando que se tratava de um período de teste e da importância de obter uma retroalimentação quanto ao SMD proposto com a identificação de oportunidades de melhoria. Ainda, foram realizados eventos de capacitação para reforçar o conhecimento dos colaboradores sobre temas relacionados à medição de desempenho, como por exemplo, controle do status da produção, planejamento e monitoramento do ritmo, *gemba walk*, etc.

O acompanhamento do uso foi realizado por meio de reuniões mensais, nas quais a equipe de cada estudo piloto apresentava seus resultados para o corpo gerencial das demais obras piloto,

o gerente de construção, os analistas de controle e gestão e o Grupo SMD. Estas reuniões mensais também faziam parte da proposta de SMD e representavam um momento para troca de informações entre os responsáveis pelas obras e uma oportunidade para o gerente de construção fazer sugestões de melhoria a todas as obras.

Posteriormente a estas reuniões, realizava-se uma breve pesquisa *online* para avaliar a ferramenta e o processo de coleta, processamento e análise das informações. A pesquisa continha em torno de quatro perguntas sobre pontos positivos e oportunidades de melhoria na reunião, opinião dos participantes sobre os *dashboards* de planejamento de curto e médio prazo (estrutura e indicadores) e espaço para sugestões e comentários. As perguntas eram abertas sendo que as respostas qualitativas eram analisadas e categorizadas. A equipe do Grupo SMD realizava alterações no formato das reuniões seguintes em função dos comentários dos participantes nas pesquisas. Após a realização de quatro reuniões para apresentação e análise dos resultados, o Grupo SMD, em conjunto com o gerente de construção, optou por reformular a estrutura da reunião para aumentar a participação dos envolvidos e dar mais enfoque na análise de problemas e proposição de planos de ação. É importante salientar que estas reuniões ocorreram durante o período de quarentena pela pandemia do Covid-19, por esse motivo tanto as reuniões quanto as pesquisas foram realizadas no modo on-line.

A proposta final de SMD, que contemplava os níveis operacional, tático e estratégico da empresa, foi apresentada ao gerente de construção, que, logo após, se desligou da empresa. Foram selecionados outros três estudos piloto (pois as obras dos estudos piloto anteriores haviam sido finalizadas), considerando uma obra de cada gerente de contrato. O *dashboard* operacional foi apresentado às equipes destes três pilotos (Gerente de Contrato, Administrador da Obra, Analista Sênior e Analistas de Controle e Gestão, Gerente de Inovação), com o objetivo de obter uma visão dos usuários do SMD. O *dashboard* operacional foi testado durante três meses com estes três estudos piloto.

Os *dashboards* tático e estratégico não foram testados, pois a Empresa C não dispunha de equipe para processar as informações dos *dashboards* tático e estratégico. A proposta destes *dashboards* foi apresentada aos representantes da empresa, permanecendo como uma sugestão de *mock-up* para o futuro. A Figura 19 apresenta as fontes de evidência utilizadas na etapa de desenvolvimento e implementação na empresa C.

Figura 19 – Fontes de evidência da etapa de desenvolvimento e implementação na empresa C.

Fontes de evidência	Participante	Quantidade	Duração aproximada
Desenvolvimento:			
Observação participante em reuniões para desenvolvimento e discussão dos mapas	Grupo SMD	5 eventos	Entre 100 e 140min cada
Observação participante em reuniões para desenvolvimento do SMD	Grupo SMD	31 eventos	Entre 60 e 120min
Observação participante em reunião para apresentação da proposta SMD	Analistas de Controle e Gestão e Grupo SMD	1 evento	60min
Observação participante em reunião para apresentação da proposta parcial de SMD	Gerente de construção e Grupo SMD	1 evento	60min
Observação participante em reunião para desenvolvimento e discussão de ferramentas de controle para apoiar SMD.	Coordenadora de Controle e Gestão, Analistas de Controle e Gestão e Gerente de Inovação.	3 eventos	Em média 90min cada
Observação participante em reuniões para reforço do tema medição de desempenho e ferramentas para apoio ao SMD	Gerente de construção, Gerentes de contrato, Administradores da Obra, Coordenadora de Controle e Gestão, Analistas de Controle e Gestão, Gerente BIM Lab e Gerente de Inovação.	10 eventos	Em média 90min cada
Implementação:			
Observação participante em reunião com cada obra piloto para início da implementação do SMD	Gerente do Contrato, Administrador da Obra, Analistas de Controle e Gestão, Planejador e Grupo SMD.	4 obras, sendo 1 reunião com cada	60min cada
Observação participante em reuniões entre obras piloto para apresentação de resultados.	Gerente de construção, Gerentes do Contrato, Administradores da Obra, Analistas de Controle e Gestão e Grupo SMD.	4 eventos	Entre 90 e 120min cada
Pesquisas virtuais sobre reuniões de apresentação de resultados.	Gerentes do Contrato, Administradores da Obra e Analistas de Controle e Gestão	4 pesquisas	-
Observação participante em reunião para discussão da implementação do SMD.	Grupo SMD	9 eventos	Entre 60 e 120min cada
Observação participante em reunião para apresentação da proposta completa de SMD.	Gerente de construção e Grupo SMD	1 evento	60min
Observação participante em reunião com novas obras piloto para feedback da proposta de SMD completa	Gerente do Contrato, Administrador da Obra, Analista Sênior e Analistas de Controle e Gestão, Gerente de Inovação.	3 obras, sendo 1 reunião com cada	Em média 60min

4.4.3.3 Etapa de Análise e Avaliação do SMD – Empresa C

Para a etapa de análise e avaliação do SMD na empresa C considerou-se o aprendizado desta etapa na Empresa F. Entretanto, a empresa C avançou mais na implementação dos *dashboards*, permitindo que alguns aspectos da avaliação fossem mais aprofundados. Por esse motivo, as questões das entrevistas estruturadas com os usuários do SMD da empresa C deram mais ênfase à implementação desse sistema e representaram a principal fonte de evidência desta etapa. A Figura 20 reúne os dados relativos às entrevistas.

Figura 20 - Dados relativos às entrevistas para análise e avaliação do SMD na empresa C.

	Entrevistado	Data	Duração	Obras em que atua
1	Gerente de Projeto	25/08/2023	50 min	Condomínios de casas
2	Gerente de Projeto	23/08/2023	50 min	Edifícios Residenciais
3	Administradora de Obra	23/08/2023	50 min	Edifícios Residenciais
4	Administradora de Obra	24/08/2023	60 min	Edifícios Residenciais
5	Gerente de Projeto	24/08/2023	50 min	Edifícios Residenciais
6	Gerente de Construção	24/08/2023	60 min	Edifícios Residenciais
7	Gerente de Construção	24/08/2023	60 min	Condomínios de casas

Com o aprendizado obtido a partir das entrevistas realizadas na Empresa F, optou-se por refinar as questões que seriam utilizadas na empresa C. As novas questões foram elaboradas com o objetivo de identificar constructos relevantes para desenvolver ou avaliar SMDs para apoiar a implementação *LC*. Para tanto, foram utilizados os requisitos para os SMDs propostos no ciclo 1 desta tese, os quais foram complementados com requisitos de usuários do SMD que emergiram ao longo do ciclo 2. Estas questões direcionam a análise para os seguintes constructos: nível de utilização do SMD, conexões entre indicadores, aprendizado com base no SMD, motivação dos envolvidos, antecipação de problemas, relevância e confiabilidade das informações fornecidas pelo SMD, momento de entrega dos dados e instâncias de análise.

A preparação das entrevistas também envolveu a análise de documentos: *dashboards* de planejamento de curto e médio prazo e *dashboard* operacional. Essa análise prévia permitiu observar os dados que estavam sendo gerados, o formato dos *dashboards* e a frequência de entrega das informações. Além das entrevistas individuais e da análise de documentos, foi realizada uma entrevista aberta em grupo envolvendo gerentes de construção, a gerente de controle e gestão, a analista sênior e os analistas de controle e gestão e o gerente de inovação. O objetivo desta reunião era promover uma discussão e análise do SMD, além de complementar

as informações obtidas com as entrevistas individuais. A Figura 21 resume as fontes de evidência utilizadas na etapa de avaliação da empresa C.

Figura 21 – Fontes de evidência da etapa de análise e avaliação na empresa C.

Fontes de evidência	Participante	Quantidade	Duração aproximada
Entrevistas semiestruturadas com usuários do SMD	Apresentado em detalhes na figura 10.		
Observação participante em reunião para discussão do SMD e para complementar as entrevistas	2 Gerentes de construção, a Gerente de Controle e Gestão, Analista Sênior e Analistas de Controle e Gestão, Gerente de Inovação.	1 evento	90min
Análise de documentos	<i>Dashboards</i> de planejamento de curto e médio prazo, <i>dashboard</i> operacional.	-	-

4.5 AVALIAÇÃO E REFLEXÃO DO ARTEFATO

Os **princípios de design** propostos no presente trabalho tiveram como ponto de partida os requisitos para SMDs identificados com base na literatura e nos estudos exploratórios do ciclo 1. Ao longo do ciclo 2, estes princípios emergiram, durante a realização dos estudos empíricos nas empresas F e C. Os mesmos foram desdobrados em **prescrições** para desenvolvimento de SMDs e foram conectados a **práticas** observadas nos SMDs dos dois estudos empíricos.

A **utilidade** dos princípios de design foi avaliada de acordo com sua eficácia em atingir seus principais objetivos. O objetivo destes princípios é permitir o desenvolvimento de SMDs para apoiar a implementação da LC. Assim, a avaliação da utilidade foi realizada através dos critérios de aprendizagem, antecipação, relevância e confiabilidade, tempo das informações, interconectividade (entre níveis gerenciais), apoio à tomada de decisão e escopo e abrangência do SMD.

A avaliação da **aplicabilidade** do artefato em relação à possibilidade de uso em outros contextos e expansividade considerou as diferenças na atuação das empresas C e F. Também foi considerada a ampliação do uso dos *dashboards* para o processo de desenvolvimento de projetos de edificações na Empresa F.

5 RESULTADOS DOS ESTUDOS EMPÍRICO

Este capítulo apresenta os resultados alcançados nesta pesquisa. Primeiramente são apresentados os resultados obtidos com os estudos exploratórios (ciclo 1), sendo apresentada uma visão geral dos SMDs e exemplos dos indicadores utilizados pelas empresas, uma análise das oportunidades de melhoria e uma proposta de taxonomia para ampliar o escopo da MD para empresas envolvidas na implementação da filosofia *Lean*. A seção dois aborda os resultados obtidos com os estudos empíricos nas empresas F e C (ciclo 2), divididos nas etapas de concepção, desenvolvimento e implementação, e análise e avaliação.

5.1 CICLO 1: ESTUDOS EXPLORATÓRIOS

5.1.1 Visão geral do SMD das empresas analisadas

A Figura 22 apresenta a avaliação do grau de adoção de seis requisitos nos SMDs das cinco empresas, realizado de acordo com a percepção da pesquisadora. O requisito relacionado ao escopo dos SMDs é discutido na 5.1.4. Três graus diferentes foram usados nessa avaliação: totalmente implementado (T), parcialmente implementado (P) e não adotado (N). Esta avaliação foi baseada na análise das práticas adotadas nos SMDs existentes nas empresas. As cinco empresas analisadas possuíam indicadores tradicionais para medir o desempenho, tais como desvio de custo, atraso na entrega do projeto, e avanço físico, além de indicadores mais diretamente vinculados à implementação da filosofia *Lean*.

Considerada como uma referência na implementação *Lean* no Brasil, a Empresa A possuía um sistema de PCP fortemente baseado no SLP e um sistema de controle de qualidade da produção bem estruturado. A empresa possuía diversas outras práticas relacionadas à filosofia *Lean* implementadas, tais como o uso de *Kanban* para a logística de obra, *dashboards*, elementos do trabalho padronizado e uso extenso de gerenciamento visual, as quais foram inclusive objetos de trabalhos de pesquisa (Barth & Formoso, 2008; Brandalise et al., 2022; Tezel et al., 2010; Valente et al., 2019). Os *dashboards* difundem indicadores principalmente nos escritórios de todas as obras, exibindo os indicadores para gestão da produção. Alguns indicadores são

sistematicamente discutidos em reuniões mensais que envolvem representantes de todas as obras.

Figura 22 - Avaliação da adoção dos requisitos no SMD.

Requisitos	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E
Alinhamento com objetivos de alto nível	P	T	P	P	P
Combina indicadores <i>leading e lagging</i>	T	T	T	P	P
Fornecer <i>feedback</i> significativo e oportuno aos usuários	T	T	T	T	T
Promove melhoria contínua e aprendizagem	T	T	T	P	P
Flexível e atualizado de tempos em tempos	T	P	N	P	N
Estabelece sistemas de controle local	P	P	N	N	P

Legenda: requisito totalmente adotado (T), requisito parcialmente adotado (P) e requisito não adotado (N)

Fonte: Adaptado de Barth e Formoso (2020).

O programa de *Lean Production* da Empresa B é fortemente baseado na redução de perdas e no desenvolvimento dos colaboradores. Seu SMD combina indicadores *leading e lagging*. A empresa implementou com sucesso diversas práticas *Lean* em obras de plataformas *offshore*, dentre elas pode-se destacar o SLP, trabalho padronizado, uso de equipes multifuncionais e o gerenciamento visual.

A Empresa C iniciou a implementação de práticas de produção enxuta há menos de três anos, por meio do desenvolvimento de um sistema de planejamento e controle fortemente baseado no SLP. Seus escritórios de obra também possuíam um quadro de gestão visual que expõe indicadores e planos, incluindo PCBL. *Workshops* eram realizados mensalmente para apresentar os resultados e as lições aprendidas com o processo de implementação, envolvendo gerentes de projeto e representantes de todas as obras envolvidas na implementação.

A Empresa D começou a desenvolver um sistema de PSP e planejamento e controle que combina elementos do SLP e do PCBL há quatro anos. A empresa possuía dispositivos visuais para gestão logística da produção e para controle do trabalho realizado com qualidade e do WIP.

A Empresa E desenvolveu um sistema de gestão da produção *Lean* bastante abrangente, que consistia em diversos elementos, incluindo o SLP, o PCBL, o PSP, *dashboards* e planejamento e controle integrado entre segurança e produção (em algumas obras).

Conforme pode-se observar na Figura 22, as empresas A e B podem ser consideradas as mais avançadas em termos de MD. Além disso, a maioria das empresas foi eficaz em termos de fornecer rápido feedback para os usuários e transparência do processo. O requisito menos adotado foi "criação de sistemas de controle local". Nas Empresas C e E, os SMDs não foram sistematicamente atualizados porque a implementação *Lean* estava em estágio inicial. Algumas medidas de controle local (por exemplo, indicadores do SLP, número de melhorias e medição do WIP) foram identificadas nas empresas estudadas, sendo usadas para apoiar melhorias locais pelas equipes operacionais. No entanto, essas medidas não estavam fortemente alinhadas com as metas estratégicas das empresas.

5.1.2 Indicadores utilizados pelas empresas

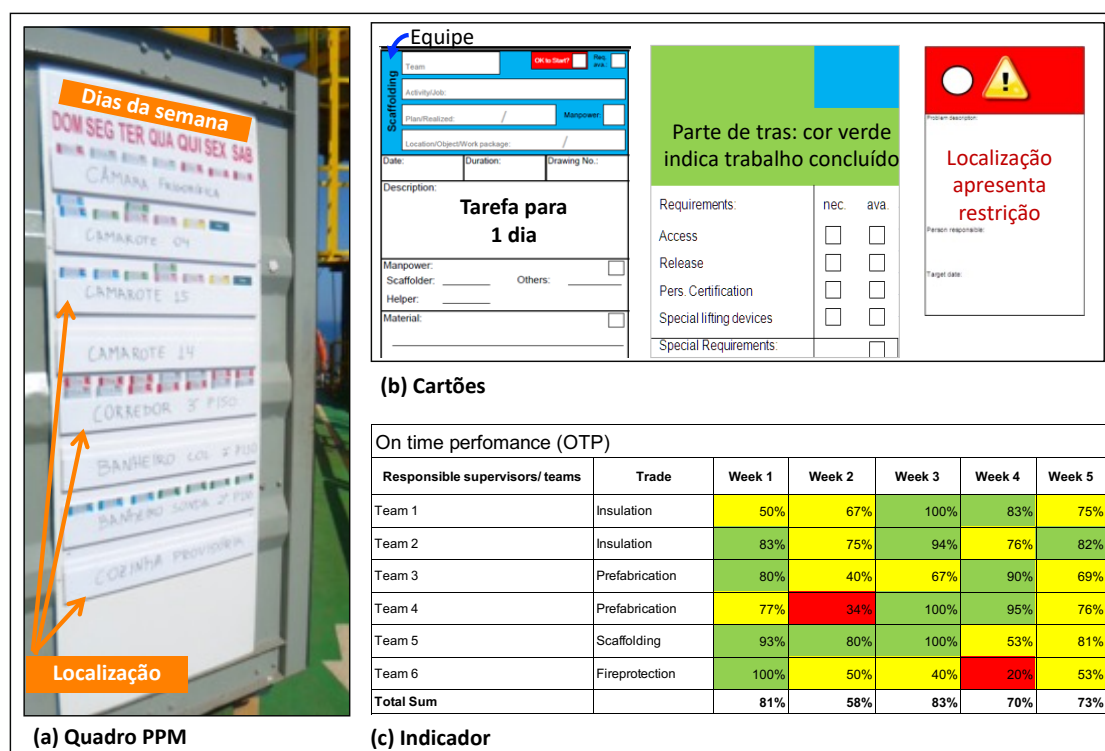
Os indicadores observados nas empresas analisadas foram agrupados em dez categorias, detalhadas a seguir. A Figura 29, ao final desta sessão, mostra uma visão geral dos indicadores adotados pelas empresas na implementação de programas de produção *Lean*.

Indicadores relacionados ao SLP: Todas as empresas analisadas nos estudos exploratórios implementaram o SLP e adotaram os indicadores frequentemente usados no planejamento *look-ahead* e semanal, incluindo: PPC geral, PPC para diferentes equipes ou subcontratados, causas da não conclusão dos pacotes de trabalho, número de restrições identificadas, porcentagem de restrições removidas e número de restrições identificadas de acordo com sua natureza (projeto, segurança, qualidade, material, etc.).

Eficácia da implementação do SLP: Três das cinco empresas também usaram um indicador para avaliar o grau de implementação das práticas de planejamento e controle da produção. Esse indicador baseia-se em uma lista de verificação composta por 15 práticas, similar à ferramenta originalmente proposta por Bernardes e Formoso (2002). Essa lista de verificação abrange três níveis de planejamento e permite a avaliação do grau de maturidade dos sistemas de planejamento. As práticas incluídas nesta lista devem ser adaptadas à realidade e nível de implementação do SLP na empresa. Nenhuma das empresas adotou modelos de maturidade para realizar uma avaliação ampla da implementação *Lean* além do SLP.

OTP (*on-time performance*) diário: Uma das empresas usou uma ferramenta de planejamento e controle da produção chamada “OTP diário”, que monitora a porcentagem de tarefas diárias concluídas em relação ao número de tarefas planejadas. Essa métrica é semelhante a um indicador PPC diário, mas agrega a gestão visual para seu monitoramento. As tarefas são planejadas de acordo com um sistema de localização, por meio de cartões em um painel visual, denominado “quadro de gerenciamento de planejamento e desempenho” (PPM¹¹ board) (Figura 23). Para cada equipe é definida uma cor, mostrada no cartão. Cada cartão apresenta uma quantidade de trabalho a ser realizada em um dia em uma determinada localização. Quando a equipe finaliza sua tarefa na localização o cartão deve ser virado, deixando visível a cor verde (tarefa concluída). Zonas com restrição recebem um cartão vermelho mostrando a impossibilidade de trabalho.

Figura 23 – Quadro PPM e indicador OTP.



O indicador OTP é apresentado diariamente, semanalmente e ao final do período de um mês, fornecendo uma visão geral do desempenho. As atividades com falta de qualidade são consideradas não finalizadas e são destacadas das atividades em que o trabalho não foi executado. Outros detalhes são fornecidos, como, por exemplo, o progresso do

¹¹ PPM: *Planning and Performance Management*

trabalho por área, por equipe e por supervisor. Esse indicador também pode ser usado para monitorar desvios em relação ao tempo *takt* diário, à eficiência do processo e à utilização da capacidade, especialmente em recursos considerados como gargalo. Ações de correção e prevenção são propostas em resposta aos desvios apontados por esse indicador. Essas ações podem ser definidas e documentadas nos Relatórios A3.

Diminuição de tarefas e controle do WIP: Esse conceito foi proposto por (Koskela, 2004), que consiste em tarefas executadas de forma não conforme, mas que são difíceis de detectar em inspeções de controle e normalmente resultam em retrabalhos ou perda de valor, pela baixa qualidade. Esse problema está fortemente relacionado a duas categorias de desperdício frequentemente encontradas em canteiros de obras, a saber, *making-do* (Koskela, 2004) e trabalho inacabado (Fireman et al., 2013). O *making-do* é uma redução no desempenho quando uma tarefa é iniciada ou continuada, sem que se disponha de um conjunto completo de insumos necessários (Koskela, 2004). Por outro lado, o trabalho inacabado refere-se à situação em que algumas pequenas tarefas de acabamento não são executadas quando a equipe deixa o local de trabalho (Fireman et al., 2013). Ambas as categorias podem contribuir para o aumento do WIP, do tempo de ciclo e da parcela de atividades que não agregam valor.

Embora seja difícil medir o *making-do* (Formoso et al., 2017), duas das empresas analisadas adotaram indicadores para monitorar o WIP e os lotes não concluídos. São elas, respectivamente, a porcentagem de “tarefas aceleradas”, que é a razão entre o número de tarefas que começaram antes do planejado e o número total de tarefas, e a porcentagem de lotes interrompidos (de Vargas e Formoso, 2018). Esses indicadores são gerados a partir de uma matriz para controle do status da produção, mostrada na Figura 24a, que permite monitorar a conclusão das atividades (colunas) em diferentes unidades (lotes) de produção (linhas). Cada célula apresenta informações sobre o status da tarefa (se a tarefa está em andamento, parada ou não liberada (não iniciada)). Em caso de paralização da tarefa, uma causa deve ser informada. Um indicador adicional pode ser usado para apontar as causas de lotes interrompidos. Além disso, a própria matriz fornece um mapa visual do status do projeto e informações que podem ser usadas para monitorar o tempo de ciclo. Outra ferramenta usada para o controle de WIP é chamada de “*heatmaps*”, que são representações visuais de onde os trabalhadores estão localizados nas unidades de produção, conforme mostrado na Figura 24b. O controle

de WIP pode ser usado para monitorar o número de pessoas trabalhando em cada andar, apartamento ou lote. Quando essa ferramenta é combinada com um indicador de lotes interrompidos, ela fornece uma visão geral do avanço físico da obra, permitindo a detecção de problemas relacionados à quantidade excessiva de WIP ou de trabalho inacabado. Se os trabalhadores estiverem espalhados no canteiro de obras, o esforço de controle para acompanhar a execução das tarefas tende a aumentar.

Figura 24 – Exemplo da matriz para controle do status da produção e mapa de calor.

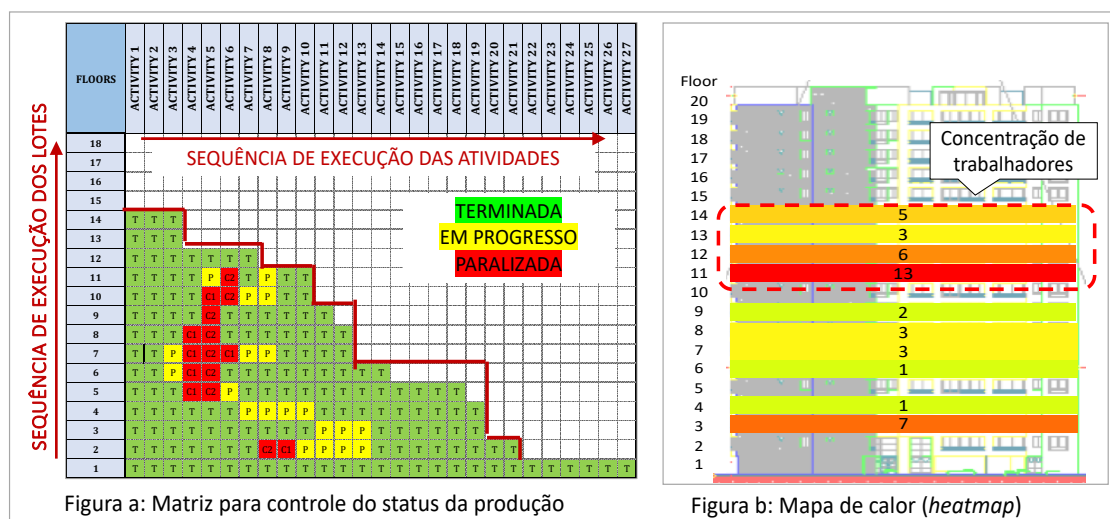


Figura a: Matriz para controle do status da produção

Figura b: Mapa de calor (heatmap)

Fonte: Adaptado de Barth e Formoso (2020).

Número de projetos Kaizen: Esse indicador é baseado em iniciativas de melhoria que geralmente são conduzidas em um nível operacional por equipes de forma colaborativa. Cada projeto é concebido e testado por uma equipe, sendo que se pode recomendar ou não a sua implementação em outros empreendimentos. Esse indicador era calculado mensalmente (número de *Kaizens* aplicados por mês) em uma das empresas analisadas. Esse indicador pode ser usado para premiar funcionários individualmente ou equipes cujos projetos resultem no maior ganho para a empresa (por exemplo, redução no número de horas-homem ou eliminação de tempo que não agrega valor). Também foi observado o monitoramento da proporção de ideias *top-down* e *bottom-up*, ou seja, a proporção entre o número de ideias Kaizen originadas no chão de fábrica e o número de ideias *kaizen* provenientes de gerentes de topo, gerentes seniores e diretores.

Gemba walk para identificar perdas: o *Gemba walk* tem como objetivo identificar as perdas (recursos utilizados que não agregam valor) nos processos que estão sendo executados no canteiro de obras. Essa ferramenta era usada regularmente por duas das

empresas analisadas para promover a identificação e a remoção de perdas em ciclos de aprendizado (por exemplo, a cada duas semanas). Observar como o processo é realizado na área de trabalho e conversar com os trabalhadores que realizam o trabalho são essenciais durante um *Gemba walk* para tentar compreender um processo de forma abrangente. Durante um *Gemba walk*, são identificados diferentes tipos de perdas em frentes de trabalho distintas, sendo que os fluxos de materiais e de informações podem ser acompanhados para identificar possíveis causas das perdas. Esse indicador monitora o número de perdas identificadas nos eventos de *Gemba walk* e a taxa de sucesso para eliminá-las. Algumas categorias de perdas podem ser o foco dessa iniciativa de melhoria, como as sete categorias de perdas propostas por Ohno (1988), tais como transporte, espera e superprodução, ou outras categorias típicas do setor de construção, como *making-do* (Formoso et al., 2017) ou trabalho inacabado (Fireman et al., 2013).

Controle do ritmo de conclusão do lote: Esse indicador é usado para comparar o ritmo real de um processo crítico com o ritmo planejado ou o tempo *takt* (Frandsen et al., 2015), se disponível. Ele é calculado pela razão entre o número de lotes (ou sub-lotes) concluídos e o número de lotes (ou sub-lotes) planejados para um período específico. Esse indicador é baseado na taxa de conclusão dos lotes, enquanto os indicadores tradicionais de progresso do projeto consideraram tarefas incompletas. O ritmo de conclusão do lote incentiva toda a equipe, inclusive os subcontratados, a concentrar seu trabalho na conclusão de cada lote antes de iniciar o próximo. Quatro das empresas analisadas utilizam esse indicador. A Figura 25 apresenta as curvas de ritmo de entrega planejada, real e projetada para um processo crítico. A Figura 26 agrega todos os processos críticos em análise e mostra como essa ferramenta pode ser usada para avaliar o impacto do ritmo de um processo crítico em outros processos: as alterações em uma linha (ou taxa de conclusão) precisam ser monitoradas para avaliar seu impacto em processos seguintes.

Figura 25 - Exemplo de gráfico para monitorar o ritmo de um processo crítico.

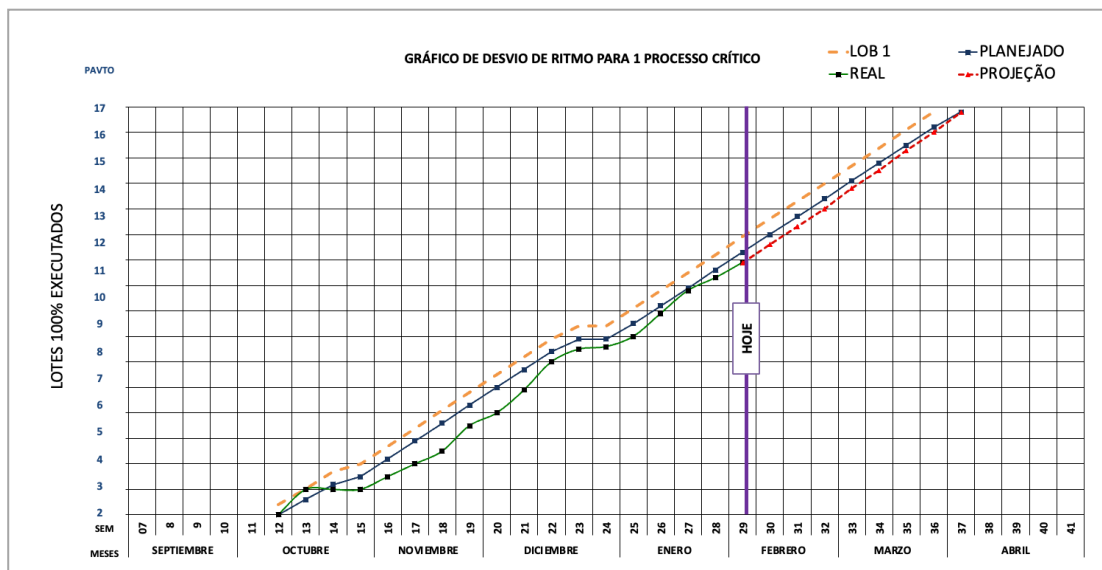
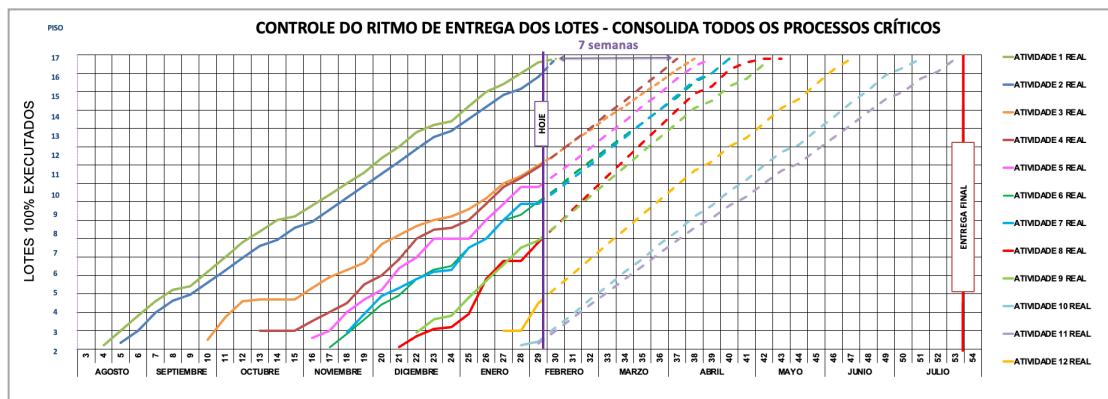
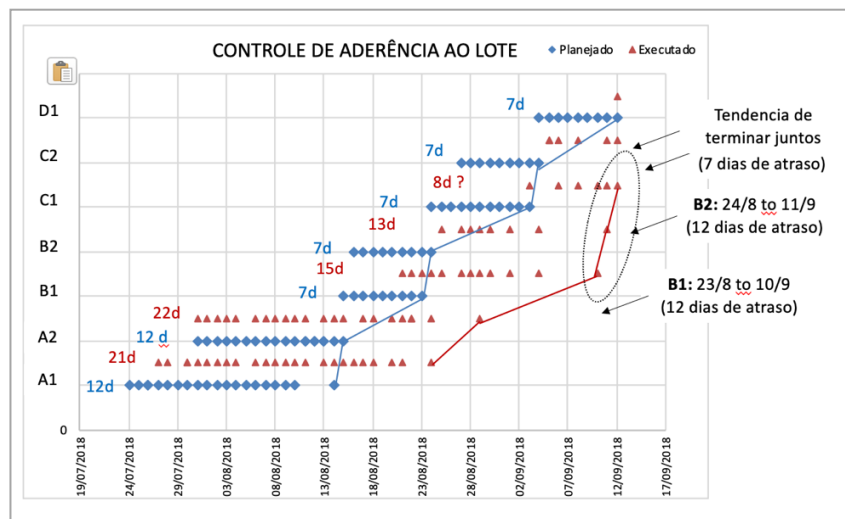


Figura 26 - Exemplo de gráfico para monitorar o ritmo de diferentes processos.



Controle de aderência ao lote: como resultado da implementação dos princípios de "redução do tempo de ciclo" e "redução do WIP", os gráficos tradicionais de avanço físico tornam-se insuficientes para controlar o ritmo e a duração do projeto. Além disso, o controle **do ritmo de conclusão do lote** também é limitado porque a data de início de cada lote não é clara. Duas empresas adotaram o indicador de aderência do lote, que monitora se os lotes estão ou não sendo executados na sequência e no ritmo planejados, levando em consideração o sistema baseado em localização adotado, ou seja, a divisão da obra em pequenos lotes. Este controle geralmente é realizado no nível de planejamento *look-ahead*. Viana (2015) destaca que o monitoramento da aderência dos lotes pode contribuir para a redução do WIP. A Figura 27 mostra um exemplo desse tipo de controle, em que a tendência de iniciar novos pacotes de trabalho (novos lotes) sem a conclusão dos anteriores aumenta a quantidade de WIP.

Figura 27 - Exemplo de gráfico para monitorar a aderência ao lote.



Fonte: Adaptado de Barth e Formoso (2020).

Tempo de ciclo: de acordo com Rother e Shook (1999), o tempo de ciclo refere-se à frequência com que um produto, ou uma parte dele, é concluído, incluindo tempo de processamento, armazenamento, inspeção e retrabalho. Se houver repetição de lotes de produção semelhantes, é importante monitorar tanto a duração quanto a variação do tempo de ciclo. Essa ação gera alertas para o processo de planejamento, especificamente quando o princípio de produção *Lean* é adotado. A manutenção de um tempo de ciclo curto indica que o WIP não está aumentando, resultando em ciclos curtos de detecção e correção de desvios (Koskela, 1992) e entrega rápida ao cliente (Ballard, 2001). Duas das empresas analisadas monitoram indicadores relativos ao tempo de ciclo. A Figura 28 apresenta dois gráficos para monitoramento do tempo de ciclo: (a) tempo de ciclo previsto e realizado para um processo crítico; (b) menor e o maior tempo de ciclo realizado para todos os processos críticos de uma obra.

Figura 28 - Exemplo de gráficos para monitorar o tempo de ciclo.

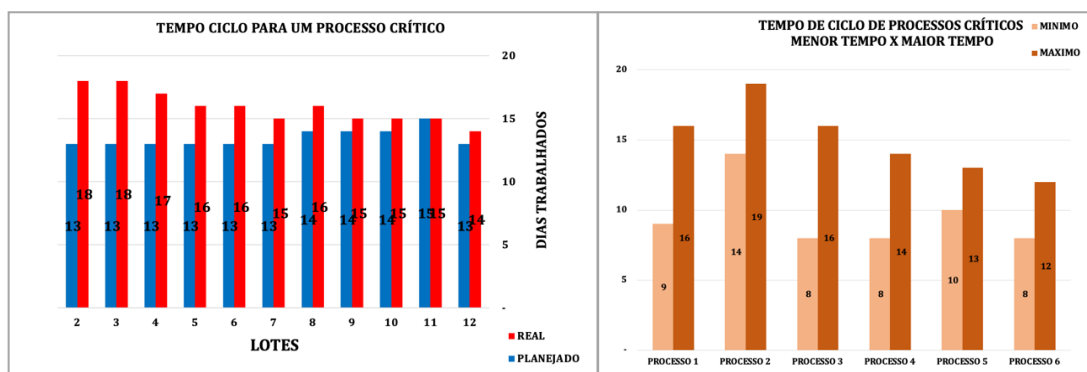


Figura a: Exemplo de tempo de ciclo previsto e realizado para um processo crítico

Figura b: Exemplo de comparação entre o menor e o maior tempo de ciclo realizado para todos os processos críticos de uma obra.

Segurança: Duas empresas utilizavam indicadores que resultaram da integração do gerenciamento da segurança com o SLP, conforme sugerido por Saurin et al. (2008). A Empresa A incluiu o indicador "porcentagem de pacotes de trabalho de segurança concluídos" em seu planejamento de curto prazo para monitorar a eficácia da execução de pacotes de trabalho relacionados a tarefas de segurança (por exemplo, instalação de equipamentos de proteção coletiva). A Empresa E adotou em alguns locais de construção um indicador chamado de porcentagem de pacotes de trabalho seguros, em que foram detectados pacotes de trabalho sem problemas de segurança (ou seja, não conformidades, acidentes e quase acidentes). Em ambos os casos, as causas da falta de segurança puderam ser sistematicamente identificadas. Ambas as empresas também usaram um indicador para monitorar os quase acidentes (Saurin et al., 2015). Esses três indicadores podem ser relacionados ao conceito de resiliência, pois foram projetados para lidar com a variabilidade e ajudar a antecipar os riscos, devido ao seu caráter proativo.

Figura 29 - Indicadores usados pelas cinco empresas para apoiar a implementação de práticas Lean.

Indicadores	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E
Indicadores relacionados ao SLP	x	x	x	x	x
Eficácia da implementação do SLP	x		x	x	
OTP (desempenho pontual) diário		x			
Diminuição de tarefas e controle do WIP			x	x	
Número de projetos <i>kaizen</i>		x			
<i>Gemba Walk</i> para identificar <i>perdas</i>		x		x	
Controle do ritmo de conclusão de lotes	x		x	x	x
Controle de aderência do lote			x		x
Tempo de ciclo			x		x
Controle integrado de segurança e produção	x				x

Fonte: Adaptado de Barth e Formoso (2020).

5.1.3 Oportunidades de melhoria identificadas nos estudos exploratórios

A análise do SMD das cinco empresas de acordo com os requisitos para a medição de desempenho na implementação da *Lean Construction* apontou oportunidades de melhoria. Pode-se citar o **alinhamento dos indicadores com metas de alto nível**, a **necessidade de manter o SMD atualizado** e o **desenvolvimento de sistemas de controle local**. Observou-se que as empresas conseguem **fornecer *feedback***

significativo e oportuno aos usuários em reuniões de planejamento e controle, e promovem melhoria e aprendizado. Contudo, o **escopo dos SMDs** existentes é relativamente limitado. Ou seja, a maioria dos indicadores identificados se concentra na categoria **confiabilidade do processo**, mais especificamente, na implementação do SLP. Este fato é similar ao observado em empresas de construção em estudos anteriores, conforme relatado por España et al. (2012) e Sacks et al. (2017).

Apesar do caráter colaborativo do SLP, três das empresas não apresentavam indicadores relacionadas a **melhoria contínua e aprendizagem e colaboração e capacitação**, que são elementos importantes da filosofia *Lean*. Em contrapartida, algumas das empresas analisadas estavam iniciando o uso de indicadores relacionados ao PCBL integrado ao PCP, que podem ser usados para controlar o tempo de ciclo, WIP e ritmo de processos.

Nenhuma das empresas adotava indicadores relacionados à **geração de valor, zero defeitos, JIT e integração com a cadeia de suprimentos**, conforme sugerido na literatura (Karlsson & Åhlström, 1996; Koskela, 2000; Sánchez & Pérez, 2004). É importante destacar que todas as empresas possuíam indicadores relacionados ao controle de qualidade fortemente baseadas na detecção de não conformidades. Mas esses indicadores apresentavam uma função secundária na gestão da produção devido à sua baixa integração com o planejamento e o controle, e não eram adequadamente usados para apoiar programas de zero defeito.

Com relação ao **gerenciamento da cadeia de suprimentos**, embora algumas das empresas tivessem relações de parceria com alguns fornecedores, estas não apresentavam indicadores para avaliar o grau de integração com a cadeia de suprimentos. De fato, os programas de implementação *Lean* destas empresas eram, em sua maioria, limitados às próprias empresas de construção, e não haviam sido estendidos às suas cadeias de suprimentos, como, por exemplo, para permitir a implementação de entregas JIT.

A partir desta análise dos SMDs, os indicadores adotados pelas empresas foram classificados de acordo com princípios ou conceitos fundamentais para a filosofia *Lean* apoiados por estes indicadores. Figura 30 apresenta esta classificação.

Figura 30 - Classificação dos indicadores observados nas empresas de acordo com princípios ou conceitos da filosofia *Lean*.

Indicador de desempenho identificado nas empresas	Princípio ou conceito relacionado
Diminuição de tarefas e controle do WIP <i>Gemba Walk</i> para identificar perdas	Eliminação de perdas
Número de projetos kaizen <i>Gemba Walk</i> para identificar perdas Eficácia da implementação do SLP Indicadores do SLP	Melhoria contínua e aprendizagem
Indicadores do SLP OTP diário Diminuição de tarefas e controle de WIP Desvio de ritmo Ritmo de conclusão do lote Controle de aderência do lote Tempo de ciclo	Confiabilidade no processo (PCP)
Percentual de pacotes de trabalho seguro Porcentagem de pacotes de trabalho de segurança concluídos Número de quase-acidentes	Segurança à luz do conceito de resiliência

5.1.4 Proposta de taxonomia para SMDs

Com base nas lições aprendidas com os cinco estudos exploratórios e na revisão da literatura, foi proposta uma taxonomia para indicadores de desempenho relacionados à implementação *Lean* na gestão da produção (Figura 31). Algumas das categorias propostas nesta taxonomia foram identificadas nos estudos exploratórios, conforme descrito no item 5.4 da seção anterior. Outras categorias foram adotadas a partir da análise da literatura.

A categoria **melhoria contínua e aprendizagem** foi proposta por Karlsson & Åhlström (1996) e Sánchez & Pérez (2004), tendo sido identificada nos estudos exploratórios. As categorias **integração com a cadeia de suprimentos** e **colaboração e empoderamento** foram propostas nos trabalhos de Karlsson & Åhlström (1996) e Sánchez & Pérez (2004). Em relação à categoria **controle do slack**, além de ser proposta por Saurin et al. (2013), os trabalhos de Karlsson & Åhlström (1996) e Sánchez & Pérez (2004) apontam a necessidade de fomentar a existência de equipes multifuncionais, prática considerada como um tipo de *slack* que introduz margens de manobra. Por fim, a categoria **resiliência em relação à segurança** foi proposta a partir dos trabalhos de Hollnagel et al. (2013) e Penaloza et al. (2020), além de ter sido observada em dois estudos exploratórios.

Figura 31 - Taxonomia de indicadores de desempenho em sistemas de produção Lean.

Categoria geral	Categorias de indicadores	Exemplos de indicadores
Categorias relacionados aos objetivos da produção <i>Lean</i>	Eliminação de desperdícios	Classificação da natureza das tarefas de retrabalho em obra Custo do retrabalho em relação às vendas Número de perdas identificadas nos <i>Gemba walks</i>
	Geração de valor	Grau de satisfação dos clientes Número de reclamações dos clientes
Categorias relacionadas aos meios (princípios) de produção <i>Lean</i>	Melhoria contínua e aprendizagem	Indicadores do SLP: causas não conclusão dos planos, evolução do percentual de causas internas Número de projetos <i>kaizen</i> Redução de custos resultante de iniciativas <i>kaizen</i>
	Controle do <i>slack</i>	Quantidade de WIP Número de trabalhadores multitarefa
	Confiabilidade do processo - Confiabilidade no tempo	Indicadores do SLP: PPC geral e segmentado (por fornecedor ou etapa de obra) Controle do ritmo de conclusão de lotes Controle de aderência do lote Diminuição de tarefas
	- Confiabilidade na qualidade	Número de lotes sem defeito Porcentagem de produtos com defeito
	Colaboração e empoderamento	Número de sugestões por funcionário Percentual de funcionários envolvidos em eventos <i>kaizen</i> Número de ferramentas de controle descentralizadas (por exemplo, <i>kanban</i>)
	Integração com a cadeia de suprimentos	Grau de participação dos fornecedores nos estágios iniciais do projeto Integração dos fornecedores nos processos gerenciais internos Percentual de fornecedores estratégicos Avaliação de fornecedores
	Resiliência em relação à segurança	Porcentagem de pacotes de trabalho seguro Número de quase-acidentes

A taxonomia proposta faz distinção entre indicadores relacionados aos objetivos da produção *Lean* (eliminação de desperdício e geração de valor) e aqueles relacionados aos meios para atingir esses objetivos. As empresas envolvidas na implementação da *Lean* devem ter um conjunto de indicadores que avaliem o cumprimento das metas com

base na filosofia *Lean*. Em relação à eliminação de desperdícios, os tipos mais relevantes de desperdício, tais como atrasos, defeitos, retrabalho, tempo de espera e acidentes, devem ser identificados no contexto específico de cada empresa. Para a geração de valor, os indicadores relacionados ao grau de satisfação com os produtos e serviços fornecidos pela empresa devem ser utilizados a partir de profunda compreensão do que é valorizado pelos diferentes perfis de clientes.

Com relação aos meios para atingir os objetivos *Lean*, são propostas as seis categorias de indicadores a seguir:

1. **Melhoria contínua e aprendizagem:** esta categoria foi proposta por Karlsson & Åhlström (1996) e Sánchez & Pérez (2004), sendo que seu monitoramento pode ser realizado por meio de indicadores específicos (número de iniciativas *kaizen*) ou por meio de indicadores classificados em outras categorias. Indicadores relativos ao SLP, tais como a eliminação de problemas e o aumento do PPC, podem fornecer evidências de melhoria contínua e aprendizagem no planejamento da produção.
2. **Controle de Slack:** *slack* (ou folga) pode ser definido como uma reserva de recursos atuais ou potenciais que permite que uma organização se adapte às pressões internas ou externas com sucesso (Bourgeois, 1981). Do ponto de vista da filosofia *Lean*, alguns tipos de *slack* podem estar relacionados a perdas, tais como estoque de materiais, WIP e tempos improdutivos (Formoso et al, 2021). A eliminação de perdas consiste em um fator de melhoria, permitindo a identificação de problemas que representam oportunidades de melhoria (Ohno 1988). Portanto, o *slack* como potencial fonte de perdas, deve ser medido e reduzido, como parte dos programas de melhoria contínua.
3. **Confiabilidade dos processos (qualidade e tempo):** Essa categoria inclui todos os indicadores relacionadas ao PCP, tais como as relacionadas ao SLP e ao PCBL, e também aquelas produzidas por sistemas de controle de qualidade.
4. **Colaboração e empoderamento:** A implementação *Lean* estimula a descentralização de responsabilidades, a redução do número de níveis hierárquicos e o envolvimento dos funcionários em iniciativas de melhoria contínua (Koskela, 1992; Karlsson & Åhlström, 1996). Nesse sentido, indicadores como o grau de responsabilidade dado aos funcionários, o grau de participação dos funcionários em

processos colaborativos e a implementação de ferramentas descentralizadas de planejamento e controle (por exemplo, *kanban* e *andon*), podem ser adotados.

5. **Integração com a cadeia de suprimentos:** A implementação *Lean* depende muito da integração da empresa de construção com seus fornecedores (Eriksson, 2010). O envolvimento antecipado de fornecedores permite um trabalho combinado na busca de reduzir prazos e, conseqüentemente, reduzir custos (Sánchez & Pérez, 2004). O nível de integração pode ser avaliado por meio de indicadores, tais como o número de fornecedores envolvidos em parcerias, o grau de participação dos fornecedores nos estágios iniciais do projeto e a integração dos fornecedores nos processos gerenciais internos.
6. **Segurança sob a perspectiva da engenharia de resiliência:** Resiliência é "a capacidade de um sistema de ajustar seu funcionamento antes, durante ou após eventos (mudanças, distúrbios e oportunidades) e, assim, sustentar as operações necessárias em condições esperadas e inesperadas" (Hollnagel et al., 2006). Esse conceito tem sido adotado com eficácia no gerenciamento da segurança de sistemas altamente complexos, como aviação e saúde, e também pode ser potencialmente aplicado na construção (Woods et al., 2018). Essa categoria introduz uma visão proativa na gestão da segurança, considerando os riscos emergentes, que são difíceis de prever devido à complexidade do sistema de produção. Os indicadores devem apoiar não apenas o monitoramento e o controle do processo, mas também a antecipação dos riscos e o aprendizado com acidentes e com o trabalho normal, conforme sugerido por (Hollnagel, 2017)

5.2 CICLO 2: ESTUDOS EMPÍRICOS

5.2.1 EMPRESA F

5.2.1.1 Etapa de Compreensão – Empresa F

Ao se realizar o diagnóstico no sistema de gestão de empreendimentos da Empresa F, constatou-se que este era bastante focado no controle de entregáveis. A equipe de gestão das obras considerava este enfoque suficiente, e tinha a expectativa de que deveria ser desenvolvido um SMD e uma proposta de *dashboards* para a gestão dos projetos com base nestes entregáveis.

Ainda, na etapa de compreensão emergiu uma **primeira proposta de categorização para os indicadores a serem utilizados**: estes poderiam ser divididos em indicadores de status, indicadores de desempenho e indicadores de implementação. Essa categorização foi utilizada para o desenvolvimento do SMD. O diagnóstico indicou que o SMD da Empresa F possuía apenas indicadores de status e de resultado, enfatizando apenas os marcos de entrega, sem planejar e controlar os processos que levavam aos resultados. SMDs focados apenas no resultado servem como bases de dados históricos, mas fornecem informações muito limitadas para orientar ações gerenciais (Sarhan & Fox, 2013). Ainda, identificou-se pouco esforço no sentido de identificar as causas do não atingimento das metas estabelecidas.

Outro destaque do SMD existente foi o software de gestão PPM e Power BI (plataforma Microsoft). A Empresa F estava em processo de tradução das planilhas em MS Excel (utilizadas para gestão de dados) para a plataforma de gestão PPM e Power BI. A partir da primeira rodada de entrevistas na Empresa F constatou-se que a **aderência da equipe gerencial ao novo software era baixa**, o que resultava em **dados desatualizados** e acarretava **falta de confiabilidade da equipe nas informações** disponíveis. Os colaboradores mantinham suas planilhas de controle anteriores, o que tornava o uso da nova plataforma um trabalho duplicado e que, segundo eles, não agregava valor. Consequentemente, os dados permaneciam desatualizados, o que gerava falta de confiabilidade nos mesmos.

Ainda, as entrevistas apontaram **falta de compreensão da ferramenta por parte de alguns envolvidos** e, conseqüentemente, **falta de motivação para o uso da mesma**. Estes fatos se somavam e representavam uma barreira para a adoção da nova plataforma que permitiria gerar *dashboards* para análise dos dados pelos gestores.

A análise do conteúdo do Power BI permitiu constatar que este apresentava um grande volume de informações relativas ao status e ao resultado dos projetos. Esse fato reforça a falta de motivação dos usuários, pois esse tipo de indicador não fornece informações para identificar possíveis áreas de melhoria (Maskell, 1991). A nova plataforma de gestão permitia que as informações fossem acessadas de diversas formas pelos representantes da empresa. Mesmo assim, quando questionados sobre o uso dos relatórios gerados, a maioria dos usuários informou que não os utilizava. Além das

dificuldades já relatadas, a falta de formalização de instâncias para análise contribui para a baixa utilização das informações (Nudurupati et al., 2007).

Finalmente, foi identificado que existia a necessidade de **melhorar o fluxo de informações** dentro do SAE. Ao longo do diagnóstico, foram identificadas diversas iniciativas de melhoria sendo estas realizadas de forma desconectadas das demais (inclusive o desenvolvimento do próprio SMD). As entrevistas realizadas na parte final da etapa de compreensão apontaram falhas na disseminação destas iniciativas entre os representantes da Empresa F e empresas subcontratadas. Por esse motivo, foram propostos mapas de objetivos e ações estratégicas para o programa de implementação *Lean*. Estes mapas serão descritos a seguir, na etapa de Desenvolvimento e Implementação.

5.2.1.2 Etapa de Desenvolvimento e Implementação – Empresa F

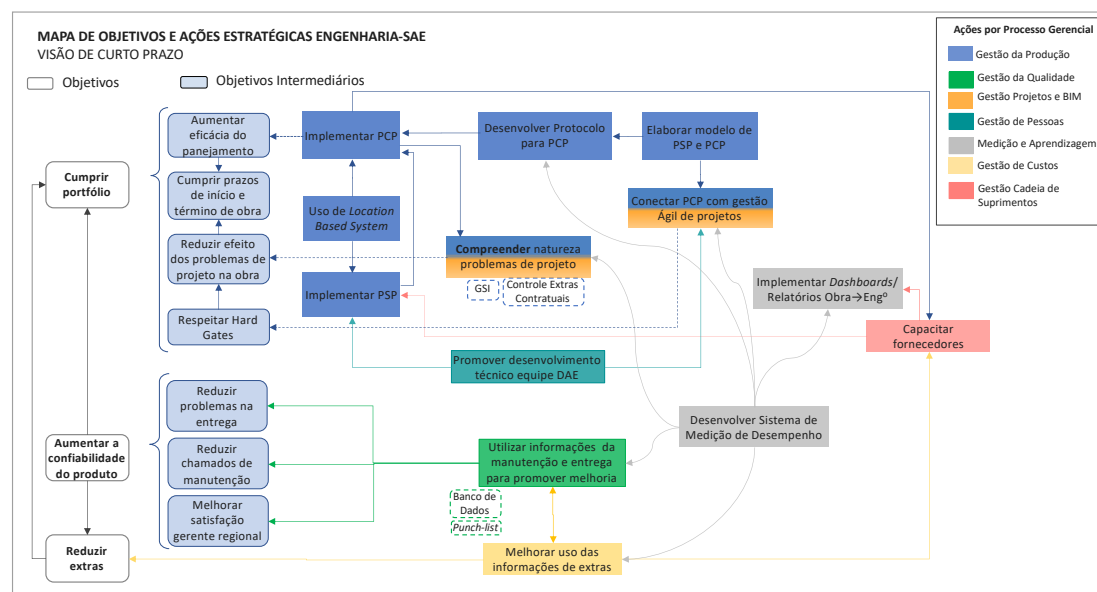
5.2.1.2.1 *Mapas de objetivos e ações estratégicas para a implementação Lean*

Os mapas de objetivos e ações estratégicas para o programa de implementação *Lean* na gestão de obras na empresa foram desenvolvidos com o objetivo de explicitar e priorizar as ações de implementação a serem consideradas no desenvolvimento do SMD. O desenvolvimento dos mapas iniciou com a definição de três objetivos principais, estabelecidos a partir dos objetivos estratégicos do SAE. Objetivos intermediários foram definidos a partir destes objetivos principais, permitindo estabelecer as ações conectadas ao programa de implementação *Lean*. As ações foram divididas em horizontes de curto prazo, médio e longo prazo de implementação. As ações foram distribuídas em sete processos gerenciais: gestão da produção, gestão da qualidade, gestão de projetos e BIM, gestão de pessoas, gestão de custos, gestão da cadeia de suprimentos, e medição de desempenho e aprendizagem.

O mapa com ações de curto prazo apresenta uma visão de 18 meses e forte ênfase na área de gestão de obras (Figura 32). Esse enfoque é uma consequência das ações do programa de implementação *Lean* que ocorria em paralelo ao trabalho de medição de desempenho. O programa estava fortemente embasado na implementação de melhorias no planejamento e controle da produção com ênfase no SLP. As ações de medição de desempenho e aprendizagem permeavam as demais ações, mostrando que o SMD deveria apoiar sua implementação, fornecendo informações relevantes. As ações de curto prazo nas áreas de qualidade, gestão de custos, gestão de pessoas e gestão da

cadeia de suprimentos eram bastante incipientes, representando apenas um início do trabalho nestes temas.

Figura 32– Mapa com ações de curto prazo da Empresa F.



O mapa com visão de médio prazo foi elaborado para um horizonte de três anos, prevendo a continuidade das ações nas áreas de gestão de projetos, gestão da qualidade, gestão da cadeia de suprimentos e gestão de custos (Figura 33). Embora os objetivos não tenham sido alterados em relação ao mapa de curto prazo, as ações foram ampliadas. A ação de identificar problemas de projeto estabelecida no mapa de curto prazo, por exemplo, avança para que estes problemas sejam tratados. No âmbito da gestão da cadeia de suprimentos, o mapa de médio prazo busca expandir o programa de capacitação *Lean*, ampliando o escopo e alcance. Na área de gestão de custos, a ação de melhorar o uso das informações de extras (adicionais de contrato) é ampliada para prever um monitoramento durante a execução da obra. Ainda, o mapa de médio prazo posiciona o SMD de forma central às ações para o programa de implementação *Lean* na gestão de obras, dando ênfase aos *dashboards*.

Já o mapa de longo prazo representa uma tentativa de apresentar uma visão de futuro para o SAE (Figura 34). Nesta visão de futuro, apenas os objetivos principais permanecem os mesmos. A expectativa da empresa para o longo prazo é focar em objetivos intermediários que enfatizem o aumento do grau de industrialização, o uso de tecnologias para a gestão integrada de processos e a sustentabilidade com ênfase no

conceito de circularidade. As ações para alcançar estes objetivos estão focadas nas áreas de produção, pessoas, projetos e gestão da cadeia de suprimentos.

Figura 33 - Mapa com ações de médio prazo da Empresa F.

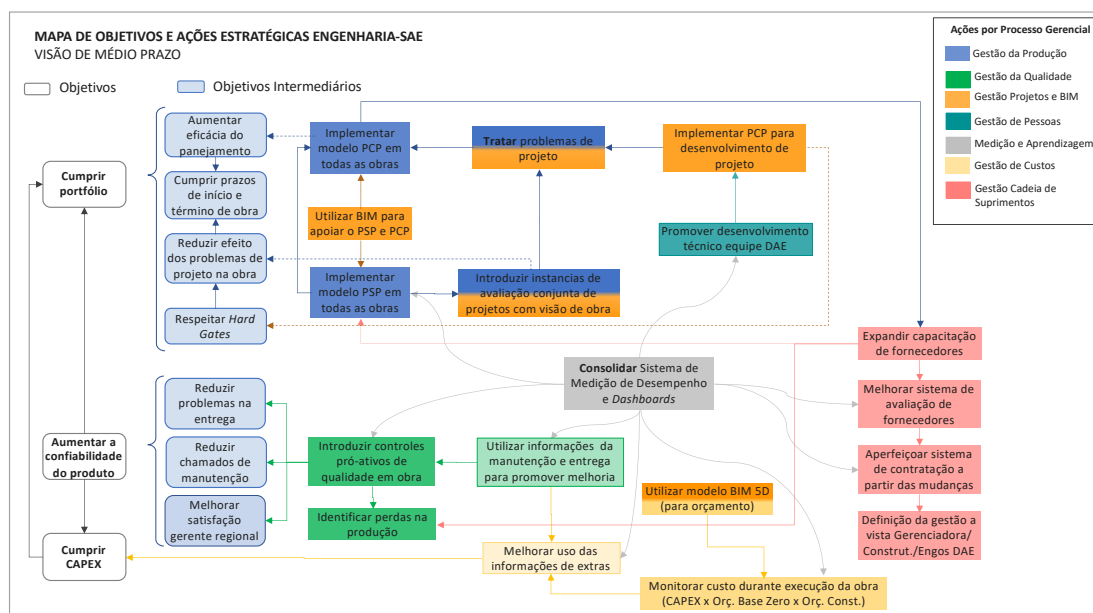
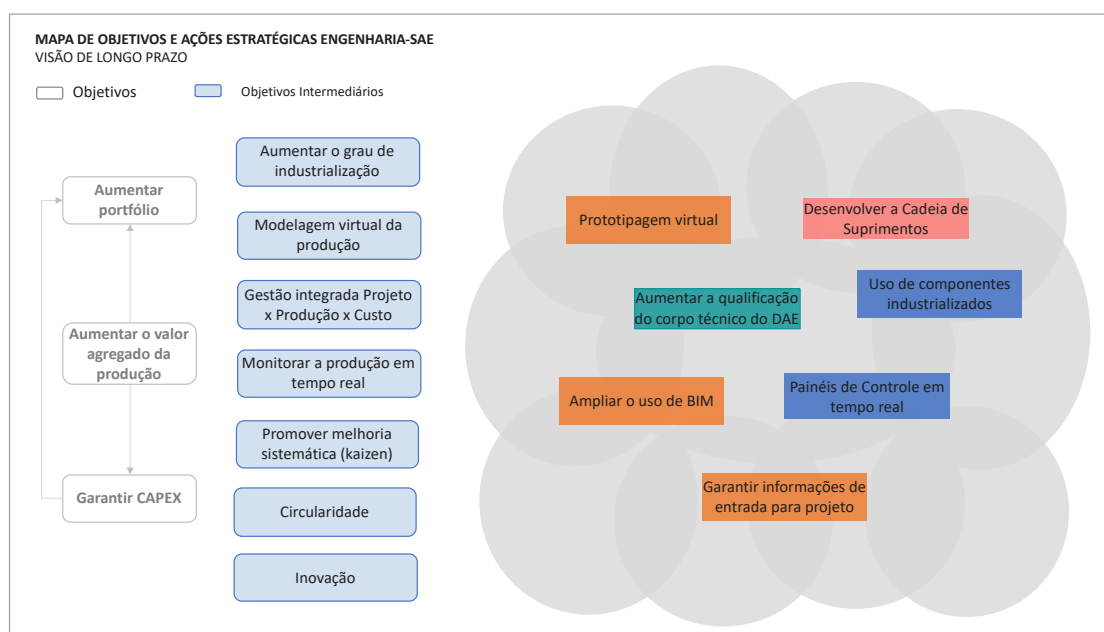


Figura 34 - Mapa com ações de longo prazo da Empresa F.



5.2.1.2 Instância para tomada de decisão

Com base na primeira proposta de SMD elaborada pela pesquisadora na Etapa de Compreensão e nas ações estabelecidas no mapa de curto prazo, o Grupo SMD passou para à definição dos componentes do sistema. Seguindo componentes propostos na literatura (Neely et al., 1996; Bourne et al., 2000; Franco-Santos et al., 2007; Braz et

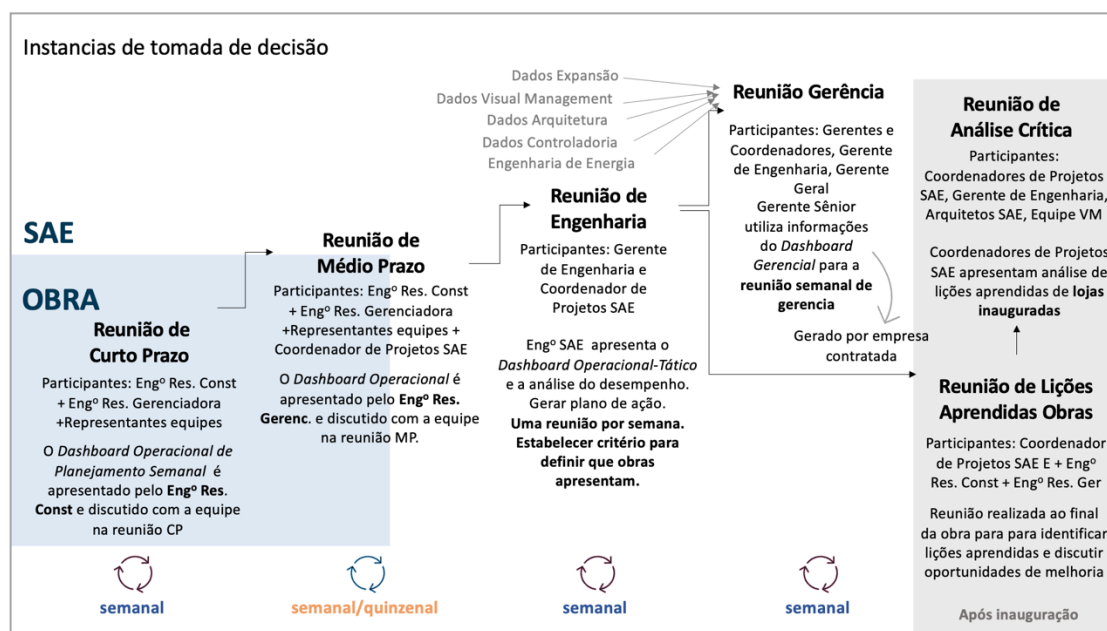
al., 2011), foram estabelecidos **os indicadores propriamente ditos, os *dashboards* para análise e controle, e os ciclos de aprendizagem e melhoria contínua do SMD (instancias de tomada de decisão, informes, responsáveis, frequência, inputs e outputs de cada etapa).**

O desenvolvimento do SMD teve como ponto de partida o desenvolvimento e implementação de um modelo de PCP, que combinava o SLP e o PCBL. Nesta etapa do trabalho, a **implementação dos indicadores** conectados ao SLP estava sendo realizada através do programa de implementação *Lean*, com a participação da autora desta tese. Com o avanço do uso destes indicadores, a autora propôs **métricas complementares** para monitorar os processos em execução, com base nos requisitos para SMDs identificados na primeira etapa da pesquisa. Estes indicadores estão fortemente ligados ao PCBL, podendo ser citados como exemplo: tempo de ciclo, aderência ao lote planejado, curvas de ritmo, WIP e projeção de prazo de entrega da obra.

Em paralelo ao programa de implementação *Lean*, o Grupo SMD passou a definir as **instâncias para tomada de decisão** que fariam parte do SMD e do sistema de gestão dos empreendimentos. O objetivo era gerar ciclos de aprendizagem e melhoria contínua com a definição de momentos para análise dos indicadores conectados por meio dos *dashboards*. Foram estabelecidas 6 instancias de tomada de decisão, conforme ilustra a Figura 35. É importante destacar que todas estas instâncias de tomada de decisão já existiam na empresa, sendo necessário apenas adaptar seu objetivo e escopo para incorporar as alterações procedentes do SMD.

As reuniões de curto e médio prazo foram estabelecidas através do modelo de PCP. A reunião de curto prazo ocorria semanalmente no âmbito de cada obra. Um *dashboard* operacional de planejamento semanal, desenvolvido pelo Grupo SMD, apoiava a discussão dos indicadores nesta reunião. A reunião de médio prazo, com frequência semanal ou quinzenal, dependendo da etapa do projeto, envolvia o Coordenador de Projetos SAE responsável pela obra. Parte das informações do *dashboard* operacional de planejamento semanal eram utilizadas no *dashboard* operacional, também proposto pelo Grupo SMD. O *dashboard* operacional era apresentado pelo Engenheiro Coordenador de obra da empresa gerenciadora na reunião de médio prazo na obra.

Figura 35 – Proposta de instancias de tomada de decisão da Engenharia SAE, incluindo participantes e frequência.



Semanalmente, os Coordenadores de Projetos SAE juntamente com o Gerente de Engenharia realizavam uma reunião de Engenharia para analisar e discutir o andamento das obras. Para esta reunião o Grupo SMD propôs um *dashboard tático*, permitindo comparar um conjunto de obras. Nesta reunião cada Coordenador de Projetos SAE apresentava o *dashboard* e a análise do desempenho de suas obras. O *dashboard* operacional de cada obra fornecia informações para o *dashboard* utilizado na reunião de engenharia. Como consequência da discussão, nesta reunião eram gerados planos de ação para as obras que apresentam resultados abaixo do esperado.

Parte dos indicadores do *dashboard tático* permitiam complementar a análise em nível estratégico, realizada na reunião gerencial que tinha frequência semanal. Nesta reunião o Gerente de Engenharia discutia os resultados das obras do SAE com o Gerente Geral e outros gerentes e coordenadores por meio do *dashboard* estratégico (desenvolvido por empresa subcontratada e descrito a seguir). As informações geradas pelos *dashboards* também eram utilizadas para uma reunião realizada ao final de cada obra para identificar lições aprendidas e discutir oportunidades de melhoria. Participavam desta reunião o Coordenador de Projetos SAE e as equipes da empresa gerenciadora e da empresa construtora. Por fim, duas vezes ao ano era realizada uma reunião de Análise Crítica do conjunto de obras que foram finalizadas no período. Nestas reuniões

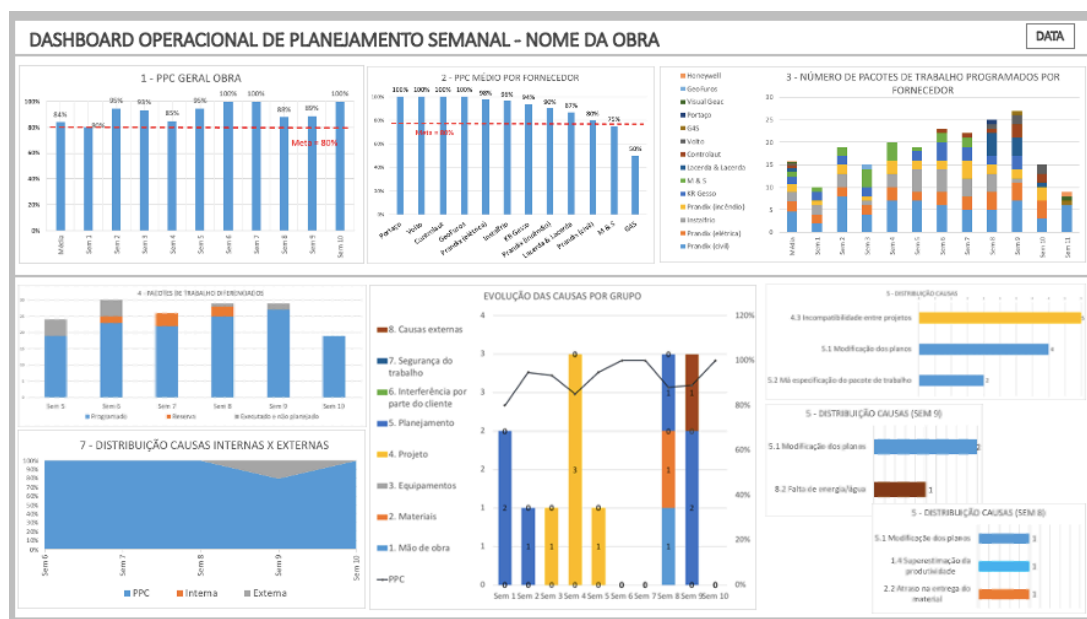
os Coordenadores de Projetos SAE apresentavam uma análise das lições aprendidas nos empreendimentos inaugurados.

5.2.1.2.3 Dashboards

Em função da disponibilidade de tempo dos participantes da empresa, o **desenvolvimento e implementação dos dashboards** foi focado nos dispositivos que estivessem vinculados a alguma instancia de tomada de decisão. Contudo, foi sugerido que, posteriormente, a empresa desenvolva outros dispositivos para uso de profissionais específicos, ou até mesmo para empresas subcontratadas.

Com a implementação do modelo para PCP, os indicadores vinculados ao SLP passaram a ser gerados em todas as obras da empresa. A pesquisadora constatou que cada empresa construtora apresentava estes indicadores de maneira distinta, sendo que algumas representavam exemplos positivos e outras não. Algumas empresas não realizavam qualquer análise dos dados gerados com base no controle de curto prazo. Esse assunto foi discutido com o Grupo SMD, que optou por agrupar os indicadores de forma que pudessem ser automaticamente atualizados e permitissem uma análise conjunta. Os indicadores conectados ao planejamento de curto prazo do SLP foram agrupados no *dashboard* de planejamento semanal (*Figura 36*), vinculado às reuniões de curto prazo de produção (*commitment planning meetings*), estabelecendo um padrão para todas as obras.

Figura 36 – Dashboard Operacional de Planejamento Semanal.



A pesquisadora constatou também que o mesmo que acontecia no nível de curto prazo, ou seja, a falta de padrão na apresentação dos indicadores, ocorria também na reunião de médio prazo, mas neste caso a responsabilidade da análise dependia da empresa gerenciadora. Por se tratar de um nível de gerenciamento tático, considerando o ponto de vista da obra, o Grupo SMD optou por incluir outros indicadores que deveriam ser analisados na instância de tomada de decisão do médio prazo, além daqueles vinculados ao SLP. O objetivo era permitir uma análise mais ampla do andamento da obra.

O desenvolvimento do *dashboard* operacional ocupou diversas reuniões do Grupo SMD. A empresa não possuía indicadores que pudessem subsidiar os gestores com as informações que permitissem o monitoramento de elementos importantes do ponto de vista da LC, como o controle do WIP, o ritmo de execução dos processos críticos, o monitoramento de metas intermediárias, perdas por retrabalho e trabalho inacabado, e avaliação da qualidade do produto e dos serviços em obra. Assim, foram realizadas reuniões para desenvolvimento de indicadores e gráficos que permitissem monitorar estes elementos. Os participantes do Grupo SMD estavam sempre presentes, e outros colaboradores eram convidados a participar de acordo com assuntos específicos. A proposta final de *dashboard* operacional (Figura 37) agrupa os indicadores de um empreendimento divididos em 5 zonas: prazo e WIP, ritmo e projeção de entrega, custo, melhoria e aprendizagem e resíduos.

A **zona de prazo e WIP** do *dashboard* operacional apresenta informações referentes ao avanço físico acumulado e mensal. Foi incluída a medida de avanço físico com terminalidade, considerando apenas as tarefas que são totalmente finalizadas com qualidade na referida localização. A diferença entre o avanço físico tradicional e o avanço físico com terminalidade representa uma medida de WIP.

Também foram incluídos alertas (análogos a semáforos) para as metas intermediárias principais para a entrega da obra. O gráfico de pacotes de trabalho diferenciados por tipo foi adaptado a partir do seu desenvolvimento na empresa C. Esse gráfico mostra a distribuição das tarefas planejadas no curto prazo, de acordo com sua natureza. No caso da Empresa F, foram estabelecidas inicialmente as categorias de tarefa programada, tarefa pendente, tarefa reserva, tarefa de retrabalho e tarefa executada mas não planejada (trata-se de uma tarefa não prevista, mas que emerge ao longo da semana). Este gráfico permite analisar a qualidade do planejamento durante o período inicial da

implementação. Também permite monitorar a quantidade de atividades de retrabalho. A empresa planeja incluir duas novas categorias: tarefa programada conforme plano de longo prazo e tarefa atrasada conforme plano de longo prazo.

Para o **monitoramento do ritmo** o Grupo SMD selecionou os processos mais críticos e que influenciam nas metas de entrega da obra. Estes processos são monitorados semanalmente para que qualquer problema possa ser tratado de forma a não impactar em tarefas seguintes. A **projeção de entrega** da obra é calculada através de uma ponderação dos dados de atraso ou antecipação dos processos críticos monitorados no gráfico de ritmo.

Na zona **melhoria e aprendizagem** do *dashboard* de operacional, o Grupo SMD optou por utilizar os indicadores do SLP de índice de remoção de restrições e causas da não conclusão dos pacotes de trabalho. Estes gráficos devem permitir acessar as informações mais detalhadas que são disponíveis no *dashboard* de planejamento semanal ou até mesmo, nos planos de médio e curto prazo da obra. *Dashboards* dinâmicos devem permitir que o usuário obtenha informações que complementem a análise (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). O objetivo de incluir estes dois indicadores é comunicar às equipes de obra a importância da antecipação e do aprofundamento dos problemas de obra.

Em relação ao **custo**, os colaboradores da empresa enfatizaram a necessidade de monitorar dados referentes ao faturamento direto total e faturamento de serviços e de materiais. O Grupo SMD sugeriu estabelecer intervalos com cores (análogas a um semáforo) que alertassem para possíveis desvios em relação ao esperado. O Grupo também utilizou um formato de apresentação único para esta informação, destacando estes indicadores dos demais. Além de exibir o desempenho do indicador, a zona de custos apresenta uma tabela com os valores monetários previsto, realizado e saldo e o percentual consumido, para montantes de contrato da construtora e de faturamento direto. O monitoramento dos valores adicionais e extras é destacado no gráfico que compara os valores previstos com realizados.

O monitoramento dos **resíduos** gerados em obra foi identificado pelo Grupo SMD como uma dimensão competitiva em potencial para a empresa no futuro. Este objetivo foi formalizado através dos mapas para o programa de implementação *Lean*. As obras

monitoram o volume e peso de resíduo gerado, e sua distribuição conforme destinação (reciclado, reaproveitado ou aterro). A empresa estava implementando o monitoramento do consumo de energia, de água e seu equivalente em pegada de CO₂, e pretendia incluir estes indicadores no *dashboard* futuramente.

O *dashboard* tático (Figura 38) foi desenvolvido com o objetivo de apoiar as reuniões semanais de engenharia. Propôs-se, para esta reunião, comparar os empreendimentos em execução, permitindo analisar os projetos que possuem prioridade, pela proximidade da entrega ou pela incidência de problemas de planejamento e controle. Dessa forma, os indicadores foram divididos em cinco zonas: prazo, custo, terminalidade, qualidade do produto e do serviço prestado e resíduos.

Figura 37 - Dashboard Operacional da Empresa F.

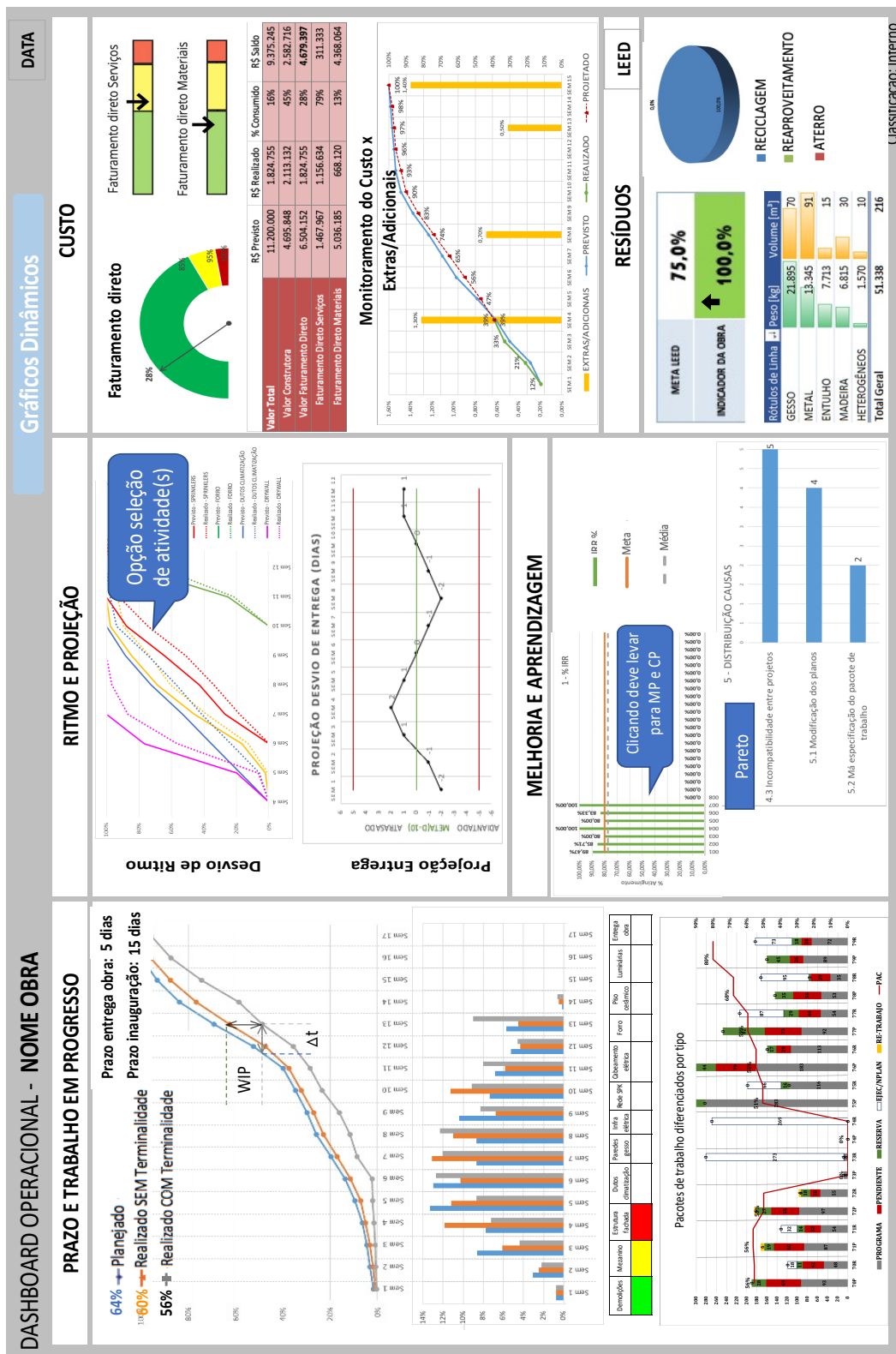


Figura 38 – Dashboard Tático da Empresa F.



O Grupo SMD adaptou alguns dos indicadores do *dashboard* operacional de forma que permitissem uma comparação entre empreendimentos. Esse foi o caso do **indicador de avanço físico**, que foi convertido em barras que apresentavam as mesmas cores do gráfico original. Conforme apontado na literatura, elementos visuais, como cores, sinais, símbolos e gráficos, apoiam a **priorização**, alertando o usuário para aquilo que requer atenção (Yigitbasioglu & Velcu, 2012). O indicador de WIP e diferença de avanço físico previsto e realizado foram apresentados em valores percentuais. O formato de apresentação do indicador de **resíduos** também foi modificado para barras, mantendo a mesma informação, mas comparando obras distintas.

Alguns indicadores que não faziam parte do *dashboard* operacional foram incluídos no *dashboard* tático, considerando que diferentes usuários possuem necessidades de informação distintas, de acordo com seu **nível hierárquico** (Eckerson, 2005). Em relação ao prazo, foi incluído o **desvio de prazo** em relação à data de término da obra e à data de inauguração da loja. O prazo de entrega foi priorizado através de recursos gráficos, por fornecer informação que permite evitar um atraso na data final de entrega do empreendimento como um todo. Foram estabelecidos limites inferior e superior para este indicador, apontando que o objetivo é atingir um desvio de prazo próximo de zero.

Seguindo a mesma proposta do gráfico de prazo, a zona de custo do *dashboard* tático, inclui o desvio de custo. Neste caso, foi estabelecido apenas o limite superior, demonstrando incentivo à redução do custo. Ainda, foi incluído um gráfico para comparação do valor previsto (CAPEX) com o valor real e valores extras. Neste gráfico, valores extra sempre aparecem na cor vermelha, chamando a atenção para o seu caráter negativo. A cor da barra do valor previsto aparece em cinza e a cor da barra do valor real depende do seu percentual em relação ao previsto. Por fim, o gráfico de controle de extras do *dashboard* operacional foi convertido em barras, sendo complementado por informações de valores percentuais e número absoluto de extras aprovados e em análise

Seguindo os objetivos e ações propostas nos mapas para o programa de implementação *Lean*, o Grupo SMD incluiu no *dashboard* tático uma zona para informações referentes à **avaliação dos fornecedores**. Para tanto, o Grupo sugeriu que fosse desenvolvido um protocolo para avaliar a qualidade dos serviços prestados em obra, permitindo gerar um indicador. Neste caso, setas foram incluídas de maneira a demonstrar melhoria ou piora

do indicador de um período para o outro. Para avaliar a **qualidade do produto** foi sugerido incluir um indicador de retrabalho. Contudo, a empresa ainda não possuía este indicador e, por esse motivo esta parte foi deixada em branco na zona qualidade.

Para a reunião de gerência não foi definido *dashboard* ou outro tipo de mecanismo, já que a Empresa F havia contratado a empresa Delta para desenvolver um *dashboard* para o nível estratégico (denominado *dashboard* estratégico). Para a reunião de lições aprendidas nas obras, o Coordenador de Projetos SAE é responsável por preparar uma apresentação a partir de discussão com o Coordenador de obras da construtora e Coordenador de obras da gerenciadora. A mesma apresentação é utilizada na reunião de análise crítica, quando é elaborado um relatório de lições aprendidas.

Para cada um dos *dashboards* e o relatório de lições aprendidas foi definido um processo que estabelece os responsáveis por compilar os indicadores e gerar os relatórios e como estes são operacionalizados. Essa parte do trabalho representa uma parcela não visível do SMD, mas que precisa ser definida de maneira a fazer com que o dispositivo visual seja gerado (Valente et al., 2019). A Figura 39 apresenta um resumo do processo para gerar dashboards e relatório lições aprendidas da Empresa F como imaginado pelo Grupo SMD. Considerando o tempo para desenvolvimento do trabalho e a necessidade de desenvolvimento tecnológico para o uso dos dashboards através da plataforma *MS Power BI*, essa proposta permaneceu como sugestão para o futuro. O uso deste tipo de plataforma representa uma maneira de facilitar as tarefas de gestão (Eckerson, 2005). Contudo, o processo real utilizado na empresa se baseia em planilhas MS Excel, conforme mostrado na Figura 40, e explicado a seguir, considerando que soluções mais flexíveis introduzem maior flexibilidade para que a empresa possa realizar atualizações (Yigitbasioglu & Velcu, 2012).

Buscando relacionar os dashboards e o relatório de lições aprendidas com as instâncias de tomada de decisão e com os envolvidos em cada etapa, foi gerado um resumo com estas informações (Figura 41).

Figura 39 - Proposta de processo para gerar dashboards e relatório lições aprendidas SAE, incluindo responsáveis e conexão com instâncias de tomada de decisão.

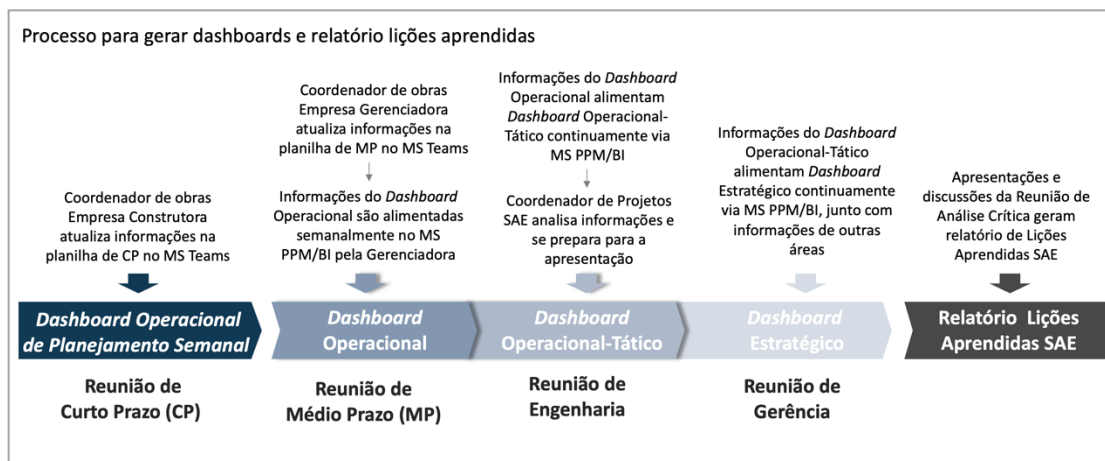


Figura 40 - Proposta de fluxo de informações dos informes do SMD da Engenharia SAE.

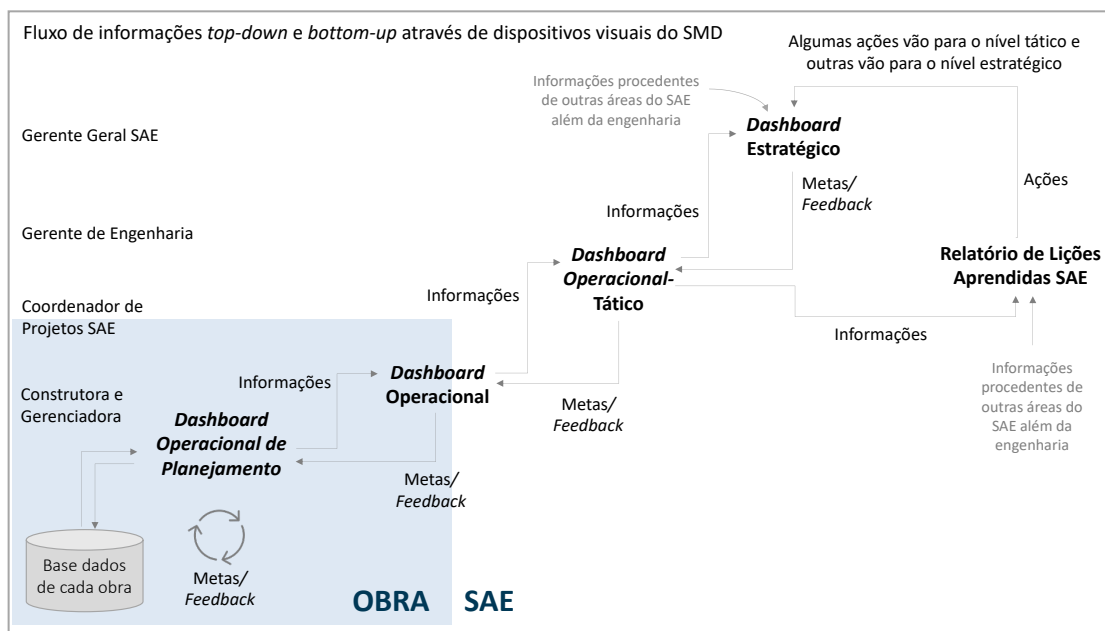


Figura 41 – Resumo dos envolvidos, instâncias de tomada de decisão e respectivo dispositivo de apoio.

	Instância de Decisão	Dispositivo gerado	Nº de projetos	ENVOLVIDOS					Nível hierárquico	
				Coord. de obras Empresa Construtora	Coord. de obras Empresa Gerenciadora	Coord. de Projetos SAE	Gerente de Engenharia	Gerente Geral SAE		Arquiteto SAE
1	Reuniao Curto Prazo	Dashboard Operacional de Planejamento Semanal	1	✓	✓					Operacional
2	Reuniao Médio Prazo	Dashboard Operacional	1	✓	✓	✓				Operacional
3	Reuniao de Lições Aprendidas obra	Apresentação resumo	1	✓	✓	✓				Operacional
4	Reuniao de Engenharia	Dashboard Operacional-Tático	Cenário de n projetos			✓	✓			Tático
5	Reuniao de Gerência	Dashboard Estratégico	Cenário de n projetos				✓	✓		Estratégico
6	Reuniao de Análise Crítica	Relatório Lições Aprendidas SAE	Cenário de n projetos			✓	✓	✓	✓	Tático

Em paralelo ao desenvolvimento do SMD, o Grupo SMD discutia como os dashboards e o relatório de lições aprendidas estariam conectados. As fontes das informações que seriam apresentadas também foram objeto de discussão deste Grupo.

A Figura 40 apresenta esse fluxo de informação, de forma a explicitar aos usuários que todos estes mecanismos estavam conectados. As metas são desdobradas desde o nível estratégico até o nível mais operacional, passando pelo *dashboard* tático, *dashboard* operacional e *dashboard* operacional de planejamento semanal. Isso permite que um usuário do nível estratégico possa acessar informações mais detalhadas através dos níveis tático e operacional (Eckerson, 2005; Cahyadi & Prananto, 2015). No nível operacional também ocorre a disseminação das metas e do *feedback* entre a equipe de obra.

O Grupo SMD definiu que as informações a serem utilizadas no *dashboard* operacional são obtidas através de planilhas de controle de cada obra. Estas planilhas representam bases de dados não conectadas entre si, integradas aos dashboards, de modo que os usuários tenham acesso às informações, conforme sugerido por Yigitbasioglu & Velcu (2012). As informações geradas com a medição de desempenho no nível operacional alimentam os níveis tático e gerencial, criando um fluxo *bottom-up* e *top-down*, tornando transparente as informações da área de produção a todos na área de engenharia do SAE (Bhasin, 2012). Informações procedentes de outras áreas do SAE, além daquelas provenientes do *dashboard* tático, complementam o *dashboard* estratégico e o relatório de lições aprendidas. Ações são definidas no relatório de lições aprendidas, sendo que algumas são direcionadas ao nível tático e outras ao nível estratégico, dependendo do seu alcance.

5.2.1.3 Etapa 3 - Análise e Avaliação – Empresa F

5.2.1.3.1 Dashboards da área de engenharia desenvolvidos nesta pesquisa

Para a análise e avaliação do SMD na Empresa F, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com profissionais que utilizavam as informações geradas pelos indicadores. As informações coletadas através das entrevistas individuais, das entrevistas em grupo e da análise de documentos foi organizado de acordo com os quatro constructos. Conforme descrito anteriormente, as propostas de *dashboard* operacional e tático foram apresentadas à equipe em formato de *mock-up*.

Nível de utilização do SMD: as evidências utilizadas apontaram que as reuniões de curto e médio prazo estavam sendo realizadas nas 13 obras representadas pelos entrevistados. Uma oportunidade de melhoria identificada foi em relação à análise das causas da não conclusão dos planos semanais. Apenas o Coordenador de Obra de uma empresa gerenciadora informou realizar análise semanal das causas mais frequentes. Na entrevista em grupo realizada após as entrevistas individuais, a pesquisadora reforçou a importância de manter a completa implementação do SLP em todos os projetos. Isso inclui a análise de todos os indicadores gerados a partir do planejamento nos níveis de curto e médio prazo. Um dos entrevistados destacou que os indicadores de melhoria e aprendizagem representam uma ferramenta que permite à empresa gerenciadora reforçar a necessidade de análise por parte da equipe da construtora.

Instâncias para análise dos indicadores: a proposta de instâncias para análise dos indicadores foi bem avaliada pelos entrevistados, principalmente não havia um aumento no número de reuniões, mas apenas eram adicionados indicadores que permitiam a análise com base nos dados das instâncias existentes.

Conjunto de indicadores que compõe os *dashboards*: algumas sugestões de inclusão de informações para complementar os gráficos propostos inicialmente foram feitas pelos entrevistados. A maioria das sugestões foram atendidas e incluídas nas propostas de *dashboard* operacional e tático. Uma das sugestões implementadas foi a inclusão de valor e número de extras e aditivos ainda não aprovados, permitindo ao gestor monitorar essa informação. Uma das sugestões deixada para o futuro foi a inclusão de duas novas categorias ao gráfico de pacotes diferenciados. A empresa F entendeu que precisava consolidar as categorias atuais antes de incluir novas. Outras sugestões não foram atendidas por exigir o desenvolvimento de novas ferramentas computacionais.

Possibilidade de padronização do SMD: todos os entrevistados destacaram a importância de implementar um formato padrão de apresentação dos resultados das obras, mesmo que cada empresa construtora e gerenciadora possuísse um relatório próprio para apresentar os resultados mensais ao Coordenador de Projetos SAE. De fato, os indicadores do SLP foram padronizados em todas as obras da empresa, e os entrevistados relataram que estavam de acordo com as propostas de *dashboards*. A Figura 42 resume as informações coletadas com as entrevistas na empresa F.

As informações obtidas através das entrevistas individuais foram discutidas com representantes da Empresa F em uma subsequente entrevista em grupo. Nesta oportunidade a autora formalizou a entrega da proposta final de SMD, incluindo as alterações sugeridas pelos entrevistados, e apresentou uma análise dos dashboards gerenciais desenvolvidos pela empresa Delta. A proposta de *dashboard* operacional e de *dashboard* tático foi aprovada pela equipe, dado que a mesma já havia sido discutida diversas vezes.

Figura 42 - Informações coletadas com as entrevistas de análise e avaliação.

Constructos analisados	Informações coletadas
Nível de utilização do SMD	<ul style="list-style-type: none"> · Indicadores do SLP eram utilizados em todas as obras. · Aprofundar a análise das causas da não conclusão dos planos de curto prazo representa uma oportunidade de melhoria.
Instâncias para análise dos indicadores	<ul style="list-style-type: none"> · Proposta foi bem avaliada pelos entrevistados, principalmente por não aumentar o número de reuniões.
Conjunto de indicadores que compõe os <i>dashboards</i>	<ul style="list-style-type: none"> · Parte das sugestões dos entrevistados foi incluída na proposta de <i>dashboard</i>. · Sugestões que requeriam o desenvolvimento de novas ferramentas computacionais permaneceram como melhorias para o futuro.
Possibilidade de padronização do SMD	<ul style="list-style-type: none"> · Necessidade de estabelecer um padrão de apresentação de resultados para todas as obras da empresa. Segundo os entrevistados, os <i>dashboards</i> operacional e tático representam uma boa proposta de padrão.

5.2.1.3.2 Dashboards da área de engenharia desenvolvidos pela Empresa Delta

Em relação à análise dos *dashboards* estratégicos, a equipe da Empresa F afirmou que se tratava de uma primeira versão desenvolvida com base nos dados que estavam disponíveis naquele momento. Foram analisadas as duas interfaces (telas) que haviam sido desenvolvidas (Figura 43 e Figura 44). A seguir, apresenta-se uma análise destas interfaces.

Na **análise dos indicadores que fazem parte do *dashboard* estratégico** observou-se que as interfaces mesclavam informações de desempenho, status de obra e status do portfólio. Por meio das entrevistas semiestruturadas com usuários das informações geradas pelos indicadores, foi constatado que estas informações eram analisadas em momentos distintos e possuíam diferentes enfoques. Os indicadores de status de portfólio eram analisados apenas quando da distribuição dos empreendimentos entre os engenheiros, arquitetos, gerenciadoras, construtoras e projetistas. Isto normalmente era

realizado em uma reunião anual de análise do portfólio. Assim, a autora desta tese sugeriu que futuramente fosse criado um dashboard com indicadores de status do portfólio, fornecendo informações para esta reunião específica ou para outras instâncias caso fosse necessário.

Figura 43 – Tela 1 do *dashboard* Estratégico da Empresa F.



Figura 44 – Tela 2 do *dashboard* Estratégico da Empresa F.



Em relação à **organização** dos indicadores do *dashboard* estratégico, constatou-se que não existia uma sequência lógica e que facilitasse a análise das informações. O dashboard estratégico incluía informações relativas a prazo, custo e qualidade, sem

permitir identificar os problemas mais importantes. Também não havia **conexão entre os indicadores** que faziam parte deste *dashboard*, um requisito que permite que sejam analisados cenários em relação ao conjunto de informações. Dessa forma, sugeriu-se que a empresa elaborasse um *dashboard* que consolide as áreas envolvidas, permitindo uma visão geral menos detalhada em primeira instância (Figura 45). A autora recomendou que este *dashboard* estratégico mais geral fosse desdobrado em outros *dashboards* com informações mais específicas considerando diferentes perspectivas: prazo, custo, qualidade e sustentabilidade. Na parte superior do dispositivo deveriam ser mantidas informações que sintetizam os resultados.

Figura 45 – Sugestão de *dashboard* estratégico.



A Figura 46 apresenta uma análise de cada indicador que fazia parte do *dashboard* estratégico e inclui sugestões para melhoria do mesmo.

Figura 46 – Análise do *dashboard* estratégico e sugestão da autora desta tese.

Informações do Dashboard Gerencial analisadas	Comentários	Sugestão de Dashboard Gerencial da autora da tese
Valor Capex Orçado, Contratado e Valor e Porcentagem de Aditivos	As informações relativas ao valor total da obra apresentam conexão com os indicadores de custo do dashboard operacional-tático e operacional de engenharia.	Mantido
Status Obra	As informações relativas ao status da obra apresentam conexão com os indicadores de avanço físico do dashboard operacional-tático e operacional de engenharia.	Mantido
Status início Obra		Mantido
Status Inaugurações		Mantido
Status TEOs Obtidos		Mantido
Avaliações - Media Geral: dentro da meta e fora da meta	Sugestão: Utilizar estas informações como feedback para a obra na reunião de Lições Aprendidas SAE.	Mantido
Distribuição da Avaliação Clientes - Média por Categoria	As informações relativas à avaliação dos clientes apresentam conexão com os indicadores de qualidade do dashboard operacional-tático de engenharia. Sugestão: utilizar como feedback para a obra.	Mantido
Distribuição dos Projetos por Tipo de Contrato	Dados de status da distribuição dos profissionais poderiam ser apresentados e um dashboard específico para esse tipo de informação. A forma de analisar essas informações é diferente da análise das informações de desempenho.	Sugestão: criar um Dashboard de Portfólio
Notificações em atraso e no prazo	Indicador de resultado, não permite identificar oportunidades de melhoria. Mas importante de ser monitorado pela gerencia.	Mantido
Informações de status da distribuição dos profissionais: arquitetos, engenheiros, gerenciadoras, construtoras	Dados de status da distribuição dos profissionais poderiam ser apresentados e um dashboard específico para esse tipo de informação. A forma de analisar essas informações é diferente da análise das informações de desempenho.	Sugestão: criar um Dashboard de Portfólio
Status Entregas Buyouts	As informações relativas ao status dos buyouts são apresentadas em mais detalhes nos dashboards operacional e tático da arquitetura.	Sugestão: incluir em dashboard específico para gestão de buyouts
Status Etapas Críticas por Duração	As informações relativas às etapas críticas apresentam conexão com o status dos processos críticos no dashboard operacional de engenharia.	Sugestão: incluir em dashboard específico para gestão de prazo
Status Etapas Críticas por Prazo	As informações relativas às etapas críticas apresentam conexão com o status dos processos críticos no dashboard operacional de engenharia.	Sugestão: incluir em dashboard específico para gestão de prazo
Etapas do Projeto	Incluído nos dashboards operacional e tático da arquitetura.	Sugestão: incluir em dashboard de arquitetura

Buscando tornar mais transparentes as informações que faziam parte de cada um dos *dashboards*, foi elaborada uma tabela comparando os indicadores incluídos no *dashboard* estratégico com os indicadores incluídos nos *dashboards* tático e operacional (Figura 47). Esta tabela mostra que existem informações que permeiam todos os níveis hierárquicos, mesmo que sendo apresentadas de forma diferente, e existem indicadores que são analisados apenas por um dos níveis. Essa é uma característica dos dashboards, entregar a informação necessária para diferentes níveis hierárquicos de uma empresa (Pauwels et al., 2009).

O indicador de valores de aditivos e extras, por exemplo, faz parte dos três níveis de *dashboards*. Em contrapartida, indicadores de PPC, causas da não conclusão dos planos semanais e índice de remoção de restrições fazem parte apenas do *dashboard* operacional. Ainda, as informações de status da obra do *dashboard* estratégico são mostradas por meio do indicador de avanço físico com e sem terminalidade (que apresenta o status da obra) no *dashboard* tático e no *dashboard* operacional.

Figura 47 – Comparação entre indicadores de *dashboards* estratégico, tático, operacional e operacional de planejamento semanal.

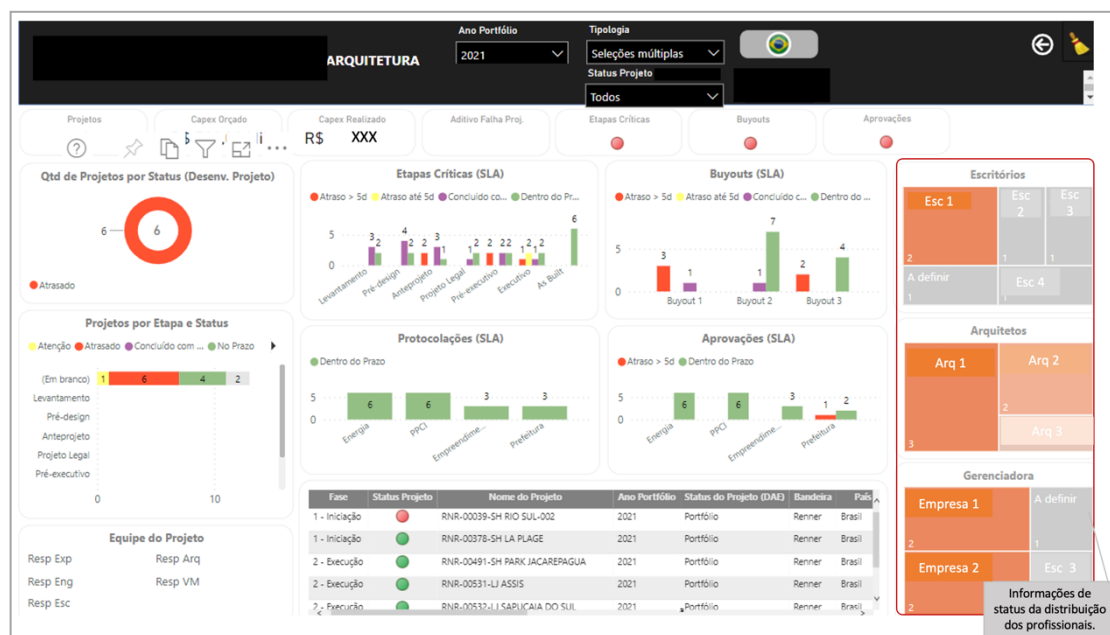
DASHBOARD ESTRATÉGICO	DASHBOARD OPERACIONAL-TÁTICO	DASHBOARD OPERACIONAL	DASHBOARD OPERACIONAL DE PLANEJAMENTO SEMANAL
Valor CAPEX Orçado e Valor Contratado	Valor CAPEX Orçado, Valor Real e Valor de Extras		
Valor e Percentual dos Aditivos e Extras	Valor e Percentual dos Aditivos e Extras, aprovados e em análise	Percentual de Extras e Adicionais	
	Desvio de Custo	Faturamento direto total, de serviços e de materiais	
		Valor Previsto, Valor Realizado, Valor Consumido e Saldo	
Status Obra	Desvio de Prazo	Projeção de Entrega	
Status início Obra	Avanço Físico Acumulado e mensal, com e sem terminalidade	Avanço Físico Acumulado e mensal, com e sem terminalidade	
Status Inaugurações	Percentual de trabalho em progresso	Percentual de trabalho em progresso	
Status TEOs Obtidos			
Status Entregas Buyouts		Entrega de grandes etapas	
Status Etapas Críticas por Duração		Avanço Físico de atividades críticas	
Status Etapas Críticas por Prazo		Desvio de Ritmo	
Avaliações - Média Geral: dentro da meta e fora da meta			
Distribuição da Avaliação Clientes - Média por Categoria			
	Qualidade do Produto e dos Serviços		
Distribuição dos Projetos por Tipo de Contrato			
Informações de status da distribuição dos profissionais: arquitetos, engenheiros, gerenciadoras, construtoras			
Notificações em atraso e no prazo			
	Resíduos	Resíduos	
		PPC e Controle de Pacotes diferenciados	PPC (geral e por fornecedor) e Controle de Pacotes diferenciados
		Distribuição das causas do PPC	Distribuição das causas do PPC, Causas internas e externas
		Índice de Remoção de Restrições	

5.2.1.3.3 Dashboards da área de arquitetura desenvolvidos pela Empresa Delta

Os *dashboards* para o processo de desenvolvimento de projetos de edificações na Empresa F apresentam informações bastante semelhantes àquelas incluídas nos

dashboards da área de engenharia. A Figura 48 apresenta uma das telas desse dashboard, na qual são apresentados indicadores de status do portfólio e outras informações de status, tais como: número de projetos por etapa de desenvolvimento, número de projetos protocolados e aprovados e número de *buyouts*¹² de acordo com o prazo.

Figura 48 – Tela 1 do *dashboard* estratégico de projetos de edificações da Empresa F.



Em reuniões com a coordenadora de arquitetura do SAE, uma arquiteta SAE e o gerente de engenharia, foi possível desenvolver uma proposta de *dashboard* tático (Figura 49) e uma proposta de *dashboard* operacional (Figura 50). Essa proposta busca atender a necessidade de informação da equipe e incluir indicadores de desempenho, complementando informações de status. O conhecimento a respeito dos processos e da cultura da empresa F, obtidos com o trabalho na área de engenharia, contribuíram para diminuir o tempo para desenvolver a proposta para desenvolvimento de projetos de edificações, considerando que não houve implementação destes *dashboards*.

O *dashboard* tático tem o objetivo de permitir à coordenadora de arquitetura analisar todos os projetos que estão em desenvolvimento, assim como permitir a análise de um projeto específico. Os gráficos do *dashboard* tático tentam mesclar as informações de status com desempenho. O gráfico de duração do desenvolvimento do projeto, por

¹² *Buyout* é o nome utilizado pela empresa F para se referir ao processo de aquisição de alguns equipamentos que possuem grande prazo de entrega (*lead time*) e alto valor monetário. Alguns exemplos de *buyouts* são elevadores, escadas rolante, geradores e *chillers*.

exemplo, estabelece uma envoltória de maior e menor prazo, permitindo que o prazo do(s) projeto(s) em análise possa(m) ser comparado(s) com estas informações. Este gráfico também permite analisar se um (ou vários) projeto(s) está(ão) iniciando e terminando no prazo, além de monitorar entregas parciais. Em relação às notificações enviadas aos clientes, optou-se por apresentar não apenas o número absoluto, mas enfatizar aquelas que foram solucionadas. Essa informação permite avaliar a melhoria da equipe em solucionar as notificações enviadas.

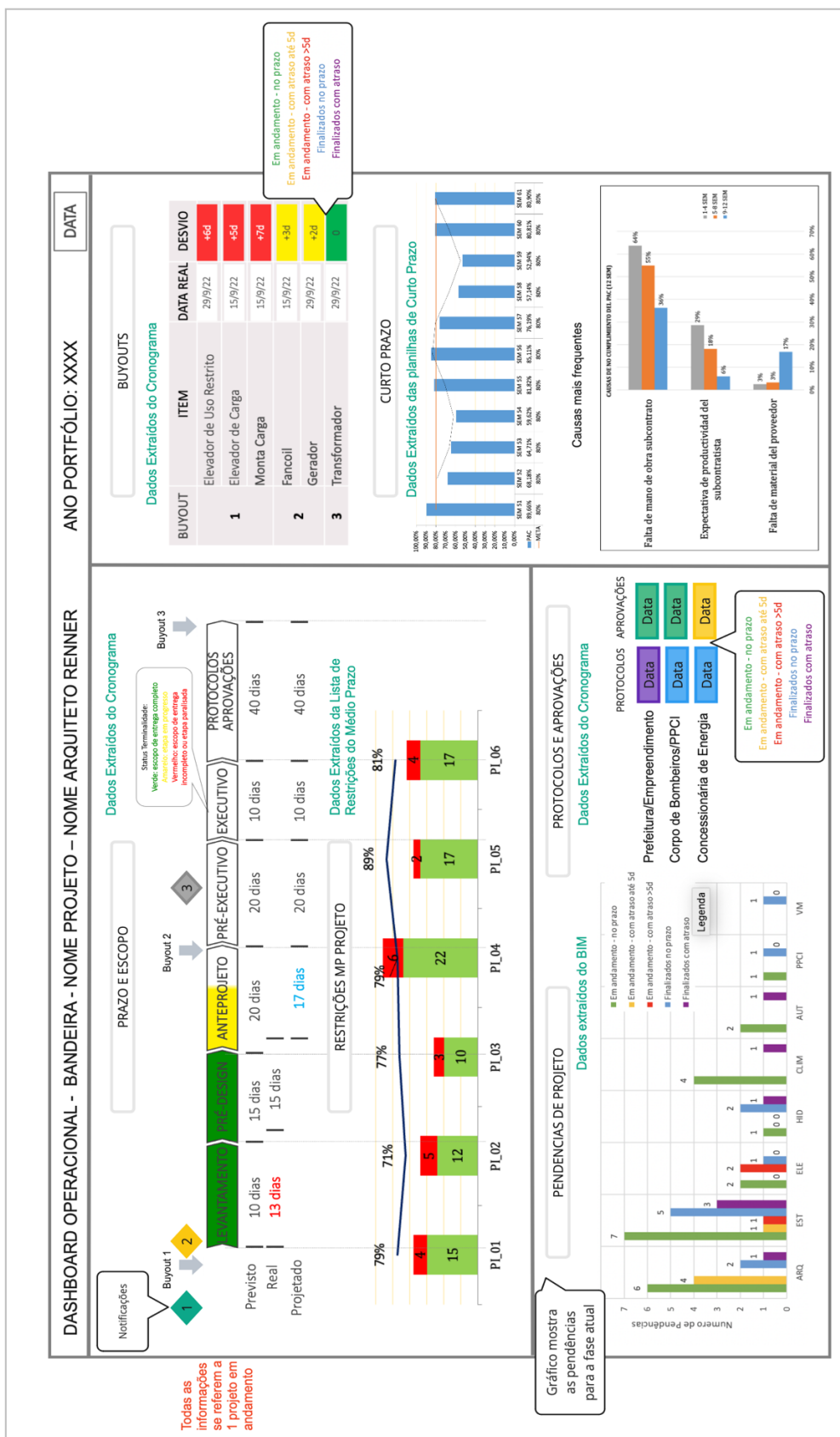
O *dashboard* operacional tem o objetivo de permitir aos arquitetos do SAE gerenciar cada um de seus projetos em desenvolvimento. O dispositivo permite analisar em que etapa o projeto se encontra, comparando com a etapa em que deveria estar (conforme planejamento) e com o projetado para o futuro. A etapa em que o projeto se encontra é pintada conforme a terminalidade do mesmo, sendo: verde se o projeto for entregue totalmente completo; amarelo se a etapa está em progresso; e vermelho se o escopo foi entregue de forma incompleta ou se a etapa se encontra paralisada.

Ainda, pode-se analisar a duração de cada uma das etapas, identificando possíveis atrasos e o comprometimento do prazo de entrega final. A eficácia na remoção das restrições de projeto é apresentada de acordo com a etapa em que o mesmo se encontra. Ainda, na linha do tempo de desenvolvimento de projeto pode-se analisar os marcos de *buyouts* e de notificações. A informação de atendimento dos *buyouts* pode ser analisada de forma detalhada de acordo com as datas planejadas e o seu desempenho (através de faróis em cores). Por fim, o *dashboard* operacional apresenta informações relativas ao planejamento de curto prazo de projeto, buscando enfatizar as causas da não conclusão dos planos semanais.

Figura 49 - Proposta de dashboard tático para desenvolvimento de projetos de edificações.



Figura 50 – Proposta de *dashboard* operacional para desenvolvimento de projetos de edificações.



5.2.2 EMPRESA C

5.2.2.1 Etapa de Compreensão do SMD – Empresa C

No início da etapa de Compreensão foi elaborado um protocolo para avaliação do sistema de gestão de obras da empresa. Este protocolo apresenta três partes que devem ser analisadas de forma conjunta: análise de indicadores coletados, *Gemba walk*¹³ e práticas de PCP. A primeira parte do protocolo deve ser avaliada antes da visita à obra e consiste em uma análise aprofundada dos dados de PCP da obra. Na segunda parte deve ser realizado um *Gemba walk* envolvendo a equipe de gestão da obra que está sendo analisada, buscando identificar oportunidades de melhoria de forma conjunta. A terceira parte do protocolo apresenta 15 práticas de PCP que representam uma evolução da proposta de Bernardes & Formoso (2002) (revisada posteriormente por Bulhões & Formoso, 2005 e Reck, 2010) considerando o nível de maturidade da implementação do PCP, com base na forma como a filosofia *Lean* foi implementada na empresa.

Nesta empresa, o SLP era utilizado em conjunto com um sistema baseado em localização (*Location Based System*) não apenas para planejamento, mas também para controle da produção. Ainda, todas as obras possuíam um quadro de gestão visual (ver exemplo na Figura 51) na sala de reuniões, no qual eram apresentados todos os indicadores vinculados ao SLP. Nesta etapa, estava sendo implementado um dispositivo visual móvel para disseminar informações de planejamento e controle das atividades nas frentes de trabalho, denominado de *Planning and Performance Management (PPM) Board* (Figura 52). Este dispositivo tem como objetivo facilitar o envolvimento dos trabalhadores das obras no planejamento e controle das tarefas.

A partir da análise realizada, verificou-se que as **informações coletadas não eram suficientes para permitir uma avaliação do desempenho** do empreendimento em execução e uma antecipação de resultados futuros. Outra oportunidade de melhoria que emergiu na etapa de Compreensão foi a **necessidade de prescrever de forma mais clara como as informações geradas pelos indicadores deveriam ser utilizadas**. Percebeu-se diferenças na forma de preenchimento dos indicadores e na compreensão dos gráficos. Também foi identificada a necessidade de **fomentar análises mais**

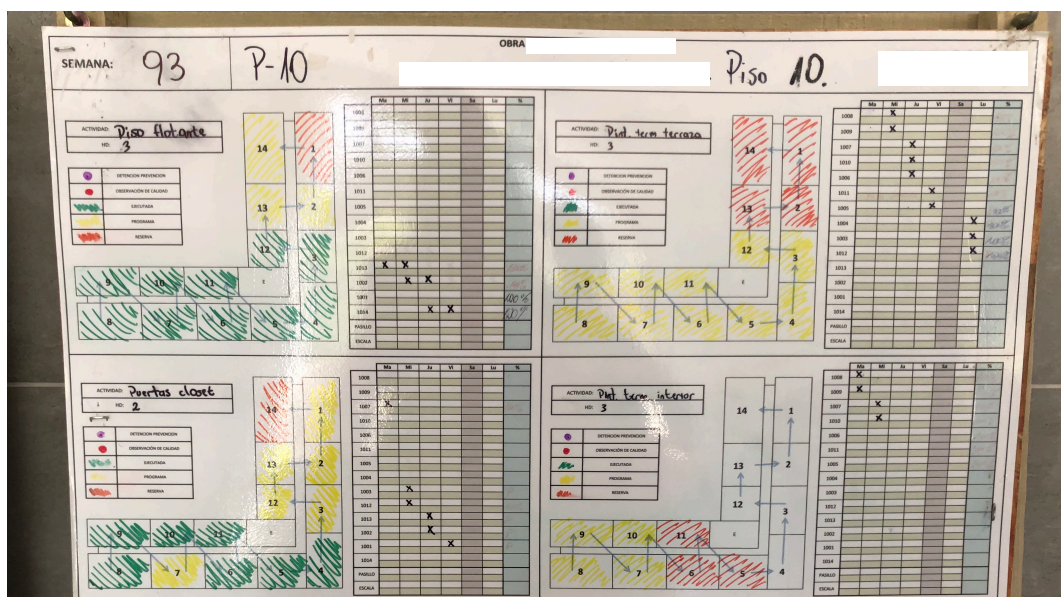
¹³ Na empresa C os eventos de *Gemba Walk* eram realizados na frente de trabalho, e incluíam uma visita planejada, uma avaliação e uma discussão. Trata-se de um processo participativo com pessoas internas e externas à obra. Ocorre em ciclos que geram aprendizado e normalmente é focado em um tema ou em um conjunto de processos.

aprofundadas a partir dos dados gerados pelos indicadores. Este fato pode ser justificado pelo modelo de gestão utilizado nas obras da Empresa C, que era focado na gestão tradicional de contratos das empresas subcontratadas. Esse modelo de gestão se contrapõe à filosofia *Lean*, na qual se deve analisar os desvios e atuar nas suas causas de maneira a promover uma aprendizagem conjunta. Por este motivo, identificou-se a **necessidade utilizar outros indicadores além daqueles utilizados inicialmente, além de implementar instancias formais para análise dos dados, reflexão e tomada de decisão.** Ao final da etapa de compreensão foram selecionados quatro estudos piloto a serem analisados em maior profundidade durante a etapa de desenvolvimento e implementação.

Figura 51 – Exemplo de quadro de gestão visual da empresa C.



Figura 52 – Extrato do *Planning and Performance Management (PPM) Board* da empresa C.



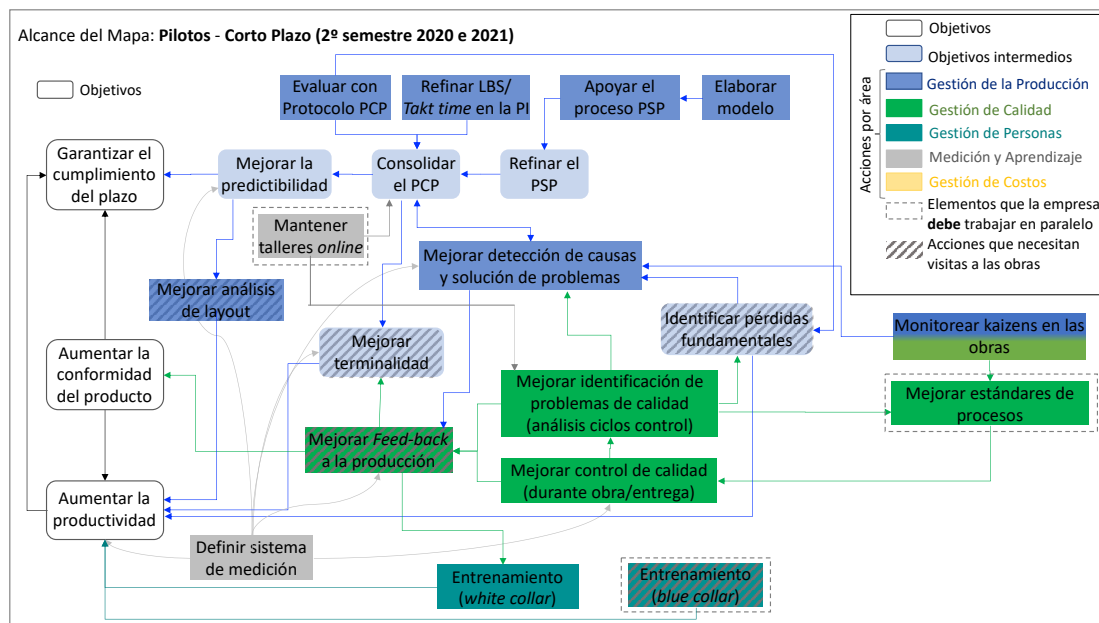
5.2.2.2 Etapa de Desenvolvimento e Implementação do SMD – Empresa C

5.2.2.2.1 Mapas de objetivos e ações estratégicas para a implementação *Lean*

Os mapas de objetivos e ações estratégicas para o programa de implementação *Lean* na gestão de obras desenvolvidos na empresa C auxiliaram na priorização das ações, pois existiam muitas áreas que necessitavam atenção. O Grupo SMD iniciou a concepção dos mapas pela definição dos objetivos principais da construtora. Foram estabelecidos três objetivos principais, a partir dos quais foram desdobrados outros objetivos intermediários. Estes objetivos possibilitaram definir ações conectadas ao programa de implementação *Lean*. As ações foram segmentadas em sete áreas de gestão: produção, qualidade, pessoas, custos, BIM, cadeia de suprimentos, e medição de desempenho e aprendizagem. O Grupo SMD buscou demonstrar que a medição de desempenho e aprendizagem permeavam as ações e objetivos, explicitando as conexões principais nos mapas de curto e médio prazo. Os mapas foram divididos em horizontes de curto prazo (visão de 18 meses), médio prazo (visão de 3,5 anos) e longo prazo (visão de 6 anos), de forma a priorizar as ações.

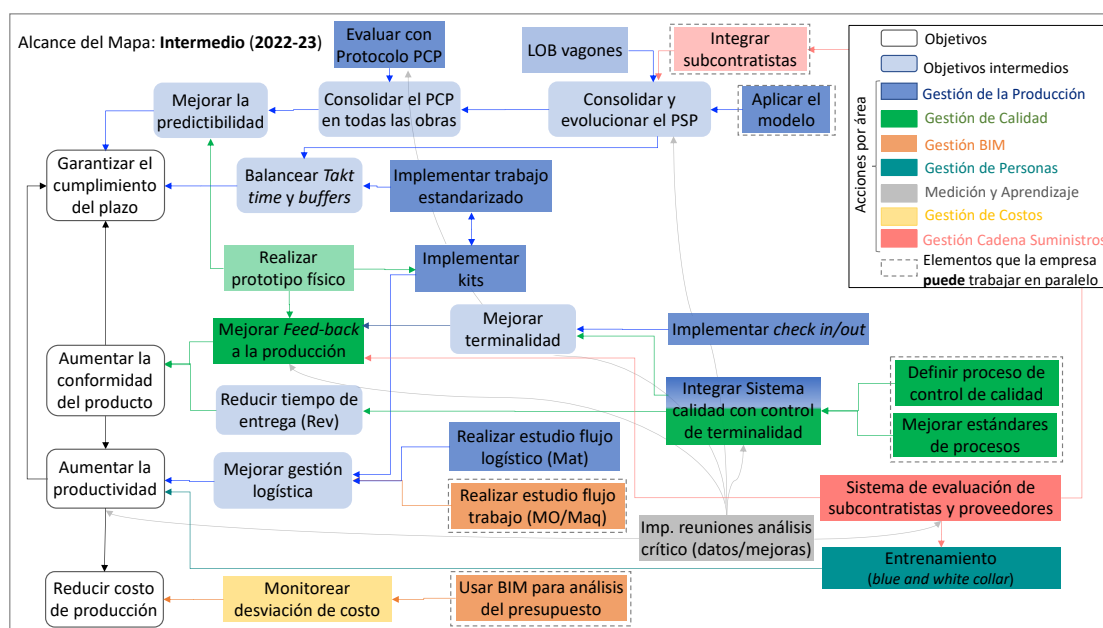
O mapa de curto prazo possui forte ênfase nas áreas de gestão da produção e gestão da qualidade (Figura 53). Grande parte das ações está direcionada a consolidar o PCP através do SLP em todas as obras, desenvolver um modelo de PSP para a empresa e melhorar a previsibilidade na gestão da produção. Também foram propostas ações na área de gestão de pessoas, de forma a qualificar os profissionais e mantê-los envolvidos com a implementação. Em função das limitações de viagem existentes durante esta etapa do trabalho (período de quarentena pela pandemia do Covid-19), foram definidas ações que seriam desenvolvidas pela equipe da empresa. Também foram estabelecidas ações a serem realizadas apenas após o período de quarentena, pois dependiam de visitas às obras.

Figura 53– Mapa com ações de curto prazo da empresa C.



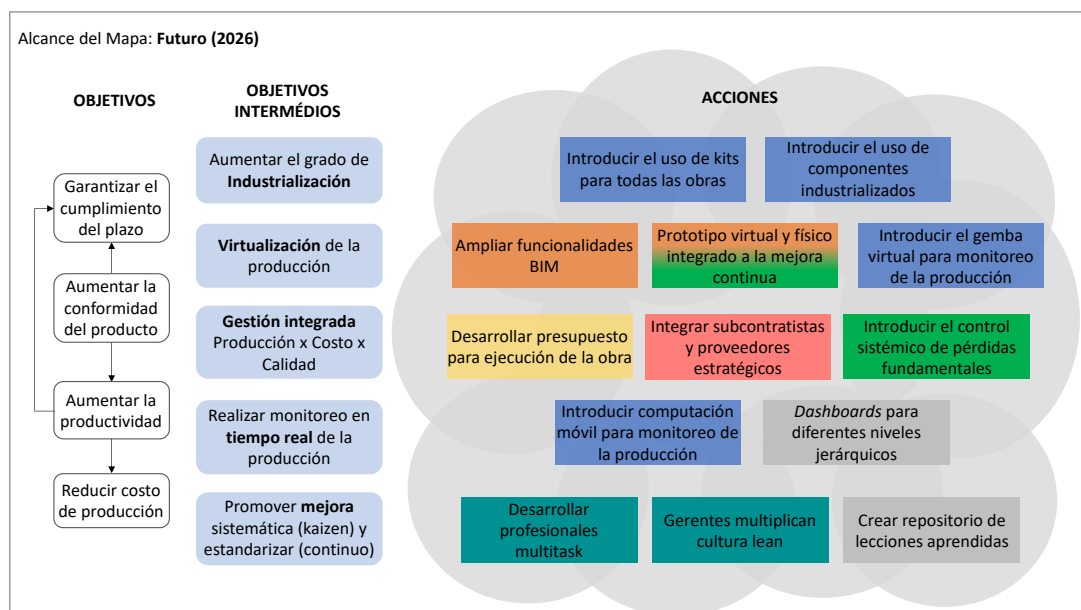
Foi acrescentado um quarto objetivo principal no mapa de médio prazo, prevendo que as ações na área de produção propostas no mapa de curto prazo permitiriam atuar na redução dos custos de produção. O alcance das ações é ampliado no mapa de médio prazo, propondo atuar nas áreas de implementação de BIM, gestão da cadeia de suprimentos e gestão de custos (Figura 54 e Figura 55). Isso é perceptível pela inclusão de outras cores além do azul e verde, predominantes no mapa de curto prazo.

Figura 54- Mapa com ações de médio prazo da empresa C.



O mapa de longo prazo consiste em uma visão de futuro, e apresenta uma proposta de ações alinhadas às ideias da indústria 4.0 (Figura 55). Os objetivos principais permanecem os mesmos, mas os objetivos intermediários e, conseqüentemente, as ações são alteradas. No cenário futuro a empresa espera promover uma gestão integrada entre as áreas de produção, custo e qualidade, apoiada pelo uso da tecnologia de informação e industrialização.

Figura 55- Mapa com ações de longo prazo da empresa C.



5.2.2.2 Proposta de novos indicadores e Dashboards de planejamento (SLP)

O Grupo SMD identificou a necessidade de incluir novos indicadores para suprir a análise do desempenho das obras. Assim, foram propostos indicadores de aderência ao lote planejado, de tempo de ciclo e de desempenho do planejamento (pacotes de trabalho diferenciados). Também foram propostos indicadores que forneciam informações quanto ao status da produção (por exemplo, planilha de controle da terminalidade das tarefas) e ao ritmo das atividades (desvio de ritmo) em execução e dados de WIP, além de indicadores que permitissem projetar o resultado quanto ao prazo final do empreendimento.

O desenvolvimento e a implementação destes indicadores foram realizados considerando a realidade da empresa e em colaboração com seus representantes. Quatro obras piloto foram escolhidas, sendo três de edifícios residenciais e um condomínio de casas para população de baixa renda. Durante a realização destes pilotos, foi identificada a necessidade de desenvolver uma base de dados para organizar as

informações geradas pelo SMD. O Grupo SMD desenvolveu uma base de dados através de planilhas do *MS Excel*, buscando automatizar o seu preenchimento a partir dos controles já existentes. Até então as informações do SLP não eram utilizadas de forma estruturada para gerar análises cruzadas entre empreendimentos.

A partir da proposta de novos indicadores e da base de dados, foram desenvolvidos os *dashboards* de planejamento de curto (Figura 56) e médio prazo (Figura 57). Estes consistem na versão final destes dispositivos visuais, que evoluíram ao longo do desenvolvimento do trabalho.

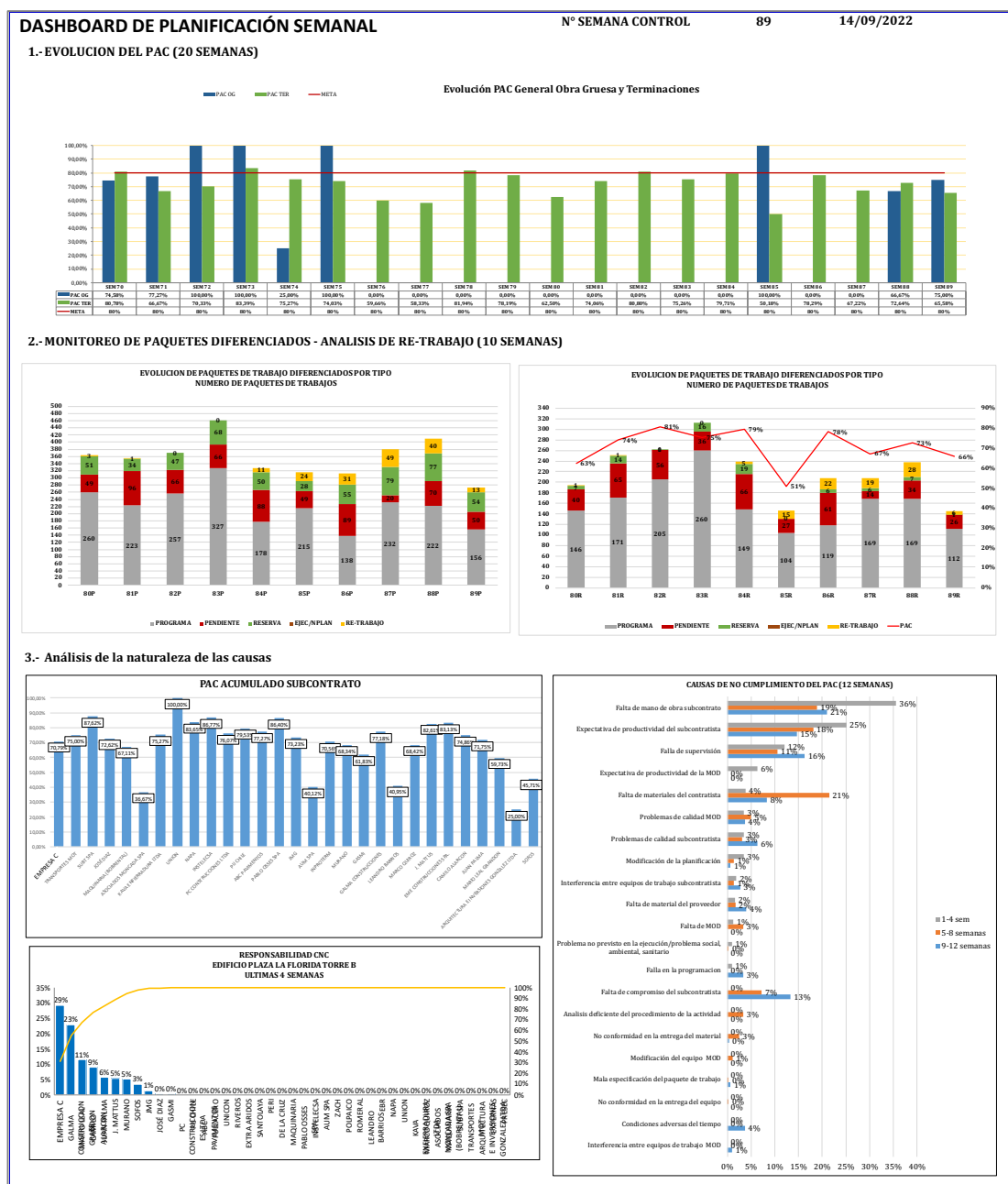
O *dashboard* de planejamento de curto prazo inclui um gráfico com a evolução semanal do PPC. Além do PPC geral da obra, este indicador foi segmentado por etapa de execução (PPC da estrutura de concreto separado do PPC dos demais processos). Como as obras da empresa C apresentam grande repetitividade de lotes (pavimentos de edifícios ou casas em um condomínio), o Grupo SMD constatou que, a partir de um determinado lote, a execução da estrutura de concreto passava a apresentar estabilidade. Entretanto, a execução dos processos após a estrutura de concreto, possuíam grande variabilidade. A segmentação do PPC permitiu identificar oportunidades de melhoria nesta etapa da obra.

A segunda parte do *dashboard* de planejamento semanal compara a natureza de tarefas planejadas no curto prazo com as tarefas executadas, através dos gráficos de pacotes de trabalho diferenciados. Estes gráficos foram inicialmente desenvolvidos na empresa C e depois utilizados para a empresa F. Na empresa C, estes gráficos permitiram identificar uma tendência das equipes de obra a planejar um grande volume de atividades reserva, como consequência da falta de remoção das restrições. Este gráfico ainda permite monitorar a quantidade de atividades de retrabalho e de trabalho informal (através das atividades executadas não planejadas). Um grande volume de trabalho informal indica que uma parte da capacidade da equipe está sendo planejada informalmente pelo mestre ou pelos próprios trabalhadores.

A terceira parte deste *dashboard* foi uma solicitação apresentada pelos administradores de obra da empresa (gerentes responsáveis pela execução da obra) e inclui gráficos sobre a distribuição do PPC entre as empresas subcontratadas. Nesta parte também foi incluído um dado que indica a responsabilidade pela não conclusão das tarefas

planejadas. Por fim, a quarta parte do *dashboard* exibe as causas da não conclusão dos pacotes de trabalho semanais. O Grupo SMD desenvolveu um gráfico que pudesse mostrar a incidência das causas nas últimas 12 semanas, utilizando as causas das últimas 4 semanas como filtro de priorização. Este gráfico fornece informações sobre oportunidades de melhoria para a equipe de obra.

Figura 56 - *Dashboard* de planejamento de curto prazo da empresa C.



A primeira parte do *dashboard* de planejamento de médio prazo mostra o índice de remoção de restrições (IRR), assim como o número de restrições removidas no período (em verde) e o número de restrições que deveriam ter sido removidas no período

(vermelho). O número absoluto de restrições complementa a análise do IRR mostrado em percentual. Nesta parte do *dashboard* foi incluído um gráfico mostrando o número de dias entre reuniões de médio prazo. Esta informação foi incluída pois a reunião de médio prazo não estava sendo realizada regularmente em todas as obras. A proposta da equipe foi tentar explicitar essa informação juntamente com ações de reforçar a importância de realizar as reuniões.

A segunda parte do *dashboard* apresenta uma distribuição da natureza das restrições identificadas por período de planejamento. Esta informação permite avaliar se estão sendo identificadas restrições de diferentes categorias. Por fim, a terceira parte do dashboard de planejamento de médio prazo apresenta os gráficos de aderência ao lote planejado e tempo de ciclo. O Grupo SMD identificou junto aos gerentes de contrato e administradores de obra os processos mais críticos para a obra (a partir da execução da estrutura de concreto do primeiro lote que se repete). Foram selecionados seis processos críticos para monitorar em detalhe. A Figura 58 mostra um exemplo do gráfico para controle da aderência ao lote planejado e tempo de ciclo.

O gráfico de aderência ao lote planejado compara o início e término planejado de cada lote com o início e término realizado. Este gráfico também projeta o início e término esperado com base nos dados obtidos nesta mesma obra, permitindo promover ações de melhoria em tempo de alterar possíveis resultados não desejados. O eixo x mostra o tempo, enquanto o eixo y mostra os lotes que representam uma unidade base (por exemplo, pavimentos, conjunto de casas, etc.). Cada gráfico é composto por 3 linhas: linha azul (planejado), linha vermelha (executado) e linha verde (projetado com base no executado). Quando o plano de longo prazo é alterado e uma nova versão é confirmada, esta nova versão passa a ser a linha azul (planejada) e o planejamento de longo prazo original passa a ser representado através de uma linha cinza. O gráfico de tempo de ciclo complementa essa informação, apontando grandes desvios em relação ao planejado.

Figura 57- Dashboard de planejamento de médio prazo da empresa C.

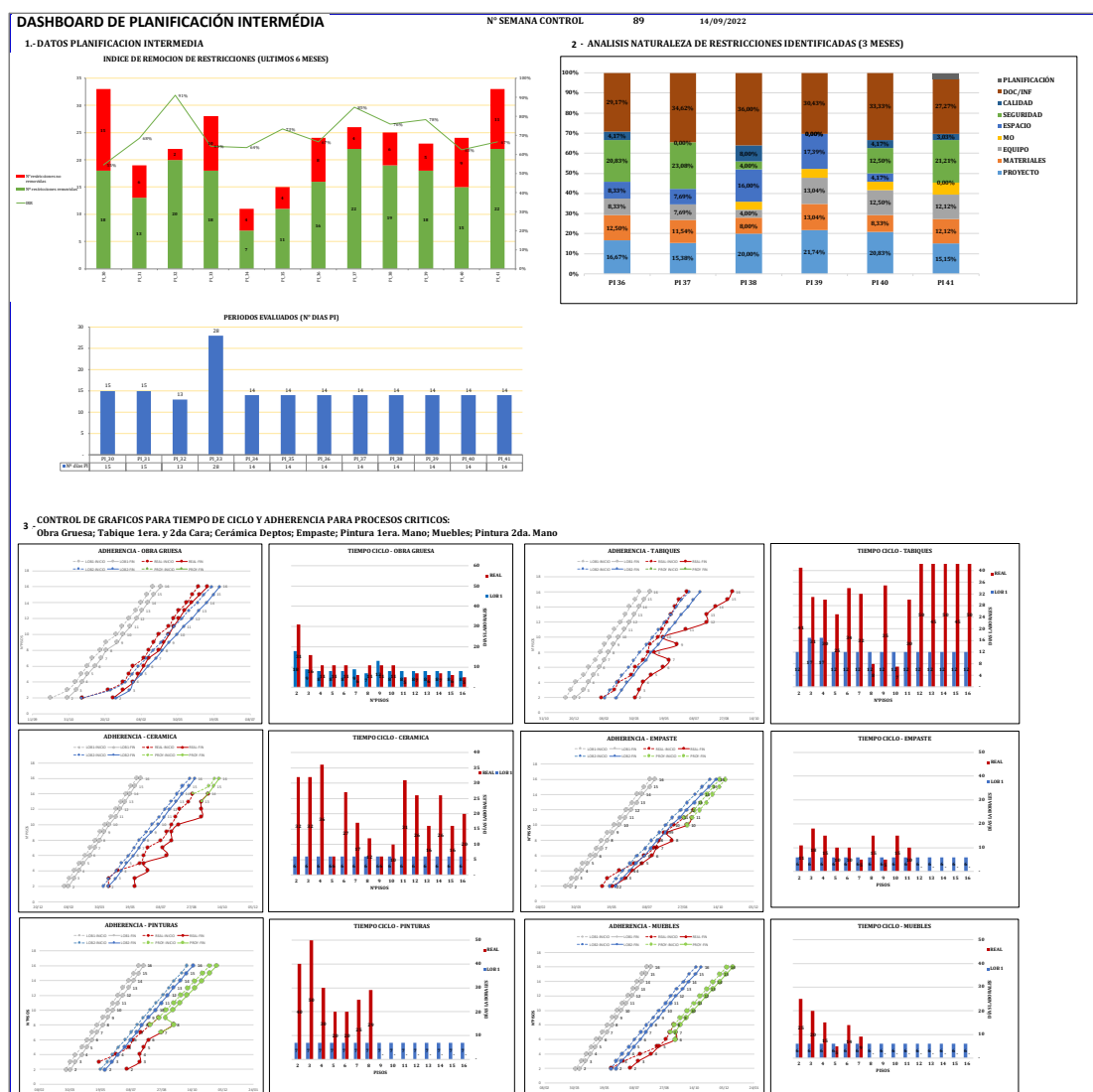
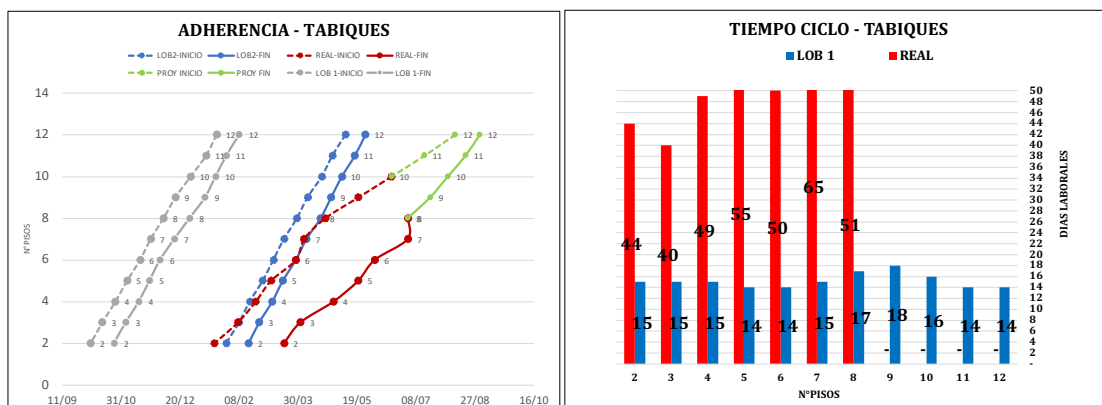


Figura 58 – Exemplo de gráficos para controle da aderência ao lote planejado e tempo de ciclo.



5.2.2.2.3 Teste dos dashboards de PCP (SLP)

Os dashboards de planejamento de curto e médio prazo (SLP) foram testados nos mesmos quatro estudos pilotos descritos anteriormente, nos quais os indicadores

estavam sendo utilizados. Este teste foi possível pois as obras já estavam coletando os indicadores propostos e a base de dados havia sido desenvolvida pelo Grupo SMD. A proposta de *dashboard* com foco no SLP foi apresentada aos analistas de controle e gestão e passaram a ser utilizados em reuniões mensais entre a equipe dos quatro pilotos (Gerente de Construção, Gerente de Contrato, Administrador de Obra e Analista), com a participação do Grupo SMD.

Nestas reuniões o responsável pela obra apresentava o status da obra em execução, com base nos *dashboards* de planejamento de curto e médio prazo, além de um plano de ação para a melhoria dos resultados. Após a reunião o Grupo SMD realizava uma pesquisa virtual com os representantes das obras piloto com o intuito de identificar oportunidades de melhoria no formato da reunião. A partir das respostas, o Grupo promovia mudanças na reunião seguinte. A seguir são descritas algumas informações obtidas a partir das pesquisas on-line.

Sobre os **pontos positivos e oportunidades de melhoria para a reunião**, alguns participantes apontaram a necessidade de manter as reuniões em, no máximo duas horas, para que não se tornassem cansativas. Para tanto, foi solicitado que cada apresentação se limitasse a um tempo pré-determinado. Após a primeira reunião foi apontado como oportunidade de melhoria aumentar a participação dos envolvidos. De fato, apenas o Administrador de Obra apresentava os indicadores e fazia comentários. Os demais participantes praticamente permaneciam calados por toda a reunião. Essa falta de participação pode ter sido reforçada pelo fato de as reuniões serem realizadas no modo on-line, devido ao período de quarentena pela pandemia do Covid-19. Encontros presenciais provavelmente permitiriam compreender melhor as dificuldades dos envolvidos. Como ponto positivo, as pesquisas apontaram que a maioria dos participantes considerava importante realizar uma reunião para discussão dos indicadores. Isso permitia que profissionais com menos experiência aprendessem com profissionais mais experientes.

Em relação à **opinião dos participantes sobre os *dashboards* de planejamento de curto e médio prazo** (estrutura e indicadores), a proposta inicial de *dashboards* de planejamento incluía mais indicadores em relação à proposta final. Através das reuniões foi possível remover gráficos que apresentavam informação redundante e desviava a atenção. Alguns respondentes informaram que a coleta sistemática daquele conjunto de

indicadores através dos *dashboards* fornecia informações sob uma perspectiva diferente da tradicional. Por exemplo, pode indicar que uma obra com alta variabilidade do PPC, com grande percentual de pacotes de trabalho planejados como reserva (em comparação aos pacotes programados) e com baixo IRR, necessita colocar maior atenção ao planejamento de médio prazo.

Por fim, algumas **sugestões apresentadas pelos respondentes da pesquisa** foram que o Gerente de Construção realizasse perguntas diretas aos envolvidos como forma de fomentar a participação, que as equipes de obra apresentassem exemplos práticos para ilustrar os dados dos indicadores, e que os participantes deveriam aprofundar a análise dos dados.

Após quatro reuniões, o Grupo SMD entendeu que os *dashboards* de planejamento não eram o mecanismo a ser utilizado em reuniões mensais entre obras, pois representavam informações limitadas apenas a uma perspectiva. Por se tratar de informações limitadas ao SLP, os participantes gradualmente perderam a motivação nas reuniões. O Grupo SMD percebeu que era necessário avançar com o desenvolvimento do *dashboard* operacional, por meio da inclusão de outras perspectivas, para somente depois voltar a realizar estas reuniões.

5.2.2.2.4 Instancias para tomada de decisão

Em paralelo ao teste dos *dashboards* de planejamento nos estudos piloto, o Grupo SMD passou a definir os componentes do SMD. Conforme descrito anteriormente, estes componentes incluem indicadores, *dashboards* e ciclos de aprendizagem e melhoria contínua do SMD, que são representados por instancias de tomada de decisão, informes, responsáveis, frequência, inputs e outputs de cada etapa. Os *dashboards* de planejamento representam uma primeira revisão dos indicadores, de forma a ampliar o escopo da medição de desempenho. O próximo passo do Grupo SMD foi discutir as instancias de tomada de decisão e a frequência em que ocorriam estas reuniões. A proposta final de instâncias de tomada de decisão inclui reuniões realizadas no âmbito da obra e reuniões entre obras para o compartilhamento de informações e identificação de oportunidades de melhorias (Figura 59).

O *dashboard* de planejamento de curto prazo é utilizado para discussão dos resultados na reunião semanal de obra. O administrador de obra é quem coordena a reunião e quem

apresenta o *dashboard*. Similarmente, o *dashboard* de planejamento de médio prazo é utilizado nas reuniões de *look-ahead* a cada duas semanas. Para as reuniões mensais entre o Administrador de Obra e o Gerente de Contrato, o Grupo SMD propôs um *dashboard* operacional. Parte das informações dos *dashboards* de planejamento são apresentadas no *dashboard* operacional. Mensalmente, os Gerentes de Contrato realizam uma reunião com o Gerente de Construção para apresentar os resultados das obras. Para esta reunião o Grupo SMD desenvolveu um *dashboard* tático, que compara obras. Ainda, três vezes por ano é realizada uma reunião de Lições Aprendidas, na qual os Gerentes de Contrato apresentam pontos positivos e oportunidades de melhoria identificados nas obras finalizadas no período.

Figura 59– Proposta de instancias de tomada de decisão da empresa C, incluindo participantes e frequência.



A implementação das instâncias para tomada de decisão avançou até a realização de reuniões mensais para análise dos resultados das quatro obras piloto, descritas anteriormente. As demais instâncias não foram testadas, embora a Empresa C realizasse reuniões mensais para análise das obras. A pesquisadora não obteve autorização da empresa para participar destas reuniões.

5.2.2.2.5 Dashboards Operacional, Tático e Estratégico

A tarefa seguinte, realizada pelo Grupo SMD, foi a elaboração dos *dashboards* operacional, tático e estratégico. O *dashboard* operacional foi dividido em cinco zonas:

custo, eficiência da mão de obra, qualidade, prazo e planejamento (Figura 60 e Figura 61).

A zona de **prazo** possui a opção de alternar entre dados acumulados e mensais de avanço físico, e entre os indicadores de projeção de entrega da obra e o gráfico de linhas de ritmo. Foi proposto pela autora, um indicador de avanço físico adicional, que considera somente as tarefas finalizadas com terminalidade. A diferença entre o indicador de avanço físico com terminalidade e o percentual de avanço físico tradicionalmente calculado representa uma medida de WIP.

O indicador de projeção de entrega marca o término de um marco importante para as obras, representado pela entrega da pasta de documentos para “habita-se”¹⁴ às autoridades responsáveis. Este indicador é gerado com base no atraso ou antecipação dos processos críticos, monitorados pelo gráfico de ritmo. Ainda, esta zona do *dashboard* inclui a informação de número de revisões da LOB (linha de balanço, que representa o plano de longo prazo da obra) e o desvio de prazo da última tarefa crítica em execução. A revisão da LOB foi incluída para complementar a confiabilidade da projeção de entrega. O Grupo SMD constatou que, em algumas obras, o plano de longo prazo era revisado mensalmente, acarretando uma projeção de entrega sempre no prazo.

Na zona de **planejamento** pode-se alternar entre o índice de remoção de restrições e o número de dias entre reuniões de médio prazo. Em relação ao curto prazo, pode-se alternar entre o gráfico da natureza dos pacotes de trabalho, que inclui a evolução do PPC, e as principais causas da não conclusão dos planos semanais nas últimas 12 semanas. Para a zona de **custo**, o Grupo SMD desenvolveu um gráfico para a análise de dados econômicos. Neste gráfico, os valores mensais dos principais itens do orçamento da obra são segmentados em valor comprometido (azul), valor a comprometer (laranja) e saldo projetado (verde). Itens cujo valor a comprometer é maior de 100% representam um custo maior que o orçado, e podem indicar um desvio de custo maior que zero (dependendo do peso deste item para o valor total).

¹⁴ Considerando que a Empresa C atua no Chile, utilizou-se a expressão “habite-se” para representar a autorização das autoridades responsáveis para a entrega das unidades aos proprietários. Não representa foco deste trabalho detalhar o processo de entrega de documentos, vistoria e entrega de unidades aos clientes.

Para a zona de **eficiência de mão de obra** do *dashboard*, o Grupo SMD utilizou um gráfico que mostra duas informações: o valor de homem-dia para mão de obra própria (azul) e subcontratada (laranja) e o indicador de eficiência de mão de obra em homem-dia por metro quadrado por mês (linha verde). Este indicador de eficiência é calculado por meio da quantidade de horas trabalhadas dividida pelo percentual de avanço físico mensal ponderado pela área de construção do empreendimento. Por fim, a zona de **qualidade** apresenta a evolução do indicador de conformidade na primeira revisão.

Figura 60 – Dashboard operacional da empresa C, opção de visualização 1.

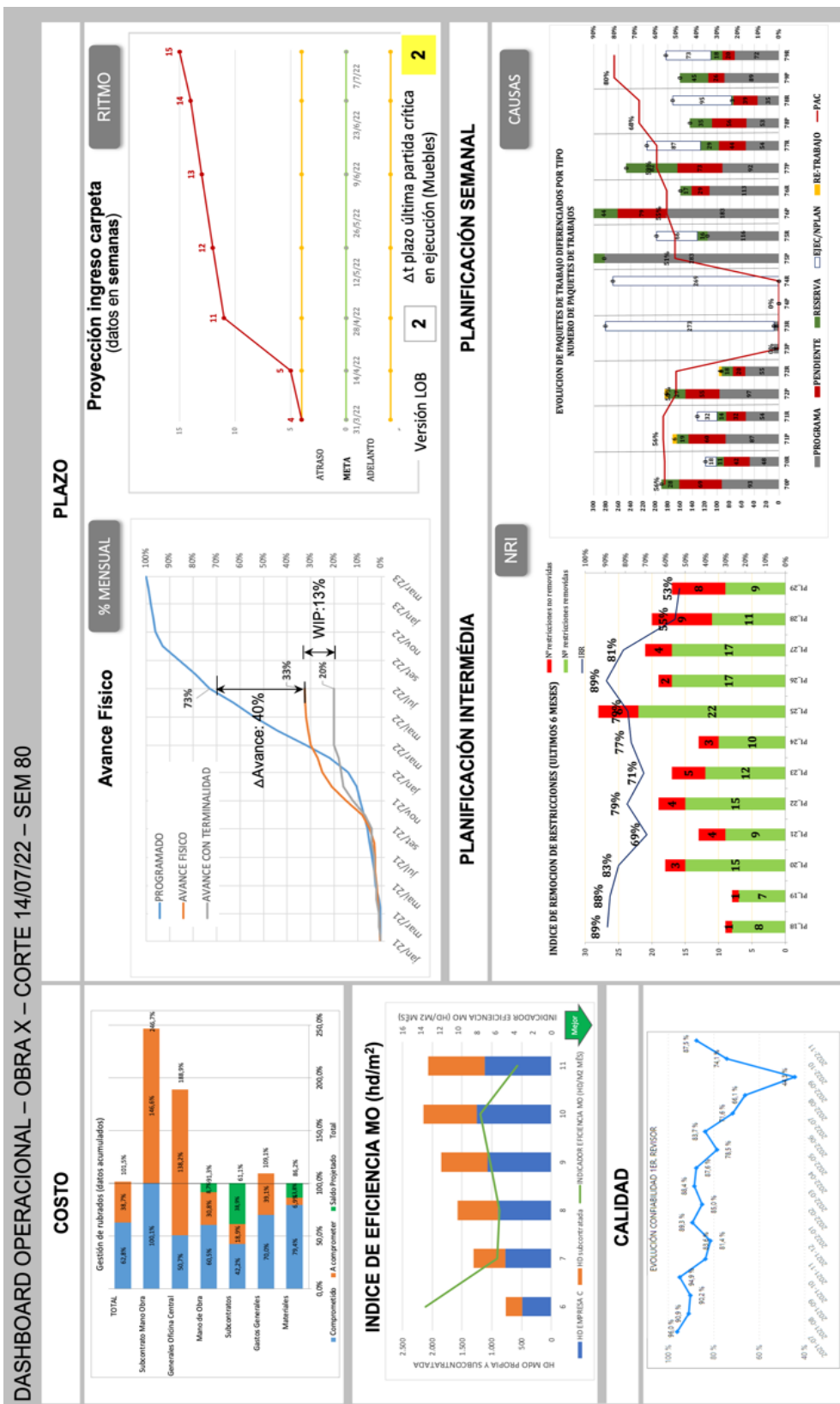
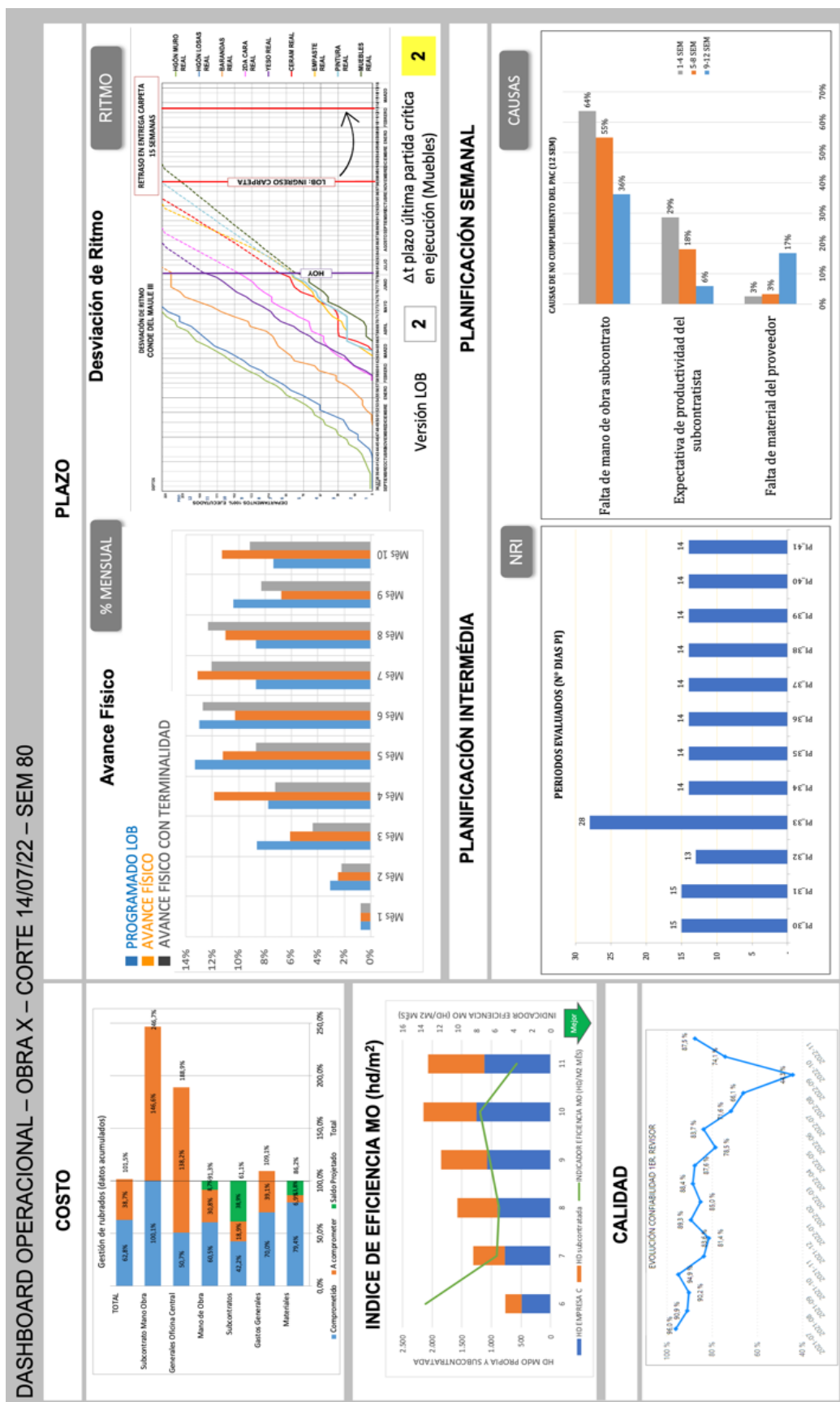


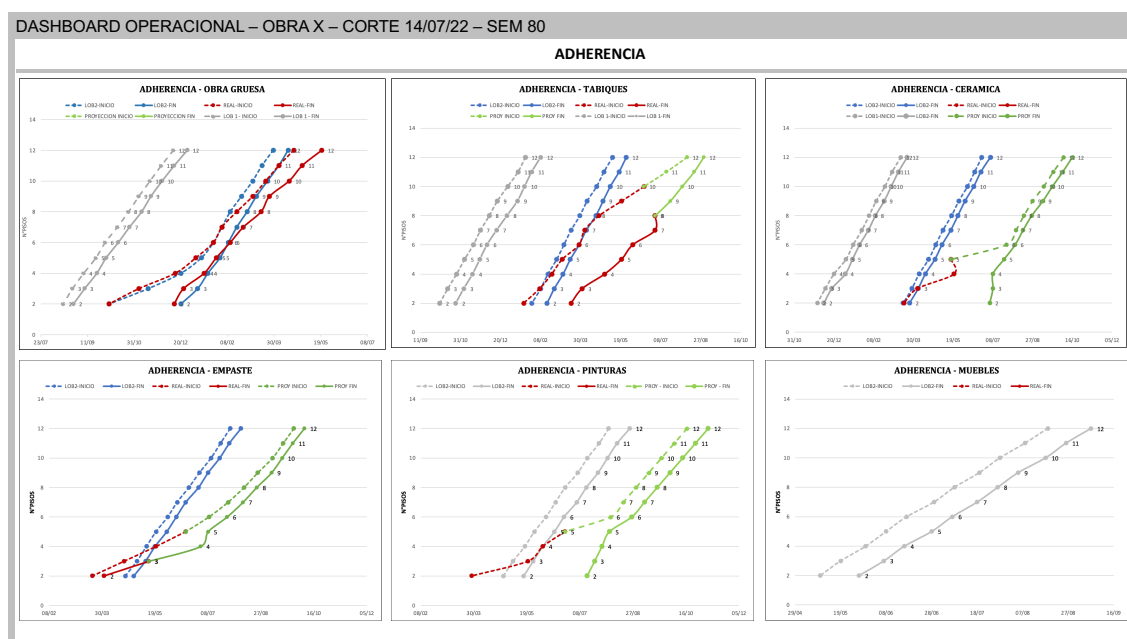
Figura 61 – Dashboard operacional da empresa C, opção de visualização 2.



O *dashboard* operacional representava um avanço na análise das informações das obras para a Empresa C. Anteriormente, os Administradores de Obra analisavam apenas os dados obtidos a partir dos planos de curto e médio prazo, além de dados de avanço físico tradicional (sem considerar a terminalidade das tarefas). A proposta de *dashboard* operacional desenvolvida em conjunto com o Grupo SMD propicia uma análise do saldo dos pacotes em relação ao custo, fornece informações sobre quantidade de WIP, possibilita analisar o ritmo dos processos críticos, permite antecipar dados sobre o resultado em relação ao prazo e custo, e complementa esta análise com dados de confiabilidade nos planos.

Uma segunda interface que contém gráficos para controle da aderência ao lote planejado faz parte do *dashboard* operacional da Empresa C (Figura 62). O monitoramento da aderência ao lote planejado foi desenvolvido para os seis processos considerados críticos para as obras da empresa.

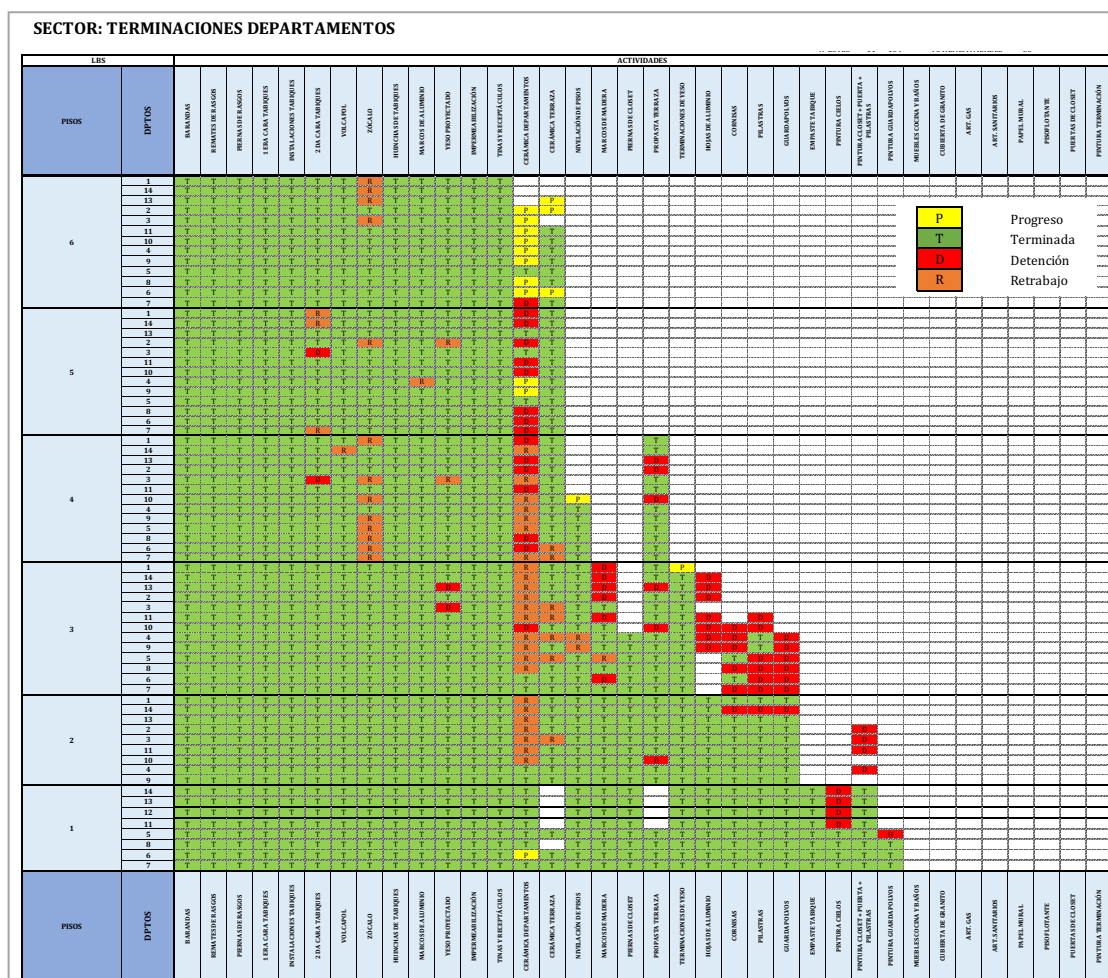
Figura 62 – Anexo 1 do *dashboard* operacional da empresa C (gráficos de aderência).



Também faz parte do dashboard operacional a matriz de status da produção. A Figura 63 apresenta um excerto dessa matriz, em que é possível identificar as unidades onde a atividade foi finalizada, onde existe WIP, onde existe retrabalho em execução e onde a atividade foi paralisada.

Diferentemente do dashboard operacional, o tático compara obras, servindo como apoio às reuniões e para troca de informação entre gerentes de diferentes empreendimentos e o Gerente de Construção. Conforme informado pelos Gerente de Construção, cada Gerente de Contrato analisa um conjunto de aproximadamente quatro obras. Utilizando os filtros, o dashboard tático (Figura 64) pode mostrar informações de edifícios ou casas, pode mostrar as obras de um gerente específico, pode mostrar as obras que se encontram em alguma etapa em particular, e pode filtrar um determinado período.

Figura 63– Anexo 2 do *dashboard* operacional da empresa C (matriz status da produção).



O *dashboard* tático foi dividido em seis áreas: custo, avanço físico, prazo, qualidade, produtividade da mão de obra e prevenção de riscos (segurança). Para que fosse possível comparar as obras, os indicadores tiveram de ser adaptados. Na área de custo foi disponibilizado um gráfico de desvio de custo, mostrando aumento (amarelo se até o limite ou vermelho se maior que o limite) ou redução (verde). Este indicador é gerado a partir do controle econômico de custo apresentado no *dashboard* operacional.

Da mesma maneira, o avanço físico foi adaptado para permitir a comparação entre obras, sendo apresentado em barras. O desvio de avanço físico (diferença entre o avanço planejado, barra azul, e o avanço sem terminalidade, barra laranja) e o WIP (diferença entre o avanço sem terminalidade, barra laranja, e o avanço com terminalidade, barra cinza) são apresentados em colunas. O desvio de prazo mostra o resultado da projeção de entrega da pasta de documentos para “habita-se”. Um limite inferior e superior foi definido, a exemplo da Empresa F. As informações de número de revisões da LOB e desvio de prazo da última tarefa crítica em execução são apresentadas em colunas.

A área de qualidade apresenta o indicador de conformidade na qualidade segmentado em três etapas de execução da obra: estrutura de concreto, instalações e acabamentos, além o indicador total. Limites foram estabelecidos para que os valores do indicador pudessem ser apresentados com cores de alerta (análogas a semáforos). Não fazia parte do escopo de trabalho do Grupo SMD o detalhamento do *check-list* utilizado para gerar o indicador de qualidade.

O gráfico do índice de eficiência da mão de obra foi adaptado para que pudessem ser comparados valores de mais de uma obra. A análise deste gráfico pode ser dificultada caso existam muitas obras a ser comparadas. Tendo em vista que cada Gerente de Contrato analisa em torno de quatro obras, o Grupo SMD entendeu que este gráfico atenderia à necessidade da empresa. A área de prevenção de riscos (segurança) representa uma limitação do *dashboard* tático. Os indicadores que a Empresa C possui para monitorar esta área consistem em número de acidentes e gravidade dos acidentes de trabalho, que são indicadores tradicionais de monitoramento de acidentes.

O *dashboard* estratégico foi dividido em quatro zonas: planejamento (com os indicadores de projeção de prazo e avanço físico com e sem terminalidade), custo (desvio de custo), qualidade (calculado com base em um *check-list* de qualidade) e controle da mão de obra (dados de utilização da mão de obra em unidade de área e em unidade monetária). O indicador de controle da mão de obra representava o principal indicador de interesse do Gerente de Construção, e por esse motivo não foi proposta nenhuma alteração no seu cálculo, mas apenas no formato de apresentação. A Figura 65 apresenta a proposta de *dashboard* estratégico da Empresa C.

Figura 64 – Dashboard tático da empresa C.

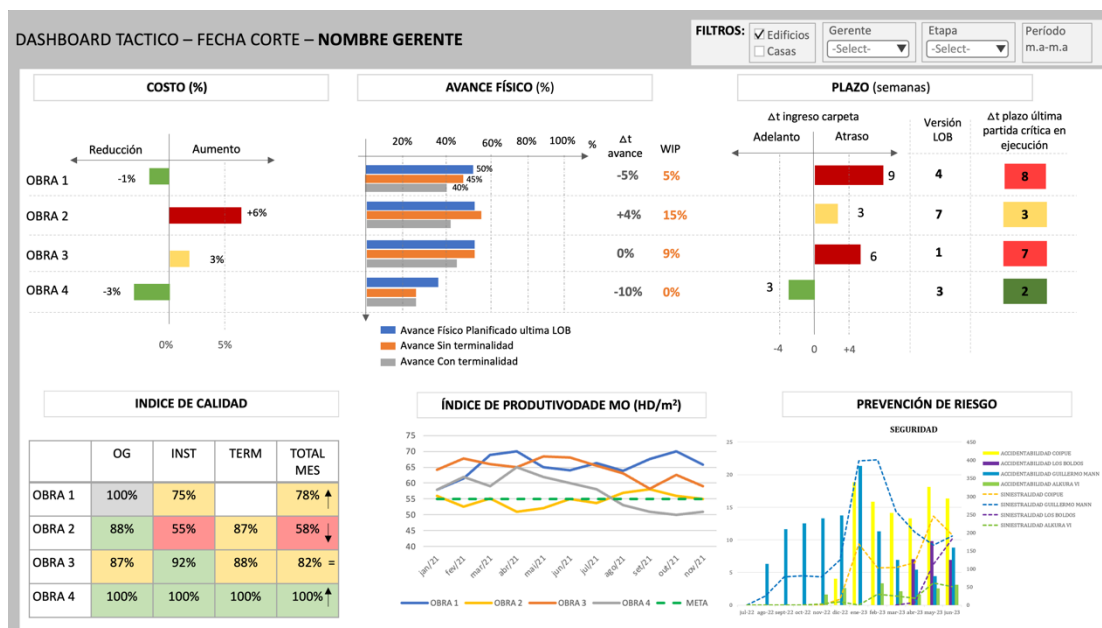
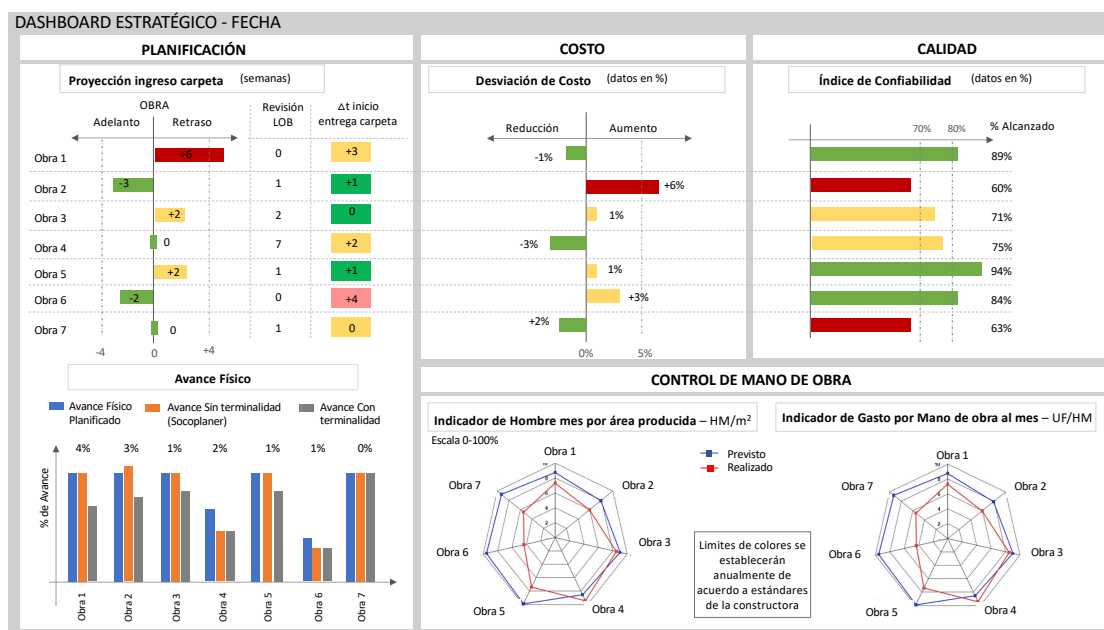
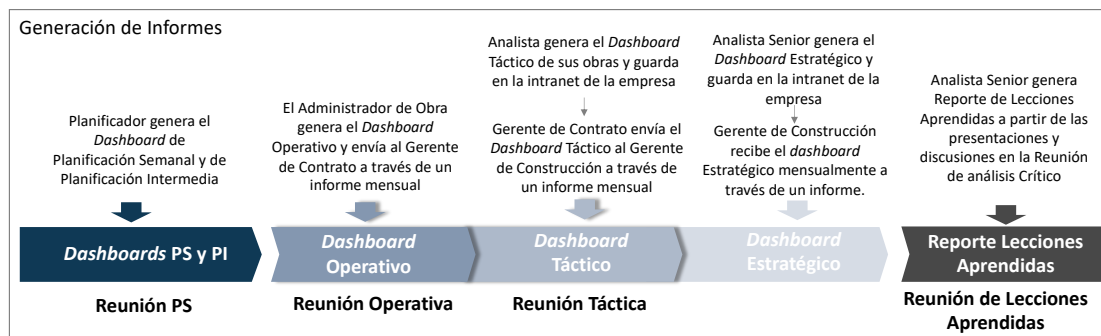


Figura 65 – Dashboard estratégico da empresa C (dados ilustrativos).



De forma a representar o conjunto de informes que compõe a proposta de SMD, foi estabelecido o processo para elaborar os *dashboards* e o relatório de lições aprendidas, especificando os responsáveis por compilar os indicadores e gerar estes relatórios. Conforme descrito no estudo da Empresa F, esta parte parcela do trabalho representa uma parcela não visível, mas de grande importância para que a parte visível seja efetiva, conforme sugerido por Valente et al. (2019). A Figura 66 resume este processo não visível como planejado pelo Grupo SMD.

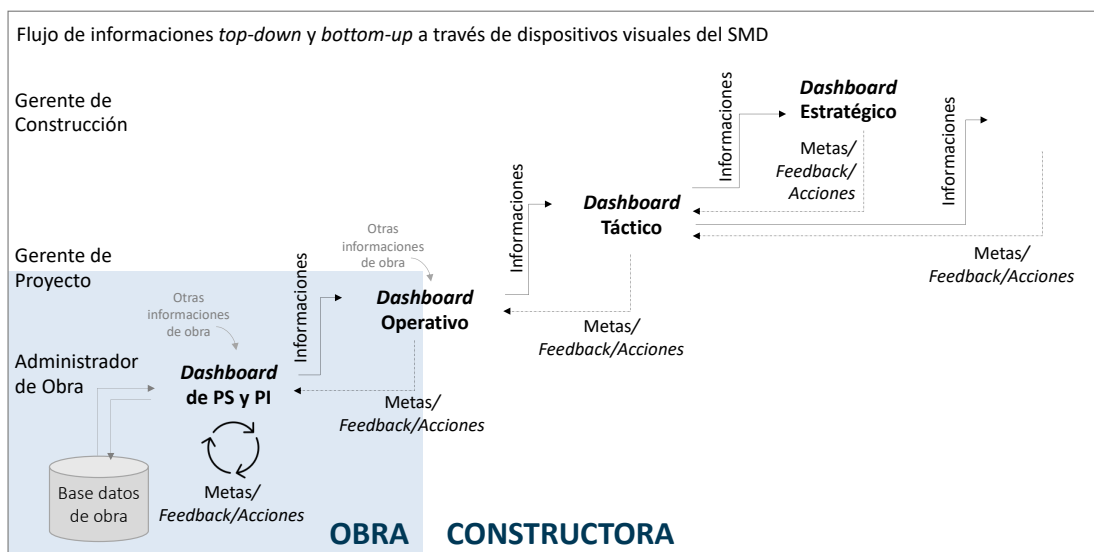
Figura 66 - Proposta de processo para gerar *dashboards* e relatório de lições aprendidas, incluindo responsáveis e conexão com instâncias de tomada de decisão.



Similar ao que foi proposto na Empresa F, o Grupo SMD na Empresa C desenvolveu uma imagem para explicitar o fluxo de informação estabelecido por meio dos *dashboards* e do relatório de lições aprendidas. A Figura 67 que retrata este fluxo de informações, foi de grande valia quando da apresentação da proposta de SMD para os representantes da empresa, tendo em vista que a proposta foi implementada em partes. Conforme descrito no capítulo de método, a implementação do SMD não envolveu os *dashboards* táctico e estratégico. Contudo, era importante que os envolvidos compreendessem que as informações e análises geradas no nível mais operacional forneciam informações para outros níveis hierárquicos, e que parte dos indicadores utilizados nas obras estavam conectados aos objetivos estratégicos da empresa construtora. Ainda, a existência de um SMD completo, além dos indicadores isolados, demonstrava a importância de valorizar todo o processo de medição de desempenho.

Os indicadores da base de dados desenvolvida pelo Grupo SMD para as obras foram utilizados para gerar os *dashboards* de planejamento de curto e médio prazo. Estas informações, juntamente com dados de custo, prevenção de riscos (segurança), eficiência de mão de obra e qualidade, compõem o *dashboard* operacional, que alimenta o *dashboard* táctico. As informações do *dashboard* táctico, complementadas por dados de mão de obra, permitem gerar o *dashboard* estratégico e o relatório de lições aprendidas.

Figura 67- Proposta de fluxo de informações dos informes do SMD da empresa C.



5.2.2.2.6 Teste do dashboard operacional

O grupo SMD realizou uma reunião com os responsáveis de cada um dos pilotos para a apresentação da proposta de *dashboard* operacional, explicando para a equipe o objetivo dos indicadores selecionados, o processo de análise, de forma a obter a avaliação por parte dos mesmos. A análise do uso do *dashboard* operacional foi realizada ao longo de três meses com os membros do Grupo de SMD e a equipe do setor de planejamento da empresa, utilizando três novos estudos piloto.

Neste período de teste, o *dashboard* operacional era gerado pelo analista responsável pelo estudo piloto, e enviado ao Gerente de Contrato e Administrador de Obra para análise. Algumas dificuldades foram identificadas ao longo deste período de teste, principalmente com relação ao feedback da equipe de obra sobre as informações. O teste permitiu esclarecer dúvidas dos Analistas sobre como gerar e interpretar alguns dos indicadores do *dashboard*. Ao utilizar dados reais dos estudos piloto nos indicadores de projeção de entrega, custo, eficiência da mão de obra e avanço físico com terminalidade, o Grupo SMD identificou que algumas etapas para gerar os gráficos não estavam claras para todos os envolvidos. A primeira versão dos *dashboards* apresentava diferenças de uma obra para a outra, considerando a interpretação de cada analista. Através de discussões entre a pesquisadora e os analistas, as premissas para cada indicador foram explicitadas, de forma que todas as obras analisassem informações geradas da mesma maneira. A empresa seguiu gerando o *dashboard* operacional para estas três obras, mesmo após o término desta etapa do estudo.

5.2.2.3 Etapa de Análise e Avaliação do SMD – Empresa F

Esta sessão descreve a análise e avaliação do SMD na empresa C, realizadas pela pesquisadora após o término da etapa de desenvolvimento e implementação. Conforme apresentado no delineamento desta pesquisa, houve momentos de avaliação do SMD durante a etapa de desenvolvimento e implementação. Estes momentos fazem parte do ciclo de construção, ação, avaliação e reflexão, que são característicos dos ciclos iterativos de concepção e refinamento da solução da pesquisa de *design* na ação (Holmstrom & Ketokivi, 2009). Estes momentos foram descritos através dos ciclos de teste dos *dashboards* de planejamento e operacional.

Seguindo o processo realizado na Empresa F, a análise e avaliação do SMD na empresa C também foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas com profissionais que utilizavam as informações geradas pelos indicadores. O conteúdo das entrevistas individuais, assim como as informações obtidas com a análise de documentos e uma entrevista em grupo, foi analisado e organizado de acordo com constructos preestabelecidos. Estes constructos foram propostos com base nos requisitos para SMDs propostos no ciclo 1 desta tese, e complementados com requisitos de usuários do sistema, que emergiram ao longo do ciclo 2, e são analisados a seguir.

Nível de utilização do SMD: As evidências indicam que os *dashboards* de planejamento de curto e de médio prazo estavam sendo utilizados nas respectivas reuniões de obra em todos os empreendimentos. O uso dos *dashboards* de planejamento pelas obras indica que a parte não visual do processo, que envolve coletar e processar os indicadores, estava sendo realizada. Neste sentido, a utilização dos *dashboards* também representa uma forma de garantir a confiabilidade das informações coletadas, uma vez que os indicadores são analisados e geram *feedback*. Em relação ao *dashboard* operacional, não foi possível analisar sua utilização nas instâncias de análise propostas. Este *dashboard* foi parcialmente testado em três estudos piloto, ficando pendente sua utilização por outras obras. É importante ressaltar que o gráfico de curvas de ritmo (que faz parte deste *dashboard*) era utilizado por todas as obras. Por outro lado, os indicadores de avanço físico com terminalidade, controle econômico de saldos, e eficiência da mão de obra eram utilizados apenas nos três estudos piloto.

Aprendizado com base no SMD: As entrevistas também permitiram concluir que existe aprendizado com base no SMD. Um dos entrevistados deu como exemplo a

aprendizagem em relação ao planejamento semanal em uma de suas obras. Segundo ele, a equipe de obra desenvolveu uma forma transparente de visualizar o planejamento semanal, facilitando a comunicação com os trabalhadores de obra. Este avanço surgiu a partir da matriz de status do sistema de produção que faz parte do SMD implementado na empresa. Outro exemplo de aprendizagem foi em relação à análise do horizonte de médio prazo. A equipe de obra analisa o plano de longo prazo (representado pela linha de balanço) em conjunto com o gráfico de curvas de ritmo, de forma a observar, antecipadamente, possíveis cenários de execução da obra.

Outro ponto ressaltado como aprendizagem de algumas equipes de obra se refere à perda da importância do gráfico que organiza hierarquicamente as empresas subcontratadas em função do seu PPC. No início do trabalho, a pesquisadora sugeriu que essa informação não fosse apresentada no painel de controle. Naquele momento, foi solicitado pelos colaboradores da empresa que a informação fosse mantida. Segundo alguns entrevistados, essa informação deixou de ser necessária, pois o enfoque passou a ser a identificação dos problemas do sistema, não os responsáveis pela não conclusão das tarefas.

Conexões entre indicadores: Em relação às conexões entre os indicadores do SMD, todos os entrevistados citaram relacionar informações de custo com informações de avanço físico, possibilitando verificar se o custo da obra estaria compatível com o que estava sendo produzido fisicamente. Segundo os entrevistados, essa informação permite antecipar a ocorrência de gastos além do orçamento previsto. Esta foi uma das conexões intencionalmente pretendidas quando da seleção dos indicadores. Por outro lado, uma conexão apontada por alguns entrevistados e que emergiu do trabalho, se refere à matriz de status da produção: quanto maior a terminalidade, melhor será a qualidade do produto final. A ferramenta foi apontada como muito importante para a gestão da obra. Além de ser uma ferramenta simples, todos na obra a compreendem e utilizam, inclusive o nível mais operacional. Outra conexão relatada pelos entrevistados e que emergiu do trabalho, se refere à análise conjunta do plano de longo prazo com o gráfico de curvas de ritmo (descrita no item de aprendizado com base no SMD). De fato, as conexões emergentes (não intencionalmente projetadas) podem ser consideradas evidências de aprendizagem dos usuários do SMD.

Antecipação de problemas: Foi consenso entre os entrevistados que as informações constantes no SMD permitem antecipar problemas. Todos citaram o gráfico de curvas de ritmo como aquele que permite projetar cenários futuros quando ainda há tempo de promover ações de melhoria. Uma parte dos entrevistados relatou que eram produzidos planos de ação ou de recuperação em decorrência da projeção informada no gráfico de ritmo, buscando alcançar resultados superiores aos apresentados. Alguns gerentes relataram fazer uma relação desta informação com a projeção de entrega final de obra (informação que também faz parte do SMD).

Relevância e confiabilidade das informações fornecidas pelo SMD: Os entrevistados relataram que o SMD disponibilizava informações consideradas prioritárias. Os gerentes consideraram estas informações confiáveis e representativas da realidade de suas obras. Sobre a relevância das informações, existiu divergência entre alguns entrevistados, a respeito da forma de projetar o ritmo futuro de processos críticos. Dois entrevistados consideravam que a informação apresentada por este indicador não representa a realidade da obra. Mas a maioria estava de acordo com utilizar dados reais para projetar o restante da obra. Complementando essa afirmação, dois entrevistados destacaram que é responsabilidade dos gestores da obra elaborar um plano de recuperação mostrando que existe um outro plano com ações estabelecidas para alcançar melhores resultados. Estes dois profissionais sugeriram que este plano fosse entregue mensalmente como um anexo do *dashboard* operacional, criando um padrão entre as obras.

Motivação dos envolvidos: A maioria dos entrevistados considera que nem todos os envolvidos no SMD estão motivados. Aqueles que compreendem o benefício e utilizam as informações reforçam a importância da medição entre a equipe. Contudo, os entrevistados entendiam que o esforço necessário para coletar as informações é grande. Nesse sentido, diversas pessoas envolvidas diretamente com a coleta de dados não estavam suficientemente motivadas com este trabalho. Uma possível melhoria seria automatizar o registro de dados, que atualmente é feito manualmente. Efetivamente, a empresa possui um alto volume de informes que devem ser gerados mensalmente. Além dos *dashboards*, são gerados informes de qualidade, prevenção de riscos (segurança) e relatórios para a área de incorporação. O fato é que, exceto os *dashboards*, os demais

informes não estão conectados, e são discutidos de forma independente em reuniões específicas.

Momento de entrega dos dados: a maioria dos entrevistados considera o momento de entrega dos dados compatível com a necessidade de análise. Contudo, alguns relataram que o tempo para obter as informações sobre as tarefas concluídas do plano de curto prazo é muito longo. Isso provavelmente se deve à fragmentação das atividades em um grande número de pacotes de trabalho no do plano semanal. Este problema foi abordado na entrevista em grupo e definido uma das oportunidades de melhoria para o período seguinte do trabalho de implementação *Lean* na empresa.

Instâncias de análise dos indicadores: os entrevistados consideravam como suficientes as instâncias para análise dos indicadores. Mensalmente, os gerentes de contrato e administradores de obra participavam de reuniões específicas para analisar as informações referentes a prevenção de riscos, qualidade, custos e planejamento com a gerência de construção. Adicionalmente, eram realizadas reuniões semanais de planejamento de curto prazo e reuniões quinzenais de planejamento de médio prazo em obra. Um dos entrevistados considerou que poderia haver uma reunião entre gerentes de construção e gerentes de contrato a cada 3 meses para discussão dos empreendimentos em andamento. A proposta de instâncias de tomada de decisão apresentada pela pesquisadora previa uma reunião a cada 2 meses entre gerentes de construção e gerentes de contrato para discussão das informações do *dashboard* tático. Todavia essa proposta não foi implementada pois dependia da efetiva implementação deste *dashboard*.

Também foi ressaltado entre os entrevistados que deveriam ser retomados os *workshops* para discussão de oportunidades de melhoria transversais a todas as obras. Segundo os entrevistados, estes momentos permitem gerar aprendizagem e criar senso crítico. Estes eventos eram realizados mensalmente durante os anos iniciais do Programa de Implementação da LC e no início do desenvolvimento do SMD. Posteriormente, os *workshops* deveriam ser organizados pela equipe da área de Controle e Gestão da empresa, responsável por fomentar a cultura *Lean*. A Figura 68 resume as informações coletadas com as entrevistas na empresa C.

Figura 68 - Informações coletadas com as entrevistas de análise e avaliação.

Constructos analisados	Informações coletadas
Nível de utilização do SMD	<ul style="list-style-type: none"> · <i>Dashboards</i> de planejamento eram utilizados por todas as obras. · O <i>dashboard</i> operacional não foi utilizado em reuniões com as obras, sendo parcialmente testado em três estudos piloto.
Aprendizado com base no SMD	<ul style="list-style-type: none"> · Curto Prazo: identificação da necessidade de melhorar a comunicação com os trabalhadores da obra e desenvolvimento de uma forma transparente de visualizar o planejamento semanal (facilitando a comunicação com os trabalhadores de obra). · Médio prazo: análise conjunta entre plano de longo prazo e o gráfico de curvas de ritmo, permite antecipar possíveis cenários de execução da obra. · Foco na identificação dos problemas do sistema, não nos responsáveis pela não conclusão das tarefas.
Conexão entre indicadores	<ul style="list-style-type: none"> · Relação entre custo e avanço físico. · Matriz de status da produção: quanto maior a terminalidade, melhor será a qualidade do produto final. · Análise conjunta do plano de longo prazo com o gráfico de curvas de ritmo.
Antecipação de problemas	<ul style="list-style-type: none"> · Gráfico de curvas de ritmo permite projetar cenários futuros quando ainda há tempo de promover ações de melhoria.
Relevância e confiabilidade das informações fornecidas pelo SMD	<ul style="list-style-type: none"> · SMD apresenta informações prioritárias, confiáveis e representativas da realidade das obras.
Motivação dos envolvidos	<ul style="list-style-type: none"> · Aqueles que utilizam as informações para tomada de decisão estão motivados. Os envolvidos diretamente na coleta de dados estão desmotivados. · Necessário automatizar parte da coleta e conectar melhor os diversos relatórios para que o volume de trabalho seja reduzido.
Momento de entrega dos dados	<ul style="list-style-type: none"> · Compatível com a necessidade de análise. · Fragmentação das atividades em obra dificulta a entrega das informações de execução dos pacotes do plano de curto prazo no momento necessário.
Instâncias de análise dos indicadores	<ul style="list-style-type: none"> · As instâncias são suficientes para análise dos indicadores. · Instância de análise do dashboard tático dependia da efetiva implementação deste mecanismo.

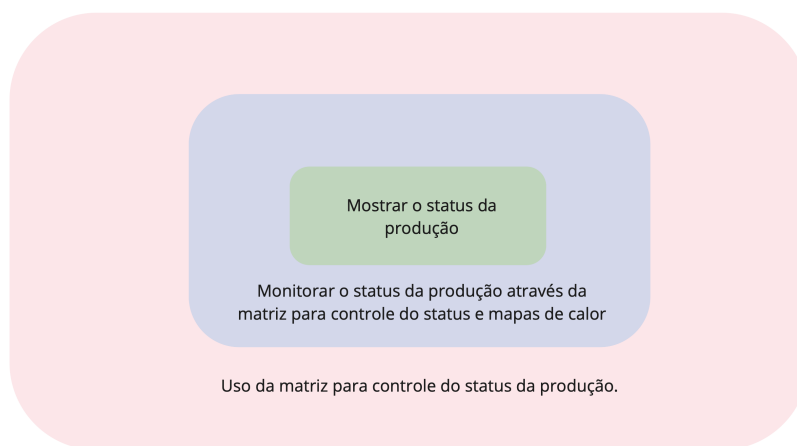
6 APRESENTAÇÃO DO ARTEFATO E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta as contribuições práticas e teóricas desta tese. Primeiramente, é apresentada a proposta de artefato, seguida pela sua avaliação considerando os critérios de utilidade e aplicabilidade. Por fim, são apresentadas as contribuições teóricas da pesquisa.

6.1 APRESENTAÇÃO DO ARTEFATO

O artefato proposto nesta tese consiste em uma estrutura de conhecimento (*knowledge framework*) que conecta princípios com prescrições de design para o desenvolvimento de SMDs que tem o objetivo de apoiar a implementação de conceitos e práticas *Lean* na gestão da produção de empresas do setor da construção. Os princípios de design representam categorias de prescrições de design, sendo considerados uma parte mais abstrata da estrutura de conhecimento. A Figura 69 tem o propósito de apresentar um exemplo da aplicação dos princípios de design, prescrições de design e sua aplicação prática.

Figura 69 – Exemplo de aplicação dos princípios e prescrições de design e sua aplicação prática.



O desenvolvimento do artefato parte da premissa de que o SMD deve apoiar os mecanismos para lidar com a complexidade.

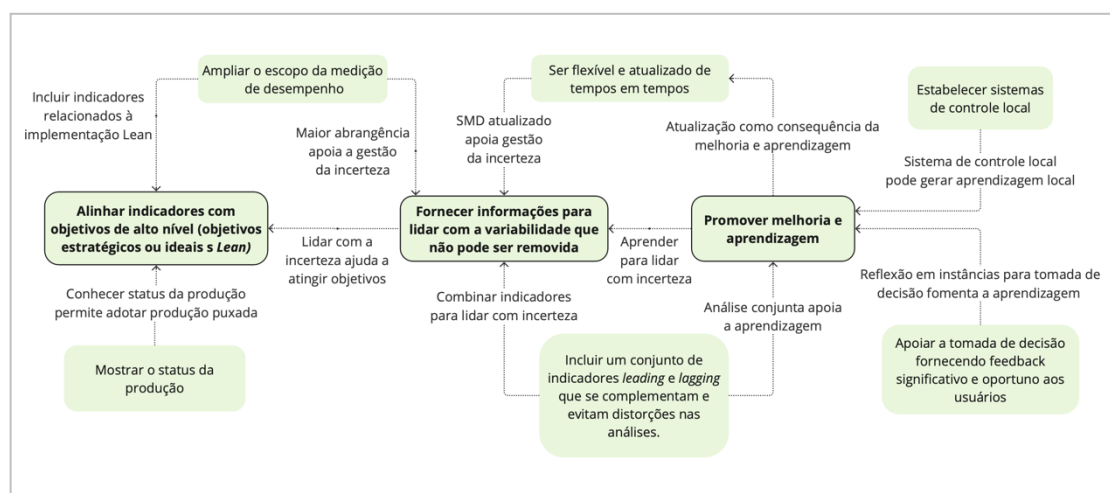
A Figura 70 apresenta a relação entre os nove princípios de design que compõe a estrutura de conhecimento. Três princípios são centrais no artefato, indicadores alinhados aos objetivos de alto nível (estratégicos ou ideais *Lean*), fornecer

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 70 –Relação entre os princípios de design que compõe o artefato desenvolvido nesta pesquisa.



A seguir são descritos os princípios e as prescrições de design, apresentados na Figura 71.

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 para explicitar a conexão entre os indicadores e os objetivos do programa de implementação *Lean***. 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.

A prescrição proposta é **considerar uma maior diversidade de dimensões do desempenho**, incluindo indicadores diretamente relacionadas à implementação de conceitos e princípios *Lean*. Este princípio está alinhado com o princípio de design que recomenda alinhar os indicadores do SMD com os objetivos de alto nível, neste caso, os ideais *Lean*. A partir dos estudos exploratórios, foi proposta uma taxonomia de indicadores que inclui categorias propostas na literatura e outras categorias. Dentre as categorias propostas na literatura estão geração de valor, aprendizagem e melhoria contínua (Koskela, 1992; Karlsson & Åhlström, 1996); multifuncionalidade (que representa uma forma de slack) e descentralização de responsabilidades, o que facilita a consideração de fatores humanos (Karlsson & Åhlström, 1996). A proposta final de taxonomia inclui confiabilidade, empoderamento da mão de obra, integração com a cadeia de suprimentos, resiliência, controle do slack, melhoria contínua e aprendizagem. Diversas práticas identificadas nos estudos empíricos estavam relacionadas à inclusão de indicadores para monitorar confiabilidade, melhoria contínua e aprendizagem, controle do *slack* e eliminação de desperdícios.

3. Mostrar o status da produção

Conhecer o status da produção permite identificar a lacuna entre *WAI* e *WAD*, o que permite a redução da variabilidade inesperada. Assim, foram utilizados diversos indicadores (*leading*) e dispositivos visuais para monitorar 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). Foi proposta uma prescrição derivada desse princípio de design, **monitorar o status da produção através da matriz para controle do status**. Nos estudos empíricos a matriz para controle do status da produção foi utilizada, podendo ser citada como exemplo de prática aplicada.

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

Os empreendimentos de construção civil, assim como outros sistemas complexos, são caracterizados por um elevado grau de variabilidade (Williams, 1999). O SMD deve fornecer informações que permitam conviver com esta variabilidade.

A primeira prescrição decorrente desse princípio é **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 (Saurin e Werle, 2017; Browning e de Treville, 2021). Através da MD, é possível monitorar o *slack*, permitindo ao sistema tentar manter uma quantidade mínima de recursos deste tipo. O *slack* pode ser medido em termos relativos, medindo as mudanças na quantidade de *slack* em um sistema, ou absolutos, referente à quantidade total. Em termos relativos, os dados de *slack* servem de comparação, ao passo que uma abordagem transversal dificultaria comparar os comportamentos de organizações com diferentes níveis absolutos de *slack* (Bourgeois, 1981). Um exemplo de prática identificada nos estudos empíricos foi a inclusão e monitoramento dos *buffers* de tempo no plano de longo prazo das obras da empresa F, uma estratégia de *slack* que introduz redundância de recursos.

A segunda prescrição é **medir algumas categorias de perdas consideradas como fundamentais**, tais como de WIP, trabalho inacabado, retrabalho e falta de qualidade (Formoso et al., 2020). Nos estudos empíricos o WIP foi medido através da diferença entre o avanço físico com e sem terminalidade.

A terceira prescrição é **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. Nos

estudos empíricos esta prescrição foi aplicada através da medição do trabalho informal, representado no gráfico de pacotes diferenciados no *dashboard* de planejamento de curto prazo. Outra prática relacionada a esta prescrição e que foi identificada nos estudos empíricos foi planejar o trabalho não visível na MD, formalizado através da definição das instâncias para tomada de decisão e da explicitação do processo e responsáveis para gerar os *dashboards*. A quarta prescrição é decorrente da terceira: **explicitar a lacuna entre WAI e o WAD através da MD**. O mesmo exemplo de prática apresentado para a terceira prescrição se aplica a esta.

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 (Lohman et al. 2004). 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). O SMD deve se adaptar a estas mudanças, de forma que se mantenha atualizado. Para tanto, é importante estabelecer reuniões para análise crítica do SMD como um todo (Braz et al., 2011).

Como apoio à implementação *Lean*, o SMD deve ser revisado, permitindo acompanhar a evolução da empresa em relação aos conceitos e práticas adotadas. Essa adaptação pode também ser uma consequência da aprendizagem das pessoas. Deve-se evitar a inclusão de indicadores apenas como consequência de pressões do trabalho, o que ocorre em sistemas burocráticos. Trata-se de um tipo de adaptação negativa, na qual o SMD passa a ser utilizado apenas para cumprir com as exigências formais da empresa, não agregando valor à tomada de decisão e pouco contribuindo para o aprendizado.

A primeira prescrição é **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. Nos estudos empíricos, o 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 atrasos ou aumento do WIP. Uma estratégia que era

frequentemente adotada nas obras das empresas estudadas é o aumento da capacidade através do incremento dos recursos de mão de obra e equipamentos. Através do monitoramento do histórico do ritmo dos processos críticos, juntamente com indicadores de confiabilidade no planejamento (PPC) e causas do não cumprimento dos pacotes de trabalho semanais, foi possível convencer os gestores que o aumento da capacidade poderia ser realizado por meio do aumento da eficiência no uso dos recursos disponíveis.

A segunda prescrição é **incluir ciclos de revisão de informações de forma evolutiva**, estabelecendo novos indicadores e removendo indicadores antigos como consequência das mudanças ocorridas na empresa. Pode-se citar como exemplo de prática identificada a evolução do SMD da empresa F. Indicadores que inicialmente fazia sentido analisar, perderam sua importância com a evolução da implementação *Lean* (PPC de empresas subcontratadas). Outros indicadores que antes não despertavam interesse, passaram a ser considerados importantes (tempo de ciclo). Outro exemplo identificado foi a atualização do *check-list* de práticas de implementação *Lean* para acompanhar a evolução da empresa C.

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 (Penalosa et al., 2020). Por exemplo, a análise do indicador de avanço físico (realizado em comparação à meta) de forma isolada, pode levar a conclusão de que a obra apresenta bom desempenho. Esta informação, contudo, pode ocultar um grande volume de WIP. 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. A primeira se refere a **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. Um exemplo de prática identificada na empresa C foi a realização de *gemba walks* para identificar oportunidades de melhoria na produção. Nestes eventos, um grupo de profissionais de diferentes funções vai à obra para observar como o trabalho é realizado e para identificar diferenças entre o trabalho imaginado e o trabalho realizado. O fato de ir e ver diretamente, em vez de depender de fontes indiretas de informação, contribui para uma melhor compreensão do processo (Saurin et al., 2013).

A segunda prescrição estabelece que se deve **identificar conexões emergentes** (não intencionalmente projetadas) **entre indicadores como uma forma de aprendizagem dos usuários do SMD**. O uso de *dashboards* como apoio à discussão em reuniões favorece a aprendizagem, permitindo que novas conexões sejam identificadas por meio da análise de cenários. Um exemplo de conexão emergente é a relação entre indicadores de terminalidade e qualidade. Os usuários do *dashboard* identificaram que quanto maior a terminalidade, monitorada na matriz de status da produção, melhor será a qualidade do produto final, considerando que menos tarefas de revisão e acabamento deverão ser realizadas no término da obra.

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., 1997). Quatro prescrições são associadas a esse princípio de design. A primeira prescrição é **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). O envolvimento dos usuários na concepção do SMD facilita seu engajamento durante a fase de uso. Um exemplo de prática identificada nos estudos foi realizar entrevistas com usuários para identificar suas necessidades de informação. Assim, os *dashboards* foram desenvolvidos buscando incluir tanto as informações requeridas por seus usuários (aqueles que recebem informações do *dashboard*) como as informações consideradas importantes por aqueles cujo desempenho está sendo medido (aqueles que influenciam as medidas do *dashboard*). Ainda, em ambas as empresas estudadas, a proposta de SMD foi discutida com os envolvidos antes da sua implementação, permitindo confirmar se o sistema atendia às suas necessidades.

A segunda prescrição é **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). Foram desenvolvidos *dashboards* específicos para as necessidades de cada uma das empresas dos estudos empíricos, representando exemplos de aplicação deste princípio. 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 da anterior é **conectar a análise dos *dashboards* a alguma instância de tomada de decisão.** Nos estudos empíricos, constatou-se que os *dashboards* que não estavam conectados a momentos formais de análise, acabavam não sendo utilizados. Após a implementação, os *dashboards* de planejamento foram conectados às reuniões do SLP, passando, assim, a ser analisados pelos participantes. Nos estudos empíricos, não foi possível testar a instância de análise do *dashboard* tático, pois dependia da operacionalização desta ferramenta. 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.

A terceira prescrição é **considerar diferentes perspectivas na tomada de decisão**. Nos estudos empíricos esta prescrição foi implementada promovendo troca de informação entre profissionais de diferentes projetos, áreas e níveis hierárquicos para trazer diferentes perspectivas. Considerar diferentes perspectivas na tomada de decisão também pode ser considerada como um exemplo de prática de implementação de *slack* (Saurin et al., 2013).

A quarta prescrição é **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 *dashboards*. Esta prescrição foi parcialmente implementada nos estudos empíricos. A empresa F tinha a intenção de utilizar *MS Power BI* para automatizar o processamento dos dados, mas isso não foi realizado durante a pesquisa. Contudo, ambas as empresas desenvolveram planilhas em *MS Excel*, tentando automatizar uma parte substancial do controle.

9. Estabelecer sistemas de controle local

A primeira prescrição é **introduzir certo grau de liberdade para a inovação local** (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 para que as equipes em nível operacional possam se envolver na proposição de indicadores e melhorias (Perry & Turner, 2006). Para tanto, é aceitável que alguns indicadores não estejam conectados aos objetivos estratégicos da empresa, sendo utilizados como um sistema local. Contudo, o desenvolvimento destes sistemas não deve criar controles paralelos, sendo necessário sua validação pela empresa. Não foi possível implementar esta prescrição nos estudos empíricos, pois exigia maior maturidade na filosofia *Lean*.

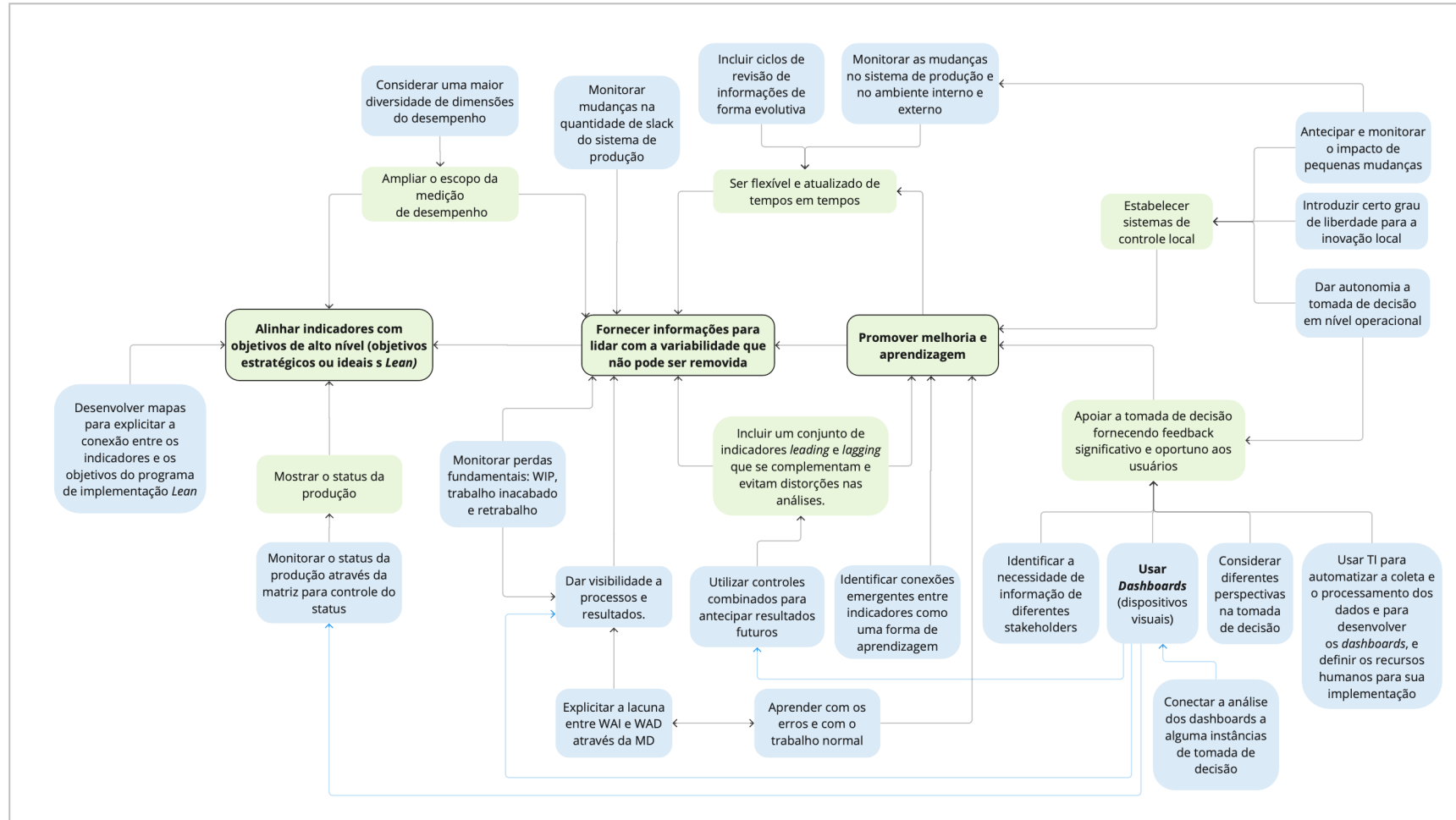
A segunda prescrição é **dar autonomia para tomada de decisão em nível operacional**, ou seja, no "chão de fábrica". Essa prescrição também possui relação com o princípio de apoiar a tomada de decisão fornecendo feedback significativo e oportuno

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.

O grau de autonomia pode variar, dependendo da cultura da empresa e do estágio de avanço da implementação da filosofia *Lean*, ou ainda, do nível de complexidade existente. Em ambientes com maior complexidade, existe a necessidade de introduzir maior autonomia para os trabalhadores terem condições de lidar com as situações imprevistas (Saurin et al. 2013; Woods et al., 2018). O quadro *PPM* implementado na empresa C representa um exemplo de prática que tem o objetivo de reforçar a tomada de decisão no nível operacional. Este quadro disponibiliza a informação de forma transparente para as equipes no local de trabalho, fomentando a tomada de decisão local. Caso os trabalhadores realizassem alguma alteração na sequência planejada de zonas, essa mudança era registrada no quadro.

A terceira prescrição é **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. A maior proximidade com os processos monitorados e a menor escala de operação pode facilitar a detecção de pequenas variações. Esta maior proximidade com a área de produção permite atentar-se a detalhes sobre o processo, uma prática consistente com a prescrição que recomenda antecipar e monitorar os impactos de pequenas mudanças (Saurin et al., 2013). Isso é particularmente importante em SSC, onde o efeito das mudanças pode ser maior do que a soma dos efeitos de cada mudança individualmente (Williams, 2002). Essa prescrição está diretamente ligada à prescrição de monitorar as mudanças no sistema de produção e no ambiente interno e externo. Essa prática não foi implementada nas empresas participantes nos estudos empíricos devido à dificuldade de estabelecer sistemas de controle local. Ambas as empresas estavam em processo de implementação de ferramentas para planejamento e controle da produção, não apresentando maturidade suficiente para avançar para a implementação de práticas avançadas.

Figura 71 - Artefato desenvolvido nesta pesquisa: estrutura de conhecimento que relaciona os princípios com as prescrições design.



A Figura 72 a seguir, resume os princípios e prescrições de design com exemplos de práticas identificadas.

Figura 72– Relação entre princípios e prescrições de design com exemplos de práticas identificadas nos estudos empíricos.

Princípios de design	Prescrição de design	Exemplo de prática identificada
1. Alinhar indicadores com objetivos de alto nível (estratégicos ou ideais <i>Lean</i>)	Desenvolver mapas para explicitar a conexão entre os indicadores e os objetivos do programa de implementação <i>Lean</i>	Inclusão de objetivos para apoiar o programa de implementação <i>Lean</i> nos mapas de curto e médio prazo.
2. 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.
3. Mostrar o status da produção	Monitorar o status da produção através da matriz para controle do status da produção e mapas de calor Relacionada com usar <i>dashboards</i>	Uso da matriz para controle do status da produção.
4. Fornecer informações para lidar com a variabilidade que não pode ser removida	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 F, 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.
	Dar visibilidade a processos e resultados Relacionada com usar <i>dashboards</i> Explicitar a lacuna entre <i>WAI</i> e o <i>WAD</i> através da MD. Relacionada com aprender com erros e com trabalho normal	Medição do trabalho informal, representado no gráfico de pacotes diferenciados no <i>dashboard</i> de planejamento de curto prazo. Planejamento do trabalho não visível através da definição das instâncias para tomada de decisão e da explicitação do processo e responsáveis para gerar os <i>dashboards</i>
5. 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 monitorar impacto pequenas mudanças	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 ciclos de revisão de informações de forma evolutiva	Evolução do SMD: indicadores que inicialmente fazia sentido analisar, perderam sua importância com a evolução da implementação <i>Lean</i> (PPC de empresas subcontratadas). Outros indicadores que antes não despertavam interesse, passaram a

		ser considerados importantes (tempo de ciclo).
		Atualização do <i>check-list</i> de práticas de implementação Lean
6. 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 usar dashboards	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.
7. Promover melhoria e aprendizagem	Aprender com os erros e com o trabalho normal Relacionada com explicitar lacuna entre WAI e WAD	Realização de <i>Gemba walks</i> para identificar oportunidades de melhoria na produção.
	Identificar conexões emergentes (não intencionalmente projetadas) entre indicadores como uma forma de aprendizagem	Relação entre terminalidade e qualidade: usuários do <i>dashboard</i> identificaram que quanto maior a terminalidade, monitorada na matriz de status da produção, melhor será a qualidade do produto final, considerando que menos tarefas de revisão e acabamento deverão ser realizadas no término da obra.
8. Apoiar a tomada de decisão fornecendo feedback significativo e oportuno aos usuários	Identificar a necessidade de informação de diferentes <i>stakeholders</i>	Realizar entrevistas com os usuários para identificar sua necessidade de informação. Apresentação e discussão da proposta de SMD com os envolvidos antes da implementação, permitindo confirmar se o sistema estava alinhado às suas necessidades.
	Usar <i>dashboards</i> como dispositivos de gestão visual Relacionada com monitorar status, dar visibilidade a processos e resultados e utilizar controles combinados para antecipar Conectar a análise dos <i>dashboards</i> a alguma instância de tomada de decisão	Elaboração de <i>dashboards</i> específicos para as necessidades de cada uma das empresas. <i>Dashboards</i> de planejamento foram conectados às reuniões do SLP, passando, assim, a ser analisados pelos participantes.
	Considerar diferentes perspectivas na tomada de decisão (também representa uma forma de <i>slack</i>)	Troca de informação entre profissionais de diferentes projetos, áreas e níveis hierárquicos para trazer diferentes perspectivas
	Usar a TI para automatizar a coleta e o processamento dos dados e para desenvolver os <i>dashboards</i> , e definir os recursos humanos para sua implementação	Parcialmente implementada: uso de planilhas em <i>MS Excel</i> , para automatizar a maior parte do controle.

9. Estabelecer sistemas de controle local	Introduzir certo grau de liberdade para a inovação local	-
	Dar autonomia a tomada de decisão em nível operacional Relacionada com feedback significativo e oportuno	Uso do quadro <i>PPM</i> para reforçar a tomada de decisão no nível operacional.
	Antecipar e monitorar o impacto de pequenas mudanças Relacionada com monitorar as mudanças no sistema de produção	-

6.2 AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

6.2.1 Avaliação da utilidade do artefato

A utilidade do artefato deve ser avaliada por meio da eficácia em atingir seus objetivos principais. O objetivo principal do artefato proposto é permitir o **desenvolvimento e avaliação de SMDs para apoiar a implementação de conceitos e práticas *Lean*** na gestão da produção de empresas do setor da construção. Assim, sua utilidade foi avaliada 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). As práticas apresentadas na seção 6.1 representam evidências de que as prescrições e, conseqüentemente, os princípios, foram utilizadas pelas empresas nos estudos empíricos.

O critério de **aprendizagem** representa um dos princípios centrais no artefato, além de estar vinculado a outros princípios e a diversas prescrições. Sistemas de controle local permitem que a aprendizagem ocorra de forma localizada, como resultado da interação dentro de uma mesma equipe. Foi identificado nos estudos empíricos que em pequenos grupos que estão acostumados a trabalhar em conjunto existe maior abertura para discussão de dúvidas, o que permitem gerar aprendizagem. A aprendizagem também ocorre como consequência da troca de experiência nas discussões em reuniões para análise dos indicadores. Ainda, a análise combinada de indicadores *leading* e *lagging* e a conexão por meio dos *dashboards*, fomenta a aprendizagem dos usuários do SMD. Por fim, ampliar o escopo da medição de desempenho, incluindo indicadores relacionados à implementação *Lean*, explicitar a lacuna entre o trabalho planejado e a prática, e medir as perdas fundamentais fornece informações que permitem aprender sobre como os processos são realizados e indicam oportunidades de melhoria.

A **antecipação** é uma característica de grande importância em um SMD. O artefato apresenta forte ênfase em fornecer informações que permitem ao usuário projetar tendências de resultados

com base nos dados atuais. O monitoramento dos gráficos de aderência ao lote planejado em conjunto com as curvas de ritmo permitiu antecipar a necessidade de alterar a estratégia de execução da obra para evitar impacto no resultado. Outro exemplo é a análise combinada de indicadores *leading* e *lagging* com outros gráficos, que permitiu antecipar possíveis cenários. Ainda, antecipar o impacto de pequenas mudanças através de sistemas de controle local pode contribuir para a identificação de mudanças no sistema de produção e no ambiente interno e externo. Entretanto, essa prática não foi observada nos estudos empíricos, necessitando ser testada.

As informações geradas pelo SMD devem **apoiar a tomada de decisão**, fornecendo *feedback* significativo e oportuno aos usuários. Desse modo, o tempo para entrega das informações e sua relevância são essenciais. O artefato proposto apresenta quatro prescrições diretamente relacionadas à disponibilização das informações para a tomada de decisão no momento em que são necessárias. Os *dashboards* propostos para apoiar o planejamento de curto e de médio prazo foram utilizados nas respectivas reuniões de obra em ambos os estudos empíricos. O uso dos *dashboards* de planejamento pelas obras indica que o parte não visual do processo, que envolve coletar e processar os indicadores, estava sendo realizado. Além de captar os requisitos dos usuários do SMD, projetar *dashboards* a partir das necessidades dos usuários e conectá-los a instâncias de tomada de decisão, deve-se prever a infraestrutura e recursos humanos necessários para o processamento das informações. A TI para automatizar a coleta e processamento das informações foi parcialmente adotada nos estudos empíricos, considerando que a pesquisa se focou na concepção do SMD.

O **escopo e abrangência do SMD** foi abordado, principalmente, através do princípio de ampliar o escopo da medição de desempenho. Para tanto, foi apresentada uma taxonomia que inclui categorias de indicadores relacionados aos objetivos da produção *Lean* (eliminação de desperdício e geração de valor) e àqueles relacionados aos meios para atingir esses objetivos. Os indicadores relacionados aos meios incluem a melhoria contínua e aprendizagem, controle do *slack*, confiabilidade em relação à qualidade, sustentabilidade, custo e tempo, colaboração e empoderamento, integração com a cadeia de suprimentos e segurança sob a perspectiva da resiliência. Nos estudos empíricos foram propostos indicadores para as categorias de confiabilidade, melhoria contínua e aprendizagem, controle do *slack* e eliminação de desperdícios.

O critério da **interconectividade** entre níveis gerenciais foi abordado por meio do desdobramento dos objetivos de alto nível, explicitados nos mapas de objetivos e ações estratégicas para o programa de implementação *Lean*. O desdobramento destes objetivos foi colocado em prática com o auxílio dos *dashboards*. Nesse sentido, o SMD estabeleceu uma conexão entre os níveis hierárquicos das empresas, permitindo que o usuário navegue por diferentes interfaces com informações que complementam a análise. A proposta de *dashboard* estratégico, tático, operacional e de planejamento, mostram diferentes níveis de granularidade dos dados para usuários em diferentes níveis hierárquicos.

6.2.2 Avaliação da aplicabilidade do artefato

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 compõem o SMD desenvolvido nos estudos empíricos. De acordo com as informações coletadas nas entrevistas, os indicadores relacionados ao SLP e incluídos nos *dashboards* de planejamento eram de fácil compreensão para os usuários. A proposta de *dashboard* operacional e tático foi apresentada à equipe da empresa F em formato de *mock-up*. A equipe considerou que a proposta de *dashboard* estava adequada às suas necessidades. O teste do *dashboard* operacional nos três estudos piloto da empresa C apontou que a aplicação da ferramenta era relativamente simples. De fato, apenas os indicadores de avanço físico com terminalidade, controle econômico de saldos e eficiência da mão de obra não eram utilizados em todas as obras da empresa.

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. A empresa C executa obras repetitivas, com um prazo relativamente longo e que dependem do mercado imobiliário, que apresenta muitas flutuações. As obras da empresa F são rápidas, não repetitivas e contratadas por um cliente privado. Mesmo que o artefato tenha sido concebido considerando o contexto de cada empresa, essa diferença representa uma evidência da aplicabilidade a contextos distintos. Algumas ferramentas tiveram de ser adaptadas para que pudessem atender às características de cada empresa. A matriz para controle do status da produção, por exemplo, teve de ser adaptada para poder ser utilizada na empresa F, pois em suas obras cada processo crítico apresentava um sistema de localização específico.

Ainda, na empresa F, a proposta de SMD desenvolvida para a gestão das obras da área de engenharia, foi expandida para o processo de desenvolvimento de projetos de edificações, da área de arquitetura. Também foi necessário realizar adequações no sistema para que pudesse atender aos requisitos dos envolvidos. Mas o artefato proposto pôde ser aplicado em ambas as áreas.

6.3 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

Para destacar as principais contribuições da estrutura de conhecimento proposta, foi realizada uma análise sobre o desenvolvimento e implementação de SMD considerando empreendimentos de construção como sistemas sociotécnicos complexos e a necessidade de implementar conceitos e princípios da filosofia *Lean*.

Na estrutura de conhecimento proposta no presente trabalho, sugere-se o uso de diferentes tipos de *slack* e também mecanismos de **antecipação** de futuros eventos. Isto significa responder de forma proativa, por meio da **antecipação** de futuras situações e o desenvolvimento de soluções com base no contexto (Hollnagel et al., 2011).

A **combinação de um conjunto de indicadores *leading* e *lagging*** também pode fornecer informações que permitem **antecipar tendências**. Por exemplo, a análise combinada do avanço físico com e sem terminalidade (que mostra a capacidade e o WIP), com os gráficos de controle do ritmo dos processos críticos, permite realizar uma projeção do prazo de entrega. Esta análise pode ser complementada pelo indicador de confiabilidade do sistema de planejamento e pela matriz de status da produção. Essa mesma ideia poderia ser expandida para outras dimensões do desempenho, tais como custo.

A **identificação antecipada de mudanças no ambiente** e a realização de modificações nos processos para acomodá-las, também representam uma parte importante e desejável para a estabilidade do sistema de produção (Hollnagel et al., 2011). Por exemplo, mudanças nas exigências dos clientes ou a variação no preço dos recursos (insumos e mão de obra, por exemplo), devem ser analisadas e retroalimentar as metas dos processos internos à empresa. Nesse sentido, **alertas antecipados** devem ser monitorados, servindo de indicativo de problemas em um processo ou projeto (Hollnagel et al., 2011). Indicadores *leading* fornecem estes alertas, permitindo identificar antecipadamente a necessidade de ação, enquanto os indicadores *lagging* possibilitam avaliar seus efeitos nos resultados. Para tanto, o SMD deve

ser **flexível e atualizado** para acompanhar as mudanças no sistema de produção (Maskell, 1991) e no ambiente interno e externo (Okwir et al, 2018).

A **antecipação** permite ainda, preservar as **margens de manobra futuras**, evitando deparar-se com situações que ultrapassem os limites da variabilidade esperada (Hollnagel et al., 2011). Nesse sentido, um rápido ciclo de entrega de informação possibilita detectar desvios precocemente, permitindo que ações corretivas sejam realizadas rapidamente (Fullerton e Wempe, 2009). SMDs podem apoiar este processo de antecipação, fornecendo informações rápidas, relevantes e confiáveis para apoiar a **tomada de decisão** (Neely et al., 1997).

Mesmo com a introdução da capacidade de antecipação, o sistema deve estar preparado para lidar com eventos emergentes, que **não podem ser antecipados**, típicos de SSCs (Hollnagel et al., 2011; Soliman & Saurin, 2020). O uso de uma combinação de estratégias de **slack** **representa uma maneira de lidar com estes eventos emergentes**, disponibilizando tempo para a busca de soluções para ajustar o desempenho (Saurin et al., 2013). O SMD permite monitorar as mudanças na quantidade de *slack* disponível, de forma a realizar ajustes quando necessário. Podem-se citar como exemplos de *slack* a redundância de mão de obra e equipamentos, pontos de confirmação no PCP, trabalhadores multifuncionais, folga de espaços (que introduz flexibilidade na sequência de trabalho) e folgas de tempo para a conclusão de tarefas.

Outro exemplo de *slack* é o organizacional (Bourgeois, 1981), que permite a criação de **sistemas de controle local**, por meio da adoção de certos **graus de liberdade** para a inovação e de maior apoio à **tomada de decisão em nível operacional**. Entretanto, **delegar a tomada de decisões relevantes a níveis hierárquicos operacionais** (Saurin et al., 2013) deve ser combinada com treinamento para o desenvolvimento das habilidades requeridas (Dekker, 2003). Essa característica é identificada na aplicação da filosofia *Lean*, por meio da capacidade dos funcionários de tomar decisões com base nas condições do contexto, mas fortemente embasados nos princípios *Lean* (Gayer et al., 2021)

A equipe deve ser capaz de reconhecer, por exemplo, quando as relações de *tradeoffs* (conflitos) entre as metas são alteradas (Hollnagel et al., 2011). A MD pode contribuir para avaliar estes *tradeoffs* (por exemplo, entre segurança e produção), fornecendo dados que servem de base para a análise. Segundo Hollnagel et al. (2011), a forma como as empresas gerenciam esse tipo de situação de conflito de objetivos poderia representar um indicador de resiliência. É

importante ressaltar que a **tomada de decisão** em situações complexas requer a combinação de diferentes habilidades profissionais (Saurin et al., 2013). Essa **diversidade de perspectivas** pode ser explorada para lidar com a variabilidade inesperada em termos de quando e como ajustar o desempenho (Saurin et al., 2013).

Deve-se destacar que o uso do *slack* pode dificultar a antecipação e o monitoramento de pequenas mudanças, considerando que os problemas podem demorar para serem identificados (Saurin et al., 2013). A literatura sobre SSC reconhece que existem efeitos colaterais decorrentes do uso do *slack*. Por esse motivo, o **controle** do *slack* foi incluído como uma das categorias da taxonomia para o princípio de ampliar o escopo da medição de desempenho deste trabalho.

Considerando que em SSCs é inevitável um certo nível de **variabilidade inesperada**, deve existir uma **lacuna entre o WAI e o WAD** (Soliman e Saurin, 2020). Em ambientes estáveis, em que os sistemas são previsíveis, o trabalho pode ser prescrito por meio de um conjunto de procedimentos que orientam o curso das ações. Contudo, SSC precisam se adaptar, aprendendo novas formas de responder. Uma forma de aprender é através de identificar e compreender a **lacuna entre a prescrição e a prática** (Saurin et al., 2013) entendendo as razões por trás disso (Dekker 2003). Aprender não apenas através dos erros, mas também através de ações que obtiveram êxito, assimilando novos comportamentos e se adaptando a novas situações (Hollnagel, 2015).

No presente trabalho, o desenvolvimento dos SMDs envolveu três formas de reduzir a lacuna entre o WAI e o WAD. A primeira forma é através da realização de eventos de **Gemba Walk**. Através da realização destes eventos é possível identificar oportunidades de melhoria. Os eventos de *gemba walk* realizados na Empresa C foram focados na identificação de perdas fundamentais que, segundo Formoso et al., 2020, são representadas por trabalho inacabado, retrabalho, falhas de qualidade, making-do e perdas na logística. Contudo, estes eventos devem ser realizados também para a análise do **trabalho normal**, considerando que, segundo Shingo (1988), as perdas muitas vezes aparecem sob a forma de trabalho útil. Existe, ainda, a possibilidade de que com o passar do tempo as práticas informais sejam consideradas como parte do trabalho normal (Saurin et al., 2013).

A segunda forma identificada tem relação com o monitoramento do **trabalho informal**, que foi realizado por meio do **gráfico de pacotes de trabalho diferenciados** no planejamento de curto

prazo. Este gráfico permite identificar a quantidade de atividades executadas informalmente e foi incluído no *dashboard* das empresas em ambos os estudos empíricos. Uma grande quantidade de trabalho informal indica que uma parte da capacidade da equipe está sendo utilizada para realizar atividades não planejadas, muitas das quais tem uma elevada parcela de trabalho que não agrega valor. Por outro lado, o trabalho **informal** muitas vezes é usado para compensar a incapacidade da empresa de fornecer os recursos básicos necessários para o desempenho da tarefa (Dekker 2003). Quando da análise das **práticas informais**, deve-se avaliar se são realmente necessárias e qual a sua contribuição para gerar o resultado esperado (Saurin et al. 2013).

A terceira forma de reduzir a lacuna entre o WAI e o WAD é por meio da **matriz de controle de status combinada com os mapas de calor** (Figura 24). Além de representar uma informação que apoia a produção puxada, o **monitoramento do status da produção** permite compreender o trabalho que está sendo realizado na prática. Estes mecanismos de gestão visual permitem identificar **anormalidades e práticas informais** de trabalho (Hollnagel et al., 2011), assim como monitorar o **trabalho normal** (Saurin et al. 2013).

Nos estudos empíricos a matriz de status da produção estava conectada à instância de planejamento de médio prazo, realizada a cada duas semanas, como um anexo ao *dashboard*. Nestes estudos, as informações mais importantes obtidas da matriz são medidas de WIP e a sequência de execução das atividades. Essa análise permite controlar o número de lotes simultaneamente abertos (WIP), possibilitando tomar decisões a respeito de mudanças na estratégia de execução da obra. A combinação das informações da matriz de status com mapas de calor, como identificado nos estudos exploratórios, complementa esta análise. Além do WIP, a partir da matriz de controle de status foram gerados indicadores e tempo de ciclo, aderência ao lote planejado, curvas de ritmo, e indicadores de desempenho, como o indicador de terminalidade, a projeção de entrega da obra e o desvio de prazo.

A matriz de status da produção utilizada nos estudos exploratórios se limitou a apresentar as categorias de status de “tarefa finalizada”, “tarefa em progresso”, “tarefa de retrabalho” e “tarefa paralisada”. Entretanto, empresas com maior maturidade na implementação de práticas *Lean* podem estabelecer outras categorias de status, possibilitando ter uma visão mais completa sobre a produção. A matriz poderia, por exemplo, incluir categorias de tarefa atrasada, tarefa antecipada, tarefa com restrição, etc. Informações sobre a existência de restrições a serem removidas em cada localização também poderiam ser transparentadas na matriz. Em uma das

obras da Empresa C foi incluída uma linha que representava o status previsto nos planos, possibilitando a comparação com o status real.

Além da maturidade na adoção de conceitos *Lean*, a ampliação da natureza das categorias de status requer maior agilidade e confiabilidade nas informações sobre a execução. O quadro *PPM* (Figura 52) implementado na Empresa C tinha o propósito de melhorar essa comunicação entre as equipes e a gestão da obra, fornecendo informações de planejamento e delegando o controle da execução. Através desse dispositivo é possível obter informações de *check-in* e *check-out* de cada localização, fornecendo dados para a matriz de controle do status. Esse fluxo de informações entre os trabalhadores envolvidos na execução e a equipe de gestão da obra poderia ser beneficiado pelo uso de TI para automatizar a coleta de dados. Deve-se considerar também que o aumento das categorias de status pode aumentar a dificuldade do controle, exigindo maior preparo das equipes para o monitoramento.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

Este capítulo apresenta um resumo das conclusões obtidas ao longo da pesquisa e as recomendações para futuros trabalhos.

7.1 CONCLUSÕES

A definição de um SMD como um “conjunto de métricas utilizadas para quantificar a eficiência e a eficácia das ações” foi apresentada por Neely et al. (1995, pg. 81). Esta definição continua sendo a mais utilizada dentre os trabalhos que abordam SMDs, mesmo depois de quase 30 anos. O mesmo ocorre com as etapas de desenvolvimento de um SMD, também denominado de ciclo de vida de SMDs (Bourne et al., 2000) que, mesmo depois de mais de 20 anos continuam sendo aplicadas.

Com a disseminação da filosofia da *Lean Production* na indústria da construção e em outros setores, podem ser identificadas algumas tendências importantes na MD, tais como o maior uso de tecnologias digitais para apoiar a medição; a ênfase na colaboração e aprendizagem, em oposição ao uso dos indicadores para identificação de responsáveis; a ampliação do escopo da MD (além das tradicionais dimensões de prazo, custo e qualidade); uma maior atenção à perspectiva social do SMD; e o uso da gestão visual de forma mais ampla para facilitar a comunicação das informações.

A partir da lacuna de conhecimento identificada na literatura e dos problemas enfrentados por empresas do setor da construção, foi estabelecida a seguinte questão de pesquisa principal: **“como desenvolver SMDs para apoiar a implementação da filosofia *Lean* na gestão da produção de empresas do setor da construção?”**. A partir desta questão de pesquisa foi definido o objetivo de **propor uma estrutura de conhecimento de caráter prescritivo, composta de um conjunto de proposições preliminares para princípios e prescrições de design (*design principles and prescriptions*)**, referentes ao desenvolvimento de SMD que tem o propósito de apoiar a implementação da filosofia *Lean* na gestão da produção de empresas do setor da construção.

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.

Com base nos estudos empíricos, pode-se concluir que a aplicação do conjunto de princípios e prescrições de design propostos permite gerar informações alinhadas com a filosofia *Lean*. Ainda, estes princípios e prescrições permitem desenvolver SMDs para **monitorar** a implementação das práticas *Lean*, que podem ser priorizadas de acordo com sua relevância, **antecipar** possíveis desafios e oportunidades, apoiado pelas perspectivas de diferentes *stakeholders*; e **aprender** com base nos dados e por meio das discussões e trocas de experiência em diferentes instâncias para a tomada de decisão. O artefato proposto possui forte ênfase em fornecer informações que permitem ao usuário **analisar o resultado alcançado por meio de uma visão mais ampla do cenário atual, projetar possíveis tendências futuras, e fomentar a aprendizagem**, por meio da identificação das causas e das oportunidades de melhoria.

Duas questões de pesquisa secundárias foram propostas como um desdobramento da questão principal. A **primeira questão secundária** diz respeito à necessidade de identificar o **escopo da MD** de maneira que esta possa apoiar a implementação da filosofia *Lean* na gestão da produção em empresas de construção civil. Partindo da análise da literatura e dos resultados de cinco estudos exploratórios, foi proposta uma **taxonomia que amplia o escopo da MD** em relação às tradicionais perspectivas do desempenho de prazo, custo e qualidade. A proposta final de taxonomia inclui confiabilidade, empoderamento da mão de obra, integração com a cadeia de suprimentos, segurança sob a perspectiva da resiliência, controle do *slack*, melhoria contínua e aprendizagem.

A **segunda questão secundária** se refere a **como desenvolver e implementar dashboards em SMD** para apoiar a tomada de decisão. As **recomendações para o desenvolvimento e uso de**

dashboards como dispositivo de gestão visual que apoia a MD estão incluídas no conjunto de princípios e prescrições de design. Cinco das prescrições de design propostas estão ligadas ao desenvolvimento e uso de *dashboards* (dispositivos visuais). A primeira propõe *o uso de dashboards* e está ligada ao princípio de design de *apoiar a tomada de decisão fornecendo feedback significativo e oportuno aos usuários*. A partir desta prescrição, as outras quatro, ligadas ao desenvolvimento de *dashboards*, são: (i) dar visibilidade a processos e resultados, (ii) utilizar controles combinados para antecipar resultados futuros, (iii) monitorar o status da produção através da matriz para controle do status e (iv) conectar a análise dos *dashboards* a alguma instância de tomada de decisão.

Os *dashboards* tiveram um papel importante no desenvolvimento dos SMDs das empresas estudadas neste trabalho. Representaram uma forma de fomentar a análise das informações geradas pelos indicadores. A implementação dos *dashboards* exigiu que fosse planejado de forma explícita o processo não visual necessário para gerar estes dispositivos, assim como reunião para análise e reflexão. O uso destes dispositivos de gestão visual permitiu explorar conexões entre os indicadores, resultando em análises fossem mais condizentes com a realidade dos empreendimentos. O uso dos *dashboards* foi promovido por meio da sua conexão com instâncias de tomada de decisão, o que incentivou a atualização frequente dos indicadores que faziam parte do sistema. Ainda, os *dashboards* possibilitaram dar transparência ao fluxo de informação entre os diferentes níveis hierárquicos.

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 C. 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, 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 MD 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 MD 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 MD em geral.

A taxonomia de indicadores, que amplia o escopo da MD, também representa uma contribuição conceitual, na medida em que são propostas categorias de indicadores que apoiam de uma forma mais ampla a implementação da filosofia *Lean*. Algumas destas categorias não foram exploradas nesta pesquisa, tais como a segurança sob a perspectiva da resiliência, empoderamento da mão de obra e integração com a cadeia de suprimentos, e representam oportunidades para estudos futuros.

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.

7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Foram identificadas algumas oportunidades para o desenvolvimento de pesquisas sobre SMDs para apoiar a implementação *Lean* em empreendimentos de construção:

- a) Testar a estrutura de conhecimento proposta em estudos empíricos para refinar os princípios e prescrições de design;
- b) Utilizar a taxonomia de indicadores para identificar lacunas em SMDs de empresas de construção civil e avaliar a abrangência da implementação da filosofia *Lean* a partir destes indicadores;
- c) Desenvolver ferramentas digitais para o controle do status da produção que sejam aplicáveis a diferentes tipos de obras;
- d) Explorar o desenvolvimento de sistemas de controle local, por meio de uma maior autonomia e do oferecimento de estímulos à inovação;
- e) Desenvolver tecnologias digitais para o desenvolvimento de *dashboards* para aumentar o grau de automação na coleta, processamento e disseminação de informações por meio da gestão visual.

REFERÊNCIAS

- Abou-Ibrahim, H., Hamzeh, F., Zankoul, E., Munch Lindhard, S., & Rizk, L. (2019). Understanding the planner's role in lookahead construction planning. *Production Planning and Control*, 30(4), 271–284. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1524163>
- Ahrens, T., & Chapman, C. S. (2005). Management Accounting as Practice. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.816784>
- Arbulu, R., Ballard, G., & Harper, N. (2003). Kanban in Construction. *11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- Arditi, D., Elhassan, A., & Toklu, Y. C. (2002). Constructability Analysis in the Design Firm. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(2), 117–126. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2002\)128:2\(117\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2002)128:2(117))
- Arif-Uz-Zaman, K., & Ahsan, A. M. M. N. (2014). Lean supply chain performance measurement. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(5), 588–612. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-05-2013-0092>
- Azadeh, A., Hasannia Kolae, M., & Salehi, V. (2016). The impact of redundancy on resilience engineering in a petrochemical plant by data envelopment analysis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 230(3), 285–296. <https://doi.org/10.1177/1748006X16629866>
- Baccarini, D. (1996). The concept of project complexity a review. *International Journal of Project Management*, 14(4), 201–204.
- Ballard, G. (1997). Lookahead Planning: The Missing Link in Production Control. *5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 97, 13–26. <http://iglc.net/Papers/Details/17/pdf%5Cnhttp://iglc.net/Papers/Details/17>
- Ballard, G. (2000). Phase Scheduling [White paper]. *Lean Construction Institute White Paper 7*, 7–9.
- Ballard, G., Hamzeh, F. R., & Tommelein, I. D. (2007). The Last Planner Production Workbook-Improving Reliability in Planning and Workflow. *Lean Construction Institute*, 81.
- Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing lean construction: stabilizing work flow. *Lean Construction*, September 1994, 101–110.
- Ballard, G., & Howell, G. (2003a). An update on last planner. *Proc. of the 11th Ann. Conf. of Int'l Group for Lean Construction*, 1–10.
- Ballard, G., & Howell, G. A. (2003b). Lean project management. *Building Research and Information*, 31(2), 119–133. <https://doi.org/10.1080/09613210301997>
- Ballard, G., Koskela, L., Howell, G., & Zabelle, T. (2001). Production System Design in Construction. *Proc. of the 9th Ann. Conf. of Int'l Group for Lean Construction, 2000*, 1–15.

- Ballard, G., Tommelein, I., Koskela, L., & Howell, G. (2007). Lean construction tools and techniques. *Design and Construction*, 227–255. <https://doi.org/10.4324/9780080491080>
- Bartezzaghi, E. (1999). The evolution of production models The evolution of production models: is a new paradigm emerging? *International Journal of Operations & Production Management*, 19(2), 229–150.
- Barth, K. B., & Formoso, C. T. (2008). Improvement of performance measurement systems using production management dashboards. *Proceedings of IGLC16: 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- Barth, K. B., Sterzi, M. P., Formoso, C. T., Alliende, J. I., Bertín, D., & Del Rio, J. (2020). Implementation of production system design in house building projects: A lean journey in Chile. *IGLC 28 - 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020*, 397–408. <https://doi.org/10.24928/2020/0124>
- Beatham, S., Anumba, C., Thorpe, T., & Hedges, I. (2004). KPIs: A critical appraisal of their use in construction. *Benchmarking: An International Journal*, 11(1), 93–117. <https://doi.org/10.1108/14635770410520320>
- Beatham, S., Anumba, C., Thorpe, T., & Hedges, I. (2005). An integrated business improvement system (IBIS) for construction. *Measuring Business Excellence*, 9(2), 42–55. <https://doi.org/10.1108/13683040510602876>
- 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>
- Bernardes, M., & Formoso, C. T. (2002). Contributions To the Evaluation of Production Planning and Control Systems in Building Companies. *In Proc. of the 10th Ann. Conf. of Int'l Group for Lean Construction*, 1–11.
- Bertelsen, S. (2003). Complexity - Construction in a new perspective. *11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- Bertelsen, S., & Koskela, L. (2004). CONSTRUCTION BEYOND LEAN: A NEW UNDERSTANDING OF CONSTRUCTION MANAGEMENT. *12th Annual Conference in the International Group for Lean Construction*.
- Beynon-Davies, P., & Lederman, R. (2017). Making sense of visual management through affordance theory. *Production Planning and Control*, 28(2), 142–157. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1243267>
- Bhasin, S. (2008). Lean and performance measurement. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19(5), 670–684. <https://doi.org/10.1108/17410380810877311>
- Bhasin, S. (2012). Performance of Lean in large organisations. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(3), 349–357. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.04.002>

- Binniger, M., Dlouhy, J., & Haghsheno, S. (2017). Technical Takt Planning and Takt Control in construction. *IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 605–612. <https://doi.org/10.24928/2017/0297>
- Bititci, U., Cocca, P., & Ates, A. (2016). Impact of visual performance management systems on the performance management practices of organisations. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1571–1593. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1005770>
- Bititci, U., Garengo, P., Dörfler, V., & Nudurupati, S. (2008). Performance Measurement: Questions for Tomorrow. In *SIOM Research Paper Series*. www.strath.ac.uk/siom/research/researchpapers
www.strath.ac.uk/siom/research/researchpapers
- Bititci, U. S., Ackermann, F., Ates, A., Davies, J., Garengo, P., Gibb, S., MacBryde, J., Mackay, D., Bourne, M., & Firat, S. U. (2011). Managerial processes: business process that sustain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 31(8), 851–887.
- Bølviken, T., Asiesen, S., Kalsaas, B. T., & Koskela, L. (2017). A balanced dashboard for production planning and control. *IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, July*, 621–628. <https://doi.org/10.24928/2017/0245>
- Bortolotti, T., Boscari, S., & Danese, P. (2015). Successful lean implementation: Organizational culture and soft lean practices. *International Journal of Production Economics*, 160, 182–201. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.10.013>
- 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., 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>
- Bourne, M., Mills, J., Wilcox, M., Neely, A., & Platts, K. (2000). Designing, implementing and updating performance measurement systems. *International Journal of Operations and Production Management*, 20(7), 754–771. <https://doi.org/10.1108/01443570010330739>
- Brady, D. A., Tzortzopoulos, P., Rooke, J., Formoso, C. T., & Tezel, A. (2018). Improving transparency in construction management: a visual planning and control model. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(10), 1277–1297. <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2017-0122>
- Braglia, M., Gabbrielli, R., & Marrazzini, L. (2019). Overall Task Effectiveness: a new Lean performance indicator in engineer-to-order environment. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 68(2), 407–422. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-05-2018-0192>
- Brandalise, F. M. P., Formoso, C. T., & Viana, D. D. (2022). Development of a Typology for Understanding Visual Management Concepts and Their Relationships. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(7). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002300](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002300)

- Braz, R. G. F., Scavarda, L. F., & Martins, R. A. (2011). Reviewing and improving performance measurement systems: An action research. *International Journal of Production Economics*, 133(2), 751–760. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.06.003>
- Browning, T. R., & de Treville, S. (2021). A lean view of lean. In *Journal of Operations Management* (Vol. 67, Issue 5, pp. 640–652). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/joom.1153>
- Bulhões, I. R., & Formoso, C. T. (2005). O Papel Do Planejamento E Controle Da Produção Em Obras De Tipologias Diferentes. In I. Bulhões & C. Formoso (Eds.), *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO*. ANTAC.
- Bulhões, I. R., & Picchi, F. A. (2011). Diretrizes para a implementação de fluxo contínuo em obras de edificações. *Ambiente Construído*, 11(4), 205–223. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212011000400014>
- Cahyadi, A., & Prananto, A. (2015). Reflecting design thinking: A case study of the process of designing dashboards. *Journal of Systems and Information Technology*, 17(3), 296–306. <https://doi.org/10.1108/JSIT-03-2015-0018>
- Castillo, T., Alarcón, L. F., & Salvatierra, J. L. (2018). Effects of Last Planner System Practices on Social Networks and the Performance of Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001443](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001443)
- Chiapello, E., & Lebas, M. (2001). The Tableau de Bord , a French Approach to Management Information. In *19th Annual Meeting of the Europeann Accounting Association*, 2–4.
- Choong, K. K. (2013). Understanding the features of performance measurement system: A literature review. In *Measuring Business Excellence* (Vol. 17, Issue 4, pp. 102–121). Emerald Group Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1108/MBE-05-2012-0031>
- 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.
- Costa, D. B., & Formoso, C. T. (2011). Fatores chaves de sucesso para sistemas de indicadores de desempenho para. *Ambiente Construído*, 11(3), 143–159.
- Costa, D. B., Formoso, C. T., Kagioglou, M., & Alarcon, L. F. (2006). Benchmarking Initiatives in the Construction Industry: Lessons Learned and Improvement Opportunities. *Journal of Management in Engineering*, 22(4), 158–167. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2006\)22](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2006)22)

- Crawford, K. M., & Cox, J. F. (1990). Designing performance measurement systems for just-in-time operations. *International Journal of Production Research*, 28(11), 2025–2036. <https://doi.org/10.1080/00207549008942850>
- Cusumano, M. A., Holweg, M., Howell, J., Netland, T., Shah, R., Shook, J., Ward, P., & Womack, J. (2021). Commentaries on “The Lenses of Lean.” *Journal of Operations Management*, 67(5), 627–639.
- Dankbaar, B. (1997). Lean Production: Denial, Confirmation or Extension of Sociotechnical Systems Design? *Human Relations*, 50(5), 567–583. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/001872679705000505>
- De Luca, F. M. B. (2022). *Integração do Trabalho Padronizado ao Planejamento e Controle Baseado em Localização*.
- De Vargas, F. B. (2018). *Método para Planejamento e Controle da Produção baseado em Zonas de Trabalho e BIM*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, UFRGS, Porto Alegre.
- DeBusk, G. K., Brown, R. M., & Killough, L. N. (2003). Components and relative weights in utilization of dashboard measurement systems like the balanced scorecard. *British Accounting Review*, 35(3), 215–231. [https://doi.org/10.1016/S0890-8389\(03\)00026-X](https://doi.org/10.1016/S0890-8389(03)00026-X)
- Dekker, S. (2003). Failure to adapt or adaptations that fail: Contrasting models on procedures and safety. *Applied Ergonomics*, 34(3), 233–238. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(03\)00031-0](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(03)00031-0)
- Demirkesen, S., Wachter, N., Oprach, S., & Haghsheno, S. (2019). Identifying barriers in lean implementation in the construction industry. *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019*, 157–168. <https://doi.org/10.24928/2019/0151>
- Eckerson, W. W. (2005). *Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing Your Business* (1ª Edição). Wiley.
- Elmaraghy, H., Algeddawy, T., Samy, S. N., & Espinoza, V. (2014). A model for assessing the layout structural complexity of manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(1), 51–64. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.05.012>
- Eriksson, P. E. (2010). Improving construction supply chain collaboration and performance: A lean construction pilot project. *Supply Chain Management*, 15(5), 394–403. <https://doi.org/10.1108/13598541011068323>
- España, F., Tsao, C. C. Y., & Houser, M. (2012). Driving Continuous Improvement By Developing and Leveraging Lean Key Performance Indicators. *In Proc. of the 20th Ann. Conf. of Int'l Group for Lean Construction*, 1–10.
- Ewenstein, B., & Whyte, J. K. (2007). Visual representations as ‘artefacts of knowing.’ *Building Research & Information*, 35(1), 81–89. <https://doi.org/10.1080/09613210600950377>
- Fazinga, W. R., & Saffaro, F. A. (2012). Identificação dos elementos do trabalho padronizado na construção civil. *Ambiente Construído*, 12(3), 27–44.

- Few, S. (2004, March 20). Dashboard Confusion. *Intelligent Enterprise*.
- Few, S. (2006). *Information Dashboard Design: The Effective Visual Communication of Data* (O'Reilly Media, Ed.; 1a edição).
- Fireman, M. C. T., Formoso, C. T., & Isatto, E. L. (2013). Integrating production and quality control: Monitoring making-do and unfinished work. *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013*, 453–463.
- Formoso, C. T., & Moura, C. B. (2009). Evaluation of the impact of the Last Planner system on the performance of construction projects. *Proceedings of IGLC17: 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 153–164.
- Formoso, C. T., Sommer, L., Koskela, L., & Isatto, E. L. (2017). The identification and analysis of making-do waste: insights from two Brazilian construction sites. *Ambiente Construído*, 17(3), 183–197. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000300170>
- Formoso, C., Tommelein, I. D., Saurin, T. A., Koskela, L., Fireman, M., Barth, K., Bataglin, F., Viana, D., Coelho, R., Singh, V., Zani, C., Ransolin, N., & Disconzi, C. (2021). SLACK IN CONSTRUCTION - PART 1: CORE CONCEPTS. *IGLC 2021 - 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction - Lean Construction in Crisis Times: Responding to the Post-Pandemic AEC Industry Challenges*, 187–196. <https://doi.org/10.24928/2021/0183>
- Franceschini, F., Galetto, M., & Turina, E. (2013). Techniques for impact evaluation of performance measurement systems. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 30(2), 197–220. <https://doi.org/10.1108/02656711311293599>
- 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. *International Journal of Operations and Production Management*, 27(8), 784–801. <https://doi.org/10.1108/01443570710763778>
- Franco-Santos, M., Lucianetti, L., & Bourne, M. (2012). Contemporary performance measurement systems: A review of their consequences and a framework for research. *Management Accounting Research*, 23(2), 79–119. <https://doi.org/10.1016/j.mar.2012.04.001>
- Frandsen, A. G., Seppänen, O., & Tommelein, I. D. (2015). Comparison Between Location Based Management and Takt Time Planning. *Proc. of the 23th Ann. Conf. of Int'l Group for Lean Construction*, 3–12. www.iglc.net
- Fullerton, R. R., & Wempe, W. F. (2009). Lean manufacturing, non-financial performance measures, and financial performance. *International Journal of Operations and Production Management*, 29(3), 214–240. <https://doi.org/10.1108/01443570910938970>
- Galsworth, G. (1997). *Visual systems: harnessing the power of the visual workplace* (1st ed.). American Management Association.

- Gayer, B. D., Saurin, T. A., & Wachs, P. (2021). A method for assessing pull production systems: a study of manufacturing, healthcare, and construction. *Production Planning and Control*, 32(13), 1063–1083. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1784484>
- Gerwin, D. (2005). An agenda for research on the flexibility of manufacturing processes. *International Journal of Operations and Production Management*, 25(12), 1171–1182. <https://doi.org/10.1108/01443570510633576>
- Ghalayini, A. M., & Noble, J. S. (1996). The changing basis of performance measurement. *International Journal of Operations and Production Management*, 16(8), 63–80. <https://doi.org/10.1108/01443579610125787>
- Greif, Michel. (1991). *The visual factory: building participation through shared information*. Productivity Press.
- Hall, R. W., Johnson, H. T., & Turney, P. B. B. (1991). *Measuring up: charting pathways to manufacturing excellence*. Business One Irwin.
- Hamerski, D. C., de Araujo Fernandes, L. L., 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. *IGLC 2021 - 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction - Lean Construction in Crisis Times: Responding to the Post-Pandemic AEC Industry Challenges*, 767–776. <https://doi.org/10.24928/2021/0169>
- Hendrick, H. W. (2007). Macroergonomics: The Analysis and Design of Work Systems. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 3(1), 44–78. <https://doi.org/10.1518/155723408x299834>
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994–1011. <https://doi.org/10.1108/01443570410558049>
- Hollnagel, E. (2017). *Safety-II in practice: developing the resilience potentials* (1st Editio). Taylor & Francis.
- Hollnagel, E., Braithwaite, J., & Wears, R. L. (2013). *Resilient health care*. Ashgate.
- Hollnagel, E., Pariès, J., & Wreathall, J. (2011). *Resilience Engineering in Practice A Guidebook* (1st Edition).
- Hollnagel, E., Woods, D. D., & Leveson, N. (2006). Resilience engineering: Concepts and precepts. In *Resilience Engineering: Concepts and Precepts*.
- Holmstrom, J., & Ketokivi, M. (2009). Bridging Practice and Theory: A Design Science Approach. *Decision Sciences*, 40(4), 65–87. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00221.x>
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2004). To pull or not to pull: What is the question? *Manufacturing and Service Operations Management*, 6(2), 133–148. <https://doi.org/10.1287/msom.1030.0028>
- Hopp, W. J., & Spearman, M. S. (2020). The lenses of lean: Visioning the science and practice of efficiency. *Journal of Operations Management*, 67(5), 610–626. <https://doi.org/10.1002/joom.1115>

- Hopp, W., & Spearman, M. L. (1996). *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*. McGraw-Hill.
- Johnson, R. A., Kast, F. E., & Rosenzweig, J. E. (1964). Systems Theory and Management. *Management Science*, 10(2), 367–384. <https://doi.org/10.1287/mnsc.10.2.367>
- Jordan, S., & Messner, M. (2012). Enabling control and the problem of incomplete performance indicators. *Accounting, Organizations and Society*, 37(8), 544–564. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2012.08.002>
- Kagioglou, M., Cooper, R., & Aouad, G. (2001). Performance management in construction: a conceptual framework. *Construction Management and Economics*, 19(1), 85–95. <https://doi.org/10.1080/01446190010003425>
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1992). The Balanced Scorecard: Measures that Drive Performance [Electronic version]. *Harvard Business Review*, January-February, 71–79. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). *Linking the Balanced Scorecard to Strategy* (1st ed.).
- 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>
- Karlsson, C., & Åhlstrom, P. (1996). Assessing changes towards lean production. *International Journal of Operations & Production Management*, 16(2), 24–41.
- Kenley, Russell., & Seppänen, Olli. (2010). *Location-based management for construction: planning, scheduling and control*. Spon Press.
- Kennerley, M., & Bourne, M. (1980). Assessing and Maximising the Impact of Measureing Business Performance. *Business*, 1–10.
- Kennerley, M., & Neely, A. (2003). Measuring performance in a changing business environment. *International Journal of Operations and Production Management*, 23(2), 213–229. <https://doi.org/10.1108/01443570310458465>
- Koskela, L. (1992). Application of the New Production Philosophy to Construction. Technical Report # 72. In *Center for Integrated Facility Engineering. Department of Civil Engineering. Stanford University*. <https://doi.org/Technical Report No. 72>
- Koskela, L. (2000). An exploration towards a production theory and its application to construction [Technical Research Centre of Finland]. In *VTT Publications* (Issue 408). <https://doi.org/10.1073/pnas.1107281109/-/DCSupplemental.www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1107281109>
- Koskela, L. (2004). Making Do - The Eight Category of Waste. *Proc. of the 12th Ann. Conf. of Int'l Group for Lean Construction*.
- Koskela, L., & Howell, G. (2002). The underlying theory of project management is obsolete. *Proceedings of the PMI Research Conference*, 293-302.

- Kuechler, B., & Vaishnavi, V. (2012). Characterizing Design Science Theories by Level of Constraint on Design Decisions. In *LNCS* (Vol. 7286).
- Lantelme, E., & Formoso, C. T. (2000). Improving Performance Through Measurement: The Application of Lean Production and Organisational Learning Principles. *Proc. of the 8th Ann. Conf. of Int'l Group for Lean Construction*, 10p.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill.
- Linnik, M., Berghede, K., & Ballard, G. (2013). An experiment in takt time planning applied to non-repetitive work. *Proc. of the 21th Ann. Conf. of Int'l Group for Lean Construction*, 546–555.
- Locatelli, G., Mancini, M., Gastaldo, G., & Mazza, F. (2013). Improving Projects Performance With Lean Construction: State Of The Art, Applicability And Impacts. *Organization, Technology & Management in Construction: An International Journal*, 5(2), 775–783. <https://doi.org/DOI10.5592/otmej.2013.2.2>
- Lodgaard, E., Ingvaldsen, J. A., Gamme, I., & Aschehoug, S. (2016). Barriers to Lean Implementation: Perceptions of Top Managers, Middle Managers and Workers. *Procedia CIRP*, 57, 595–600. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.103>
- Lohman, C., Fortuin, L., & Wouters, M. (2004). Designing a performance measurement system: A case study. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 267–286. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00918-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00918-9)
- Manoochehri, G. (1999). Overcoming obstacles to developing effective performance measures. *Work Study*, 48(6), 223–229. <https://doi.org/10.1108/00438029910291192>
- Mariz, R. N., Picchi, F. A., Granja, A. D., Savio, R., & De Melo, S. (2012). A REVIEW OF THE STANDARDIZED WORK APPLICATION IN CONSTRUCTION. *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.
- Marksberry, P., Rammohan, R., Vu, D., Marksberry, P., Rammohan, R., & Vu, D. (2011). A systems study on standardised work: a Toyota perspective. In *Int. J. Productivity and Quality Management* (Vol. 7, Issue 3).
- Martin, T. D., & Bell, J. T. (2011). *New Horizons in Standardized Work Techniques for Manufacturing and Business Process Improvement*.
- Maskell, B. H. (1991). *Performance measurement for world class manufacturing*: Productivity Press.
- Miller, A., & Cioffi, J. (2004). Measuring Marketing Effectiveness and Value: The Unisys Marketing Dashboard. *Journal of Advertising Research*, 44(3), 237–243. <https://doi.org/10.1017/S0021849904040334>
- Monden, Y. (2012). *TOYOTA Production System An Integrated Approach to Just-In-Time Fourth Edition*.

- Nahmens, I., & Ikuma, L. H. (2012). Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding. *Journal of Architectural Engineering*, 18(2), 155–163. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ae.1943-5568.0000054](https://doi.org/10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000054)
- Narayanamurthy, G., & Gurumurthy, A. (2016). Leanness assessment: a literature review. In *International Journal of Operations and Production Management* (Vol. 36, Issue 10, pp. 1115–1160). Emerald Group Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-01-2015-0003>
- 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. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-11-2017-0309>
- Neely, A. (1999). Performance measurement: the new crisis. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(2), 205–288. <https://doi.org/10.1108/01443579910247437>
- Neely, A. (2005). The evolution of performance measurement research: Developments in the last decade and a research agenda for the next. *International Journal of Operations and Production Management*, 25(12), 1264–1277. <https://doi.org/10.1108/01443570510633648>
- Neely, A., & Bourne, M. (2000). WHY MEASUREMENT INITIATIVES FAIL Andy Neely and Mike Bourne Centre for Business Performance Cranfield School of Management. *Centre for Business Performance Cranfield School of Management Organisations*,.
- 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>
- Neely, A., Mills, J., Gregory, M., Richards, H., Platts, K., & BOURNE, M. (1996). *Getting the Measure of Your Business*. Works Management.
- Neely, A., Richards, H., Mills, J., Platts, K., & Bourne, M. (1997). Designing performance measures: A structured approach. *International Journal of Operations and Production Management*, 17(11), 1131–1152. <https://doi.org/10.1108/01443579710177888>
- 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>
- Nudurupati, S., Bititci, U. S., Kumar, V., & Chan, F. T. S. (2011). State of the art literature review on performance measurement. *Computers and Industrial Engineering*, 60(2), 279–290. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.11.010>
- Ohno, Taiichi. (1988). *The Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press.
- Okwir, S., Nudurupati, S. S., Ginieis, M., & Angelis, J. (2018). Performance Measurement and Management Systems: A Perspective from Complexity Theory. *International Journal of Management Reviews*, 20(3), 731–754. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12184>

- Pakdil, F., & Leonard, K. M. (2014). Criteria for a lean organisation: Development of a lean assessment tool. *International Journal of Production Research*, 52(15), 4587–4607. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.879614>
- Parry, G. C., & Turner, C. E. (2006). Application of lean visual process management tools. *Production Planning and Control*, 17(1), 77–86. <https://doi.org/10.1080/09537280500414991>
- Pauwels, K., Ambler, T., Clark, B. H., LaPointe, P., Reibstein, D., Skiera, B., Wierenga, B., & Wiesel, T. (2009). Dashboards as a service: Why, what, how, and what research is needed? *Journal of Service Research*, 12(2), 175–189. <https://doi.org/10.1177/1094670509344213>
- Pavlov, A., & Bourne, M. (2011). Explaining the effects of performance measurement on performance: An organizational routines perspective. *International Journal of Operations and Production Management*, 31(1), 101–122. <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. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102978>
- Ransolin, N., Saurin, T. A., Zani, C. M., Rapport, F., Formoso, C. T., & Clay-Williams, R. (2022). The Built Environment Influence on Resilient Healthcare: A Systematic Literature Review of Design Knowledge. In *Health Environments Research and Design Journal* (Vol. 15, Issue 3, pp. 329–350). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/19375867221077469>
- Reck, R. H. (2010). *Aplicação do índice de boas práticas de planejamento em empresas construtoras da região metropolitana de Porto Alegre*.
- 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.
- Romme, A. G. L., & Damen, I. C. M. (2007). Toward science-based design in organization development: Codifying the process. *Journal of Applied Behavioral Science*, 43(1), 108–121. <https://doi.org/10.1177/0021886306297011>
- Ronen, B. (1992). The complete kit concept. *International Journal of Production Research*, 30(10), 2457–2466. <https://doi.org/10.1080/00207549208948166>
- Ropohl, G. (1997). *Knowledge Types in Technology*.
- Sacks, R., Seppänen, O., Priven, V., & Savosnick, J. (2017). Construction flow index: a metric of production flow quality in construction. *Construction Management and Economics*, 35(1–2), 45–63. <https://doi.org/10.1080/01446193.2016.1274417>
- Sacks, R., Treckmann, M., & Rozenfeld, O. (2009). Visualization of work flow to support lean construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(12), 1307–1315. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000102](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000102)
- Saggin, A. D. B., Mota, T. R., Brito, F. L., & Mourão, C. A. M. A. (2017). Standardized work: Practical examples in a Brazilian construction company. *IGLC 2017 - Proceedings of the 25th*

Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 713–720.
<https://doi.org/10.24928/2017/0128>

- Sanchez, A. M., & Pérez, M. P. (2004). The use of lean indicators for operations management in services. *International Journal of Services Technology and Management*, 5(5/6), 465–478.
<https://doi.org/10.1504/IJSTM.2004.006278>
- Sangwa, N. R., & Sangwan, K. S. (2018). Development of an integrated performance measurement framework for lean organizations. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(1), 41–84. <https://doi.org/10.1108/JMTM-06-2017-0098>
- Sarhan, S., & Fox, A. (2013). Performance measurement in the UK construction industry and its role in supporting the application of lean construction concepts. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 13(1), 23–35. <https://doi.org/10.5130/ajceb.v13i1.3069>
- Sarikaya, A., Correll, M., Bartram, L., Tory, M., & Fisher, D. (2019). What do we talk about when we talk about dashboards? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 25(1), 682–692. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2864903>
- Saurin, T. A., Formoso, C. T., & Cambraia, F. B. (2008). An analysis of construction safety best practices from a cognitive systems engineering perspective. *Safety Science*, 46(8), 1169–1183. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.07.007>
- Saurin, T. A., Formoso, C. T., Reck, R., Beck Da Silva Etges, B. M., & Ribeiro, J. L. D. (2015). Findings from the analysis of incident-reporting systems of construction companies. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(9), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000988](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000988)
- Saurin, T. A., & Gonzalez, S. S. (2013). Assessing the compatibility of the management of standardized procedures with the complexity of a sociotechnical system: Case study of a control room in an oil refinery. *Applied Ergonomics*, 44(5), 811–823. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.02.003>
- 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>
- Saurin, T. A., Rooke, J., Koskela, L., & Kemmer, S. (2013). Guidelines for the management of complex socio-technical systems: An exploratory study of a refurbishment project. *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013*, 915–924.
- Saurin, T. A., Viana, D. D., Formoso, C. T., Tommelein, I. D., Koskela, L., Fireman, M., Barth, K., Bataglin, F., Coelho, R., Singh, V., Zani, C., Ransolin, N., & Disconzi, C. G. (2021). SLACK IN CONSTRUCTION - PART 2: PRACTICAL APPLICATIONS. *IGLC 2021 - 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction - Lean Construction in Crisis Times: Responding to the Post-Pandemic AEC Industry Challenges*, 197–206. <https://doi.org/10.24928/2021/0178>

- Saurin, T. A., & Werle, N. J. B. (2017). A framework for the analysis of slack in socio-technical systems. *Reliability Engineering and System Safety*, 167, 439–451. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.06.023>
- Schramm, F. K., Rodrigues, A. A., & Formoso, C. T. (2006). The role of production system design in the management of complex projects. *Proc. of the 4th Ann. Conf. of Int'l Group for Lean Construction*, 227–239.
- Sein, M. K., Henfridsson, O., Purao, S., Rossi, M., & Lindgren, R. (2011). Action Design Research. In *Source: MIS Quarterly* (Vol. 35, Issue 1).
- Seppänen, O., Ballard, G., & Pesonen, S. (2010). The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System. *Lean Construction Journal*, 43–54. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/page43www.leanconstructionjournal.orgwww.leanconstructionjournal.org>
- Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785–805. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019>
- Shingo, S. (1988). *Non-Stock Production: The Shingo System of Continuous Improvement*. Productivity Press .
- Slack, N. (1983). Flexibility as a Manufacturing Objective. *International Journal of Operations & Production Management*, 3(3), 4–13. <https://doi.org/10.1108/eb054696>
- Smith, M., & Bititci, U. S. (2017). Interplay between performance measurement and management, employee engagement and performance. *International Journal of Operations and Production Management*, 37(9), 1207–1228. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-06-2015-0313>
- Soliman, M., & Saurin, T. A. (2017). Lean production in complex socio-technical systems: A systematic literature review. *Journal of Manufacturing Systems*, 45, 135–148. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.09.002>
- Soliman, M., & Saurin, T. A. (2020). Lean-as-imagined differs from lean-as-done: the influence of complexity. *Production Planning and Control*, 33(11), 1097–1114. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1843729>
- Soliman, M., Saurin, T. A., & Anzanello, M. J. (2018). The impacts of lean production on the complexity of socio-technical systems. *International Journal of Production Economics*, 197, 342–357. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.024>
- Spear, S. J., & Bowen, H. K. (1999). *Decoding the DNA of the Toyota Production System*. Harvard Business Review, September–October, 96–106.
- Stevens, S. S. (1946). On the Theory of Scales of Measurement. In *New Series* (Vol. 103, Issue 2684).
- Taylor, A., & Taylor, M. (2013). Antecedents of effective performance measurement system implementation: An empirical study of UK manufacturing firms. In *International Journal of Production Research* (Vol. 51, Issue 18, pp. 5485–5498). <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.784412>

- Teh, A., & Pang, L. (1999). Performance measurement for public sector organizational transformation. In *Int. J. Business Performance Management* (Vol. 1, Issue 4).
- Tezel, A., Koskela, L., & Tzortzopoulos, P. (2010). Visual management in construction: Study report on Brazilian cases. *SCRI Research Report, March*, 36. http://usir.salford.ac.uk/12865/2/Visual_Management_in_Construction.pdf%0Ahttp://usir.salford.ac.uk/12865/
- Tezel, A., Koskela, L., & Tzortzopoulos, P. (2016). Visual management in production management: a literature synthesis. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(6), 766–799. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2015-0071>
- Tokola, H., Gröger, C., Järvenpää, E., & Niemi, E. (2016). Designing Manufacturing Dashboards on the Basis of a Key Performance Indicator Survey. *Procedia CIRP*, 57, 619–624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.107>
- Tufte, E. (2001). *The Visual Display of Quantitative Information* (2nd Edition). GRAPHICS PRESS L I C.
- Ukko, J., Tenhunen, J., & Rantanen, H. (2007). Performance measurement impacts on management and leadership: Perspectives of management and employees. *International Journal of Production Economics*, 110(1–2), 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.02.008>
- Valente, C., Brandalise, F., Pivatto, M., & Formoso, C. T. (2017). Guidelines for devising and assessing visual management systems in construction sites. *IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 3, 695–702. <https://doi.org/10.24928/2017/0095>
- Valente, C. P., Brandalise, F. M. P., & Formoso, C. T. (2019). Model for Devising Visual Management Systems on Construction Sites. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001596](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001596)
- 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 Management Studies*, 41(2), 219–246. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2004.00430.x>
- Vargas, F. B., Bonesi, F., Formoso, C. T., & Bulhões, I. R. (2023). Integrating Standardized Work and Production Status Control to Support Location-Based Planning and Control. *Proceedings of the 31st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC31)*, 1360–1371. <https://doi.org/10.24928/2023/0229>
- Vázquez-Ingelmo, A., García-Holgado, A., García-Peñalvo, F. J., & Therón, R. (2020). A Dashboard to Support Decision-Making Processes in Learning Ecosystems: A Metamodel Integration. *ACM International Conference Proceeding Series*, 80–87. <https://doi.org/10.1145/3393822.3432326>
- Viana, D. D. (2015). *Integrated production planning and control model for engineer-to-order prefabricated building systems*. Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

- Vilarinho, S., Lopes, I., & Sousa, S. (2018). Developing dashboards for SMEs to improve performance of productive equipment and processes. *Journal of Industrial Information Integration*, 12(September 2017), 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.02.003>
- Von Bertalanffy, L., Braziller, G., & York, N. (1968). *General System Theory Foundations, Development, Applications*.
- Voordijk, H. (2009). Construction management and economics: The epistemology of a multidisciplinary design science. *Construction Management and Economics*, 27(8), 713–720. <https://doi.org/10.1080/01446190903117777>
- Waal, A. A., & Counet, H. (2008). Lessons learned from performance management systems implementations. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 58(4), 367–390. <https://doi.org/10.1108/17410400910951026>
- Walker, G. H., Stanton, N. A., Salmon, P. M., Jenkins, D. P., & Rafferty, L. (2010). Translating concepts of complexity to the field of ergonomics. *Ergonomics*, 53(10), 1175–1186. <https://doi.org/10.1080/00140139.2010.513453>
- Wan, H. Da, & Frank Chen, F. (2008). A leanness measure of manufacturing systems for quantifying impacts of lean initiatives. *International Journal of Production Research*, 46(23), 6567–6584. <https://doi.org/10.1080/00207540802230058>
- Whelan-Berry, K. S., & Somerville, K. A. (2010). Linking change drivers and the organizational change process: A review and synthesis. *Journal of Change Management*, 10(2), 175–193. <https://doi.org/10.1080/14697011003795651>
- Williams, T. (2002). *Modelling Complex Projects* (1a ed.). Wiley.
- Williams, T. M. (1999). The need for new paradigms for complex projects. *International Journal of Project Management*, 17(5), 269–273. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(98\)00047-7](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(98)00047-7)
- Womack, J. (2011). *Gemba Walks*. Lean Enterprise Institute.
- Womack, J. P., Jones, D. T., & Ross, D. (1990). *The Machine that Changed the World*. Rawson Associates.
- Wong, W. P., Ignatius, J., & Soh, K. L. (2012). What is the leanness level of your organisation in lean transformation implementation? An integrated lean index using ANP approach. *Production Planning and Control*, 25(4), 273–287. <https://doi.org/10.1080/09537287.2012.674308>
- Woods, D. D., Woods, D. D., & Hollnagel, E. (2018). Prologue: Resilience Engineering Concepts. *Resilience Engineering*, 1–6. <https://doi.org/10.1201/9781315605685-1>
- Wouters, M., & Wilderom, C. (2008). Developing performance-measurement systems as enabling formalization: A longitudinal field study of a logistics department. *Accounting, Organizations and Society*, 33(4–5), 488–516. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2007.05.002>

- Yigitbasioglu, O. M., & Velcu, O. (2012). A review of dashboards in performance management: Implications for design and research. *International Journal of Accounting Information Systems*, 13(1), 41–59. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2011.08.002>
- Yin, R. (1994). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. (2a edição).
- Zanon, L. G., Ulhoa, T. F., & Esposto, K. F. (2020). Performance measurement and lean maturity: congruence for improvement. *Production Planning and Control*, 32(9), 760–774. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1762136>