

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

Sérgio Geraldo dos Reis Júnior

**PLANEJAMENTO FÍSICO FINANCEIRO POR MEIO DE SISTEMAS DE FLUXO
DE TRABALHO E TECNOLOGIA BIM**

Belo Horizonte

2020

Sérgio Geraldo dos Reis Júnior

**PLANEJAMENTO FÍSICO FINANCEIRO POR MEIO DE SISTEMAS DE FLUXO
DE TRABALHO E TECNOLOGIA BIM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Tecnologia na Construção Civil. Linha de pesquisa: Gestão na Construção Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Danielle
Meireles de Oliveira
Coorientadora: Profa. Dra. Sidnea
Eliane Campos Ribeiro

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2020

R375p

Reis Júnior, Sérgio Geraldo dos.

Planejamento físico financeiro por meio de sistemas de fluxo de trabalho e tecnologia BIM [recurso eletrônico] / Sérgio Geraldo dos Reis Júnior. – 2020.

1 recurso online (xv, 105 f. : il., color.) : pdf.

Orientadora: Danielle Meireles de Oliveira.

Coorientadora: Sidnea Eliane Campos Ribeiro.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 103-105.

Bibliografia: f. 98-102.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil - Teses. 2. Modelagem de informação da construção - Teses. 3. Construção civil - Estimativas - Teses. 4. Gestão de projetos - Teses. 5. Planejamento - Teses. I. Oliveira, Danielle Meireles de. II. Ribeiro, Sidnéa Eliane Campos. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 69(043)

SÉRGIO GERALDO DOS REIS JÚNIOR

**"PLANEJAMENTO FÍSICO FINANCEIRO POR MEIO DE SISTEMAS
DE FLUXO DE TRABALHO E TECNOLOGIA BIM"**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Mestrado em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 10 de março de 2020

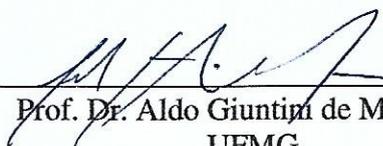
BANCA EXAMINADORA



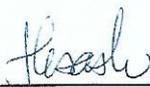
Prof^ª. Dra. Danielle Meireles de Oliveira
(Orientadora)
UFMG



Prof^ª. Dra. Sidnea Eliane Campos Ribeiro
(Coorientadora)
UFMG



Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães
UFMG



Prof. Dr. Hisashi Inoue
UFSJ

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Sérgio e Elaine, pelos exemplos de determinação e por terem empregado todos seus esforços para garantir a mim, e aos meus irmãos, uma educação de qualidade.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação de mestrado não poderia ser finalizada sem o apoio de várias pessoas, não sendo possível descrever em palavras o suporte, emocional e material, que me foi oferecido por elas. Dessa forma, o meu sincero agradecimento a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para que eu conseguisse conciliar o trabalho e os estudos.

Agradeço às professoras Dr(a)s. Danielle Meireles de Oliveira e Sidnea Eliane Campos Ribeiro, pelo profissionalismo e pela disposição em contribuir com a pesquisa. Muito obrigado por aceitarem fazer parte deste desafio, mostrando-se sempre flexíveis em conciliar nossas agendas, viabilizando nossos encontros e entregas.

À minha companheira Lais Kilson, agradeço pelo apoio e estímulo ao longo da elaboração deste trabalho, principalmente pela compreensão prestada quando era necessário me ausentar para atender às pesquisas e tarefas do trabalho. Além disso, sou grato à sua família por ter me recebido com tanto carinho, principalmente nos encontros de domingo.

À minha família, deixo um agradecimento especial por todo apoio e incentivo prestados em atividades que vão muito além deste trabalho. Os exemplos de determinação, superação e caráter foram essenciais para minha formação e nada seria possível sem o carinho incondicional de cada um de vocês.

Por fim, agradeço a Deus por me guiar, iluminar e amparar para que eu seguisse em frente com os meus objetivos. Obrigado por manter ao meu lado pessoas tão boas e generosas.

RESUMO

O planejamento da produção e o gerenciamento dos custos faz parte de um conjunto de processos, políticas e ferramentas da gestão de projetos. No Brasil, o setor da construção civil tem investido em novos processos gerenciais em busca de melhores resultados quanto ao prazo e aos dispêndios dos empreendimentos. O objetivo deste trabalho é propor um método para elaborar cronogramas físicos financeiros que apresentem maior aderência entre os avanços planejados e os executados. A fim de identificar os ganhos obtidos no gerenciamento de edifícios verticais, foi realizado um estudo de caso com o cronograma proposto pela equipe de construção responsável pela reforma da antiga Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Esta programação será comparada com outros dois cronogramas, elaborados por meio de metodologias de sistemas de planejamento baseados no fluxo de trabalho e do *Building Information Modeling* (BIM). O resultado obtido permitiu replanejar as atividades de modo mais fidedigno com a realidade de execução dos serviços, diminuindo o dispêndio financeiro do empreendimento, as interferências entre equipes e possíveis improdutividades. Além disso, o banco de dados criado por meio dos softwares BIM possibilitou elaborar um processo, de maior maturidade, para o controle e monitoramento do projeto.

Palavras-chave: Cronograma físico financeiro, gestão de projetos, planejamento, programação da produção, linha de balanço, *Building Information Modeling*.

ABSTRACT

Civil construction has large gaps in terms of constructive methods, management and productivity. Many countries, including Brazil, are investing in new management methods, aiming to complete future projects on time and budget. This research are aligned with these objects, as the main objective of this paper is to introduce new practices for a better way to manage, control and monitor construction projects, materializing this strategis in a unique cost and progress schedule. To identify benefits in vertical building projects, a case study was run to analyze the planning construction proposed for the renovation of the Engineering School of the Federal University of Minas Gerais (UFMG). Two new schedules were created, using location based technique and Building Information Modeling (BIM) technology and then, they were compared with the existing one. As result, the tasks were planned more reliably, avoiding team interferences and decreasing gaps of costs and progress. Futhermore, a database was created with the use of BIM softwares, becoming possible to create a better strategy to control and monitor the project construction.

Keywords: Project Management, Planing, Scheduling, Line of Balance, Flowline, Building Information Modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de gráfico de Gantt.	9
Figura 2 - Programação de atividades para um mesmo planejamento, segundo Mohr's.	11
Figura 3 – Modelo de estimativa de para distribuição da duração.	16
Figura 4 – Relação linear de produção da linha de balanço.	20
Figura 5 - Subrede das atividades necessárias para a construção de uma casa.....	21
Figura 6 – Limites de início e fim das atividades da linha de balanço.	21
Figura 7 – Atividades de ritmos diferentes na produção.	22
Figura 8 – Alteração do ritmo de produção, alterando as folgas entre as atividades.	23
Figura 9 – Tipos de de produção segundo Mohr.	25
Figura 10 – Representação de um planejamento por linha de balanço por meio do gráfico de Gantt.	26
Figura 11 – Esforço e impacto nos custos e qualidade do projeto conforme processo.	36
Figura 12 – Obra estudada:.....	45
Figura 13 – Avanço Financeiro do empreendimento Q26 referente ao cronograma elaborado pela equipe de construção.....	48
Figura 14 – Avanço financeiro do cronograma elaborado pela equipe de construção para o Edifício Álvaro da Silveira.....	49
Figura 15 – Avanço financeiro do cronograma elaborado pela equipe de construção para o Edifício Arthur Guimarães.	50
Figura 16 – Avanço financeiro do cronograma elaborado pela equipe de obra para o Edifício Acesso.....	51
Figura 17 – Sequência de execução das atividades.....	54
Figura 18 – Linha de Balanço criada para empreendimento fictício a fim de exemplificação.	55
Figura 19 – Linha de balanço alternativa para empreendimento fictício de exemplo.	57
Figura 20 – Dispêndio financeiro para o Edifício Álvaro da Silveira	63

Figura 21- Gráfico de avanço financeiro para o Edifício Arthur Guimarães	63
Figura 22 – Gráfico de avanço financeiro para o Edifício Acesso	64
Figura 23 – Dispêndio financeiro do Empreendimento Q26.....	65
Figura 24 – Catálogo de recursos	68
Figura 25 – Exemplo dos usos do catálogo de recursos para composição de preço unitário da execução de alvenarias	69
Figura 26 – Catálogo de recursos	70
Figura 27 – Catálogo de quantidades.....	71
Figura 28 – Metodologia de trabalho proposta.	72
Figura 29 - Sequência de atividades enviada para o MS Project.....	74
Figura 30 - Dispêndio financeiro calculado com auxílio da tecnologia BIM para o Edifício Álvaro da Silveira.	75
Figura 31 – Histograma de Mão de Obra Direta do Edifício Álvaro da Silveira	76
Figura 32 – Duração das atividades do Edifício Álvaro da Silveira.	77
Figura 33 - Dispêndio financeiro calculado com auxílio da tecnologia BIM para o Edifício Acesso.	78
Figura 34 - Histograma de Mão de Obra Direta do Edifício Acesso.....	78
Figura 35 - Duração das atividades do Edifício Acesso.....	79
Figura 36 - Dispêndio financeiro calculado com auxílio da tecnologia BIM para o Edifício Álvaro da Silveira e Acesso.....	80
Figura 37 Histograma de Mão de Obra Direta do Edifício Álvaro da Silveira e Acesso....	81
Figura 38 - Duração das atividades do Edifício Álvaro da Silveira e Acesso.....	81
Figura 39 – Modelo virtual do Edifício Álvaro da Silveira antes da reforma.	83
Figura 40 – Comparação entre cronogramas do avanço físico para o Edifício Álvaro da Silveira.	84
Figura 41 - Aderência dos avanços físicos acumulados dos cronogramas em relação ao proposto pela equipe de obra para o Edifícios Álvaro da Silveira.	85

Figura 42 - Modelo virtual do Edifício Acesso conforme projetos.....	87
Figura 43 - Comparação entre cronogramas do avanço físico para o Edifício Acesso. ...	88
Figura 44 - Aderência dos avanços físicos acumulados dos cronogramas em relação ao proposto pela equipe de obra para o Edifício Acesso.....	89
Figura 45 - Modelo virtual do Edifício Acesso conforme projetos.....	91
Figura 46 - Comparação entre cronogramas do avanço físico para o Edifício Álvaro da Silveira e Acesso.....	92
Figura 47 – Aderência dos avanços físicos acumulados dos cronogramas em relação ao proposto pela equipe de obra para o Edifícios Álvaro da Silveira e Acesso.....	93
Figura A 1 - Cronograma em linha de balanço do Edifício Álvaro da Silveira	103
Figura A 2 - Cronograma em linha de balanço do Edifício Arthur Guimarães. Fonte: Elaborado pelo autor.....	104
Figura A 3 - Cronograma em linha de balanço do Edifício Acesso.	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Serviços licitados e seu valor percentual sobre o total.....	47
Tabela 2 – Quantidades, segmentadas por tipo e pavimento, de serviços relacionados com o item Alvenarias (Edifício AG).	61
Tabela 3 – Custos, segmentadas por tipo e pavimento, para execução dos serviços relacionados com o item Alvenarias (Edifício AG).	61
Tabela 4 – Linha de balanço financeira do item Alvenarias (valor em milhar).....	62
Tabela 5 – Comparação entre quantidade de etapas das principais atividades e acesso por cronograma para o Edifício Álvaro da Silveira.	86
Tabela 6 - Comparação entre quantidade de etapas das principais atividades e acesso por cronograma para o Edifício Álvaro da Silveira.....	90
Tabela 7 - Comparação entre quantidade de etapas das principais atividades e acesso por cronograma para o Edifício Álvaro da Silveira e Acesso.	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIM – *Building Information Modeling*

BEP – Plano de Execução BIM

BIP – Plano de Implantação BIM

CAD – *Computer Aided Design*

CPM – Critical Path Method

EAP - Estrutura Analítica de Projeto

FEL – *Front End Analysis*

IPA – Independent *Project Analysis Institute*

LBMS – Location Based Management System

LdB – Linha de Balanço

LOB – Line of Balance

NBR – Norma Brasileira

PERT – Program Evaluation Review Technique

PAC – Programa de Aceleração do Crescimento

PIB – Produto Interno Bruto

TCPO - Tabela de Composição de Preços para Orçamentos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativa	3
2.	OBJETIVO.....	5
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1	Sistemas de planejamento baseado nas atividades.....	8
3.1.1	<i>Gráficos de Gantt</i>	8
3.1.2	<i>Critical Path Method (CPM)</i>	9
3.1.3	<i>Program Evaluation Review Technique (PERT)</i>	14
3.2	Sistemas de planejamento baseado no fluxo de trabalho (<i>Location Based Management System - LBMS</i>)	17
3.2.1	<i>Linha de Balanço (Line of Balance - LOB)</i>	19
3.2.2	<i>Linha de Fluxo (Flowline)</i>	23
3.3	<i>Lean Construction</i>	26
3.4	Índices da construção Civil	28
3.5	<i>Building Information Modeling (BIM)</i>	30
3.5.1	<i>Benefícios do uso do Building Information Modeling (BIM)</i>	31
3.5.2	<i>Dificuldades para implementação do Building Information Modeling (BIM)</i>	34
3.6	Controle e monitoramento de projetos	36
4.	METODOLOGIA.....	39
4.1	Etapas da pesquisa	40
4.1.1	<i>Escolha do tema e da área de atuação</i>	40
4.1.2	<i>Levantamento dos dados</i>	41

4.1.3	<i>Comparação dos cronogramas</i>	42
4.1.4	<i>Controle e Monitoramento</i>	43
4.1.5	<i>Conclusões</i>	43
5.	RESULTADOS	44
5.1.	<i>Elaboração dos cronogramas físico financeiros</i>	45
5.1.1.	<i>Cronograma Elaborado pela Equipe de Construção</i>	46
5.1.1.1.	<i>Edifício Álvaro da Silveira</i>	48
5.1.1.2.	<i>Edifício Arthur Guimarães</i>	50
5.1.1.3.	<i>Edifício Acesso</i>	51
5.1.2.	<i>Cronograma proposto baseado na metodologia de Linha de Balanço</i>	52
5.1.2.1.	<i>Sequenciamento das atividades</i>	53
5.1.2.2.	<i>Definição dos prazos</i>	54
5.1.2.2.1.	<i>Edifício Álvaro da Silveira</i>	57
5.1.2.2.2.	<i>Edifício Arthur Guimarães</i>	58
5.1.2.2.3.	<i>Edifício Acesso</i>	59
5.1.2.3.	<i>Dimensionamento dos custos</i>	60
5.1.2.3.1.	<i>Edifício Álvaro da Silveira</i>	62
5.1.2.3.2.	<i>Edifício Arthur Guimarães</i>	63
5.1.2.3.3.	<i>Edifício Acesso</i>	64
5.1.2.3.4.	<i>Empreendimento Q26</i>	64
5.1.3.	<i>Banco de dados criado com auxílio da tecnologia BIM</i>	65
5.1.3.1.	<i>Modelo Virtual</i>	67
5.1.3.1.1.	<i>Catálogo de Recursos</i>	68

5.1.3.1.2.	<i>Catálogo de itens</i>	70
5.1.3.1.3.	<i>Catálogo de Quantificação</i>	71
5.1.3.2.	<i>Extração e análise dos dados</i>	71
5.1.3.3.	<i>Cronograma Elaborado por meio da metodologia de Linha de Balanço e auxiliado pela tecnologia BIM</i>	72
5.1.3.3.1.	<i>Edifício Álvaro da Silveira</i>	75
5.1.3.3.2.	<i>Edifício Acesso</i>	77
5.1.3.3.3.	<i>Edifícios Álvaro da Silveira e Acesso</i>	79
6.	COMPARAÇÃO ENTRE OS CRONOGRAMAS	82
6.1.	Edifício Álvaro da Silveira	82
6.2.	Edifício Acesso	86
6.3.	Edifício Álvaro da Silveira e Acesso	90
7.	CONCLUSÃO	95
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
	APÊNDICE A – Linhas de Balanço	103

1 INTRODUÇÃO

As organizações implementam e executam projetos para desenvolver novos produtos e negócios (CHEN *et al.*, 2019). A busca por maiores desafios torna esses projetos mais complexos, enquanto diminuem sua flexibilidade quanto ao prazo e custo, fazendo-se necessário a utilização de ferramentas para garantir que a execução não diferirá significativamente do planejado. Para Prado (2015), o gerenciamento de projetos consiste em planejar a sua execução antes de iniciá-lo e então, realizar o acompanhamento das atividades.

Tradicionalmente o planejamento é obtido por meio da combinação da experiência pessoal de gestores e as características individuais do projeto, atribuindo às atividades uma duração baseada em sua experiência ao invés de informações, como as quantidades necessárias, os índices de produção e os recursos (DAVE *et al.*, 2015). O foco está em identificar as atividades e sua localização, não necessariamente no fluxo de trabalho entre os locais e atividades. Além disso, é comum que gestores do setor da construção fixem sua atenção nas atividades pesadas, como as de infraestrutura e estruturas, em detrimento de atividades complementares que também fazem parte do projeto, como os acabamentos e instalações hidráulicas e elétricas. Estas simplificações na programação resultam em cronogramas com frequentes descompassos entre as atividades que estão ocorrendo no canteiro de obras e àquelas planejadas (KENLEY e SEPPANEN, 2010).

No Brasil, tanto o setor público quanto o privado apresentam deficiência nos empreendimentos de construção civil no que diz respeito à escolha dos métodos construtivos, ao treinamento realizado para os colaboradores e às práticas de gestão utilizadas nos empreendimentos. De acordo com Toledo *et al.* (2000), esta característica do setor está relacionada com seu passado, quando não havia comprometimento constante das empresas da construção civil no desenvolvimento de inovações. Durante a década de 70, a existência de grandes investimentos supriu a ineficiência do processo produtivo, já na década de 80 a maior parte do lucro deste setor estava associada à incorporação imobiliária, levando a uma

depreciação do processo produtivo (ABAURRE, 2014). Entretanto essa visão começou a mudar no início da década de 90, quando gradativamente passou-se a associar o lucro com aumento da produtividade ou com a utilização de novas soluções gerenciais.

Durante 2002 e 2014 o país apresentou um crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) da cadeia produtiva da construção civil, chegando a R\$53,4 bilhões de reais em 2014 (CONSTRUBUSINESS, 2016). Este período foi marcado pelo alto investimento em ferramentas de gestão e planejamento. Entretanto, os anos seguintes foram marcados por uma crise política e econômica, com retração acentuada do PIB e fechamento de inúmeros postos de trabalho, no final de 2018, por exemplo, havia mais de 14 mil obras paradas no país (CONSTRUBUSINESS, 2019).

Nos últimos anos houve uma movimentação global para promover a adoção de novas tecnologias, com a finalidade de alcançar melhorias de até 15% na performance deste setor (MCKINSEY, 2017). No Brasil, durante o 9º Congresso Brasileiro da Construção, foi apontada a promoção da tecnologia nos processos construtivos como uma das diretrizes para aumentar a produtividade (DECONCIC, 2010). As edições da Construbusiness de 2016 e 2019 apontam a tecnologia da Modelagem da Informação da Construção (ou *Building Information Modeling* - BIM) como ferramenta de gestão e planejamento que deve ser utilizada para aumentar a competitividade das empresas e acelerar o ciclo de obras.

As plataformas BIM propõem solucionar problemas de escopo, cronograma e quantitativos com o auxílio de *softwares* que possuem elementos paramétricos, responsáveis por relacionar um banco de dados de informação ao projeto visual, possibilitando antecipar erros futuros e criar um canal de comunicação eficiente entre as equipes multidisciplinares. Além disso, é possível segmentar os escopos de serviço de forma automatizada, facilitando a sua visualização e o controle de insumos para cada atividade requerida no projeto. Dessa forma, é possível compatibilizar projetos antes mesmo da sua aprovação, retirando a tomada de

decisão do canteiro de obras e aumentando a assertividade sobre os valores e prazos do empreendimento.

A programação de atividades, por meio de métodos alternativos ao do caminho crítico (CPM), é um tema discutido em diversos estudos científicos (DAVE *et al.*, 2015). Essas práticas incorporam ao planejamento das atividades o estudo do fluxo de trabalho, definindo ritmo e produtividade.

1.1 Justificativa

Este trabalho busca estudar processos de planejamento de projetos da construção civil e propõe a utilização da tecnologia BIM como forma para alcançar melhores resultados. Acredita-se que ao melhorar a eficiência das práticas gerenciais é possível contribuir para um crescimento sustentável, tanto a nível ambiental quanto social, colaborando para redução de desperdícios durante a produção e a maior assertividade no planejamento físico financeiro de curto, médio e longo prazo. Dessa forma, a pesquisa auxilia o processo de industrialização da construção e contribui para a melhoria das técnicas de planejamento, impactando em como as atividades são programadas e, conseqüentemente, na sua produtividade.

Este trabalho relaciona índices de construção aos elementos dos modelos BIM 3D, possibilitando ordenar os insumos necessários de forma lógica e em um único banco de dados. A leitura dessas informações, sem a necessidade de uso dos *softwares* BIM, permite automatizar diversas práticas de gerenciamento de projetos, como a programação das atividades por localização, o controle e monitoramento da produção e a emissão automatizada de boletins de medição. Dessa forma, a implementação de novas tecnologias deve automatizar os processos atuais, viabilizando análises mais robustas em menor tempo e com maior transparência.

Ao apresentar diretrizes para a implementação da metodologia proposta, este trabalho almeja evidenciar possíveis dificuldades no processo de planejamento e propõe alternativas por meio de processos *lean* e da tecnologia BIM. A integração

do gerenciamento de custos e da programação de atividades, elaborado por sistemas baseados em fluxo de trabalho, foi materializado no formato de cronogramas físico financeiros e serve como base para futuras implementações. Além disso, os estudos realizados neste trabalho podem ser utilizados como ponto de partida para novas pesquisas, contribuindo para o desenvolvimento científico da área de gestão de projetos.

2. OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é propor uma metodologia para construção de cronogramas físicos financeiros que levem em consideração o fluxo de trabalho entre locais e atividades, potencializado pela tecnologia BIM durante o planejamento, monitoramento e controle de projetos. Em suma, pretende-se analisar a utilização de *softwares* BIM como ferramenta de gestão de planejamento e apresentar um procedimento que permita o manuseio de modelos 3D para automatizar a quantificação dos insumos, programação das atividades e o aproveitamento dessas informações durante o controle e monitoramento do projeto. Além disso, espera-se que a segmentação dos itens que compõem uma obra permita a elaboração de um cronograma que reflita melhor as características particulares de cada empreendimento.

Como objetivos específicos tem-se:

- a) demonstrar a importância de cronogramas que reflitam a realidade construtiva para que sejam alcançados os prazos e custos propostos durante o orçamento;
- b) demonstrar os benefícios em utilizar de métodos de planejamento baseado na localização na criação de cronogramas físicos financeiros;
- c) demonstrar que os benefícios em relacionar os modelos BIM 3D com a programação das atividades extrapolam a representação visual (BIM 4D), facilitando, por exemplo, a encontrar o caminho ótimo de construção.
- d) propor um processo para automatizar a extração de insumos, programação de atividades e criação de cronogramas físico financeiros de projetos a partir da segmentação de dados, possibilitada pela tecnologia BIM.

O trabalho será organizado na forma de capítulos, os quais irão discorrer sobre a metodologia criada até a obtenção e análise dos resultados.

O capítulo 3 contará com uma revisão bibliográfica dos métodos de planejamento tradicionais baseados em atividades e prazo, alternativas enxutas focadas no fluxo de trabalho, nos índices de produção e nas plataformas BIM.

O capítulo 4 contará com a metodologia aplicada para a elaboração desta pesquisa, bem como a construção do estudo de caso e a análise dos resultados.

No capítulo 5 serão exploradas as metodologias aplicadas neste trabalho para apresentar três cronogramas físico financeiros para a execução da reforma da antiga Escola de Engenharia da UFMG. O primeiro cronograma foi elaborado pela equipe de construção da Empresa vencedora da licitação, o segundo foi proposto utilizando a linha de fluxo e o terceiro cronograma físico financeiro foi construído a partir da metodologia criada pelo autor, englobando modelos BIM e técnicas de planejamento baseadas em localização.

No capítulo 6 serão apresentados os resultados da comparação em utilizar os cronogramas propostos e será apresentada uma proposta de controle e monitoramento do projeto que considera as informações utilizadas durante seu planejamento.

Por fim, o capítulo 7 apresentará as conclusões sobre os resultados alcançados no trabalho.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A gestão de projetos é um conjunto de políticas, processos e ferramentas cuja finalidade é planejar e controlar a execução de projetos (PRADO, 2015). Este capítulo apresenta conceitos e propostas que podem contribuir no planejamento adequado dos empreendimentos da construção civil, que em sua maioria apresentam atrasos nos prazos previstos (MCKINSEY, 2017). Neste capítulo serão tratados inicialmente, os modelos tradicionais de gerenciamento e então, apresentadas as propostas complementares de destaque no meio acadêmico e cujos resultados práticos têm contribuído para sua disseminação no mercado.

De acordo com Kenley e Seppanen (2010), os modelos tradicionais de programação se baseiam na construção lógica de redes de atividades, resultante das pesquisas e estudos de Kelley e Walker na Univac Applications Research Center durante a década de 50. Dentre estas técnicas, que possuem foco em encontrar as durações das atividades críticas do projeto, destacam-se o Método do Caminho Crítico (CPM) e a Técnica de Avaliação e Revisão de Programa (PERT), responsáveis pela disseminação global das políticas de gerenciamento e tidas, durante muitos anos, como a solução ideal para garantir o sucesso na execução de qualquer projeto (PRADO, 2015).

Segundo Magalhães *et al.* (2018), neste sistema tradicional de planejamento existe uma predominância da produção empurrada e as limitações de custos dos projetos da construção civil superam, em sua maioria, as limitações de prazos. Dessa forma, é necessária a utilização de novos métodos de programação que levem em conta as particularidades do setor, como por exemplo o fato da maior parte do trabalho ser construído no próprio canteiro de obras.

Os modelos complementares que serão apresentados nesta dissertação envolvem a Linha de Balanço, a Linha de Fluxo e o *Last Planner System*, técnicas que estão relacionadas com a construção enxuta (KOSKELA, 1992). Estes processos não se baseiam apenas nas atividades, mas concentram os esforços em um planejamento voltado para a movimentação dos recursos dentro do canteiro, com atividades

programadas de forma sequenciadas e paralelas. Dessa forma, são priorizados os fluxos de recurso e a entrega do empreendimento de forma global.

3.1 Sistemas de planejamento baseado nas atividades

Os sistemas baseados nas atividades são conhecidos pelo uso de ferramentas como o CPM, PERT e gráfico de Gantt durante as etapas de planejamento (BUCHMANN-SLORUP, 2012 *apud* OLIVIERI 2016). A popularização dos *softwares* que utilizam essas ferramentas, como *MS Project* e *Primavera*, foi um fator para que predominasse atualmente o uso destas técnicas na maior parte das construções (BIOTTO, FORMOSO, ISATTO, 2015; LIMMER, 1997; OLIVIERI 2016).

Devido à importância que essas técnicas têm no atual cenário, faz-se necessário uma imersão histórica para melhor entendimento de como elas foram criadas e como foram responsáveis por revolucionarem, de forma quantitativa, a maneira como se realizava a gestão de projetos.

A importância dada ao planejamento cresceu à medida que a complexidade dos projetos aumentava, dificultando o planejamento dos mesmos de forma manual. Com advento dos computadores, nasce a possibilidade de automatizar análises complexas e as organizações, incentivadas pelo governo durante a guerra fria, se mobilizaram para criar ferramentas que facilitassem o controle dos projetos, principalmente os de cunho militar (KENLEY e SEPPANEN, 2010).

3.1.1 Gráficos de Gantt

Os gráficos de Gantt foram criados no início do século XX por Henry L. Gantt e Frederic W. Taylor para auxiliar no planejamento da construção de navios para a Primeira Grande Guerra Mundial (WREN, 2015). Com certa simplicidade é possível representar graficamente o *status* das atividades de um empreendimento para os mais distintos setores de produção. De acordo com Prado (2015), estes gráficos se tornaram populares durante a Primeira Guerra Mundial, quando substituíram os

métodos dos alfinetes e bandeirinhas coloridas e atualmente, são uma das técnicas mais amplamente difundidas na gerência de projetos.

Tradicionalmente esta ferramenta é utilizada para demonstrar o *status* das atividades por meio de barras horizontais e com o auxílio de uma linha vertical, é possível demonstrar se a atividade está atrasada ou adiantada. A linha vertical parte sempre do dia de *status*, cortando a barra no avanço em que ela se encontra. No caso da atividade estar atrasada, a linha irá se mover para a esquerda, caso esteja adiantada, move-se para a direita (Figura 1).

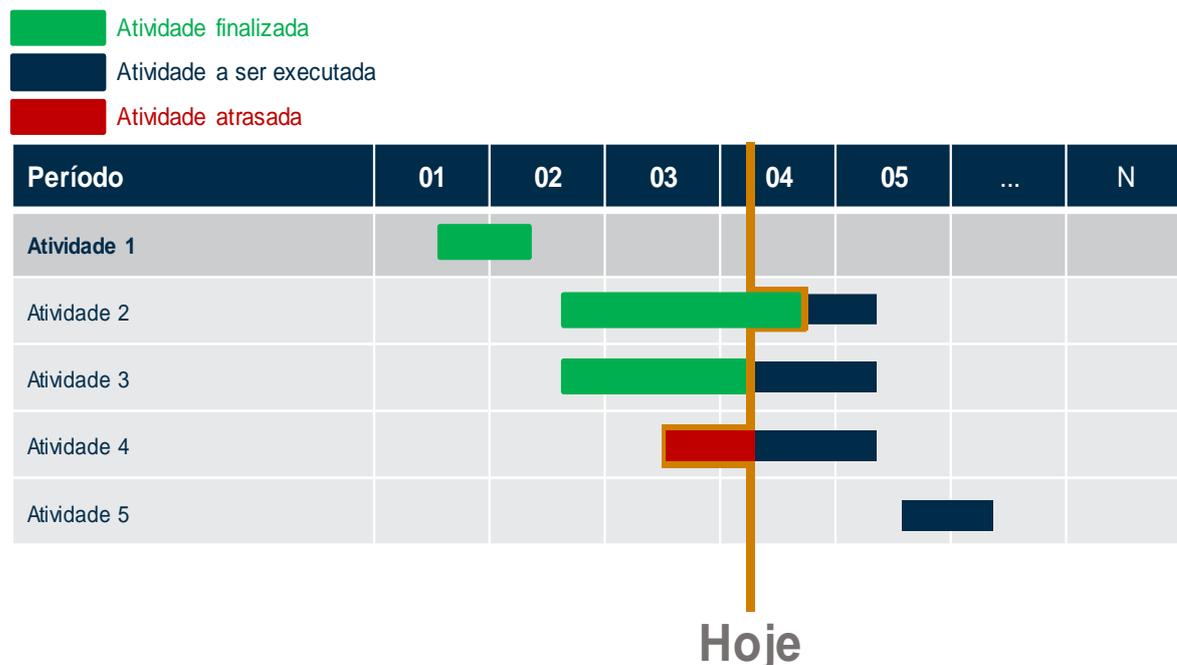


Figura 1 – Exemplo de gráfico de Gantt.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Devido a sua simplicidade, os gráficos de Gantt foram incorporados em diversas metodologias de planejamento como o CPM e PERT, que serão apresentados nos subitens 3.1.2 e 3.1.3.

3.1.2 Critical Path Method (CPM)

O *Critical Path Method* (CPM) ou Método do Caminho Crítico foi criado na década de 50, resultado das pesquisas que envolviam o uso de computadores para auxílio na gestão de projetos, pelo *Integrated Engineer Control Group* da empresa Du Pont

de Nemours & Co. (KELLEY e WALKER, 1959 *apud* KENLEY e SEPPANEN, 2010). Os princípios básicos desta técnica, inicialmente chamada de técnica Kelley-Walker devido ao do nome dos seus principais idealizadores James E. Kelley e Morgan Walker, foram tão bem sucedidos que não apresentam mudanças fundamentais até os dias de hoje (O'BRIEN e PLOTCHNICK, 1999).

O método de planejamento CPM apresenta uma forma linear de programação para as atividades, as quais são entendidas como necessárias para alcançar a situação prevista nos eventos e nós (KENLEY, 2010; PRADO, 2015). De acordo com Kelley e Walker (1959), a característica comum dos projetos é que todas as atividades devem ser executadas em uma ordem específica e essa relação pode ser graficamente representada por setas e nós. Esta representação ficou conhecida como Diagrama de Setas, conforme ilustrado na Figura 2, e foi aperfeiçoada ao longo dos anos resultando no diagrama de precedência.

As atividades que compõem um projeto são diversas e a sua duração varia conforme sua complexidade. A principal função do diagrama é representar, de maneira lógica, a relação entre essas atividades, sendo a duração total do projeto igual à do caminho de maior duração da rede. A esta sequência mais longa dá-se o nome de caminho crítico, a maior distinção entre os métodos apresentados nesse item está relacionada com a forma que as durações são calculadas. Entretanto, à medida que os projetos se tornam complexos e o número de atividades aumenta, torna-se moroso o cálculo do caminho crítico, das folgas e conseqüentemente das datas de início e término das atividades por meio do diagrama de setas ou de blocos (PRADO, 2015)

Um dos motivos da difusão do CPM ao longo das décadas, sem a necessidade de alterações essenciais, está na construção de uma fundamentação matemática lógica que permitia o cálculo dessas datas por meio dos computadores. Essa técnica de planejamento é amplamente difundida no mercado e no meio acadêmico, mas poucos conhecem as bases matemáticas que deram origem ao modelo. A fim de explicá-lo serão apresentados neste item fórmulas e conceitos retirados da obra de Kenley e Seppanen (2010).

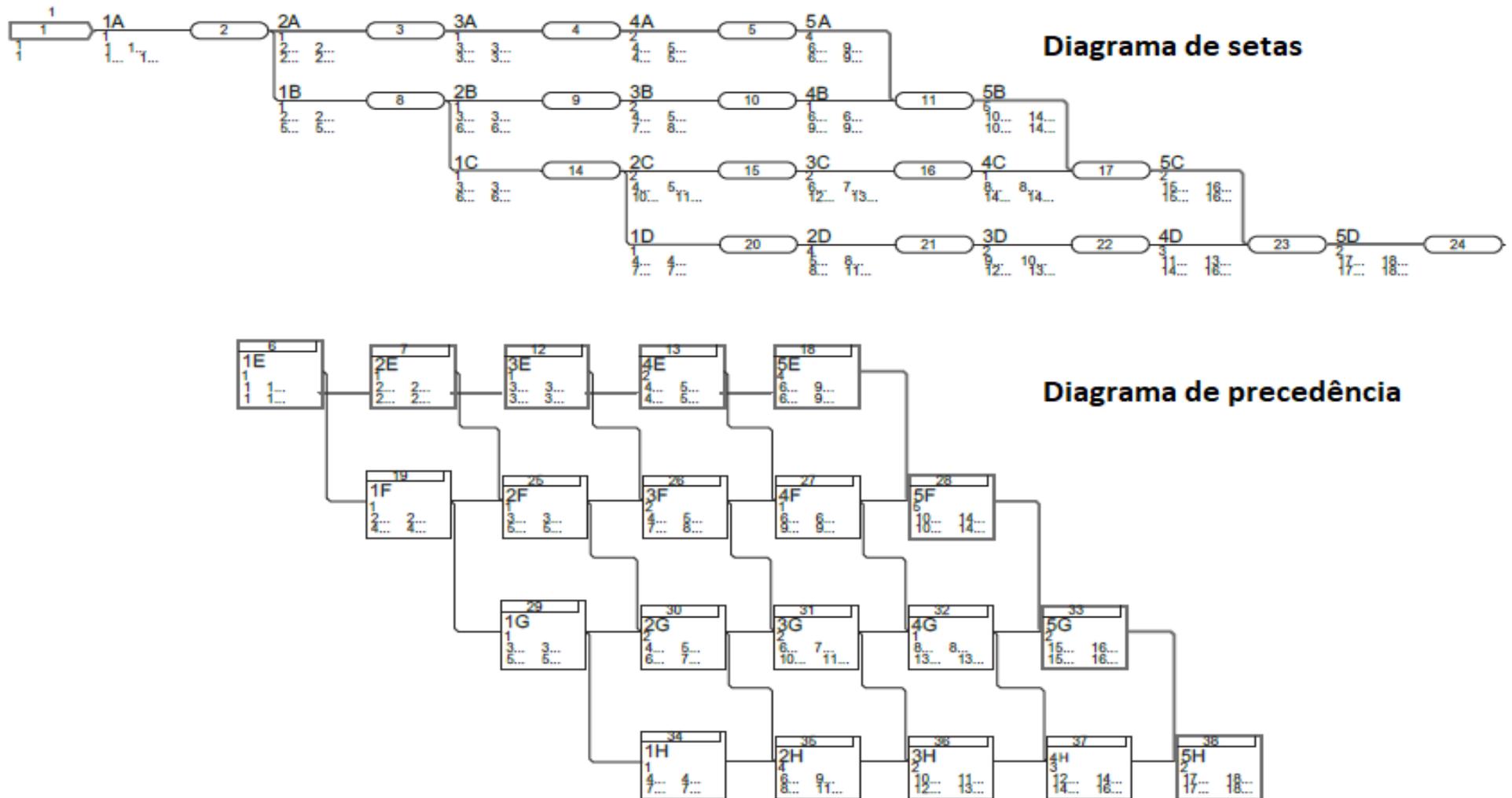


Figura 2 - Programação de atividades para um mesmo planejamento, segundo Mohr's.
 Fonte: Kenley e Seppanen (2010).

Após o sequenciamento relacional das atividades é necessária a atribuição das durações. De acordo com Kenley e Seppanen (2010), o cálculo dessas durações pode ser determinístico (não variam) ou não determinístico (variaram conforme distribuição probabilística).

Segundo Kelley e Walker (1959 *apud* KENLEY E SEPPANEN, 2010) para um projeto P de $n+1$ eventos, onde n é um número eventos, i e j são eventos distintos, e que se inicia em um tempo (t) 0, é possível calcular o início mais cedo de um evento i por $t_i^{(0)}$ e sua duração é de y_{ij} . Dessa forma, o início mais cedo das atividades seguintes é obtido pela soma da duração da maior atividade relacionada. Matematicamente, este valor é obtido ao resolver as Equação 1 e Equação 2.

$$t_0^{(0)} = 0$$

Equação 1

$$t_j^{(0)} = \max[y_{ij} + t_i(0), i < j, (i, j) \in P], 1 \leq j \leq n$$

Equação 2

De forma similar, a solução das Equação 3 e Equação 4, representa a data mais tarde de término de um evento i , onde λ é a data de término do projeto P.

$$t_n^{(1)} = \lambda$$

Equação 3

$$t_i^{(1)} = \min[t_{j1} - y_{ij}, i < j, (i, j) \in P], 0 \leq i \leq n - 1$$

Equação 4

De posse dessas informações calcula-se, para qualquer evento, as seguintes datas:

- a data de início mais cedo = $t_i^{(0)}$
- a data de fim mais cedo = $t_j^{(0)} - y_{ij}$
- data de início mais tarde = $t_j^{(1)} - y_{ij}$
- data de fim mais tarde = $t_j^{(1)}$
- tempo máximo disponível = $t_j^{(1)} - t_i^{(0)}$

Caso o tempo máximo disponível seja igual a duração do trabalho, então esta atividade é chamada de crítica e quaisquer atrasos nessas atividades vão incorrer

em atraso igual para o projeto como um todo. O caminho crítico é definido como a sequência do diagrama de rede na qual todas as atividades são críticas apresentando a menor folga da rede.

Quando uma atividade possui o tempo máximo disponível maior que a sua duração, recebe o nome de *float*, o que quer dizer que ela possui uma folga. Essas atividades podem sofrer atrasos sem impactar diretamente na duração total do projeto.

Kelley e Walker (1959 *apud* KENLEY e SEPPANEN, 2010) indicaram que uma programação está incompleta caso não sejam levados em conta a duração, o custo e os recursos necessário para a execução das atividades. Por conta disso, incluíram em seu trabalho um modelo não determinístico para prever a duração y_{ij} de um projeto, que deveria variar conforme uma densidade probabilística $G_{ij}(y)$. Em suma, cada atividade apresenta uma distribuição probabilística contínua inerente à sua execução, permitindo que as atividades sejam finalizadas mais cedo ou mais tarde. A duração de um projeto deve apresentar uma probabilidade de ser executada em determinado prazo, que é resultado do efeito combinado das diversas variações de cada evento. Dessa forma, Kelley e Walker (1959 *apud* KENLEY e SEPPANEN, 2010) introduziram o conceito de risco para o caminho crítico das atividades.

A metodologia CPM permitia validar a data de início mais cedo e o fim mais cedo, calculando assim a variabilidade de todas as atividades em todos os caminhos da rede. Entretanto, não era possível uma retroanálise para calcular a data de início mais tarde e fim mais tarde.

Além da análise não determinística, Kelley e Walker (1959) também propuseram funções que relacionavam a duração das atividades com o custo e os recursos existentes. No caso dos recursos, propuseram a existência de um limite superior e inferior que definiam um intervalo para a duração a qual os custos fizessem sentido. Enquanto o limite superior definia um limite no qual a aceleração da atividade representa um custo inviável, o limite inferior é traduzido no atraso da atividade até

tal ponto em que o custo em não terminá-la cresce por conta de desperdícios e interferências.

Quanto aos recursos, Kelley (1963) argumentou que não era possível resolver matematicamente por se tratar de um problema combinatório. Dessa forma, propôs uma forma interativa de solução do processo, adequando o cronograma conforme a quantidade de recursos disponíveis. A otimização de recursos é uma tarefa importante no planejamento de um projeto e diversos *softwares* que utilizam da metodologia CPM se diferenciam devido às ferramentas que disponibilizam para a otimização dos recursos. A metodologia PERT foi responsável por desenvolver mais estudos a respeito desse assunto.

3.1.3 *Program Evaluation Review Technique (PERT)*

Na década de 50 o governo militar dos Estados Unidos, mais especificamente o *USA Navy Bureau of Ordnance* almejava executar um projeto de grande interesse: O projeto Polaris. Entretanto, estudos da época mostravam que os projetos do governo excediam em até 50% do tempo e 200% do preço (MODER e PHILLIPS, 1970 *apud* PRADO, 2015). Pressionados pelo congresso norte-americano, e com a finalidade de contornar o ambiente de desconfiança existente, foi criada uma equipe para planejar, fiscalizar e controlar de forma mais rigorosa os mais de 250 empreiteiros e 9000 subempreiteiros deste projeto. A esta força tarefa foi dado o nome de *Program Evaluation and Review Task Force (PERT)* e eles foram responsáveis por elaborar o *Program Evaluation Review Technique (PERT)* concluindo o projeto dentro do orçamento e em 60% do tempo previsto (KENLEY e SEPPANEN, 2010; O'BRIEN, 1999; PRADO, 2015).

O sistema PERT foi criado para atender a um cronograma particular, que havia sido desenvolvido por outras técnicas de planejamento e cujas milhares de atividades se estendiam para anos no futuro. Entretanto, o método foi reconhecido como eficiente e logo ganhou popularidade, sendo amplamente utilizado pelo governo norte-americano.

Em suma, entende-se que o conceito matemático para elaboração dos diagramas de rede no sistema PERT foram aproveitadas do trabalho realizado durante a criação da metodologia CPM. Entretanto, a grande diferença do método reside na forma como o cálculo das datas é realizado, ou seja, de trás para frente. A técnica consiste em calcular a probabilidade de a data de término planejada ocorrer.

De acordo com Kenley e Seppanen (2010), há casos em que a técnica retorna que a data de término de determinada atividade é anterior às datas possíveis de término. Neste caso, a tradução correta da informação é de que, com relação aos parâmetros adicionados, é incerto de que a atividade será executada no tempo necessário.

Para Kelley e Walker (1959 *apud* KENLEY e SEPPANEN, 2010), outra grande diferença do modelo PERT é que para o cálculo das probabilidades da duração não eram considerados uma distribuição, mas sim adotados três valores estimados para cada atividade: a de menor duração (otimista), a de duração máxima (pessimista) e a mais provável. A estes valores foi adotada uma distribuição de somente um pico, cujo valor seria a duração mais provável, quanto aos valores de máximo e mínimo, ambos deveriam possuir pequenas chances de ocorrer e seriam os extremos da distribuição. Fica a critério do julgamento do planejador a escolha da data mais provável, deslocando o pico entre os extremos, conforme apresentado na Figura 3.

Como o próprio nome já diz, o sistema PERT é uma técnica de revisão e sua análise leva em conta apenas a variação do caminho crítico, enquanto o CPM valida todos os caminhos possíveis. Neste método a folga é calculada por meio da diferença entre a última data possível e aquela mais esperada para que um evento ocorra. Assim como no CPM, o caminho crítico é aquele que possui menor folga possível, mesmo que não seja nula.

Para lidar com o viés do custo, foram criadas rotinas para a modelagem que ficaram conhecidas como *PERT-Cost*, enquanto o *PERT* apresentado foi chamado de *PERT-Time*. Neste método o caminho crítico também é calculado como o que

possui a menor folga, sendo esta calculada por meio da diferença entre a última data e aquela mais esperada.

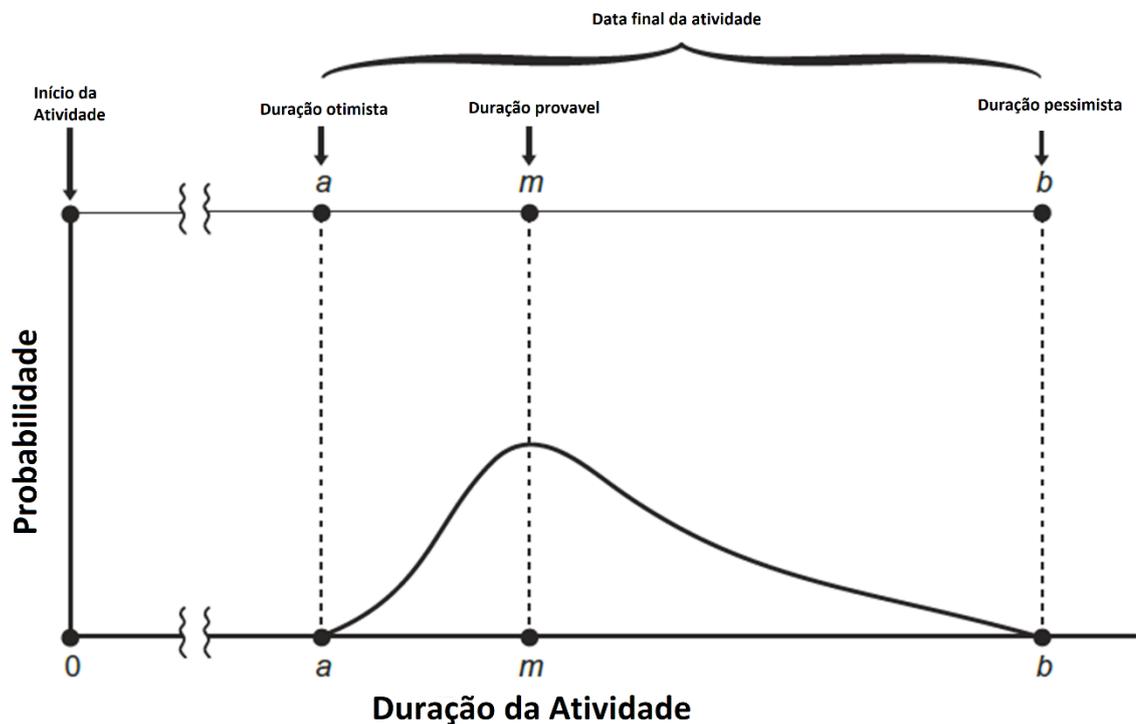


Figura 3 – Modelo de estimativa de para distribuição da duração.
Fonte: Adaptada de KENLEY e Seppanen (2010).

Para lidar com as dificuldades relacionadas aos recursos existentes, Kelley (1961 *apud* KENLEY e SEPPANEN, 2010) propôs dois métodos distintos para sequenciamento das atividades, serial e o paralelo. O primeiro consiste em sequenciar as atividades de maneira ordenada, iniciando a próxima apenas quando as predecessoras se completam. Caso não existam recursos disponíveis, a atividade é atrasada até o momento em que os recursos estão disponíveis. Como solução para os possíveis atrasos de cronograma oriundos da ausência de recursos, certos trabalhos poderiam ser interrompidos para que seus recursos fossem utilizados em atividades do caminho crítico.

O método paralelo permite que diversos trabalhos sejam programados para iniciar ao mesmo tempo. As atividades são ordenadas e se iniciam tão logo apresentem os recursos necessários. Esta técnica introduziu o conceito de equipes por Kelley (1961 *apud* KENLEY e SEPPANEN, 2010) no qual a produção das equipes está

relacionada com o número de integrantes e que a ausência de um indivíduo não interrompe a atividade, mas diminui sua produção ou aumenta o tempo necessário para finalizar a tarefa.

Durante os anos que se seguiram desde sua criação, foram elaborados diversos estudos a respeito de como demonstrar graficamente o CPM, um modelo essencialmente matemático. Os diagramas de setas e posteriormente o diagrama de precedência são exemplos de modelos gráficos que facilitaram a propagação da técnica entre os gestores de projetos, permitindo seu cálculo de forma manual (KENLEY e SEPPANEN, 2010; PRADO, 2015).

Os conceitos criados pelas técnicas de planejamento CPM e PERT foram essenciais para atingir a maturidade que a gestão de projetos possui atualmente. Entretanto, devido a versatilidade dos projetos da construção, a existência de novas tecnologias computacionais e a necessidade de alcançar resultados ainda mais expressivos, pesquisadores de diferentes países têm procurado novas alternativas que se encaixem melhor às realidades vivenciadas no canteiro de obras. De acordo com OLIVIERI (2016) diversos estudos publicados no International Group of Lean Construction (IGLC) destacam a necessidade de adequação do CPM para a construção, como, por exemplo, em edifícios de múltiplos pavimentos.

Com foco nestas alternativas e almejando criar um planejamento mais realista e flexível, surgem sistemas complementares de planejamento baseados no fluxo de trabalho e recursos. Os conceitos relacionados a estes métodos serão explorados no próximo item.

3.2 Sistemas de planejamento baseado no fluxo de trabalho (*Location Based Management System - LBMS*)

Os sistemas de planejamento baseados no fluxo de trabalho são conhecidos pelo foco na produção ao invés da construção de cronogramas para análise do caminho crítico (OLIVIERI, 2016). Enquanto as técnicas tradicionais de planejamento permutam a eficiência das equipes em detrimento da menor duração dos projetos,

as técnicas de planejamento e controle utilizadas nesta metodologia estão centralizadas nas tarefas endereçadas às equipes de produção, no fluxo contínuo de trabalho e as restrições impostas por mudança de localização (KENLEY e SEPPANEN, 2010).

A duração no LBMS é calculada baseando-se na quantidade total de recursos necessários para cada localização definida. Essa abordagem significa que é necessário maior nível de maturidade quanto às quantidades, as dificuldades impostas de cada localização e a produtividade esperada para as equipes. Dessa forma, se faz necessário o uso correto dos índices de produção, que serão tratados no item 3.4.

De acordo com Kenley e Seppanen (2010) os primeiros trabalhos desenvolvidos que relacionavam, gráfica ou analiticamente, a relação entre trabalho e localização são provenientes do professor e engenheiro polonês Karol Adamiecki. Contemporâneo de Gantt e Taylor, Karol inventou distintas formas de representação visual de cronogramas de produção, entretanto a maior parte dos trabalhos publicados estavam em russo e polonês, o que dificultou sua popularização na América.

Além disso, Adamieck desenvolveu três leis da economia, as quais publicou em 1931, que relacionavam os recursos empregados na produção com a quantidade de recursos produzidos (KENLEY e SEPPANEN, 2010). Seu trabalho enfatizava o alinhamento dos ritmos de produção, reconhecia um ciclo de produção ótimo e utilizava ferramentas gráficas para planejá-las. Elas poderiam ser consideradas como leis naturais e que, quando obedecidas resultariam em produções enxutas, com economias de esforços físicos e intelectuais. Entretanto, ao ignorar tais regras, o resultado seria o caos e conflito interno durante a execução do trabalho.

Dentre as três leis postuladas em seu trabalho (lei da divisão do trabalho, lei da concentração e a lei da harmonia no gerenciamento) destaca-se a da harmonia no gerenciamento como um conceito fundamental para o LBMS, que pode ser dividida nas seguintes partes:

- harmonia na escolha (a importância de que todas as ferramentas de produção devem ser compatíveis, com especial atenção na sua produtividade);
- harmonia no esforço (a importância na coordenação do tempo e dos cronogramas);
- harmonia na mente (a importância de criar bons times de trabalho).

De uma forma ou de outra, a origem do método LBMS remete aos métodos gráficos utilizados ainda em 1929, durante a construção do *Empire State Building*, sendo aperfeiçoada pela Goodyear Company em 1940, expandida pelo US Navy em 1950 e cujas soluções foram tema de pesquisas acadêmicas durante as décadas de 60 e 70 (ARDITI, 2002; MOHR, 1979; PEER, 1974). Dentre as técnicas difundidas e que serão apresentadas neste trabalho estão a Linha de Balanço (*Line of Balance - LOB*) e a Linha de Fluxo (*Flowline*).

3.2.1 Linha de Balanço (*Line of Balance - LOB*)

A técnica de planejamento de linha de balanço (LdB) foi primeiramente utilizada na década de 40 do século passado pela *Goodyear* e pela *General Electric Corporation* para atender às demandas da Marinha Americana (*US Navy*), recebendo o nome genérico de *Line of Balance Technique (LOB)*. Posteriormente foi utilizada pela indústria de manufaturas com diversas nomenclaturas, tais como *LSM Linear Scheduling Method*; *VP Velocity Diagrams*; *CPT Construction Planning Technique*; *VPM Vertical Production Method*; e muitas outras (KENLEY, 2010; MAGALHÃES *et al.*, 2018; POLITO, 2017; VARGAS *et al.*, 2012;).

Inicialmente esta ferramenta foi criada para lidar com projetos cujos trabalhos fossem repetitivos, onde uma rede CPM deveria ser criada para representar a duração das unidades básicas de repetição. Dessa forma, diagramas CPM contendo 6 a 12 mil atividades poderiam ser representadas por apenas 30 a 60 atividades na linha de balanço (LUMSDEN, 1968 *apud* KENLEY e SEPPANEN, 2010). Essa redução é possível substituindo uma cadeia de atividades por uma

única linha, onde a extensão da mesma significa a continuidade das atividades em locais diferentes.

De fato a linha de balanço se baseia em uma relação linear (Equação 5) entre a quantidade Q de unidades de repetição entregues em um tempo t , a um ritmo de produção m e que se inicia em uma data c , conforme apresentado na Figura 4.

$$Q = mt + C$$

Equação 5

Ao derivá-la Al Sarraj (1990 *apud* KENLEY e SEPPANEN, 2010) construiu um modelo matemático que possibilitava o cálculo da linha de balanço pelo método matemático e não apenas de forma gráfica.

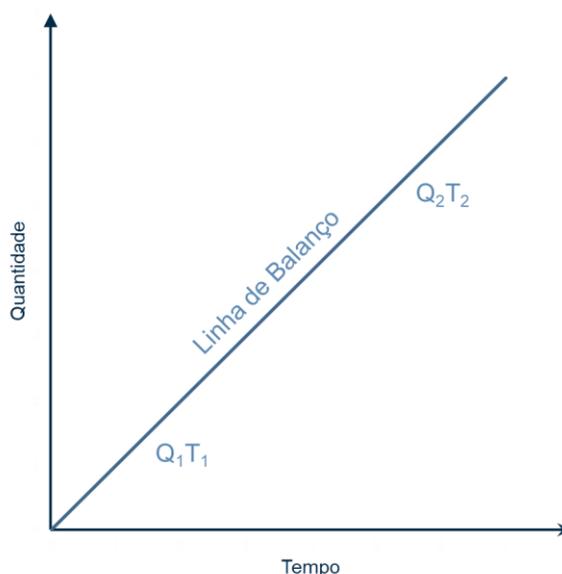


Figura 4 – Relação linear de produção da linha de balanço.
Fonte: Adaptada de Kenley e Seppanen (2010).

Lumsden (1968 *apud* KENLEY e SEPPANEN, 2010) em seu trabalho identificou que na construção civil, a unidade de produção é uma localização, como uma casa, uma sala ou um piso. Ao planejar nesta modalidade de projetos ele recomendou a criação de uma subrede CPM para estimar a duração das unidades de repetição e então representar graficamente, no formato de linhas, cada uma dessas subredes.

As subredes devem ser elaboradas para representar o trabalho que se deseja completar em um projeto. A construção de uma casa, por exemplo, passa por

inúmeras atividades que podem ser agrupadas de acordo com a rede ilustrada na Figura 5.

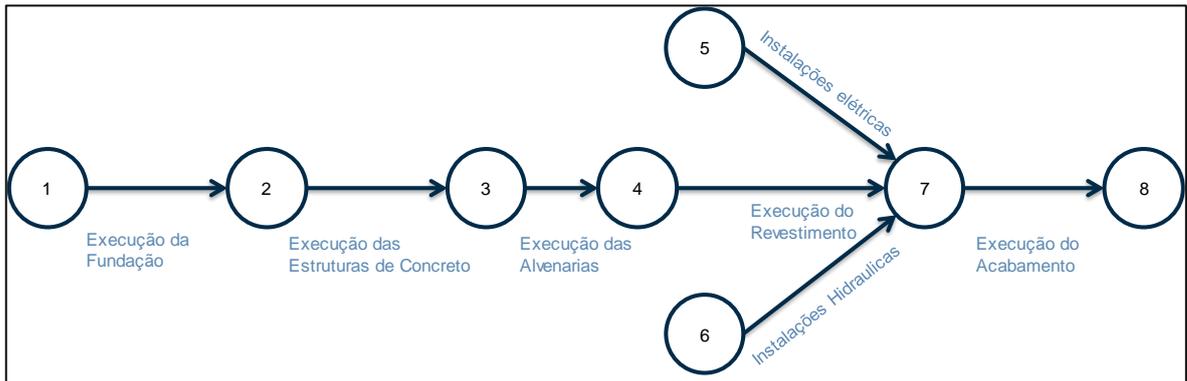


Figura 5 - Subrede das atividades necessárias para a construção de uma casa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O método de linha de balanço é uma combinação matemática e gráfica que assume como verdadeira a existência da repetição das atividades para execução das múltiplas unidades do projeto. Dessa forma, caso a casa utilizada no exemplo anterior faça parte de um projeto de construção de inúmeras outras unidades, é possível ilustrar a construção das demais de forma gráfica por meio de linhas de início e de fim, conforme representado na Figura 6.

Essas redes podem representar diferentes grupos de atividades, como uma rede para estruturas, outra para alvenarias, outra para acabamentos e demais atividades que devem ser executadas. Ao representá-las na linha de balanço, é possível definir ainda de início as equipes (*crews* ou *gangs*) que serão utilizadas, estimando assim seu ritmo de produção.

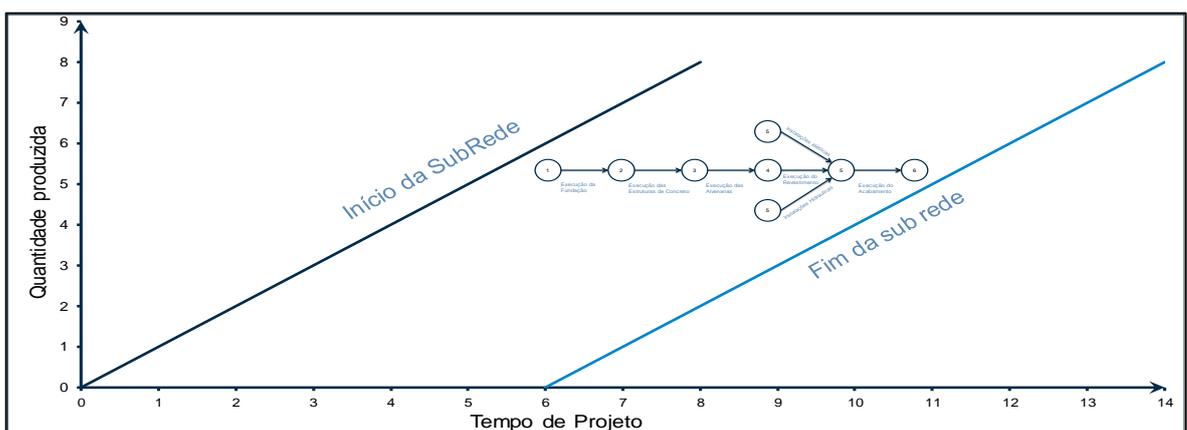


Figura 6 – Limites de início e fim das atividades da linha de balanço.

Fonte: Adaptada de Kenley e Seppanen (2010).

Na Figura 7 ilustra-se a situação em que são executadas 3 atividades subsequentes ao longo das unidades. Nesta situação, são planejadas a mobilização de nove equipes (três para cada atividade) para execução paralela das unidades e estão representadas pelas setas. Dessa forma, uma equipe inicia o trabalho em uma unidade e depois de um tempo t outra equipe inicia o mesmo trabalho na unidade seguinte. Como a atividade é a mesma, a duração prevista é igual ao término da atividade e as equipes continuam executando a mesma modalidade de serviço, mas em outra unidade.

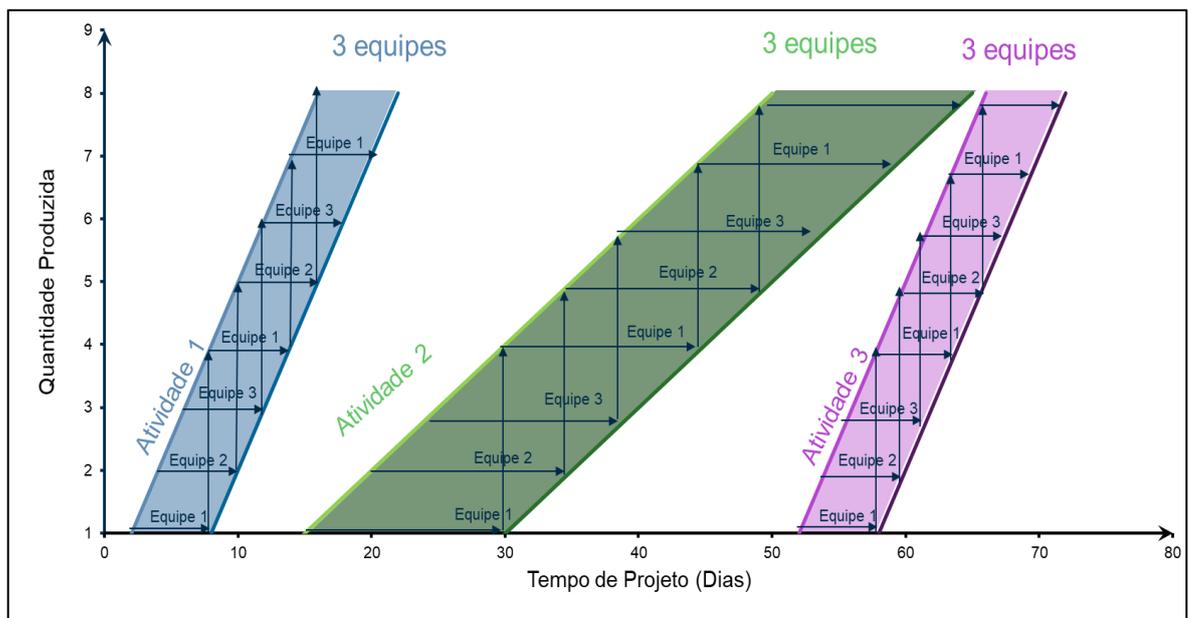


Figura 7 – Atividades de ritmos diferentes na produção.
Fonte: Adaptada de Kenley (2010).

A linha de balanço apresenta uma excelente maneira de visualização dos ritmos de produção. Para o exemplo utilizado, alocar o mesmo número de equipes por atividade representa um ritmo de produção diferente que aumenta a folga entre as atividades um e dois de 7 para 30 dias. O inverso acontece com as atividades dois e três, em que sua folga inicial diminui à medida que os trabalhos avançam.

Ao alterar o número de equipes, e conseqüentemente o ritmo de produção, modifica-se a duração da execução de cada unidade de repetição. Essas alterações permitem aumentar ou diminuir as folgas entre as atividades, conforme representado na Figura 8. A linha de balanço permite balancear as equipes de construção para encontrar um ritmo ótimo de produção.

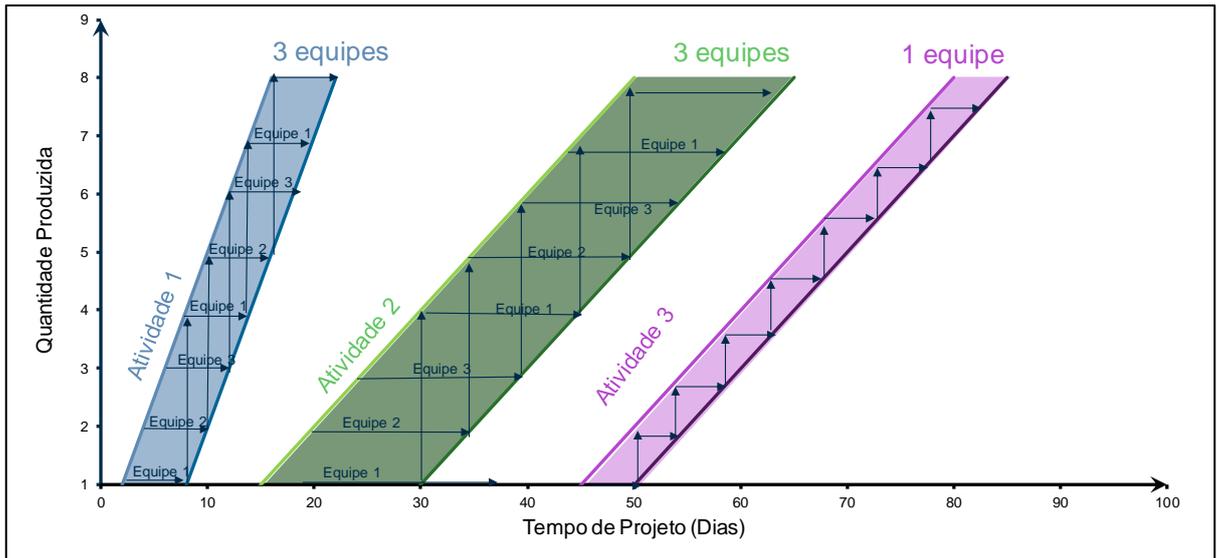


Figura 8 – Alteração do ritmo de produção, alterando as folgas entre as atividades.
Fonte: Adaptada de Kenley e Seppanen (2010).

Esta técnica de planejamento puramente gráfica, como ilustrada anteriormente, perdurou pelo menos até 1968 (KENLEY e SEPPANEN, 2010). Nesta época os trabalhos desenvolvidos por Lumsden já ilustravam um possível problema da metodologia: basear-se na repetição de atividades para viabilização do seu uso. Entretanto, para Kenley e Seppanen (2010), embora a repetição seja um fator importante para o sucesso da linha de balanço, os desenvolvimentos do método permitem afirmar que seu principal triunfo está no planejamento orientado pela movimentação dos recursos ao longo do canteiro de obras e não apenas na repetitividade. Nesta linha de pensamento surgiu a metodologia de linha de fluxo.

3.2.2 Linha de Fluxo (Flowline)

A linha de fluxo é uma nova maneira de representação gráfica do fluxo de recursos através do canteiro de obras. Nesta técnica, as atividades são representadas por uma única linha, ao invés das linhas de início e fim utilizadas no LOB. Além disso, o eixo vertical representa a localização de acordo com a sequência construtiva pretendida. Em suma, a linha de fluxo está para a linha de balanço assim como o diagrama de setas está para a rede de precedências.

Mohr publicou os primeiros estudos sobre esta técnica ainda em 1979 (KENLEY e SEPPANEN, 2010). De acordo com ele, havia ao menos três tipos de produção que deveriam ser considerados durante o planejamento (Figura 9).

- Produção sequenciada: É considerado que todas as atividades devem ser concluídas antes de iniciar a próxima, comportando-se de maneira similar ao planejamento de atividade em série por CPM. A equação que descreve essa produção, de forma matemática, está representada pela Equação 6, e pela Equação 7 nos casos mais simples. Para ambos os casos T é duração de um projeto, onde k é o tempo gasto para finalizar um local, m o número de locais que devem ser executados, n o número de atividades que ocorrem de forma sequenciada e t o tempo imposto pela tecnologia do material utilizado.

$$T = m * \sum_{i=1}^n (k_i + t_i)$$

Equação 6

$$T = k * m * n$$

Equação 7

- Produção paralela: todas as atividades serão iniciadas no mesmo tempo e em todos os locais. A Equação 8 retorna o tempo esperado, de maneira semelhante à produção sequenciada, para os casos mais simples, ela pode ser escrita conforme Equação 9

$$- T = \sum_{i=1}^n (k_i + t_i)$$

Equação 8

$$T = k * n$$

Equação 9

- Produção por linha de fluxo: esta modalidade de produção considera uma produção ideal, onde as tarefas são realizadas sem restrições de um local para outro e é representada matematicamente pela Equação 10.

$$T = k(m + n - 1)$$

Equação 10

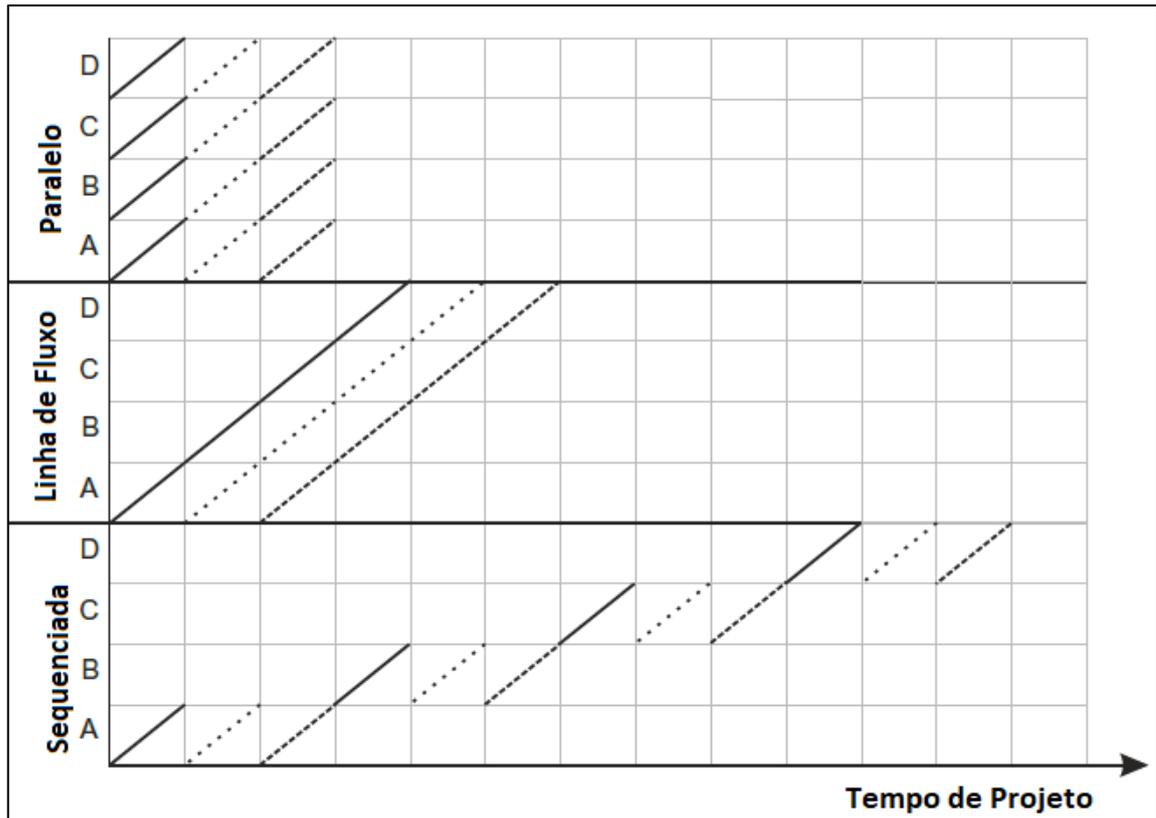


Figura 9 – Tipos de de produção segundo Mohr.
Fonte: Adaptada de Kenley e Seppanen (2010).

Peer (1974) identificou que era essencial a continuidade dos serviços nesta metodologia e assim, fez uma relação com o caminho crítico encontrado na técnica CPM. Quando a produção é balanceada e segue o ritmo de produção por linha de fluxo, todas as atividades são consideradas críticas. Entretanto, quando o processo não é balanceado, a duração do projeto está relacionada a linha de produção de menor ritmo. Dessa forma, todas as demais atividades apresentam folga livre, desde que não prejudiquem o caminho crítico.

Para representar a linha de balanço no gráfico de Gantt, basta ordenar as atividades de forma que elas sejam segmentadas por localização, conforme a Figura 10. Neste caso, devido ao ritmo das tarefas de impermeabilização serem mais lentos que as tarefas de revestimento interno, a equipe que executa as atividades deve aguardar a liberação da localização para iniciar os trabalhos. Uma forma de resolver a situação, é alterar a metodologia construtiva para possibilitar a execução das tarefas ao mesmo tempo ou segmentar ainda mais localizações.

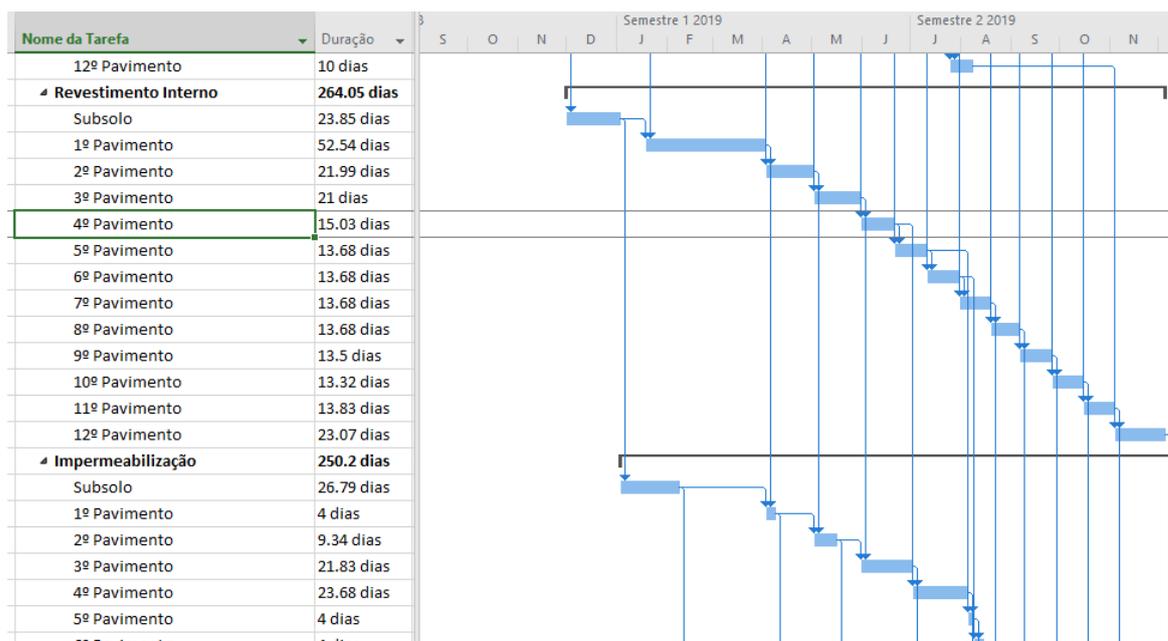


Figura 10 – Representação de um planejamento por linha de balanço por meio do gráfico de Gantt.
Fonte: Elaborada pelo Autor.

A localização é essencial no planejamento que utiliza as metodologias linha de balanço e linha de fluxo. Entretanto, assim como as técnicas PERT/CPM, também é necessário o conhecimento dos recursos necessários e disponíveis para se prever a duração ideal de cada atividade. Uma vez que o LBSM está relacionado ao fluxo de trabalho e não apenas à repetição, se espera um nível de maturidade dos quantitativos do projeto de tal forma que o planejador possa assegurar os níveis de produtividades necessários para cada localização (BIRREL, 1980 *apud* KENLEY e SEPPANEN, 2010).

3.3 *Lean Construction*

O *Lean Construction* ou construção enxuta é baseado no *Lean Production*, teoria originada dos estudos dos métodos de produção das montadoras de automóveis japoneses da década de 80, em especial a Toyota (KENLEY e SEPPANEN, 2010, KOSKELA *et al.*, 2018). Os princípios desta metodologia focam na criação de valor orientado para a necessidade do cliente final, por meio de aperfeiçoamentos do fluxo de trabalho e redução dos processos que estão ligados ao desperdício.

A cultura japonesa valoriza a experiência pessoal e acredita que nem todo conhecimento pode ser ensinado, sendo necessários tentativas e erros para que

alguém se torne um *expert* (KOSKELA *et al.*, 2018). Essa cultura foi orientada nas fábricas da Toyota, onde existia incentivo para o aprendizado por meio da tentativa e os colaboradores deveriam escrever relatórios sobre os procedimentos que os levaram a cometer tais erros. A justificativa para este comportamento está relacionada no foco na melhoria contínua, tal qual apresentada pelo PDCA, que será melhor explicado no item 3.6. Estes princípios estão enraizados nas ideologias *Lean Production* e *Lean Constructon*, cujo objetivo é solucionar problemas oriundos da produção tradicional por meio de processos que apresentem foco na criação de valor (em todas as etapas), redução do desperdício, mentalidade orientada para uma engenharia colaborativa e de produção puxada (KOSKELA *et al.*, 2018).

Na indústria da construção civil o desafio reside em manter o foco no processo de construção para resolver os problemas inerentes aos processos convencionais. Em 1992, Koskela propôs onze princípios de gestão que deveriam ser seguidos neste setor para a implementação correta do pensamento enxuto, sendo elas (CORREA, 2019):

- (1) Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor;
- (2) Aumentar o valor do produto por meio da consideração sistemática das necessidades dos clientes;
- (3) Reduzir a variabilidade;
- (4) Reduzir o tempo de ciclo;
- (5) Simplificar o processo por meio da redução do número de passos ou partes;
- (6) Aumentar a flexibilidade de saída;
- (7) Aumentar a transparência do processo;
- (8) Focar o controle no processo global;
- (9) Introduzir melhoria contínua nos processos;
- (10) Balancear as melhorias de fluxo e de conversão;
- (11) Benchmarking.

A linha de balanço, linha de fluxo e o *Last Planner System* são algumas das ferramentas utilizadas nos planejamentos baseados na ideologia *Lean construction*. O *Last Planner System* é a metodologia mais frequente para

programação de atividades de produção, sendo muitas vezes o primeiro passo utilizado pelas construtoras para se adequar a ela (DAVE *et al.*, 2015). Em estudo realizado por Bortolazza e Formoso (2006) baseado em 133 projetos percebe-se que em geral essa metodologia tem sido utilizada no Brasil para a programação das atividades de curto prazo, apresentando um *gap* em relação ao planejamento de longo prazo.

Diversos são os estudos que ilustram as sinergias da utilização do BIM e a construção enxuta, tais como aqueles desenvolvidos por Brioso *et al.* (2017) e Tezel *et al.* (2019). A segmentação de dados possibilitada pela tecnologia pode agilizar a construção de linhas de balanço e linhas de fluxos, viabilizando a elaboração de planejamentos que representem de forma mais fidedigna as condições de campo e estreitando as relações dos planejamentos de curto, médio e longo prazo. A utilização de índices de produção, estudados por diferentes instituições mundiais, pode contribuir para a automatização da extração de recursos necessários por zoneamento.

3.4 Índices da construção Civil

De acordo com Castro (1997), a construção civil apura seus custos por meio do custo padrão, que utiliza de índices extraídos de tabelas. É comum que gestores de projeto desmembrem os serviços que devem ser executados em composições unitárias, por exemplo execução de alvenaria (m²) ou quantidade de concreto (m³), a fim de facilitar a precificação do projeto. O somatório do custo total de todos esses serviços, somado aos custos indiretos e ao lucro da eventual empresa contratada para a execução das atividades, corresponde ao valor que deve ser comparado entre as concorrentes.

Visando prever o custo do empreendimento e encontrar valores aproximados dos que serão ofertados pelas empresas interessadas, são utilizadas composições de custo unitárias (CPUs). Essas CPUs são composições de serviços que levam em conta o custo da mão de obra, com encargos sociais, o custo do material e o os equipamentos necessários para a execução de um valor unitário de determinado

serviço. O consumo dos insumos pode variar e é obtido de acordo com a experiência das empresas do ramo da construção. Dessa forma a empresa é capaz de avaliar custo, faturamento e, portanto, lucro por unidade de serviço oferecido.

No Brasil, existem diversos órgãos e empresas que disponibilizam composições relacionadas aos produtos e materiais da indústria da construção para auxiliar os profissionais em suas estimativas de preços e servir como base para obras públicas. Um exemplo é a Tabela de Composições de Preços para Orçamentos-TCPO, viabilizada pela PINI, empresa que disponibiliza bases de preços para Edificações e Infraestrutura, totalizando mais de 8.500 composições. Além dela, existem a SINAPI (criada pela Caixa Econômica Federal), SICRO2 (DNIT), EMOP (Empresas de Obras Públicas do Estado do Rio de Janeiro), SIURB EDIF (Prefeitura de São Paulo Obras), SIURB INFRA (Prefeitura de São Paulo), SEINFRA (Governo do Estado do Ceará) e diversas outras.

Como o consumo dos insumos estipulados nas CPUs mudam de acordo com a experiência de cada uma das empresas do ramo da construção, tem-se diferentes composições de mesmos serviços para empresas distintas, uma vez que a qualidade da mão de obra e a tecnologia empregada alteram os custos da produção. As CPUs fornecidas pelos órgãos citados anteriormente devem servir como referência para a verificação financeira e cronológica da obra em todo o país.

Uma das dificuldades no uso dos índices é a discriminação correta dos serviços que devem ser executados. Faz parte da etapa de planejamento de um projeto identificar as atividades que devem ser realizadas, bem como programá-las e apurar seus custos. Na construção civil é comum, para os projetos de pequeno e de grande porte, a construção da planilha de quantitativos e preços (PQP) que resume todas as quantidades de serviços que serão executados e então, são aplicados os preços. Na construção destas planilhas são adotadas simplificações para agilizar o processo, não permitindo que os quantitativos sejam endereçados com os objetos que devem ser construídos.

A lógica em segmentar processos para obter detalhamento das informações é um processo conhecido para as mais diversas atividades de planejamento. É comum na construção civil que as atividades de levantamento e conferência dos quantitativos sejam realizados pelas empresas construtoras, entretanto este processo tende a acontecer no momento posterior à contratação ou ao planejamento das atividades e precificação da obra.

O advento de novas tecnologias tem conciliado as atividades para que tarefas como a quantificação sejam cada vez mais assertivas antes do início das obras. De acordo com Brito e Ferreira (2015) o *Building Information Modeling* (BIM) compreende muitas das funções necessárias para representar todo o ciclo de vida de um projeto e quando adotado corretamente, pode influenciar para que as fases de planejamento e construção aconteçam de maneira mais integrada, contribuindo para empreendimentos com maior qualidade, menores custos e prazos (EASTMAN *et al.*, 2014).

3.5 ***Building Information Modeling* (BIM)**

O *Building Information Modeling* é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que permitem criar uma metodologia progressiva para gerenciar projetos da construção civil. Sua adoção tem sido difundida como uma necessidade para alcançar melhores resultados do setor da construção e diversos autores têm demonstrado o sucesso da sua aplicação a todo o ciclo de vida dos empreendimentos (ARAYCI *et al.*, 2011; BARRY, 2017; CBIC, 2016; EASTMAN *et al.*, 2014; KOSKELA *et al.*, 2018; MCKINSEY, 2017; RATAJCZAK *et al.*, 2019). A *Pennsylvania State University* (KREIDER *et al.*, 2013) publicou um guia com 24 possíveis usos do BIM, dentre os principais destaques estão o levantamento automatizado das quantidades, estimativas de custos e orçamentos, visualização do projeto, análise de construtibilidade, identificação de interferências, acompanhamento dos projetos, ensaio das obras no computador, modelos intercambiáveis e um banco de dados confiável.

De acordo com o estudo realizado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) em 2016, são diversos os fatores que podem contribuir para o sucesso da implementação da plataforma BIM, como a existência de ambiente colaborativo, motivação da equipe, *know-how* tecnológico e de processos. Entretanto, algumas forças internas e externas como a infraestrutura, o sistema de gestão operacional, número de colaboradores familiarizados com a metodologia, grau de flexibilidade, grau de definição dos recebíveis, integração dos modelos e autonomia da área devem ser mapeadas e acompanhadas para permitir a mudança da cultura. Caso contrário, é possível que a implementação seja confundida com a adoção de uma nova ferramenta e os resultados alcançados podem divergir daqueles esperados.

Por se tratar de um sistema que se provou adaptável para integrar outros processos gerenciais de projetos, como o *Lean Construction* (CBIC, 2016; KOSKELA *et al.*, 2018; RATAJCZAK *et al.*, 2019) e a perspectiva de crescimento da tecnologia a ponto de torná-la obrigatória para projetos públicos, inclusive no Brasil, a utilização de plataformas BIM tem crescido nos projetos de engenharia com o intuito de reduzir custos dos processos da construção. Dessa forma, nos próximos itens serão analisados benefícios e dificuldades que a literatura demonstra sobre o tema.

3.5.1 Benefícios do uso do Building Information Modeling (BIM)

A tecnologia BIM é um dos maiores avanços tecnológicos do setor da construção civil dos últimos tempos (LIU *et al.*, 2015). Os conceitos por trás da sua adoção remetem ao uso dos modelos computacionais, iniciados na década de 60 (SMITH, 2014 *apud* LIU *et al.*, 2015). Os *softwares* BIM permitem a modelagem virtual em 3D dos elementos que serão construídos em um projeto, possibilitando assim a simulação de diversas opções de *design*, e conseqüentemente, a antecipação de potenciais problemas.

Aos elementos visuais são atribuídas fórmulas paramétricas e informações geométricas, facilitando a sua modelagem, alteração e rastreamento. De acordo com o CBIC (2016), as soluções BIM trabalham como gestores de bancos de dados, de

forma que qualquer alteração ou revisão realizada em qualquer parte de um modelo será automaticamente considerada em todas as demais formas de visualização da correspondente massa de dados e informações, sejam tabelas, relatórios ou desenhos (documentos), gerados a partir do modelo. Esta é uma das grandes diferenças para as ferramentas CAD (*Computed Aid Desing*), onde a modificação de um parâmetro não realiza, necessariamente, todas estas alterações.

Quando estes modelos BIM de três dimensões incorporam informações referentes ao tempo, geralmente relacionadas com o cronograma da obra, recebem o nome de BIM 4D (ANTWI-AFARI *et al.*, 2018). Dessa forma, as tarefas que compõem o cronograma da construção são associadas às famílias virtuais, permitindo, assim, a visualização da sequência de execução, de forma a contribuir para o entendimento do processo de produção por parte dos envolvidos em sua gestão e a apoiar a tomada de decisão (KYMMEL, 2008).

Os *softwares* BIM são conhecidos por permitir certas facilidades, como por exemplo a criação de um ambiente colaborativo onde os profissionais, com diferentes experiências e conhecimentos, possam contribuir na elaboração do planejamento sem que de fato conheçam todas as metodologias. De certa forma, é esperado que o trabalho em conjunto destes profissionais resulte na identificação de inviabilidades físicas, técnicas e financeiras para a execução de algumas atividades, como a necessidade da conclusão de determinadas tarefas ou a falta de espaço para movimentação de equipamentos.

De fato, a compreensão de informações por meio da visualização tem se mostrado mais efetiva que a linguagem textual (KOSKELA *et al.*, 2018). Na construção civil é necessária uma comunicação constante para o sucesso do projeto e quando ela ocorre de maneira equivocada, o agente receptor pode não compreender corretamente a mensagem transmitida (GORSE e EMMITT, 2007; LI *et al.*, 2011). A comunicação por meio de desenhos (*layouts*), cronogramas (*Gantt Charts*) e histogramas, podem não ser suficientes para garantir o entendimento das informações transmitidas, resultando em erros de projetos, atrasos e eventualmente em diligências (BIOTTO, FORMOSO, ISATTO; 2015)

Diante da dificuldade existente em entender o planejamento das atividades por meio de cronogramas e histogramas, surge a modelagem BIM 4D. De acordo com Barry (2017), o uso desta tecnologia pode resultar na produção de informações com maior qualidade, diminuindo assim as ineficiências causadas por erros durante as comunicações. De fato, os principais benefícios trazidos pela modelagem 4D são o aumento na comunicação e o entendimento das decisões entre as equipes (BIOTTO *et al.*, 2015, BRIOSO *et al.*, 2017). Além disso, outras informações podem ser adicionadas ao modelo 3D, originando novas dimensões da modelagem, como por exemplo o custo (BIM 5D) ou informações de gestão de *facilities* (BIM 6D).

O modelo BIM 4D permite a visualização da construção de acordo com o cronograma proposto e, portanto, permite que profissionais de diversas áreas entendam como será o fluxo de trabalho para a execução do empreendimento. Ainda, torna possível que as mudanças realizadas no projeto ou nos cronogramas sejam atualizadas automaticamente nos modelos. Para isso, devem existir informações além das geométricas, como os índices de produtividade, custos e natureza dos recursos necessários.

Brito e Ferreira (2015) perceberam redução do esforço na visualização e interpretação mental do planejamento diante do uso do BIM 4D. Durante a análise dos questionários levantados por eles, profissionais experientes de planejamento e construção destacaram que a utilização da modelagem 4D era de grande importância para aqueles que não dominam a parte técnica, mas que tomam decisões administrativas estratégicas. Dessa forma, os cronogramas propostos pela equipe de planejamento tornam-se mais claros para o cliente e a equipe de execução, possibilitando então, maior integração e comunicação entre os envolvidos no projeto. Este ambiente de gestão facilita a tomada de decisão, principalmente aqueles relacionados a gargalos e ritmos de produção necessários para a execução do empreendimento dentro do prazo e qualidade.

3.5.2 Dificuldades para implementação do Building Information Modeling (BIM)

Diversos são os casos de projetos que utilizaram a tecnologia BIM e obtiveram sucesso, tanto no Brasil quanto em outros países. (LIU *et al.*, 2015; WON e LEE, 2010 *apud* ANTWI-AFARI *et al.*, 2018). Entretanto, a falha na compreensão do seu significado, plausível de ocorrer devido à complexidade do assunto, é uma das razões para o fracasso nas implementações BIM (CBIC, 2016). Muitos colaboradores têm a impressão de que esta inovação é uma substituição do CAD, quando na verdade se trata de uma transformação pautada em processos mais robustos de gestão.

Embora a literatura apresente diversos estudos sobre os possíveis benefícios alcançáveis com a implementação de uma plataforma BIM, tal abordagem traz consigo inúmeros desafios (LONDON, 2011 *apud* ANTWI-AFARI *et al.*, 2018). Arayici (2011), explica que a sua implementação efetiva requer alterações significativas nas metodologias tradicionais de construção, sendo necessário mais do que investimento em infraestrutura (*softwares* e *hardwares*) mas aprender a como reinventar os processos e treinar a equipe.

Primeiramente, os investimentos em infraestrutura estão relacionados com a compra de *softwares* e *hardwares*. A escolha destes ativos deve estar relacionada com os objetivos e recursos disponíveis na empresa (ARAYICI, 2011; ASBEA, 2015). De fato, não existe um único *software* BIM que atenda a todas as etapas do ciclo de vida de um projeto e, portanto, espera-se interoperabilidade e compatibilidade entre estas tecnologias. Diante desta necessidade criou-se o *Industry Foundation Classes* (IFC), um formato específico de dados que permite o intercâmbio de informações entre diferentes plataformas BIM. Dessa forma, é possível escolher os *softwares* que melhor atendem às necessidades de uma empresa com a garantia de que essas informações serão lidas por outros usuários que não utilizem da mesma solução.

Além disso, para fazer uso de todas essas ferramentas, são necessários equipamentos mais eficazes que aqueles utilizados anteriormente para o CAD.

Embora o investimento neste tipo de estrutura possa ser um empecilho, principalmente para as empresas de pequeno e médio porte, percebe-se que nos últimos anos barreiras atribuídas aos recursos computacionais tem diminuído à medida que os colaboradores criam alternativas (modelos federados) e a tecnologia de nuvem se desenvolve (ASBEA, 2015; TEZEL *et al.*, 2019). Uma das soluções existentes são os visualizadores BIM, ferramentas que permitem acessar modelos virtuais e interagir com os dados por meio de navegadores de internet, não sendo necessários a instalação de *softwares* específicos e nem de *hardwares* novos.

Embora os *softwares* BIM possibilitem uma maior integração entre as equipes, os usuários podem não conseguir usufruir deste benefício se não houver alteração nos processos envolvidos e a criação de um ambiente colaborativo (ANTWI-AFARI *et al.*, 2018). Em geral, os processos relacionados à esta implementação têm como premissa a colaboração constante e concomitante de todas as disciplinas (ASBEA, 2015). Sendo assim, uma das principais barreiras existentes para a sua disseminação é a cultural.

A utilização das plataformas BIM para o planejamento de projetos está embasada na necessidade, desde o início do processo, de informações mais precisas disponibilizadas em um ambiente colaborativo onde as equipes irão interagir desde o início do projeto. Esta antecipação da maturidade de projetos incorre em maiores custos iniciais do que a metodologia tradicional CAD, conforme ilustrado na Figura 11. Entretanto, acredita-se que exista uma compensação dos valores pela tomada de decisão em momento mais oportuno.

Além disso, é necessário criar uma equipe robusta, que entenda os processos, aprenda sobre a tecnologia e trabalhe de forma colaborativa. Esta abordagem, de transferir a responsabilidade pela qualidade do trabalho das ferramentas para a equipe de projeto, está alinhada com o pensamento *lean* e a lei da harmonia de Adameick comentada nos itens anteriores.

Motivados pelos benefícios desta ferramenta, estudiosos e consultores do BIM têm desenvolvidos diversos guias (ASBEA, 2015, EASTMAN *et al.*, 2014; KREIDER *et*

al., 2013) para auxiliar as empresas e profissionais da indústria da construção a migrar das plataformas CAD para BIM. Estes guias abordam sobre processos que devem ser realizados para o Plano de Implantação BIM (BIP) e o Plano de Execução BIM (BEP).

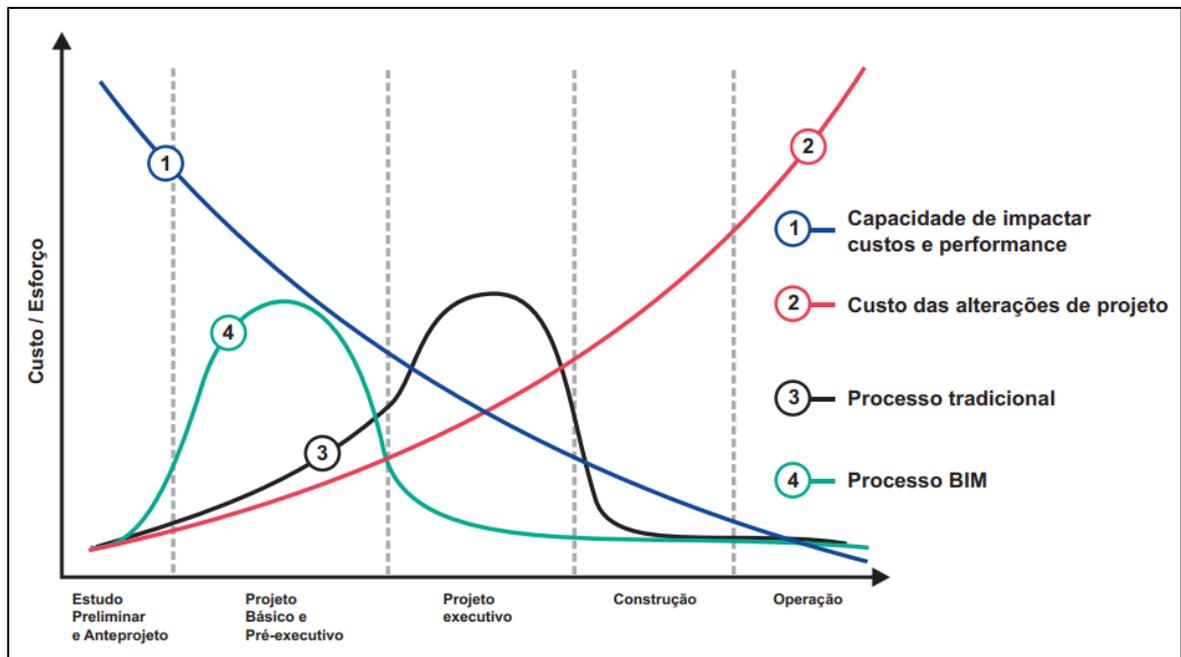


Figura 11 – Esforço e impacto nos custos e qualidade do projeto conforme processo.
Fonte: AsBEA (2015)

Assim, a adoção BIM requer método de gestão pautada em mudanças gradativas, transparentes e com resultados palpáveis. Este processo permite que as novas etapas tornem mais produtivos os processos já existentes, induzindo as diversas equipes ao ambiente de trabalho colaborativo e de aprendizado constante.

3.6 Controle e monitoramento de projetos

Outro recurso para realizar a gestão de projetos é o controle e monitoramento. Essas atividades têm como princípio o monitoramento das atividades que estão sendo executadas no projeto, a fim de validar se elas estão sendo realizadas conforme o planejado. No caso de eventuais desvios, passíveis de ocorrer ao longo da execução, devem existir informações que facilitem a tomada de decisão, seja ela para corrigir o projeto ou interrompê-lo. Dessa forma, as técnicas de controle e

planejamento são utilizadas para aumentar a qualidade e performance da produção em projetos.

Para execução destas atividades com foco na melhoria contínua de processos, faz-se uso de diversas metodologias de gestão, como a denominada *Plan Do Check Act* (PDCA). De acordo com Falconi (2009) seu uso é responsável por elevar os índices de qualidade das organizações pois possibilita que as equipes trabalhem colaborativamente para alcançar melhores resultados e mais conhecimento.

É comum que profissionais utilizem *dashboards*, ferramenta visual de gestão, para auxiliar no monitoramento das atividades e tornar mais assertiva a tomada de decisão. Essa ferramenta permite a visualização de diferentes métricas, por meio de gráficos e textos, com o intuito de representar a situação atual de um projeto (BOLVIKEN *et al.*, 2017). Dessa forma, espera-se poder comparar o planejamento com os resultados reais de forma rápida e com acurácia, permitindo o entendimento dos principais problemas a serem solucionados.

O *Independent Project Analysis Institute (IPA)*, instituto de pesquisa fundado em 1987, que conta com um banco de dados de mais de 20 mil projetos, entende que projetos possuem suas particularidades e que existem diversos fatores que podem alterar os resultados esperados em seu planejamento. Essas alterações, que frequentemente incorrem em excessos de custos e atrasos, ainda assim podem apresentar resultados melhores que a média entregue pela indústria.

Para exemplificar, uma empresa A pode planejar executar determinado projeto por R\$100 milhões em 30 meses e executá-lo em 35 meses por R\$120 milhões. Este resultado certamente evidencia um descompasso do planejamento com a execução. Entretanto, as empresas concorrentes podem necessitar de um prazo de 50 meses, ao custo de R\$200 milhões para executar o mesmo tipo de projeto. Dessa forma, embora a empresa A apresente excelentes resultados em comparação com o mercado, ainda assim apresenta erros de planejamento.

O IPA entende que existem divergências entre os resultados esperados no planejamento e aqueles de fato obtidos. Entretanto, para obter a maior previsibilidade possível, recomenda-se o uso da metodologia de *Front End Analysis (FEL)* para aprovação de projetos. Estas aprovações ocorrem mediante análise da maturidade dos projetos quanto à contratação, ao cronograma, custos e segurança. Para o caso de cronogramas, por exemplo, a utilização de um cronograma carregado de recursos, com caminho crítico e que contemple todas as fases do projeto possui a melhor classificação de maturidade. Ainda de acordo com o IPA, estes requisitos resultam em projetos com custos e prazos mais confiáveis, com redução de até 10% em relação ao executado pela média da indústria.

4. METODOLOGIA

De acordo com Silva e Menezes (2005), a pesquisa científica é a concretização de uma investigação orientada por normas consagradas pela metodologia científica. Faz parte deste tipo de pesquisa vencer etapas, tais como a escolha do tema, o planejamento da investigação, o desenvolvimento metodológico, a coleta e tabulação de dados, análise dos resultados, elaboração das conclusões e possivelmente a divulgação dos resultados.

Para Gerhardt e Silveira (2009), só existe pesquisa se existir uma pergunta, uma dúvida para a qual se busca uma resposta. É considerada como prática, quando a razão em se pesquisar está relacionada à busca de conhecimento para melhorar a eficácia com que se executa uma atividade.

As pesquisas científicas podem ser definidas conforme sua natureza, abordagem, objetivos e procedimentos (GERHARDT e SILVEIRA, 2009; GIL, 1991; SILVA e MENEZES, 2005). Ao classificar as pesquisas segundo sua natureza, Silva e Menezes (2005) sugerem que elas se dividem em básica, cujo objetivo é gerar conhecimentos novos e úteis para o avanço da ciência sem aplicação prática, e aquelas que são consideradas aplicadas, que buscam criar conhecimento dirigido à solução de problemas específicos.

No que tange à sua abordagem, as pesquisas podem ser qualitativas ou quantitativas. Enquanto a primeira é tida como aquela que não se preocupa com a representatividade estatística e tenta descrever a complexidade de determinado problema (FERNANDES *et al.*, 2018), a abordagem quantitativa considera que tudo pode ser traduzido em números (FONSECA, 2002 *apud* GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

De acordo com Gil (1991), as pesquisas científicas podem ser agrupadas conforme seus objetivos. Elas são exploratórias quando visam proporcionar maior familiaridade com o problema e construir hipóteses, muito utilizadas em pesquisas bibliográficas e estudos de casos. São tidas como descritivas quando visam

descrever as características de determinada população ou fenômeno, assumindo em geral a forma de levantamento. Por fim, as pesquisas explicativas são aquelas que visam identificar fatos que estão relacionados com determinados acontecimentos, muito utilizadas em pesquisas experimentais.

Por fim, é possível classificá-las conforme os procedimentos técnicos utilizados para delinear a investigação, como por exemplo, a pesquisa bibliográfica, documental, experimental, estudo de caso, pesquisa-ação e pesquisa participante (GIL, 2002 *apud* FERNANDES *et al.*, 2018).

Para este trabalho, cuja finalidade é desenvolver uma metodologia de planejamento capaz de solucionar um problema específico da construção civil, foi adotada a modalidade de pesquisa do tipo aplicada, qualitativa, exploratória e que contará com um estudo de caso. Serão apresentadas a seguir as etapas realizadas para o desenvolvimento da pesquisa.

4.1 Etapas da pesquisa

O objetivo deste trabalho é propor um método para planejar cronogramas físicos financeiros que apresentem maior aderência entre os avanços planejados e os executados. Para isso, serão utilizadas técnicas de planejamento baseadas em processos *lean* e impulsionadas pela tecnologia BIM. Além disso, é previsto um processo que permita o aproveitamento das informações para as tarefas de acompanhamento e controle do projeto.

4.1.1 Escolha do tema e da área de atuação

O estudo teve início com a necessidade de planejar a execução da obra de reforma dos edifícios que compõem a antiga Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Localizado no Centro de Belo Horizonte – entre as ruas Espírito Santo e Bahia, e rua dos Guaicurus com Avenida do Contorno – o imóvel, que inclui os edifícios Álvaro da Silveira e Arthur Guimarães, passava pela fase de planejamento pela equipe de operação da Construtora vencedora da licitação.

Foi constatado que os trabalhos realizados de quantificação e detalhamento das informações do projeto não eram aproveitados entre as fases do planejamento. Essas fases ocorriam de forma estanque, de tal modo que, para alcançar maior maturidade do projeto frequentemente reiniciava-se o processo de detalhamento das informações. Este retrabalho é comum nos projetos da construção civil e a intensidade do esforço está relacionada com as simplificações utilizadas na fase anterior. Em geral, não é possível segmentar as informações a partir dos dados provenientes da fase anterior de planejamento.

A motivação da escolha deste tema teve origem na necessidade de se criar, testar e divulgar processos de planejamento que permitam uma programação de atividades realísticas e economicamente viáveis para todos os itens licitados. Além disso, que esses dados pudessem ser empregados ao longo das fases de planejamento, por meio da segmentação e detalhamento das informações. Devido à importância atribuída aos cronogramas físicos financeiros nos projetos da construção civil, é esperado transcrever o plano de ataque das frentes de serviço de forma coerente ao avanço financeiro. Sendo assim, é possível medir eventos de pagamento sem incorrer em um desequilíbrio físico financeiro no contrato.

Enquanto a metodologia *lean* é amplamente estudada como forma de alcançar resultados mais enxutos de produção, é esperado obter maior digitalização das informações por meio da tecnologia BIM. Dessa forma, escolheu-se revisar a bibliografia destes temas durante toda a concepção do projeto, buscando na literatura existente informações acerca da sua aplicabilidade e dos resultados obtidos em outros empreendimentos.

4.1.2 *Levantamento dos dados*

Para levantar os dados do empreendimento, o autor realizou análises no cronograma físico financeiro criado pela equipe de operação da Construtora. A partir destas informações foram propostos outros dois cronogramas físicos financeiros construídos a partir metodologias distintas, a de linha de balanço e a de linha de balanço auxiliada por tecnologia BIM.

O cronograma realizado por linha de balanço foi construído com auxílio do *software Microsoft Excel*. Enquanto o avanço físico foi sequenciado de forma visual, o avanço financeiro foi relacionado com base na distribuição das quantidades de cada serviço por pavimento. Dessa forma, foi possível criar o cronograma físico financeiro e plotar gráficos de avanço para os edifícios.

O terceiro cronograma foi construído com base nas metodologias de linha de balanço e auxiliado por plataformas BIM. Foram utilizados os *softwares Autodesk NavisWorks, Microsoft Excel e MS Project* para transformar a modelagem BIM 3D em quantidades de insumos (homem hora, equipamento hora e materiais) necessários para construir o empreendimento. A partir dessas informações, os dados foram tratados e o planejamento foi automatizado por meio da orientação do fluxo de trabalho e definição das equipes de trabalho e ritmo de produção.

De forma resumida, foram coletadas informações de três cronogramas, elaborados para um mesmo empreendimento por meio de metodologias distintas. O terceiro cronograma é tido como o de maior maturidade, cujo planejamento foi realizado com maior nível de detalhamento com o auxílio da tecnologia BIM e automatização de processos de programação das atividades.

4.1.3 Comparação dos cronogramas

Os três cronogramas foram comparados, com o intuito de entender quais as melhorias no planejamento provenientes das mudanças na metodologia e na segmentação das quantidades. Foram selecionados atividades e edifícios dos três cronogramas, de maneira que remetessem aos mesmos itens do empreendimento, possibilitando a equalização dos planejamentos e então a comparação de avanços físicos, financeiros, mensais e acumulados. Além disso, foi possível avaliar os principais benefícios provenientes da alteração dos métodos de planejamento, como as possíveis datas de término, folga das atividades e a existência dos histogramas.

4.1.4 *Controle e Monitoramento*

O controle e monitoramento faz parte da gestão de projetos e é escopo desta pesquisa apresentar uma metodologia que permita sua execução de maneira facilitada, mas ao mesmo tempo efetiva. De posse do banco de dados lógico, criado com o auxílio da tecnologia BIM e modificado por meio de uma das metodologias apresentadas neste estudo, é possível considerar as informações do planejamento para avaliar os avanços físicos, facilitar a criação de boletins de medição e criar *dashboards* de monitoramento.

4.1.5 *Conclusões*

As conclusões deste estudo foram pautadas nas análises descritas e objetivam registrar formalmente a importância do planejamento no resultado de um projeto. De maneira mais específica, como a utilização de metodologias diferentes está relacionada com a maior maturidade das análises e o seu impacto nos processos de construção, nos custos e nos prazos do empreendimento, merecendo, portanto, maior atenção dos gerentes de projetos.

5. RESULTADOS

Os cronogramas físico financeiros são criados com a finalidade de prever o dispêndio financeiro de uma obra à medida que seu avanço físico ocorre, embora nem sempre reflitam a realidade construtiva. Enquanto um dispêndio financeiro superior ao previsto pode inviabilizar o fluxo de caixa da companhia, gastos muito inferiores podem estar relacionados à atrasos na execução do empreendimento. Uma das formas de se evitar estes problemas é aperfeiçoar a qualidade do planejamento e controlar para que a execução das atividades em campo esteja alinhada com o cronograma previsto.

Primeiramente, investir no planejamento contribui para alcançar cronogramas físicos de maior maturidade que reflitam a execução real do empreendimento. Isso é possível por meio de metodologias que levem em conta os interesses do cliente, como o custo, o prazo, o método executivo e a tecnologia disponível para execução da obra. Focar somente em atividades de maior custo e de curta duração podem resultar em simplificações no planejamento das atividades intermediárias, que inviabiliza a execução do empreendimento como um todo. A segmentação dos quantitativos por pacote de trabalho pode diminuir as simplificações e a distância entre as equipes de planejamento e execução.

Durante a execução, manter a aderência no sequenciamento das atividades facilita a previsão do dispêndio financeiro e do aporte de recursos. Ao analisar a produtividade de campo e realizar correções pontuais das frentes de serviço, é possível manter a aderência do cronograma físico financeiro. A segmentação dos pacotes de trabalho viabiliza então o controle e monitoramento por frente de serviço e por pacote de trabalho, facilitando as análises de produtividade e a tomada de decisão dos gerentes de projeto.

Partindo da hipótese de que a segmentação dos pacotes de trabalho de uma obra possibilita programar as atividades de modo mais assertivo e facilitar seu monitoramento, este trabalho propõe comparar cronogramas de um

empreendimento com diferentes níveis de segmentação de dados e verificar qual o impacto no planejamento final.

5.1. Elaboração dos cronogramas físico financeiros

Neste trabalho foi realizado um estudo de caso da obra nos edifícios que compõem a antiga Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Localizado no Centro de Belo Horizonte – entre as ruas Espírito Santo e Bahia, e rua dos Guaicurus com Avenida do Contorno – o imóvel, que inclui dois prédios (Edifícios Álvaro da Silveira e Arthur Guimarães) tombados nas instâncias estadual e municipal, possui cerca de 25.000 m².

O complexo será reformado para receber até 70 varas do Tribunal Regional do Trabalho de Minas Gerais (TRT-MG). O vencedor da licitação aceitou o valor de R\$ 86.118.120,84 para a execução dos trabalhos de demolição e reforma dos Edifícios Álvaro da Silveira (AS) e Arthur Guimarães (AG), além da construção de um Edifício Acesso para interligação entre os dois existentes. Na Figura 12 (a) e (b) são apresentados, respectivamente, os edifícios atuais e o modelo virtual da reforma.



Figura 12 – Obra estudada:
(a) edifícios Arthur Guimarães e Álvaro da Silveira atualmente; (b) modelo virtual da reforma.
Fonte: Associação dos Magistrados da Justiça do Trabalho da 3ª Região - AMATRA3 (2019)

Um dos pré-requisitos contratuais da licitação foi a necessidade de apresentar cronogramas físico financeiros condizentes com o processo executivo do empreendimento. As cláusulas contratuais, aprovadas pelas partes, impediam o pagamento da etapa caso um ou mais serviços, dos 27 previstos até aquela etapa, não estivessem concluídos. Dessa forma, era necessário criar cronogramas que refletissem o processo executivo e que melhor atendessem às necessidades de construção do empreendimento no prazo previsto.

5.1.1. *Cronograma Elaborado pela Equipe de Construção*

O cronograma físico financeiro preliminar, contendo 30 etapas para execução dos 27 itens acordados contratualmente, foi apresentado pela Contratada e aprovado pelo Contratante. Por meio dos índices fornecidos pela TCPO e consulta à empreiteiros, a equipe de construção formada por 2 engenheiros sêniores e 2 analistas de engenharia elaborou o Cronograma Álvaro da Silveira (C-AS), o Cronograma Arthur Guimarães (C-AG) e o Cronograma do Edifício Acesso (C-Acesso), cuja somatória dos valores e prazos concatenavam no Cronograma do Quarteirão 26 (C-Q26). Os serviços licitados para execução deste empreendimento podem ser verificados na Tabela 1.

Para esta etapa, a estratégia consistia em priorizar os itens licitados de maior valor, como Elétrica, Equipamentos e Revestimento. Para simplificar o processo de associação do dispêndio financeiro ao longo das etapas, a equipe distribuiu o valor de cada item estimando suas durações por meio da experiência e do risco decorrente da falta de informação. Por conta do pouco tempo disponível e do caráter preliminar do cronograma, não foram utilizados *softwares* de planejamento para gerar histogramas de mão de obra direta e a definição das equipes ocorreria no futuro, em momento oportuno, à medida que surgisse a necessidade da execução das atividades propostas.

Após a criação do gráfico de avanço físico financeiro, de acordo com a Figura 13, foi possível identificar que a execução do empreendimento Q26 concentrava 50% dos aportes financeiros entre as etapas 20 e 29. Este formato de execução e

pagamento poderia inviabilizar o aporte de recursos durante os primeiros 20 meses de obras, resultando em atrasos na execução de atividades precedentes e no pagamento das respectivas etapas. Além disso, a existência de picos de produção em momentos diferentes do empreendimento implica na variação dos histogramas de mão de obra direta.

Tabela 1 – Serviços licitados e seu valor percentual sobre o total

Item	Serviço Licitado	Valor (em % do total)
01.00	Serviços técnicos	0,07%
02.00	Serviços preliminares	0,71%
03.00	Demolições e retiradas	2,86%
04.00	Máquinas e ferramentas	1,49%
05.00	Administração da obra e despesas gerais	5,30%
06.00	Terraplenagem	0,26%
07.00	Infraestrutura e obras complementares	1,35%
08.00	Estrutura	2,52%
09.00	Alvenaria/divisórias	3,09%
10.00	Esquadrias	5,76%
11.00	Vidros e espelhos	0,69%
12.00	Cobertura	0,22%
13.00	Impermeabilização	0,63%
14.00	Revestimento	12,20%
15.00	Forro	2,19%
16.00	Serralheria	1,85%
17.00	Pintura	1,79%
18.00	Pavimentação	9,43%
19.00	Bancadas	0,22%
20.00	Armários	0,40%
21.00	Elétrica e spda/cabemanetolétrica e spda/cabeamento estruturado	12,75%
22.00	Instalação de ar nstalação de ar condicionado	17,60%
23.00	Instalações hidráulicas e sanitáriasnstações hidráulicas e sanitárias	1,67%
24.00	Instalações de combate a nstalações de combate a incêndios	0,43%
25.00	Equipamentos	14,41%
26.00	Paisagismo	0,02%
27.00	Limpeza final para entrega da obra	0,09%
Total		100,00%

Focar na execução de atividades pesadas, a fim de terminá-las no menor prazo possível, implicou em simultaneidade entre serviços, como por exemplo a instalação de bancadas e forro de gesso. Para concluir as atividades na programação proposta, seria necessário o trabalho entre equipes distintas nas mesmas frentes de serviço, podendo incorrer em improdutividade por conta de interferência e eventuais atrasos. As etapas 7, 8 e 9, conforme representando na Figura 13, contemplam maior volume de pagamento e consequentemente, de construção, evidenciando possíveis erros no planejamento.

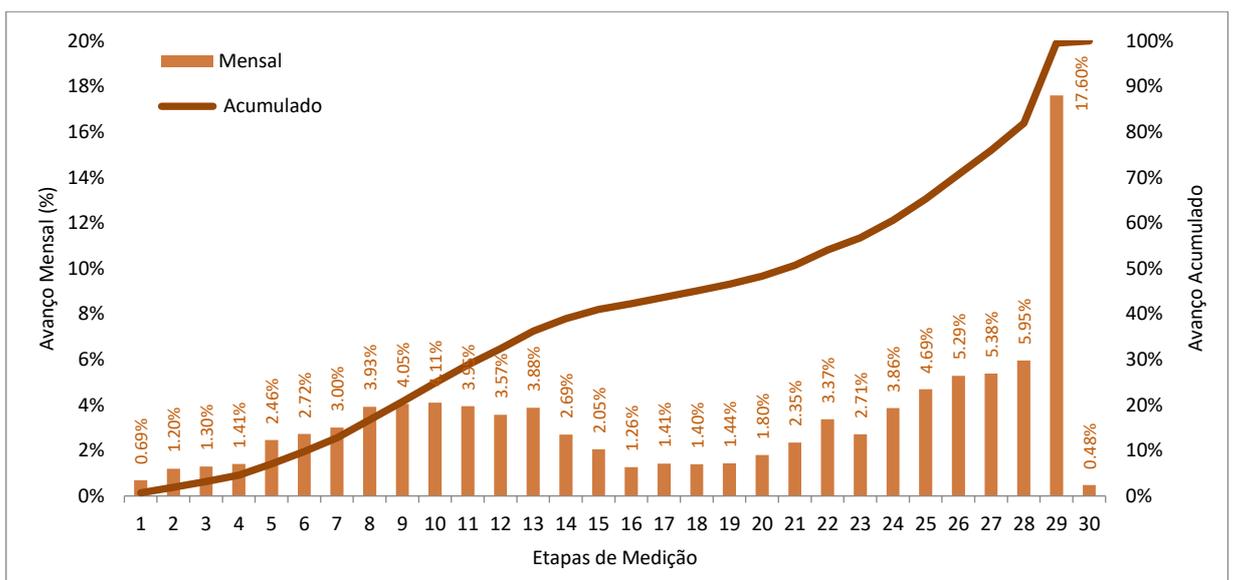


Figura 13 – Avanço Financeiro do empreendimento Q26 referente ao cronograma elaborado pela equipe de construção.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.1.1. Edifício Álvaro da Silveira

O cronograma físico financeiro preliminar do edifício Álvaro da Silveira foi construído com base nos macros quantitativos apresentados na proposta de licitação. As durações dos itens, como execução de Alvenarias, foram estabelecidas com base na experiência dos profissionais e dos índices da TCPO. Por não haver segmentação suficiente dos quantitativos, não foi possível levar em conta a disposição das equipes ao longo do edifício, não sendo considerada a improdutividade oriunda da movimentação excessiva dentro do canteiro de obras ou a necessidade de montagem e desmontagem frequente de andaimes.

Os serviços programados no edifício Álvaro da Silveira consideravam um grande aporte inicial de recursos por conta das atividades relacionadas com os itens Demolição, Estruturas, Alvenarias, Esquadrias, Pavimentação e Ar Condicionado. A proposta de finalizar serviços pesados da construção civil no início da obra, ao invés de dilatar as atividades no tempo, poderia resultar em não-conformidades de construção e interferência entre equipes de trabalho. Além disso, finalizar atividades de Forros e Bancadas antes dos Revestimentos, Alvenarias e Instalações Elétricas e Hidráulicas estarem concluídas, força o retrabalho das equipes futuras devido aos cuidados extras com limpeza e eventuais demolições nas respectivas frentes de serviço. Por fim, a existência de múltiplos andares, para execução concomitante de atividades dependentes, dificulta o avanço físico na formatação prevista por conta do fluxo de material necessário no empreendimento. Um possível atraso na retirada de material ou na entrega das esquadrias resultaria em atraso nos pagamentos das etapas relacionadas.

Como pode ser observado na Figura 14, embora o dispêndio financeiro até a 13ª etapa seja de 52,62%, as atividades enumeradas representam 35% do total do projeto para este mesmo período. Na formatação prevista, os primeiros 13 meses de obra, que correspondem às etapas 1 a 13, concentram avanços mensais superiores ao restante da obra. Estes valores sugerem um novo ponto de atenção no planejamento, a fim de justificar a necessidade física ou operacional para a sua finalização antecipada ou alteração do caminho de construção.

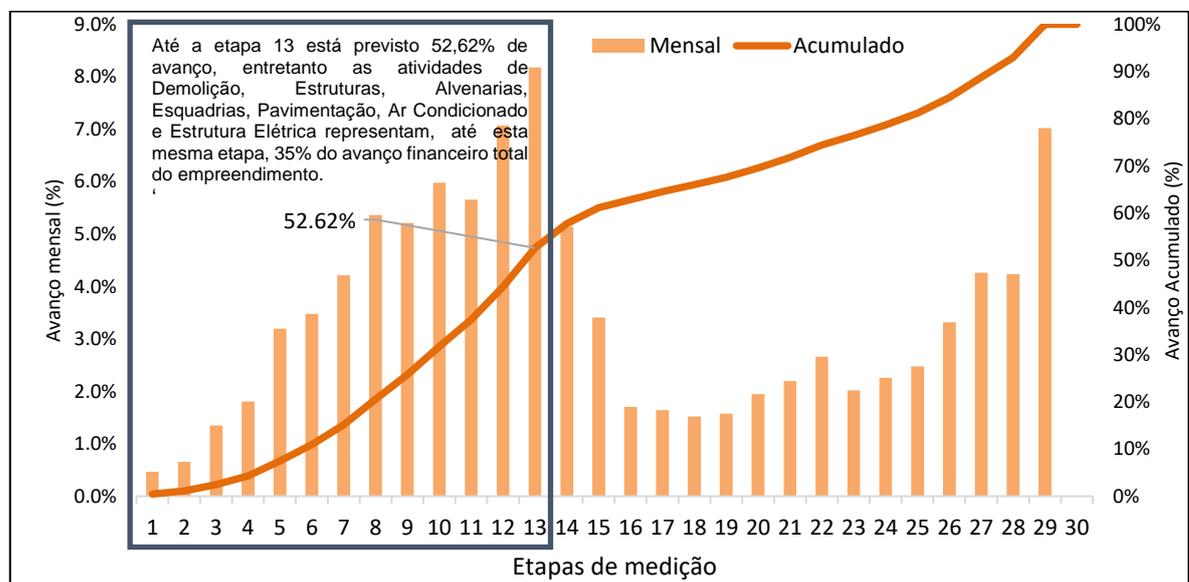


Figura 14 – Avanço financeiro do cronograma elaborado pela equipe de construção para o Edifício Álvaro da Silveira.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

A ausência do histograma de mão de obra impossibilita visualizar o regime de contratação, entretanto, com base nos índices e preços da construção civil fornecidos pela TCPO, é possível atribuir mais da metade da mão de obra direta para esse mesmo período.

5.1.1.2. Edifício Arthur Guimarães

Assim o planejamento para o edifício Arthur Guimarães também foi orientado para as atividades mais pesadas e onerosas, em detrimento do processo construtivo. Como resultado, se repetem os comentários anteriores relacionados aos itens de Revestimentos, Bancadas, Forros e Esquadrias.

Ao analisar o gráfico, apresentado na Figura 15, de avanço financeiro mensal e acumulado do edifício, percebe-se maior produção no primeiro ano do empreendimento. As atividades relacionadas a este dispêndio são as que necessitam de maior quantidade de mão de obra direta para avanço físico, enquanto os serviços futuros, em sua maioria, apresentam baixa relação entre a mão de obra mobilizada e o avanço físico. Dessa forma, os histogramas de mão de obra direta serão proporcionais ao avanço de produção e de dispêndio financeiro durante este período.

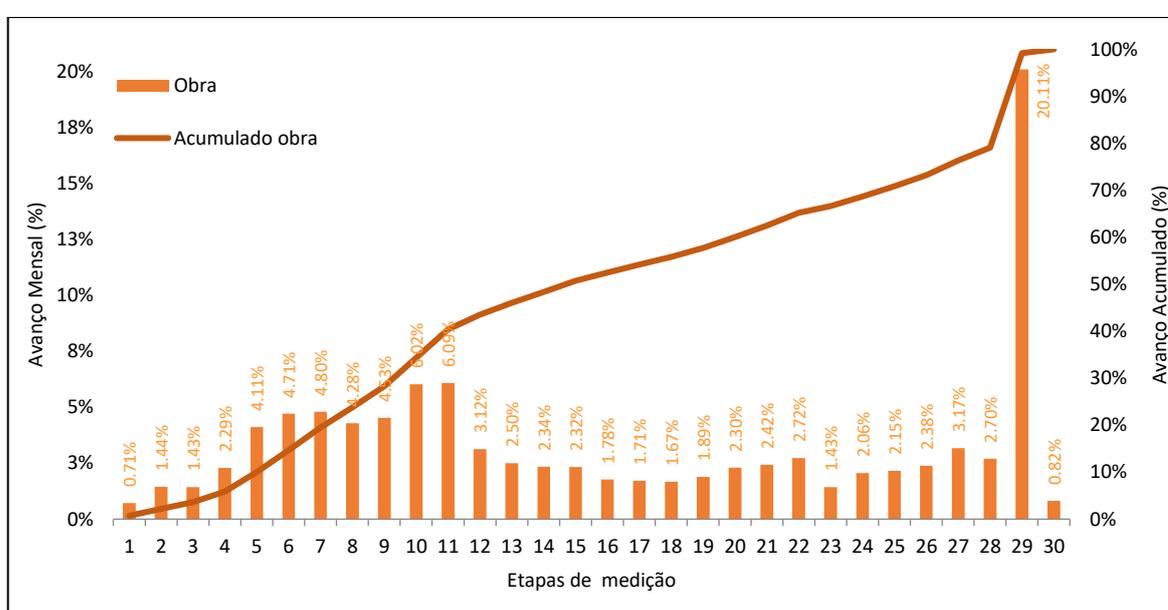


Figura 15 – Avanço financeiro do cronograma elaborado pela equipe de construção para o Edifício Arthur Guimarães.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.1.3. Edifício Acesso

As obras do Edifício Acesso consistem na demolição total das estruturas existentes e construção de um prédio de ligação entre os edifícios Arthur Guimarães e Álvaro da Silveira. Como os elevadores e centrais de ar condicionado serão instalados neste edifício, sua construção é um pré-requisito para finalização de serviços contemplados nos outros cronogramas.

A ausência de definições de projeto da fundação por conta da Contratante aumenta o risco de atraso nas atividades de demolição e infraestrutura. Dessa forma, as atividades foram postergadas o máximo possível, possibilitando a incorporação futura de parte da mão de obra dos edifícios anexos. Ao elaborar o gráfico físico financeiro do cronograma (Figura 16) elaborado pela equipe de obra, percebe-se que o maior dispêndio ocorre no último ano de obra.

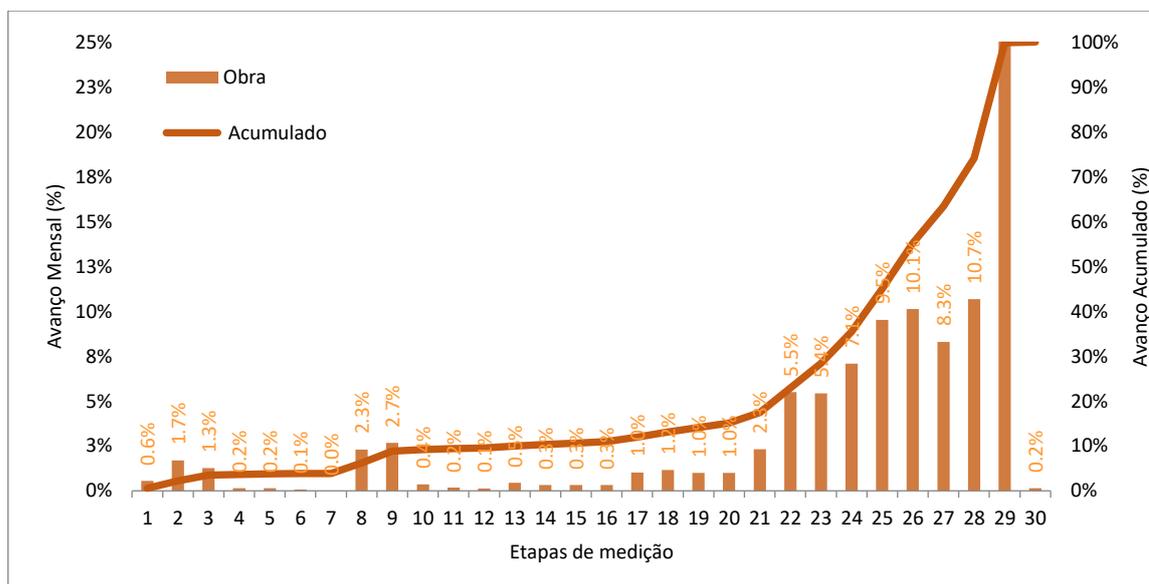


Figura 16 – Avanço financeiro do cronograma elaborado pela equipe de obra para o Edifício Acesso.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ao observar a necessidade de melhoria no cronograma, foi concedido maior prazo para o planejamento e entendimento do escopo levantado. A empresa contratada focou seus recursos na aferição das quantidades apresentadas na planilha licitada. Todos os edifícios contaram com uma equipe para leitura de plantas e uso de

escalímetros para quantificação dos serviços. Entretanto, para os edifícios Álvaro da Silveira e Acesso também foi realizada a modelagem em *software* BIM.

5.1.2. *Cronograma proposto baseado na metodologia de Linha de Balanço*

A necessidade de cronogramas financeiros que refletissem com maior acurácia o método executivo proposto requisitou maior detalhamento das atividades durante a confecção do planejamento. Por se tratar de um empreendimento no qual a maioria das tarefas seriam repetidas ao longo dos andares nos diferentes edifícios, neste trabalho utilizou-se o método da linha de balanço para construção dos cronogramas. A premissa adotada foi de que o aumento na segmentação dos dados facilitaria a programação de atividades de modo mais realístico. Dessa forma, o planejamento foi dividido em 3 etapas: sequenciamento de atividades, definição do prazo de execução e a divisão dos preços de cada item no cronograma físico financeiro.

Primeiramente foram estabelecidos o sequenciamento das atividades que seriam executadas em cada um dos edifícios. Por meio desse procedimento, foi definido o sequenciamento lógico de construção a ser empregado no canteiro de obra pelas frentes de serviço e então, estabelecida a divisão dos pacotes de serviços por prédios, andares e zonas. Para melhorar o entendimento do planejamento para as equipes de construção, os 27 itens licitados foram sequenciados e representados de forma gráfica. Dessa forma, ao aumentar a transparência dessa etapa, foi possível resgatar a experiência de diversos profissionais para criar um cronograma mais próximo da realidade.

Uma vez definida a sequência das atividades que se repetiriam ao longo dos andares ou zonas, foi necessário quantificar o escopo de serviço para definição do prazo de entrega de cada um dos empreendimentos. Por sua vez, a duração de cada uma das atividades é uma relação entre a quantidade de serviço que precisa ser executada e a produtividade média que um trabalhador alcança durante sua execução. Dessa forma, quanto maior o nível de segmentação dos quantitativos (prédio, pavimento, zona ou ambiente) maior é a assertividade quanto ao prazo

para execução das atividades, possibilitando a atribuição de diferentes equipes de trabalho e etapas de serviço em um mesmo andar.

Por fim, resta a divisão dos valores licitados ao longo das 30 etapas de forma a refletir o processo construtivo. A partir do conhecimento do custo unitário, da quantidade e da duração de cada item em cada pavimento, é possível relacionar o avanço físico com os pagamentos de cada etapa ao longo da construção do empreendimento. Como a metodologia de construção proposta evita o uso de frentes de serviço iguais em diferentes pavimentos, os itens licitados têm sua duração dilatados quando comparado com uma programação convencional de atividades, diminuindo os riscos de não-pagamento das etapas por atraso.

A fim de melhorar o entendimento das três etapas do planejamento adotado nesta metodologia de construção de cronogramas, serão abordados nos próximos subitens os passos seguidos durante o estudo de caso. Estas etapas foram essenciais para obtenção do sequenciamento, dos prazos e da divisão dos custos.

5.1.2.1. Sequenciamento das atividades

A partir dos itens apresentados na planilha de licitação foi proposta uma sequência de execução para atender aos meios de produção disponíveis. A sequência criada e apresentada na Figura 17 foi utilizada para todos os pavimentos e edifícios. Quando em um pavimento ou empreendimento não existe a necessidade de execução de certa atividade da sequência, passa-se para a próxima. A seguir apresentam-se as considerações feitas para cada um dos itens.

As atividades de demolição levavam em conta a demolição de lajes, vigas, pilares, alvenarias, piso e fachadas. Este item foi escolhido como o primeiro, dentre todos os serviços a serem medidos, por conta do fluxo de material que precisava ser retirado do empreendimento.

Os itens Terraplenagem e Fundação seriam realizados apenas no edifício de Acesso, logo após a demolição das estruturas. O atraso na definição desses

projetos inviabilizava que parte das equipes dos outros edifícios fosse aproveitada na sua construção.

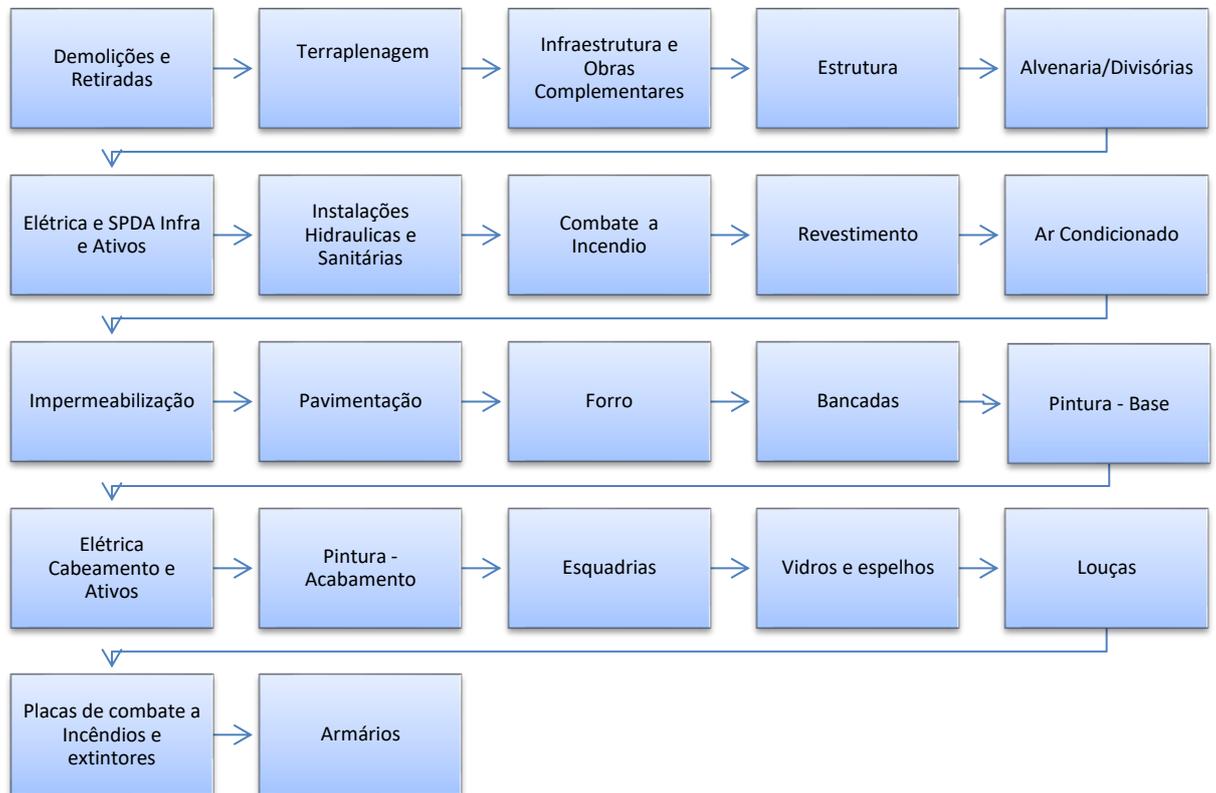


Figura 17 – Sequência de execução das atividades.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

As atividades de elétrica que são divididas em infraestrutura e cabeamento, ocorrem em momentos diferentes do processo construtivo. Por conta disso, foram separadas no momento de representação gráfica. O mesmo aconteceu para as instalações hidráulicas, ar condicionado e combate ao incêndio.

O item Revestimentos contempla as atividades de chapisco, reboco e colocação de cerâmicas internas, externas e de fachada. Os serviços relacionados à fachada por não dependerem da sequência apresentada, foram separados.

5.1.2.2. Definição dos prazos

Ao definir uma sequência lógica de construção em cada um dos ambientes é possível definir prazos para início e fim de cada item em cada pavimento. A

segmentação da quantidade de serviço por localização possibilita dimensionar a equipe ideal para finalizar cada andar com a duração necessária. Como os pavimentos são parecidos e contemplam quantidades similares, o planejamento da execução das atividades de acordo com a sequência construtiva resulta em realizar sistematicamente diferentes trabalhos em um mesmo local.

Para exemplificação do método nos edifícios AG, AS e Acesso foi elaborado um planejamento fictício de uma reforma de um empreendimento de 5 pavimentos e um subsolo. Na Figura 18 está representado o processo executivo dos 7 tipos de atividades que devem ser realizadas.

A representação visual ocorreu por meio de planilhas do *Microsoft Excel*, o eixo das abscissas representa a linha do tempo das semanas, meses, anos ou etapas definidas de execução. O eixo vertical define os zoneamentos ou pavimentos em que os serviços serão executados. Uma leitura correta do gráfico é de que as atividades relacionadas ao revestimento no quinto pavimento irão ocorrer na quarta etapa.

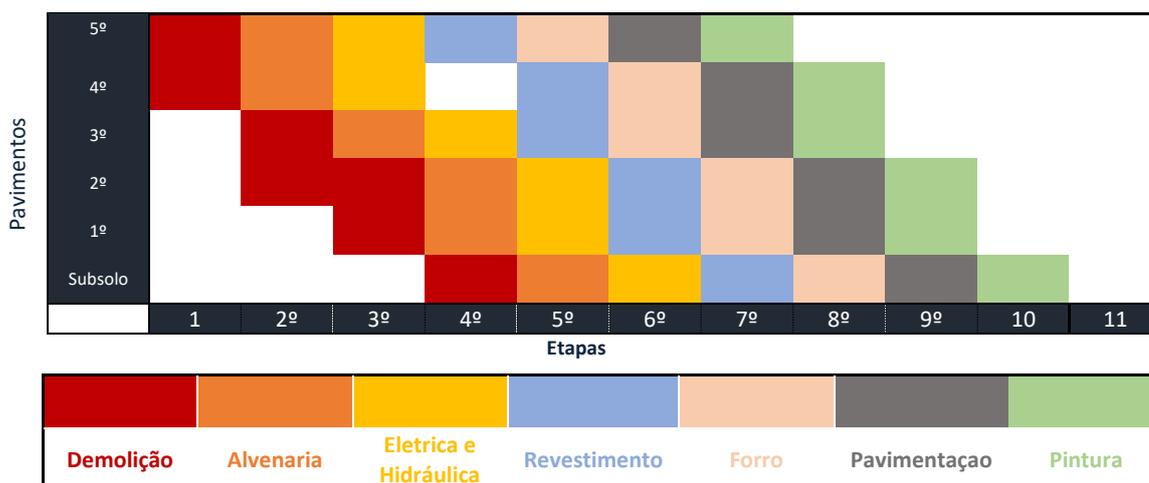


Figura 18 – Linha de Balanço criada para empreendimento fictício a fim de exemplificação.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

As atividades de demolição foram planejadas para que finalizassem todo o serviço até a quarta etapa. Dessa forma, foram divididas de forma que o quinto e o quarto pavimento iniciassem e finalizassem no primeiro mês. Enquanto o terceiro pavimento é iniciado e finalizado na segunda etapa, o segundo pavimento permanece até a etapa seguinte. Este é o modo gráfico para demonstrar que a

atividade requer maior duração e foi planejada para ser executada em duas ou mais etapas. Este comportamento, de alteração na duração para conclusão de uma atividade deve ocorrer de acordo com a quantidade de serviço do pavimento e possibilita entender eventuais gargalos de sequenciamento.

A equipe responsável pela construção das Alvenarias inicia-se tão logo as atividades de demolição do pavimento são finalizadas e seu limitante é a entrega do pavimento pela equipe anterior. A cada etapa novas atividades se iniciam no quinto andar, até que todo o edifício seja concluído no final da etapa 10.

Em alguns momentos pode ser necessária a divisão das etapas em ciclos menores de tempo para representar as atividades de curto prazo que são realizadas por equipes muito diferentes. No caso da instalação hidráulica e elétrica, as células podem ser divididas para representar locais diferentes no mesmo pavimento, e a duração será determinada de acordo com a dificuldade de avanço do item.

Neste exemplo as atividades iniciavam no quinto andar e ao finalizar seguiam para o próximo pavimento, descendo o edifício até chegar no subsolo. Entretanto, por conta da metodologia construtiva de alguns serviços, esse planejamento pode se modificar.

Para fins de simplificação, admite-se que as atividades de Demolição, Alvenaria e Infraestrutura de Hidráulica e Elétrica permaneçam como planejado. Entretanto, por conta de indefinições das atividades de revestimento ou da impossibilidade de início anterior da equipe, as atividades de revestimento devem começar somente depois da etapa 5. Neste caso, existem pelo menos 2 alternativas, ou postergar todas as atividades e atrasar o empreendimento em 2 etapas, ou atuar como esboçado na Figura 19.

Na impossibilidade de finalizar o revestimento dos cinco pavimentos em uma etapa, uma alternativa é voltar ao ritmo de trabalho de uma única frente de serviço, atuando nos diferentes pavimentos até finalizar todo o escopo do empreendimento. Neste caso, as equipes seriam dimensionadas para finalização do empreendimento

em 11 etapas e o elevado número de células vazias no gráfico pode ser interpretado como uma deficiência do planejamento e da sequência construtiva, sendo necessário reavaliá-los.

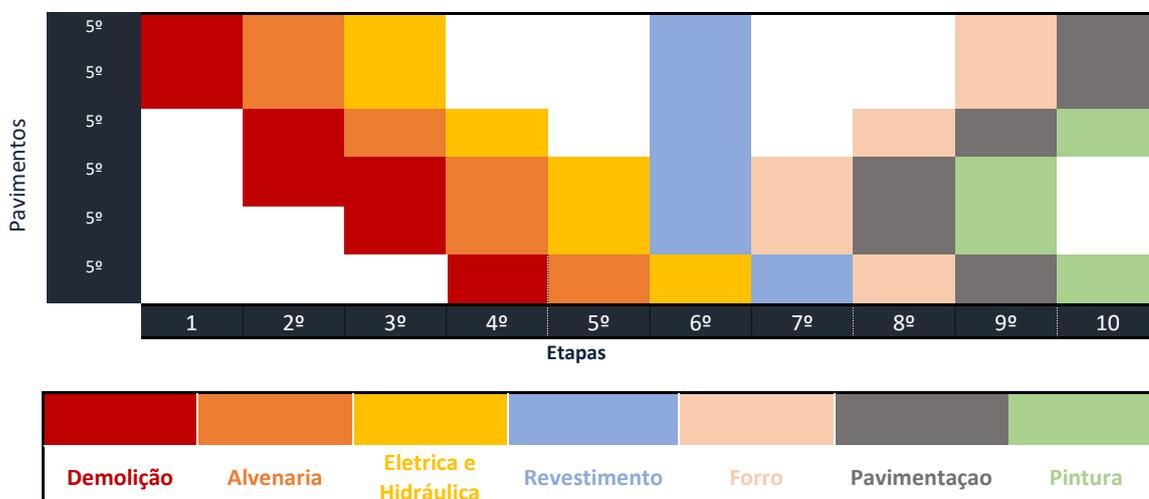


Figura 19 – Linha de balanço alternativa para empreendimento fictício de exemplo.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

O uso dessa ferramenta na sequência proposta viabiliza que diferentes serviços sejam realizados ao longo dos andares do edifício, sem de fato ocasionar interferência. Para isso, é necessário quantificar o escopo de trabalho por andar e zona para que, com os prazos definidos, seja possível dimensionar as equipes para atender ao ritmo de trabalho imposto.

5.1.2.2.1. Edifício Álvaro da Silveira

A linha de balanço do Edifício Álvaro da Silveira foi construída e faz parte do Apêndice A (Figura A 1). Dentre as atividades de reforma que serão realizados neste prédio de 12 pavimentos, estão a demolição e construção de estruturas, alvenarias, pisos, forros e armários. Todos os pavimentos foram divididos em 4 zonas, a fim de evidenciar em qual delas cada uma das atividades estaria ocorrendo. A demolição desta edificação inicia-se no último pavimento (primeira etapa) e finaliza-se no térreo (etapa 8). A execução das estruturas em concreto, como pilares, vigas e lajes será iniciada em seguida (etapa 2). No planejamento foi considerado um maior intervalo de tempo para iniciar as próximas atividades, a fim de aumentar o tempo entre a concretagem e a atuação das cargas previstas.

As alvenarias, instalações hidráulicas/sanitárias e elétricas por vezes são executadas no mesmo pavimento, embora em zonas diferentes. No 12º pavimento, por exemplo, nas zonas 1 e 2 ocorrem primeiramente a construção das alvenarias, depois as instalações hidro sanitárias e pôr fim a infraestrutura elétrica, nas etapas três, quatro e cinco, respectivamente.

5.1.2.2.2. Edifício Arthur Guimarães

A equipe de obras, ao elaborar o cronograma do edifício Arthur Guimarães, previu que o início das atividades de alvenaria ocorreria 10 meses após o início das estruturas e o seu término ocorreria na 25ª etapa. Essa consideração fez com que as atividades secundárias de construção como esquadrias, revestimento, impermeabilização e pintura se concentrassem no final do empreendimento.

Embora a proposta atenda aos prazos da obra, existem riscos de atrasos das atividades do cronograma que não podem ser descartados. Caso as atividades sejam executadas conforme modalidade prevista inicialmente, existe a possibilidade de as equipes interferirem no trabalho umas das outras, culminando em improdutividade. Para diminuir esses riscos, foi proposto um intercâmbio entre as atividades de estrutura e alvenaria, alterando a ordem de início dessas equipes em alguns pavimentos. Dessa forma, foi possível manter o ritmo dos serviços futuros sem prejudicar as datas de entrega do empreendimento.

Primeiramente, a maior parte das alvenarias que serão construídas nesta edificação não estão localizadas nas mesmas zonas que receberão as novas estruturas de concreto. É possível avançar com esses serviços nas frentes de trabalho liberadas pelas equipes de demolição e que não dependam da execução futura das estruturas, conforme apresentado no Apêndice A pela Figura A 2. Dessa forma, os serviços posteriores, como as instalações elétricas e hidro sanitárias, podem ser iniciados ainda no quarto mês sem apresentar folgas entre as atividades.

Em geral, o cronograma criado para o edifício AG é o que apresenta maior flexibilidade de alterações. As grandes folgas ocasionadas após o término da

pintura estão alinhadas com a necessidade da equipe de planejamento e construção focar no Edifício Acesso, podendo inclusive aproveitar a mão de obra deste empreendimento e a do AS para as atividades restantes.

5.1.2.2.3. Edifício Acesso

O edifício Acesso, que atingirá 13 pavimentos e será construído desde a fundação apresenta grandes diferenças no planejamento em relação às outras duas edificações. Por motivos de diferença nos serviços a serem executados e da indefinição de projetos, este edifício foi planejado de forma a postergar seu início até a etapa 8.

Primeiramente, o novo edifício será construído sem aproveitamento de nenhuma das estruturas anteriores e, portanto, o antigo imóvel de três pavimentos será totalmente demolido. O grau de dificuldade para as atividades se eleva a ponto de viabilizar o uso de maquinário pesado para demolição, escavação, retirada dos materiais e construção da fundação. Entretanto o avanço dessas atividades é limitado pela falta de espaço para estocagem de entulho e a dificuldade de transitar com caminhões de grande porte no local da obra durante horário comercial.

Em segundo lugar, existem diversas pendências relacionadas aos projetos geotécnicos e estruturais que não possuem previsão de definição. Sem estes projetos não é possível finalizar as atividades de terraplenagem e fundação, necessárias para dar continuidade à construção do empreendimento. Dessa forma, delongas dessas definições incorreriam em atrasos nas atividades seguintes, postergando seu início e conseqüentemente impedindo a medição das etapas.

Para diminuir os riscos de atraso nas atividades, o Edifício Acesso foi planejado com início tardio. Enquanto a demolição ocorre ao longo das primeiras quatro etapas, as atividades de infraestrutura serão finalizadas apenas na nona etapa, seguido da construção das estruturas de concreto. Por conta da quantidade de pavimentos e do interesse em aumentar a durabilidade das peças de concreto por meio da desforma tardia, a construção das alvenarias tem previsão para ser

finalizada na etapa 23, conforme apresentado no Apêndice A pela Figura A 3. Este é o mesma etapa no qual se finalizam os serviços de pintura e instalações de incêndio no quinto pavimento e está de acordo com a metodologia de planejamento aplicada, na qual os pavimentos que iniciaram primeiro são os primeiros a serem finalizados.

Uma vez relacionada a duração os itens licitados, é necessário segmentá-los para alcançar maior assertividade entre o cronograma físico e financeiro. Como um pavimento pode se distinguir do outro, surge uma ineficiência do processo que é a impossibilidade de identificar visualmente a produção estimada para aquela etapa. A demolição, por exemplo, pode contemplar as atividades de demolição de alvenarias e de bancadas. Supondo que a primeira atividade é menos onerosa, pavimentos que possuam mais bancadas e menos alvenarias para serem demolidas podem ter a mesma duração no gráfico, mas não significa que os custos são iguais. Neste caso, é necessário estratificar os quantitativos para dimensionamento dos custos daquele pavimento.

5.1.2.3. *Dimensionamento dos custos*

Embora a linha de balanço tenha sido útil para definir o ritmo de produção e a duração das atividades, para relacionar o avanço financeiro com o avanço físico será necessário estratificar os quantitativos no mesmo nível de detalhamento da duração proposta. Supondo que o custo do Item Demolição para todo o empreendimento tenha sido licitado ao valor de R\$10 milhões e que essas atividades estejam planejadas para terminar no final do quarto mês, então até a 4ª Etapa de pagamento todo este montante deverá ser quitado. Portanto, para estratificar os custos por etapa é necessário conhecer a quantidade de cada um dos subitens da atividade de Demolição planejados em cada mês.

Com base nos gráficos (Figura A 1, Figura A 2 e Figura A 3) do Apêndice A é possível identificar onde e quando cada uma das atividades sequenciadas serão executadas em cada etapa, resta definir qual o valor financeiro que cada uma delas representa do total.

Nesta etapa do trabalho os quantitativos foram segmentados, com o auxílio da leitura dos projetos licitados, por tipo de serviço e por pavimento. Na Tabela 2 apresenta-se o resultado desse processo para o item Alvenarias do edifício Arthur Guimarães.

Tabela 2 – Quantidades, segmentadas por tipo e pavimento, de serviços relacionados com o item Alvenarias (Edifício AG).

	Alvenaria 9cm (m ²)	Bloco estrutural 15cm (m ²)	Encunhamento 10cm (m ²)	Drywall (m ²)	Divisoria granito (m ²)
1º Pavimento	538,88	276,93	168,25	354,12	20,79
2º Pavimento	489,19	259,95	150,12	518,39	51,20
3º Pavimento	456,28	300,40	140,67	951,39	23,31
4º Pavimento	251,80	194,90	129,62	683,73	15,75
5º Pavimento	456,28	300,40	140,67	951,39	23,31
6º Pavimento	456,28	300,40	140,67	951,39	23,31
7º Pavimento	456,28	300,40	140,67	951,39	23,31
8º Pavimento	456,28	300,40	140,67	951,39	23,31
Sub total	3.561,27	2.233,78	1.151,34	6.313,21	204,29

Fonte: Elaborada pelo auto

De posse dos preços unitários de cada um dos serviços, é possível obter o valor total dos serviços por pavimento, basta multiplicar as quantidades segmentadas pelos seus respectivos custos. Os resultados deste processo estão demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Custos, segmentadas por tipo e pavimento, para execução dos serviços relacionados com o item Alvenarias (Edifício AG).

	Alvenaria 9cm (m ²)	Bloco estrutural 15cm (m ²)	Encunhamento 10cm (m ²)	Drywall (m ²)	Divisoria granito (m ²)	Total por Pavimento
1º Pavimento	R\$ 28.937,86	R\$ 27.975,47	R\$ 1.384,70	R\$ 36.088,37	R\$ 12.556,54	R\$ 106.942,93
2º Pavimento	R\$ 26.269,50	R\$ 26.260,15	R\$ 1.235,49	R\$ 52.828,78	R\$ 30.922,06	R\$ 137.515,97
3º Pavimento	R\$ 24.502,24	R\$ 30.346,41	R\$ 1.157,71	R\$ 96.956,47	R\$ 14.078,54	R\$ 167.041,37
4º Pavimento	R\$ 13.521,66	R\$ 19.688,80	R\$ 1.066,77	R\$ 69.679,05	R\$ 9.512,53	R\$ 113.468,80
5º Pavimento	R\$ 24.502,24	R\$ 30.346,41	R\$ 1.157,71	R\$ 96.956,47	R\$ 14.078,54	R\$ 167.041,37
6º Pavimento	R\$ 24.502,24	R\$ 30.346,41	R\$ 1.157,71	R\$ 96.956,64	R\$ 14.078,54	R\$ 167.041,54
7º Pavimento	R\$ 24.502,24	R\$ 30.346,41	R\$ 1.157,71	R\$ 96.956,64	R\$ 14.078,54	R\$ 167.041,54
8º Pavimento	R\$ 24.502,24	R\$ 30.346,41	R\$ 1.157,71	R\$ 96.956,64	R\$ 14.078,54	R\$ 167.041,54
Sub total	R\$ 191.240,22	R\$ 225.656,47	R\$ 9.475,51	R\$ 643.379,06	R\$ 123.383,83	R\$ 1.193.135,09

Fonte: Elaborada pelo autor.

Por meio dos gráficos da linha de balanço é possível associar o avanço físico, de cada etapa, com o custo dos serviços executados, conforme apresentado na Tabela 4. Dessa forma, é possível utilizar de uma ferramenta visual para o planejamento das atividades, garantindo que a construção do cronograma físico financeiro seja compatível com o ritmo de produção esperado.

Tabela 4 – Linha de balanço financeira do item Alvenarias (valor em milhar)

	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Etapa 6	Etapa 7	Etapa 8	Etapa 9	Etapa 10
8º Pavimento	R\$ 107							
7º Pavimento		R\$ 138						
6º Pavimento	R\$ 125		R\$ 42					
5º Pavimento		R\$ 85		R\$ 28				
4º Pavimento			R\$ 126		R\$ 41			
3º Pavimento				R\$ 140		R\$ 27		
2º Pavimento					R\$ 125		R\$ 42	
1º Pavimento						R\$ 125		R\$ 42

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.2.3.1. Edifício Álvaro da Silveira

O novo planejamento para o edifício Álvaro da Silveira apresenta dilatação do avanço físico e financeiro ao longo das etapas. As principais atividades dilatadas foram aquelas relacionadas aos itens de Pavimentação, Esquadrias, Revestimento, Impermeabilização, Forro e Ar Condicionado. Na Figura 23 estão representados os avanços financeiros acumulados para ambos os cronogramas, onde é possível identificar como a dilatação das atividades resultou em avanços menores.

A título de exemplificação, na 14ª etapa o avanço acumulado será de 38,81%, contra os 57,76% previstos inicialmente. Além disso, a procura por informações detalhadas dos quantitativos nos projetos evidenciou uma diferença, a maior, de aproximadamente R\$5,6 milhões de reais entre a lista de quantitativos licitados e os levantados.

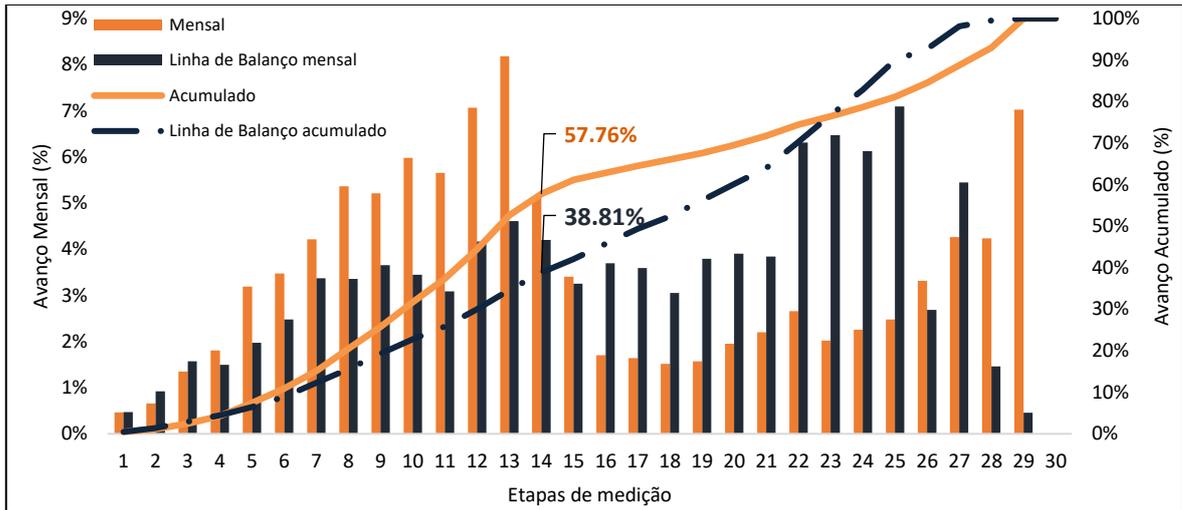


Figura 20 – Dispendio financeiro para o Edifício Álvaro da Silveira
Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.2.3.2. Edifício Arthur Guimarães

O cronograma criado por meio da metodologia de linha de balanço para o edifício Arthur Guimarães apresentou pequena modificação gráfica por conta das atividades dilatadas possuírem baixo valor financeiro agregado. Embora os itens de Alvenaria, Esquadrias, Revestimentos, Forro e Pavimentação tenham sido postergados e melhor distribuídos de acordo com a necessidade de execução do empreendimento, a melhoria da correlação física financeira é ocultada pelo agrupamento das atividades de Ar Condicionado, Elétrica e Equipamentos. Na Figura 21 visualiza-se a comparação do dispendio nos dois cronogramas.

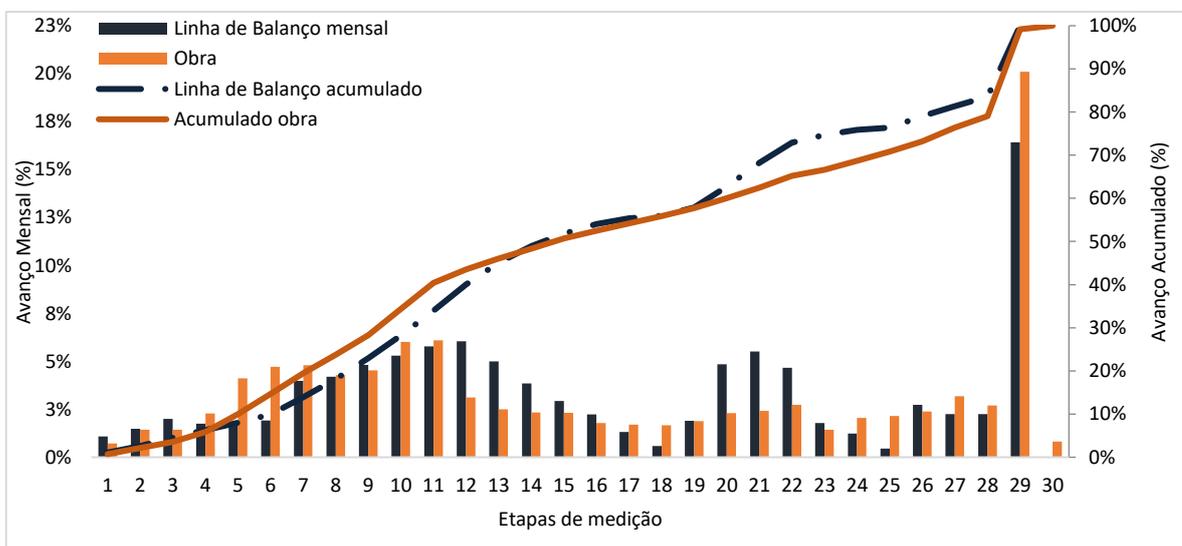


Figura 21- Gráfico de avanço financeiro para o Edifício Arthur Guimarães
Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.2.3.3. Edifício Acesso

O cronograma criado por meio da metodologia linha de balanço para o edifício Acesso teve seu dispêndio financeiro melhor distribuído ao longo das etapas, conforme pode ser visualizado por meio da

Figura 22. Ao planejar as atividades de forma constante e repetitiva, diminuíram-se os picos de produção e conseqüentemente de dispêndio financeiro. Dessa forma, os riscos associados ao não pagamento por atraso de atividades diminuem e a mudança das datas de início de atividade possibilitam mitigar e dividir a responsabilidade para as indefinições de projeto.

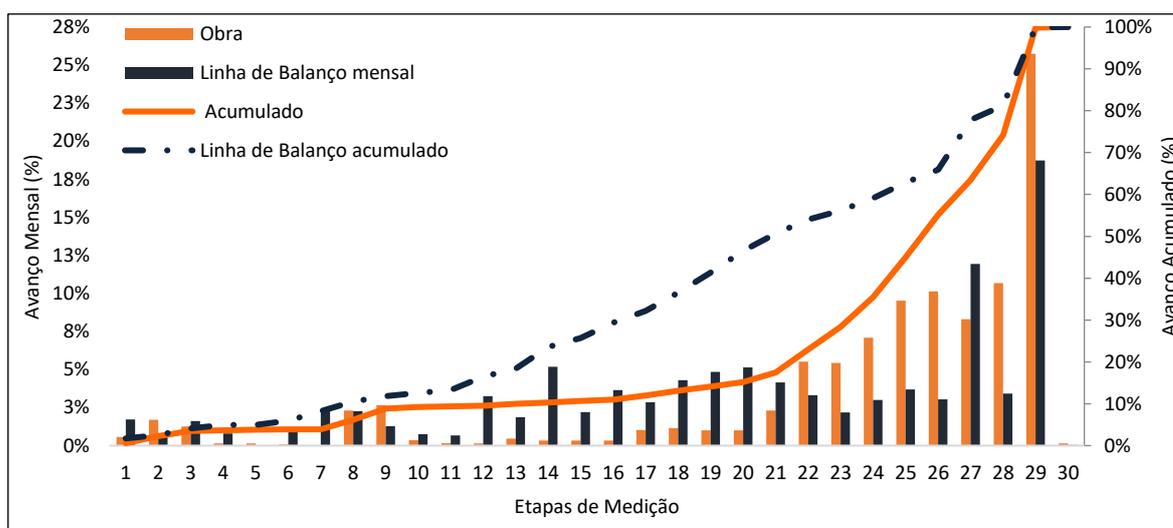


Figura 22 – Gráfico de avanço financeiro para o Edifício Acesso
Fonte: Elaborado pelo Autor.

As atividades de construção das peças de concreto estrutural foram dilatadas ao longo de 14 etapas, enquanto a programação inicial era de apenas 4. Esta programação mitiga riscos relacionados a curto prazo de execução e evita a retirada precoce do escoramento, reduzindo a formação de fissuras e aumentando a durabilidade das estruturas de concreto, quando executadas seguindo processo convencional de concretagem.

5.1.2.3.4. Empreendimento Q26

O resultado da repetição dos passos para todas as atividades dos três edifícios foi a obtenção dos 4 cronogramas físico financeiros. Quando o gráfico referente ao cronograma do empreendimento como um todo é analisado e os dois

planejamentos são comparados, aquele proposto inicialmente pela equipe e o criado por meio da linha de balanço, é perceptível a diluição dos avanços ao longo das etapas. Este resultado foi obtido por meio da somatória de mudanças em cada uma das edificações, ao alterar as datas de inícios das atividades e aumentar suas durações. Na Figura 23 foram representados os avanços mensais e acumulados para ambos cronogramas.

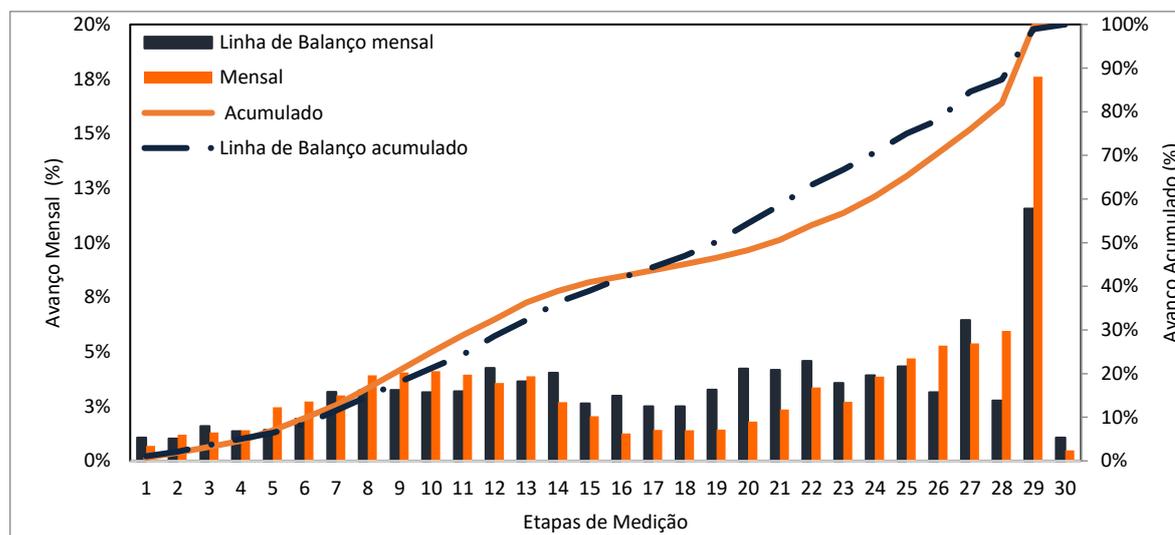


Figura 23 – Dispendio financeiro do Empreendimento Q26
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Embora a segmentação dos dados tenha sido efetiva para melhorar a relação do avanço físico com o financeiro, o planejamento no modo apresentado é ineficaz por conta da grande quantidade de trabalho exigida e do pouco espaço para melhoria por meio da automatização das tarefas. Uma vez entendido que a quebra das informações em mais níveis agrega valor ao planejamento é necessário utilizar um método que possibilite a segmentação dos dados ocorra de forma independente do critério de planejamento adotado, sendo assim é possível alterá-los conforme as necessidades futuras. A tecnologia BIM permite esse trabalho ao disponibilizar suas informações em um banco de dados estruturado e lógico.

5.1.3. Banco de dados criado com auxílio da tecnologia BIM

Os softwares BIM permitem que os modelos virtuais dos projetos sejam criados de forma orientada e lógica. É possível utilizar o banco de dados dos elementos

virtuais modelados para os mais diversos usos, como o planejamento das atividades por meio da metodologia de linha de balanço e extração automatizada, de acordo com o nível de detalhamento e de maturidade do projeto.

Neste estudo de caso foram analisados apenas os edifícios que continham o modelo virtual em BIM, no caso o Edifício Álvaro da Silveira e o Edifício Acesso. Foi utilizado o *software Navisworks Manage da Autodesk* para elaboração de um cronograma mais detalhado que aquele construído nas etapas anteriores desse trabalho. Para isso os modelos receberam informações das composições unitárias para todos os serviços especificados, os dados foram extraídos, tratados e o planejamento automatizado de acordo com a disponibilidade das equipes.

Primeiramente, os elementos do modelo virtual receberam as composições unitárias dos seus respectivos serviços. Ao adicionar as quantidades de insumo necessários para a execução de cada unidade de serviço do empreendimento, tornou-se possível extrair a quantidade de materiais, equipamentos e mão de obra de forma automatizada e segmentada. Portanto, o banco de dados se torna tão amplo e detalhado quanto a quantidade e a maturidade dos itens modelados.

Em segundo lugar, é necessário extrair e tratar os dados para acelerar o processo de tomada de decisão durante o planejamento. Ao segmentar a quantidade de insumo por elemento, é necessário agrupá-los novamente para definição da equipe de trabalho. Dessa forma, é possível analisar os insumos necessários para execução de todo projeto, de um único pavimento ou de um ambiente.

Finalmente, o planejamento pode ser automatizado por conta do sequenciamento imposto para a execução das atividades. De posse da quantidade de insumos necessários e disponíveis é possível determinar a duração de cada serviço. Como a ordem de execução das atividades deve ser a mesma, é possível prever de forma mais eficiente o cronograma de obra utilizando da metodologia de linha de balanço.

5.1.3.1. *Modelo Virtual*

Embora a visualização em três dimensões seja uma das primeiras características notadas nos modelos virtuais, a grande vantagem de um projeto em BIM está na associação dos elementos visuais com informações que são armazenadas no banco de dados. O acesso a essas informações, quando organizadas de maneira lógica, pode facilitar análises de planejamento, produtividade e outras tarefas de monitoramento do projeto.

A empresa responsável pela obra contratou a modelagem dos projetos do edifício Álvaro da Silveira para validar os quantitativos licitados. Como não houve requisições por parte das equipes de planejamento quanto ao banco de dados do modelo virtual, as informações obtidas por meio do banco de dados não possibilitavam a automatização do processo. Foi necessário modificá-lo para que os elementos pudessem ser relacionados não apenas com a planilha licitada, mas com a segmentação utilizada para o planejamento das atividades.

Com o auxílio do *software Navisworks Manage* foi possível adicionar informações aos elementos do banco de dados em fase posterior à modelagem. O fluxo de trabalho proposto, além de adicionar informações ao banco de dados sem alterar as existentes, possibilitou que mudanças futuras no projeto resultassem em atualizações automáticas dos quantitativos modelados e dos seus insumos calculados no novo banco de dados. Dessa forma, a extração e análise de dados para o planejamento podem ser realizadas sem a necessidade de o modelo virtual ter sido construído com essa finalidade.

A estrutura analítica de projeto criada teve o intuito de viabilizar a extração dos insumos por serviço e por estrutura de repetição. Para possibilitar essa segmentação, definiu-se o pavimento como a estrutura principal de repetição e para cada nível foram acrescentados todos os serviços associados à planilha licitada. Dessa forma, as tarefas de associação dos elementos com seus serviços seguiram a sequência construtiva e a ordem das estruturas de repetição, ou seja, da demolição até o acabamento e do último pavimento para o primeiro.

O *software* Navisworks apresenta os catálogos de quantidades, de itens e de recursos. Por meio destes catálogos, é possível associar cada um dos elementos do modelo com seu respectivo item e obter os insumos necessários para sua execução. Para melhor entendimento, o processo será apresentado a seguir.

5.1.3.1.1. Catálogo de Recursos

Por meio do catálogo de recursos do *Navisworks* os insumos de materiais, mão de obra e equipamentos foram representados. Seus valores estão relacionados com os atributos dos elementos ao qual o recurso está associado. Dessa forma, foi possível que recursos iguais apresentassem valores distintos.

Cada recurso possui 10 variáveis relacionadas ao item em que está associado. Por meio das fórmulas matemáticas é possível alterar valores do modelo como comprimento, largura, área, volume, comprimento e peso. Por meio da utilização de índices oriundos das composições de preço da empresa, é possível criar as equações para quantificar a execução de cada serviço. Os diferentes tipos de parâmetros, fórmulas e unidades podem ser verificados na Figura 24.

Resources		RBS
Demolições		1
Infraestrutura		2
Estrutura		3
Alvenaria		4
Alvenaria em tijolo ceramico furados - ESP 9 c...		4.1
Pedreiro		4.1.1
Servente		4.1.2
Tijolos - 9x19x19		4.1.3
Argamassa		4.1.4
Alvenaria em tijolo ceramico furados - ESP 14...		4.2
Alvenaria em tijolo ceramico furados - ESP 19...		4.3
Encunhamento para paredes de 10 cm		4.4
Encunhamento para paredes de 20 cm		4.5
Encunhamento para paredes de 25 cm		4.6
Alvenaria em bloco estrutural - ESP 15 cm		4.7
Verga e contra verga		4.8
Divisoria em drywall		4.9
Divisoria em granito		4.10

Resource Name	
Tijolos - 9x19x19	
Description	
Resource Calculations	
Variable	
Length	
Width	
Thickness	
Height	
Perimeter	
Area	
Volume	
Weight	
Count	=ModelArea*27
PrimaryQuantity	

Figura 24 – Catálogo de recursos
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para este estudo de caso, foram criados recursos para cada uma das composições de preço unitário. Dessa forma, todas as funções matemáticas levaram em conta o tipo de elemento modelado e do índice disponível.

Estão representadas na Figura 25 as fórmulas criadas para as atividades de alvenarias em tijolo cerâmico furado de espessura de 9 cm, em que foram criados os insumos de pedreiro, servente, tijolos e argamassa. A fórmula utilizada para contar a quantidade de tijolos por metro quadrado de elemento alvenaria é “ $=ModelArea*27$ ”. Da mesma maneira, para se obter a quantidade necessária de horas trabalhadas do servente e do pedreiro para execução da alvenaria, multiplicam-se os índices pela área do elemento de alvenaria selecionado e armazena-se na variável *PrimaryQuantity*.

Resource Name PEDREIRO Pedreiro Description Calculations <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Formula</th> <th>Units</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Length</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Width</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Thickness</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Height</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Perimeter</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Area</td><td></td><td>Square Meters</td></tr> <tr><td>Volume</td><td></td><td>Cubic Meters</td></tr> <tr><td>Weight</td><td></td><td>Kilogram</td></tr> <tr><td>Count</td><td></td><td>Each</td></tr> <tr><td>PrimaryQuantity</td><td>=ModelArea*1</td><td></td></tr> </tbody> </table>			Variable	Formula	Units	Length		Meters	Width		Meters	Thickness		Meters	Height		Meters	Perimeter		Meters	Area		Square Meters	Volume		Cubic Meters	Weight		Kilogram	Count		Each	PrimaryQuantity	=ModelArea*1		Resource Name TIJOLOS Tijolos - 9x19x19 Description Calculations <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Formula</th> <th>Units</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Length</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Width</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Thickness</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Height</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Perimeter</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Area</td><td></td><td>Square Meters</td></tr> <tr><td>Volume</td><td></td><td>Cubic Meters</td></tr> <tr><td>Weight</td><td></td><td>Kilogram</td></tr> <tr><td>Count</td><td>=ModelArea*27</td><td>Each</td></tr> <tr><td>PrimaryQuantity</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			Variable	Formula	Units	Length		Meters	Width		Meters	Thickness		Meters	Height		Meters	Perimeter		Meters	Area		Square Meters	Volume		Cubic Meters	Weight		Kilogram	Count	=ModelArea*27	Each	PrimaryQuantity		
Variable	Formula	Units																																																																					
Length		Meters																																																																					
Width		Meters																																																																					
Thickness		Meters																																																																					
Height		Meters																																																																					
Perimeter		Meters																																																																					
Area		Square Meters																																																																					
Volume		Cubic Meters																																																																					
Weight		Kilogram																																																																					
Count		Each																																																																					
PrimaryQuantity	=ModelArea*1																																																																						
Variable	Formula	Units																																																																					
Length		Meters																																																																					
Width		Meters																																																																					
Thickness		Meters																																																																					
Height		Meters																																																																					
Perimeter		Meters																																																																					
Area		Square Meters																																																																					
Volume		Cubic Meters																																																																					
Weight		Kilogram																																																																					
Count	=ModelArea*27	Each																																																																					
PrimaryQuantity																																																																							
Resource Name SERVENTE Servente Description Calculations <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Formula</th> <th>Units</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Length</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Width</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Thickness</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Height</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Perimeter</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Area</td><td></td><td>Square Meters</td></tr> <tr><td>Volume</td><td></td><td>Cubic Meters</td></tr> <tr><td>Weight</td><td></td><td>Kilogram</td></tr> <tr><td>Count</td><td></td><td>Each</td></tr> <tr><td>PrimaryQuantity</td><td>=ModelArea*1</td><td></td></tr> </tbody> </table>			Variable	Formula	Units	Length		Meters	Width		Meters	Thickness		Meters	Height		Meters	Perimeter		Meters	Area		Square Meters	Volume		Cubic Meters	Weight		Kilogram	Count		Each	PrimaryQuantity	=ModelArea*1		Resource Name ARGAMASSA Argamassa Description Calculations <table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Formula</th> <th>Units</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Length</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Width</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Thickness</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Height</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Perimeter</td><td></td><td>Meters</td></tr> <tr><td>Area</td><td></td><td>Square Meters</td></tr> <tr><td>Volume</td><td>=ModelArea*0.01</td><td>Cubic Meters</td></tr> <tr><td>Weight</td><td></td><td>Kilogram</td></tr> <tr><td>Count</td><td></td><td>Each</td></tr> <tr><td>PrimaryQuantity</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			Variable	Formula	Units	Length		Meters	Width		Meters	Thickness		Meters	Height		Meters	Perimeter		Meters	Area		Square Meters	Volume	=ModelArea*0.01	Cubic Meters	Weight		Kilogram	Count		Each	PrimaryQuantity		
Variable	Formula	Units																																																																					
Length		Meters																																																																					
Width		Meters																																																																					
Thickness		Meters																																																																					
Height		Meters																																																																					
Perimeter		Meters																																																																					
Area		Square Meters																																																																					
Volume		Cubic Meters																																																																					
Weight		Kilogram																																																																					
Count		Each																																																																					
PrimaryQuantity	=ModelArea*1																																																																						
Variable	Formula	Units																																																																					
Length		Meters																																																																					
Width		Meters																																																																					
Thickness		Meters																																																																					
Height		Meters																																																																					
Perimeter		Meters																																																																					
Area		Square Meters																																																																					
Volume	=ModelArea*0.01	Cubic Meters																																																																					
Weight		Kilogram																																																																					
Count		Each																																																																					
PrimaryQuantity																																																																							

Figura 25 – Exemplo dos usos do catálogo de recursos para composição de preço unitário da execução de alvenarias
 Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.3.1.2. Catálogo de itens

No *software Navisworks* os itens, além de representarem a estrutura analítica de projeto no momento do *take-off*, também associam os recursos com os elementos modelados, assim, cada item utiliza de uma fórmula matemática para definir a leitura das variáveis dos elementos que foram a ele associados. Os recursos associados a este item podem fazer referência à variável do item (Área, Volume e Perímetro) ou diretamente ao parâmetro do elemento modelado (*ModelArea*, *ModelVolume* e *ModelPerimeter*).

Para este estudo de caso, os itens foram criados e agrupados de acordo com a estrutura analítica de projeto (EAP) proposta. Como a unidade de repetição escolhida foram os pavimentos, o agrupamento dos itens e serviço licitados no empreendimento ocorre por pavimento, conforme ilustrado na Figura 26.

The screenshot shows the 'Item Catalog' window in Navisworks. The left pane displays a tree structure of items with their corresponding Work Breakdown Structure (WBS) codes. The right pane shows the configuration for the selected item, 'Laje premoldada'.

Items	WBS
12º Pavimento	11
Demolições	11.1
Infraestrutura	11.2
Estrutura	11.3
Lajes	11.3.1
Laje premoldada	11.3.1.1
Vigas	11.3.2
Pilares	11.3.3
Escadas	11.3.4
Cortinas	11.3.5
Alvenaria	11.4
Vidros e espelhos	11.5
Cobertura	11.6
Impermeabilização	11.7
Revestimento	11.8
Forro	11.9
Serralheria	11.10
Pavimentação	11.11
Pintura	11.12

Variable	Formula	
Length	=ModelLength	Meters
Width	=ModelWidth	Meters
Thickness	=ModelThickness	Meters
Height	=ModelHeight	Meters
Perimeter	=ModelPerimeter	Meters
Area	=ModelArea	Square Meters
Volume	=ModelVolume	Cubic Meters
Weight	=ModelWeight	Kilogram
Count	=1	Each
PrimaryQuantity		

Figura 26 – Catálogo de recursos
Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.3.1.3. Catálogo de Quantificação

A quantificação do modelo virtual se faz possível ao associar os elementos com o catálogo de itens. Por meio das regras de parametrização criadas, ao arrastar elementos como paredes, pisos, vigas e pilares para cada um dos itens do catálogo de quantificação, é possível quantificar os insumos de materiais, mão de obra e equipamentos. A Figura 27 exibe um exemplo dos insumos quantificados de 49 elementos de alvenaria do 12º pavimento.

Items	WBS	S... WBS/...	Name	Length
12º Pavimento	11	11.4.1	Alvenaria em tijolo ceramico furados - ESP 9 cm	127.784 m
Demolições	11.1	4.1.1	Pedreiro (Alvenaria em tijolo ceramico furados - ESP...	0.000 m
Infraestrutura	11.2	4.1.2	Servente (Alvenaria em tijolo ceramico furados - ESP...	0.000 m
Estrutura	11.3	4.1.3	Tijolos - 9x19x19 (Alvenaria em tijolo ceramico furad...	0.000 m
Alvenaria	11.4	4.1.4	Argamassa (Alvenaria em tijolo ceramico furados - ES...	0.000 m
Alvenaria em tijolo cera...	11.4.1	11.4.1.43	Basic Wall	0.360 m
Pedreiro		11.4.1.4	Basic Wall	1.184 m
Servente		11.4.1.32	Basic Wall	1.225 m
Tijolos - 9x19x19		11.4.1.15	Basic Wall	1.400 m
Argamassa		11.4.1.45	Basic Wall	1.400 m
Alvenaria em tijolo cera...	11.4.2	11.4.1.44	Basic Wall	1.400 m
Alvenaria em tijolo cera...	11.4.3	11.4.1.47	Basic Wall	1.425 m
Encunhamento para pare...	11.4.4	11.4.1.12	Basic Wall	1.500 m
Encunhamento para pare...	11.4.5	11.4.1.13	Basic Wall	1.500 m
Encunhamento para pare...	11.4.6	11.4.1.23	Basic Wall	1.500 m
Alvenaria em bloco estru...	11.4.7			
Vergas e contra vergas(0)	11.4.8			

Figura 27 – Catálogo de quantidades
Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.3.2. Extração e análise dos dados

Embora o uso de softwares BIM para modelagem, manipulação e acompanhamento dos modelos virtuais seja instigante, nem todos os profissionais da indústria da construção civil possuem os conhecimentos ou hardwares para interagir com eles. A possibilidade de acessar as informações do projeto sem a necessidade de visualizá-lo permite a disseminação da informação. Ao exportar o

banco de dados em formatos csv ou xlsx é possível acessá-los por meio de ferramentas como *Excel* ou *Power BI*. Como a quantificação foi realizada no formato da EAP do projeto, é possível o uso de fórmulas do *Excel* para auxiliar na criação de cronogramas ou nas mais diversas análises oriundas dos quantitativos. Está ilustrado na Figura 28 a metodologia de trabalho proposta para extração e análise dos dados de forma sistêmica.

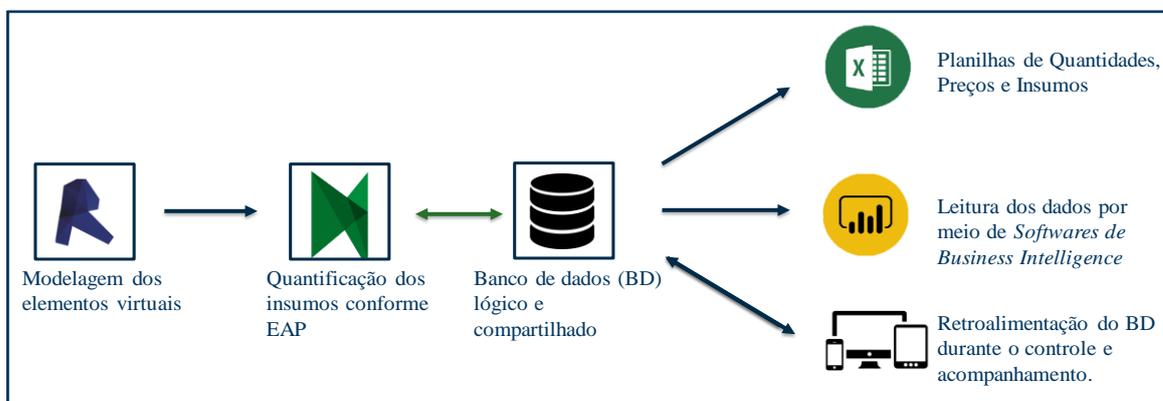


Figura 28 – Metodologia de trabalho proposta.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para o estudo de caso proposto, o banco de dados criado possui 600 mil linhas e 35 colunas. Cada uma das linhas diz respeito a um insumo distinto do modelo virtual, enquanto cada uma das colunas faz referência a um parâmetro específico, como as quantidades de insumo, código, nome, pavimento ou item da EAP. Dessa forma, as 21 milhões de células existentes permitem um nível de detalhamento e segmentação dos dados que não foi possível atingir durante as etapas anteriores da criação do cronograma físico financeiro.

5.1.3.3. Cronograma Elaborado por meio da metodologia de Linha de Balanço e auxiliado pela tecnologia BIM

Ao elaborar um cronograma é necessário associar a cada uma das atividades a data de início, a duração e a sequência lógica de construção. Uma das principais dificuldades no momento de realizar o planejamento está em como utilizar uma produtividade que condiz com a realidade para os grupos distintos de serviços licitados. Estes serviços geralmente são apresentados pelos Contratantes sem que haja juízo de valor quanto a dificuldade para a execução de quantidades unitárias em locais diferentes do mesmo empreendimento. Entretanto, ao modelar estes

parâmetros dentro do modelo BIM, é possível planejar de maneira mais realista o início e fim das atividades, e conseqüentemente, da obra.

Na metodologia utilizada, todas atividades do cronograma são sequenciadas de forma que seu início ocorra após o término da atividade antecessora. Embora esta abordagem de planejamento das atividades aumente a duração para conclusão das unidades de repetição, o empreendimento como um todo é finalizado em menor prazo. Ao definir as equipes de trabalho de maneira que todos os pacotes de serviço sejam executados de acordo com aquele de maior duração, é possível definir o ritmo de produção. Dessa forma, evita-se improdutividade por conta de excesso nas folgas entre as atividades ou de mão de obra.

A sequência de atividades da EAP pode ser criada em ferramentas de planejamento, como o Primavera ou o *MS Project*, conforme demonstrado pelas atividades de alvenaria e de hidráulica da Figura 29. Para isso, é necessário adicionar a duração de cada atividade para encontrar o tempo total de construção de uma unidade de repetição ou de todo o empreendimento. Como a duração dos serviços é uma relação entre a quantidade de insumos necessários e a disponível, é possível utilizar dos códigos da EAP do banco de dados e das unidades de repetição, para automatizar o processo de associação da duração com as respectivas atividades.

Para este estudo de caso, os insumos de mão de obra, equipamentos e materiais extraídos dos modelos foram tratados no *Microsoft Excel* por pavimento, item e edifício. De posse dessas informações, as equipes de execução, fixas durante todo o período da obra, foram pré definidas para cada item licitado, possibilitando a estimativa da duração de cada atividade por pavimento. Os dados foram importados pelo *MS Project* de forma automatizada, para possibilitar melhor visualização da execução das atividades e controle das datas de término. Para atender ao prazo previsto, foram realizadas interações entre o cronograma e o tamanho das equipes de trabalho.

De posse da duração de início e fim das atividades, foi criado um cronograma físico de acompanhamento cujo percentual de avanço previsto estava relacionado com a número de dias necessário para completar cada atividade. Quanto ao avanço financeiro, foram considerados os mesmos preços licitados, conforme realizado pela equipe de obra. Dessa forma, é possível atrelar o avanço percentual financeiro com o avanço físico.

5.1.3.3.1. Edifício Álvaro da Silveira

O cronograma do Edifício Álvaro da Silveira foi elaborado a partir do banco de dados criado pelos Modelos Virtuais em BIM e a sequência de execução das atividades seguiu a metodologia de linha de balanço. A segmentação das atividades, do nível macro para o micro, possibilitou o entendimento dos insumos necessários para executar o empreendimento. Dessa forma, foi elaborado um cronograma, conforme ilustrado na Figura 30, cujo foco é o tempo de execução das unidades de repetição e por consequência, a entrega da obra dentro do prazo previsto.

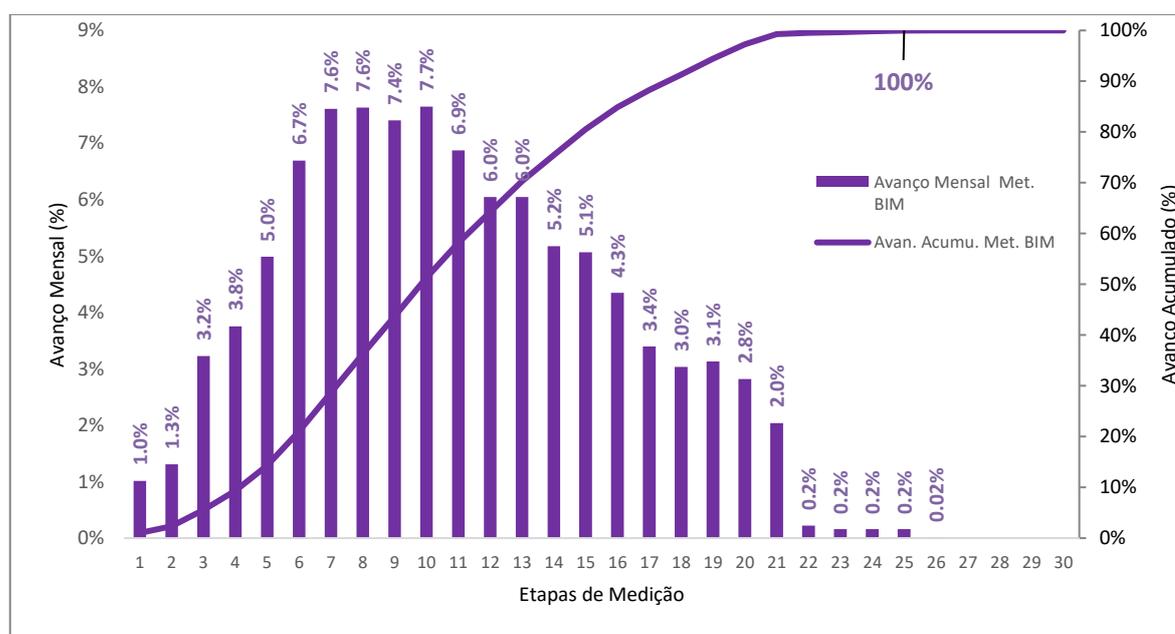


Figura 30 - Dispendio financeiro calculado com auxílio da tecnologia BIM para o Edifício Álvaro da Silveira.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

As atividades realizadas neste cronograma não são diferentes das descritas na seção 5.1, entretanto, foi possível alcançar maior previsibilidade na duração das

atividades e assertividade nas escolhas das datas de início e término provenientes da segmentação precisa dos insumos das unidades de repetição. Entretanto, foram excluídas as atividades que não foram modeladas, como as instalações de ar condicionado e os elevadores.

O processo de definição das equipes, para o cálculo do prazo das atividades, permite prever a alocação de mão de obra direta relacionada. Diferente dos demais cronogramas, foi possível plotar uma curva de histograma prevista para as atividades e conseqüentemente, para a execução completa do edifício AS. Conforme representado na Figura 31, foram estimados 1420 homens-mês para execução completa das atividades em 26 etapas.

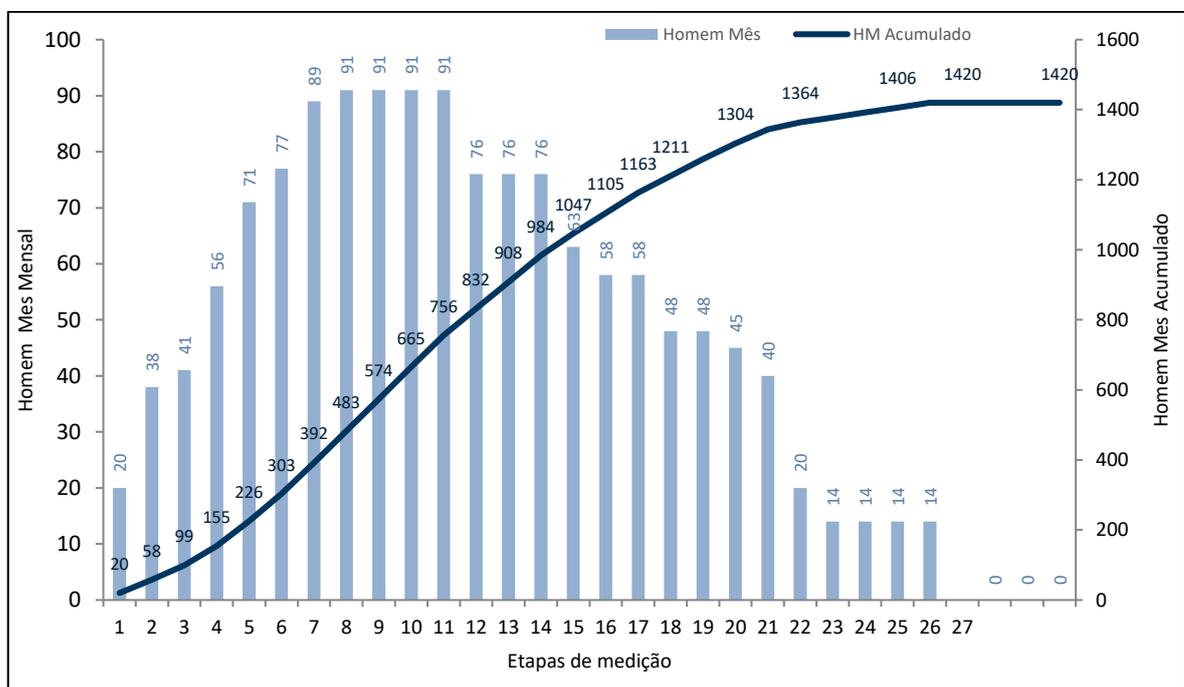


Figura 31 – Histograma de Mão de Obra Direta do Edifício Álvaro da Silveira
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Neste cronograma, a duração prevista para execução do empreendimento foi de 26 etapas, que correspondem a 26 meses de execução. Entretanto, por conta das atividades ocorrerem em paralelo, a duração média dos itens foi de aproximadamente 15 etapas, conforme ilustrado na Figura 32. De fato, as atividades foram dilatadas com o intuito de viabilizar uma única equipe de

determinada função por vez por pavimento, no caso da Pintura, por exemplo, a duração foi de 20 etapas.

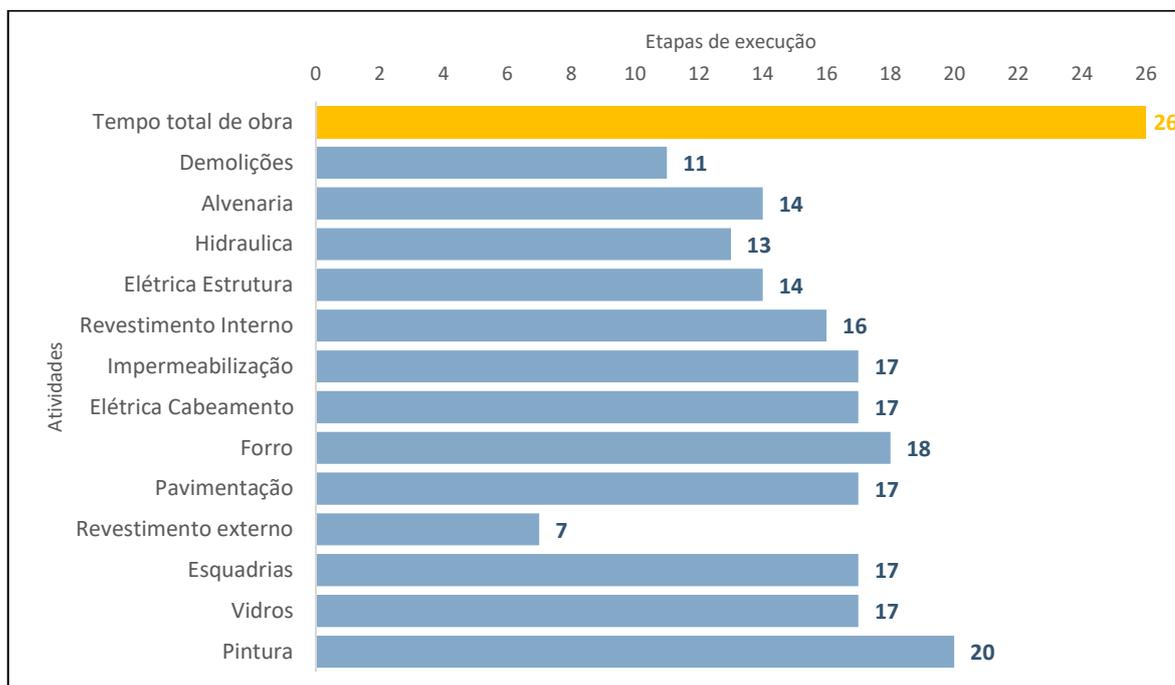


Figura 32 – Duração das atividades do Edifício Álvaro da Silveira.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.3.3.2. Edifício Acesso

O cronograma do Edifício Acesso, assim como o Edifício AS, foi construído a partir do banco de dados criado pelos Modelos Virtuais em BIM e a sequência de execução das atividades seguiu a metodologia de linha de balanço. A indefinição dos projetos de geotecnia postergou o planejamento do início das obras para o mês 7. Dessa forma, foi elaborado um cronograma, conforme ilustrado na Figura 33, focado na duração das atividades de cada unidade de repetição e por consequência, a entrega da obra dentro do prazo previsto.

As atividades realizadas neste cronograma não são diferentes das descritas na seção 5.1, entretanto, foi possível alcançar maior previsibilidade na duração das atividades e assertividade nas escolhas das datas de início e término provenientes da segmentação precisa dos insumos das unidades de repetição. Para este edifício também foram excluídas as atividades que não foram modeladas, como as instalações de ar condicionado e os elevadores.

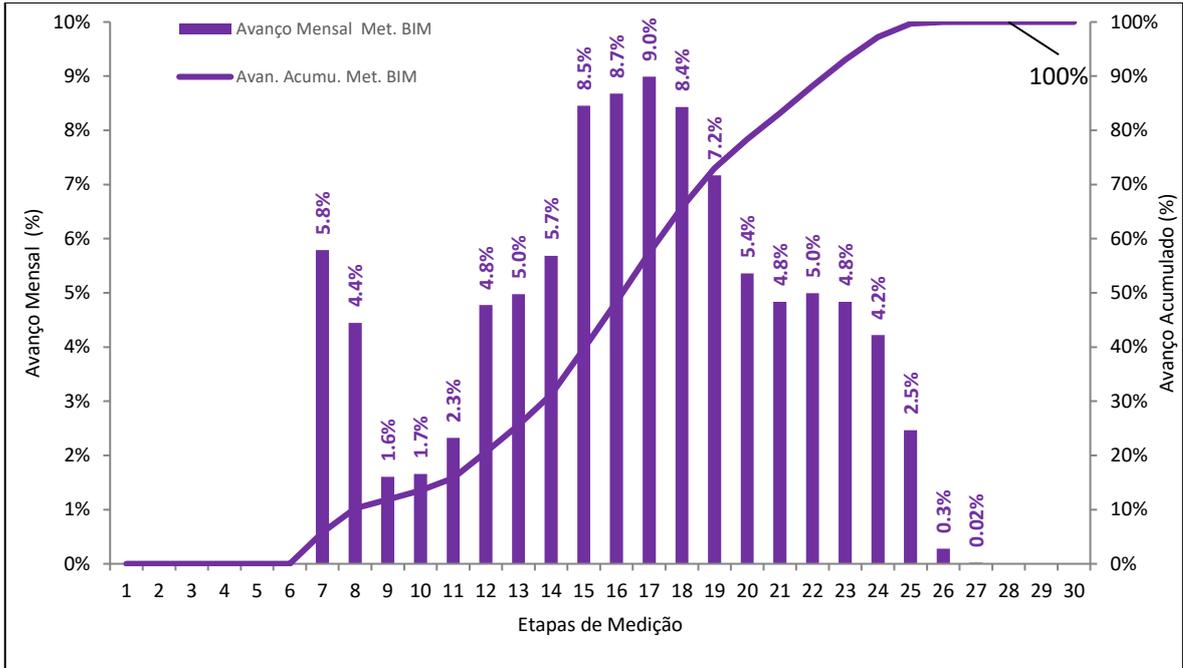


Figura 33 - Dispêndio financeiro calculado com auxílio da tecnologia BIM para o Edifício Acesso.
 Fonte: Elaborado pelo Autor.

Assim como no Edifício AS, o Acesso teve seu histograma de mão de obra direta previsto para a execução das atividades baseado nas equipes pre definidas. Conforme representado na Figura 34, foram estimados 1272 homens-mês para execução completa das atividades em 21 etapas.

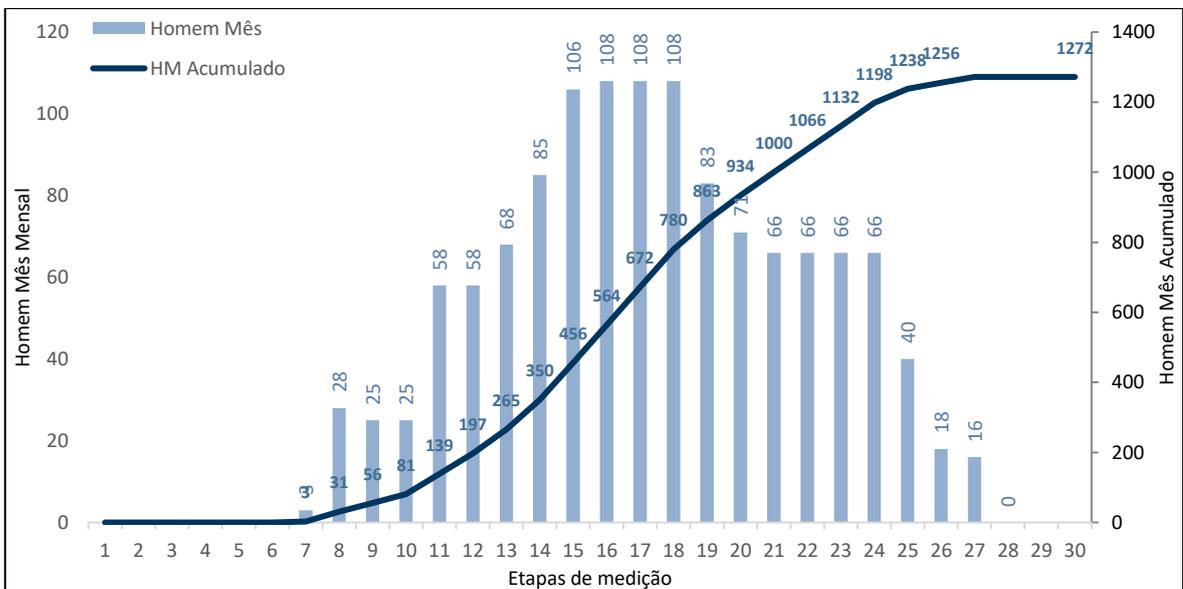


Figura 34 - Histograma de Mão de Obra Direta do Edifício Acesso.
 Fonte: Elaborado pelo Autor.

Neste cronograma, a duração prevista para execução do empreendimento foi de 21 etapas, que correspondem a 21 meses de execução. Entretanto, por conta das atividades ocorrerem em paralelo, a duração média dos itens foi aproximadamente 12 etapas, conforme ilustrado na Figura 35. Assim como no Edifício AS, as atividades foram dilatadas com o intuito de viabilizar uma única equipe de determinada “classe” por vez, no caso do revestimento interno, por exemplo, a duração foi de 14 etapas.

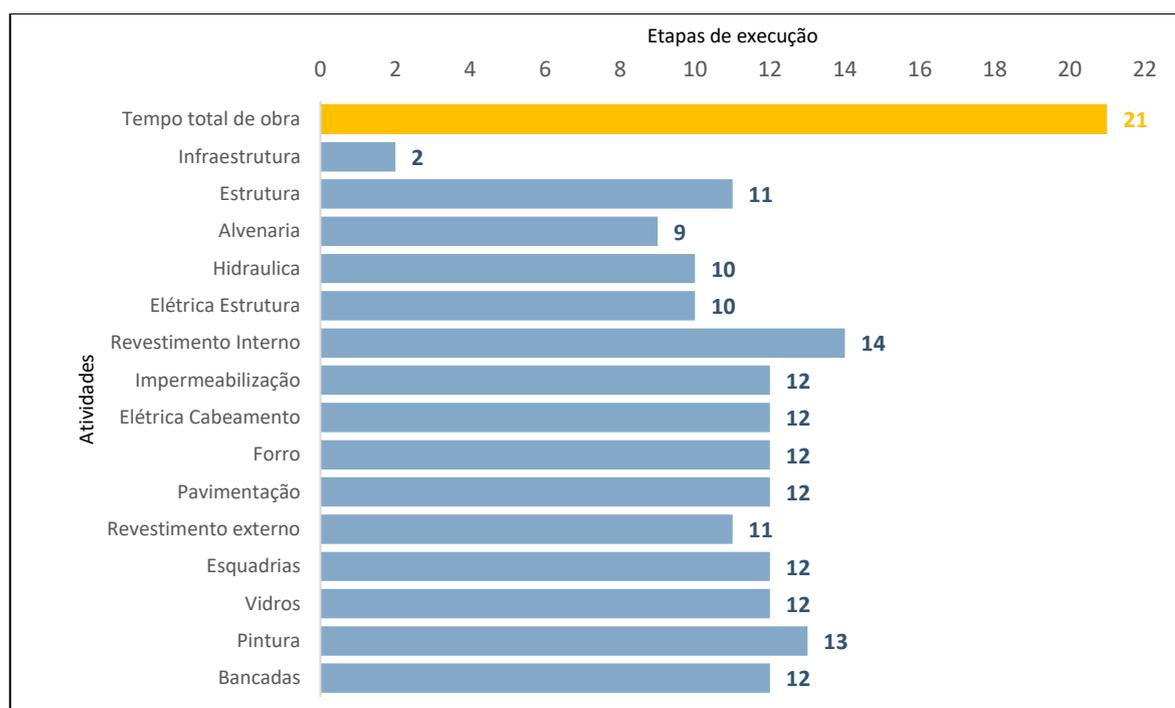


Figura 35 - Duração das atividades do Edifício Acesso.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.3.3.3. Edifícios Álvaro da Silveira e Acesso

O empreendimento em questão prevê a reforma de dois edifícios, AS e AG, além da construção do prédio Acesso. Diante da necessidade da entrega de todo o empreendimento dentro do prazo de 30 meses, é desejável que as atividades planejadas para cada edifício apresentem sinergia entre as etapas. Embora o prédio AG não tenham sido modelados em plataforma BIM, os dados obtidos por meio do trabalho com o cronograma AS e Acesso apresentam resultados satisfatórios para justificar o estudo do terceiro empreendimento.

Ao unir os cronogramas AS e Acesso percebe-se maior conformidade dos avanços mensais, se aproximando de uma distribuição normal. Ao plotar os avanços graficamente, conforme Figura 36, é possível visualizar o avanço ao longo das etapas. Da etapa 1 até a 7 as atividades se iniciam, aumentando gradativamente o percentual financeiro no todo. Após este início, os avanços se mantem até o 17º mês, quando gradativamente são encerradas as atividades de diferentes frentes de serviço.

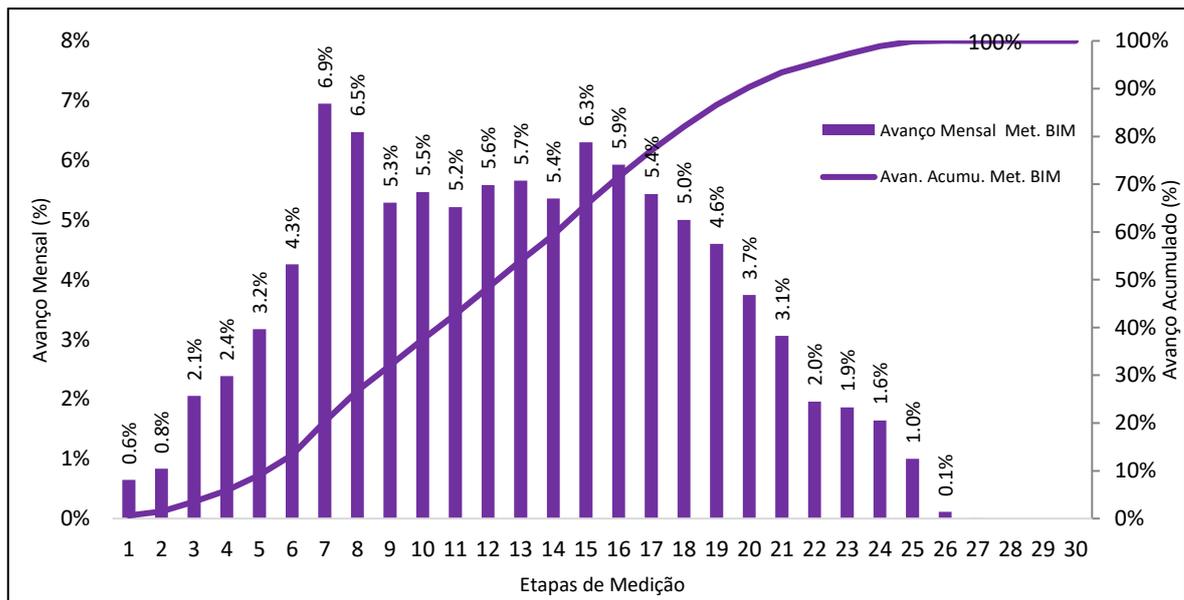


Figura 36 - Dispendio financeiro calculado com auxílio da tecnologia BIM para o Edifício Álvaro da Silveira e Acesso.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Assim como é possível plotar a curva de avanço físico financeiro para a execução do empreendimento, os histogramas de mão de obra direta também podem ser avaliados graficamente. Conforme representado na Figura 37, foram estimados 2692 homens-mês para execução completa das atividades em 27 etapas de acordo com proposta de trabalho das equipes.

Neste cronograma, a duração prevista para execução do empreendimento foi de 26 etapas, que correspondem a 26 meses de execução. Entretanto, por conta de as atividades ocorrerem em paralelo, a duração média dos itens foi aproximadamente 19 etapas, conforme ilustrado na Figura 38. De fato, as atividades foram dilatadas com o intuito de viabilizar uma única equipe de

determinada “classe” por vez, no caso do Revestimento Interno, por exemplo, a duração foi de 23 etapas.

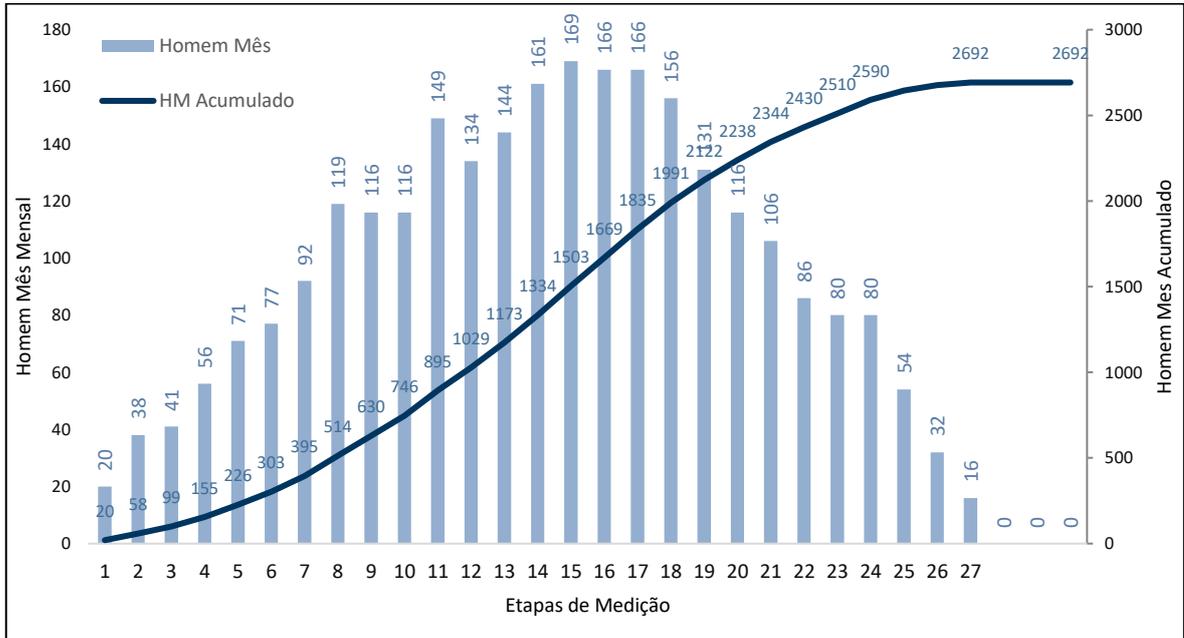


Figura 37 Histograma de Mão de Obra Direta do Edifício Álvaro da Silveira e Acesso.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

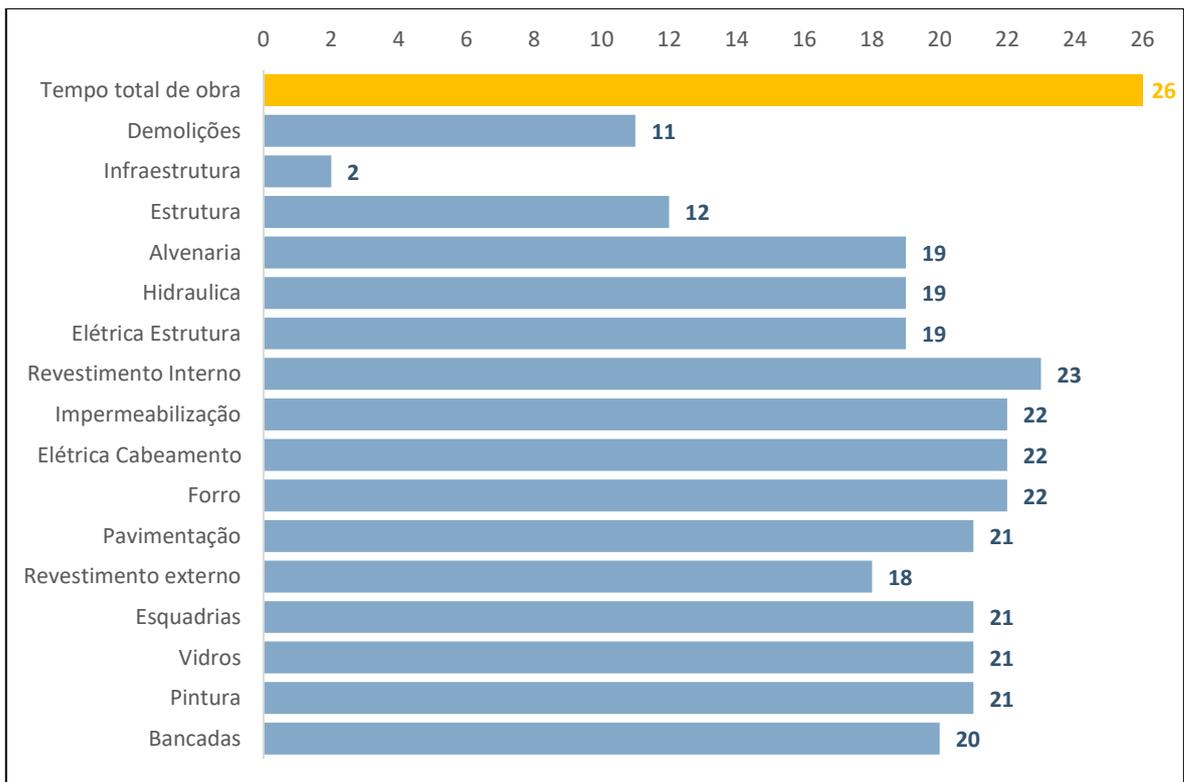


Figura 38 - Duração das atividades do Edifício Álvaro da Silveira e Acesso.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

6. COMPARAÇÃO ENTRE OS CRONOGRAMAS

Neste estudo foram estudadas três diferentes propostas de cronogramas físicos financeiros para a execução de um mesmo empreendimento. A motivação em alterar o cronograma previsto pela equipe de obra era alcançar maior maturidade do projeto por meio de um planejamento mais realista com a execução do empreendimento. Além disso, segmentar as informações de maneira que pudessem ser utilizadas em diferentes processos, de maneira a facilitar o acompanhamento dos trabalhos, diminuir as incertezas de produção e viabilizar a medição dos boletins de forma rápida. Dessa forma, foi utilizado a metodologia de linha de balanço para propor um segundo cronograma.

O planejamento baseado na metodologia de linha de balanço trouxe padronização na execução das atividades e conseqüentemente, melhor distribuição dos avanços físicos e financeiros do empreendimento. Incentivado pelas melhorias obtidas, prosseguiu-se para uma fase de discriminação do cronograma extraindo os quantitativos por meio de modelos virtuais BIM e sequenciando das atividades com auxílio do MS *Project*. Dessa forma, foi construído uma terceira proposta de cronograma, com planejamento mais robusto e com resultados ainda mais expressivos em relação ao apresentando inicialmente.

As atividades que não foram incluídas na modelagem em BIM, como os sistemas de ar condicionado e elevador, foram retiradas dos demais cronogramas. Dessa forma, foi possível comparar a previsão dos avanços físicos e financeiros para os três cronogramas propostos.

6.1. Edifício Álvaro da Silveira

Para facilitar a extração das quantidades e o entendimento das atividades, o Edifício Álvaro da Silveira foi modelado nas condições em que se encontrava e na versão projetada. Dessa forma, foi possível organizar diferentes composições unitárias de insumos para as distintas atividades previstas, como é o caso das atividades de demolição que apresentavam grande diferença quando os

pavimentos eram comparados. No caso de alguns pavimentos, do 4º ao 7º, a existência dos auditórios aumenta consideravelmente o trabalho a ser executado, conforme ilustrado na Figura 39.

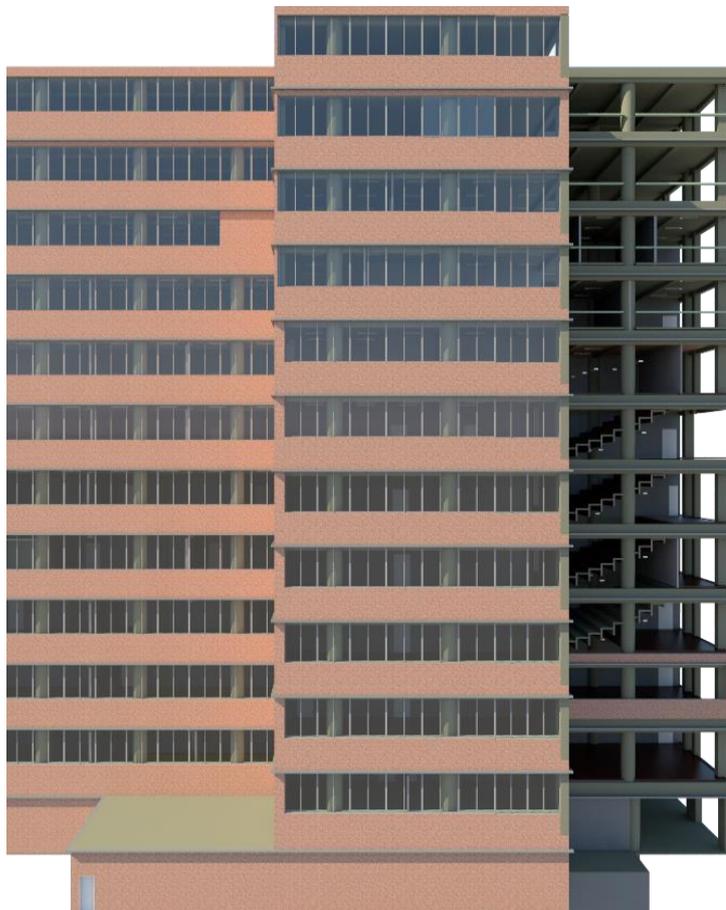


Figura 39 – Modelo virtual do Edifício Álvaro da Silveira antes da reforma.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

O melhor entendimento dos serviços e quantidades a serem executados possibilitou que cronograma fosse refinado. A título de exemplo, os revestimentos externos foram alterados para iniciar 15 etapas antes do previsto no cronograma de linha de balanço. Sendo assim, as atividades do empreendimento foram condensadas de forma que múltiplas equipes pudessem trabalhar paralelamente.

Ao dilatar os serviços, diminui-se os avanços isolados de itens da planilha como Forro, Impermeabilização e Estrutura. Em contrapartida, o avanço acumulado das múltiplas frentes de serviço, que atuam de forma paralela no canteiro de obras, é superior ao avanço previsto nas demais metodologias de planejamento deste trabalho. Os três cronogramas do Edifício Álvaro da Silveira estão representados na Figura 40.

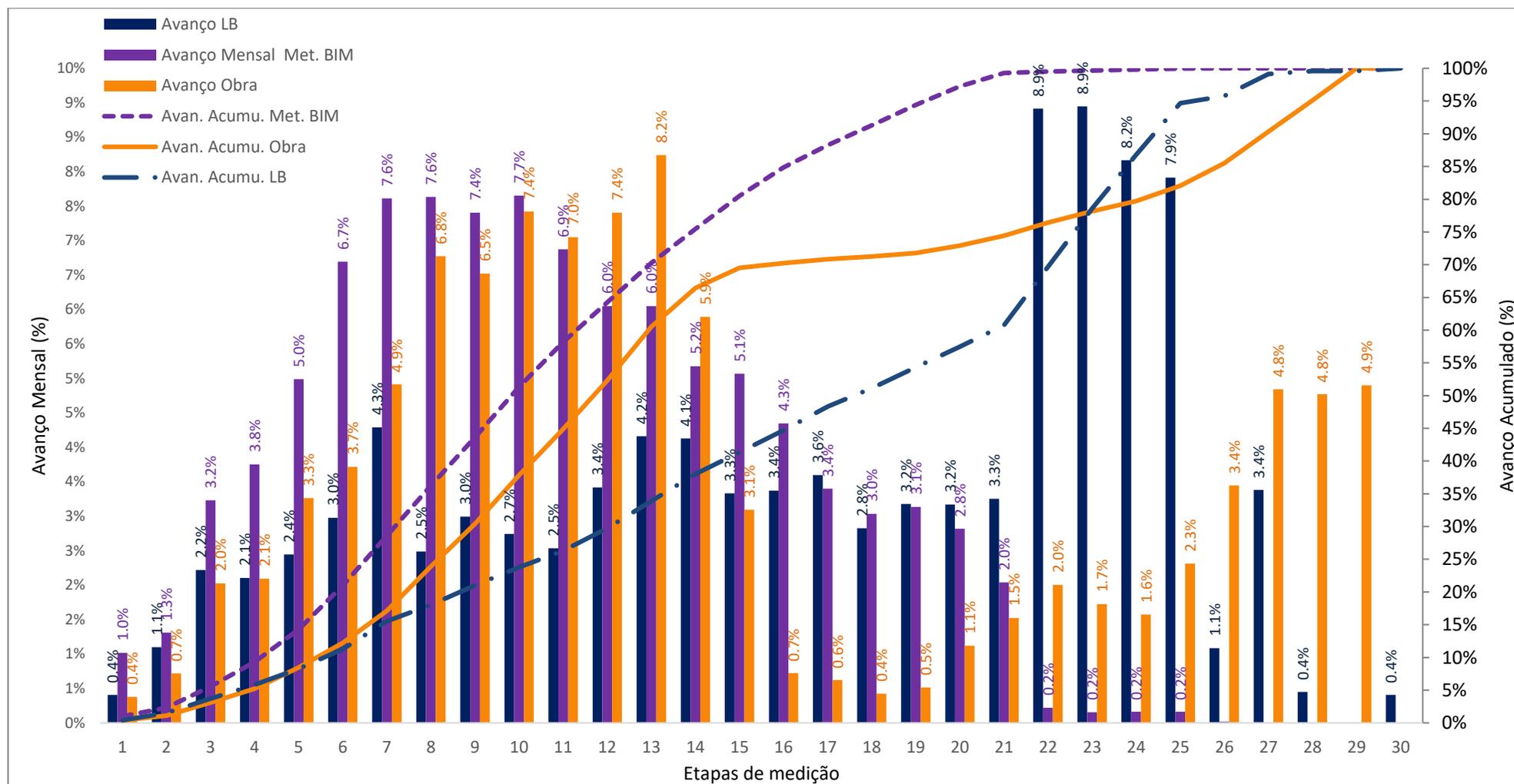


Figura 40 – Comparação entre cronogramas do avanço físico para o Edifício Álvaro da Silveira.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

O avanço proposto no terceiro cronograma, elaborado com o auxílio das informações do banco de dados extraído dos modelos BIM, prevê um ritmo constante de trabalho para todas as equipes. Essa formatação, ao manter as frentes de trabalho por maior tempo dentro do canteiro de obras, resulta em maior avanço nas etapas iniciais e conseqüentemente, menor número de etapas para a conclusão das atividades. Dessa forma, o avanço acumulado dos cronogramas de linha de balanço atinge valores maiores ainda no início do empreendimento, em comparação com o cronograma elaborado pela equipe de obra.

O uso da linha de balanço e da tecnologia BIM resultou, para o Edifício AS, em cronogramas com avanços físicos e financeiros iniciais maiores que os propostos pela equipe de obra. Conforme representado na Figura 41, o avanço acumulado dos cronogramas propostos neste trabalho é até 172% maiores que o previsto inicialmente. Essa diferença diminui entre as etapas 6 a 14, devido a concentração das atividades de revestimento, forro, esquadrias, impermeabilização e pavimentação no cronograma previsto pela equipe de obra. Os refinamentos no cronograma da linha de balanço, realizados por meio da metodologia de base de dados em BIM, permitiram que o avanço acumulado permanecesse superior ao idealizado inicialmente.

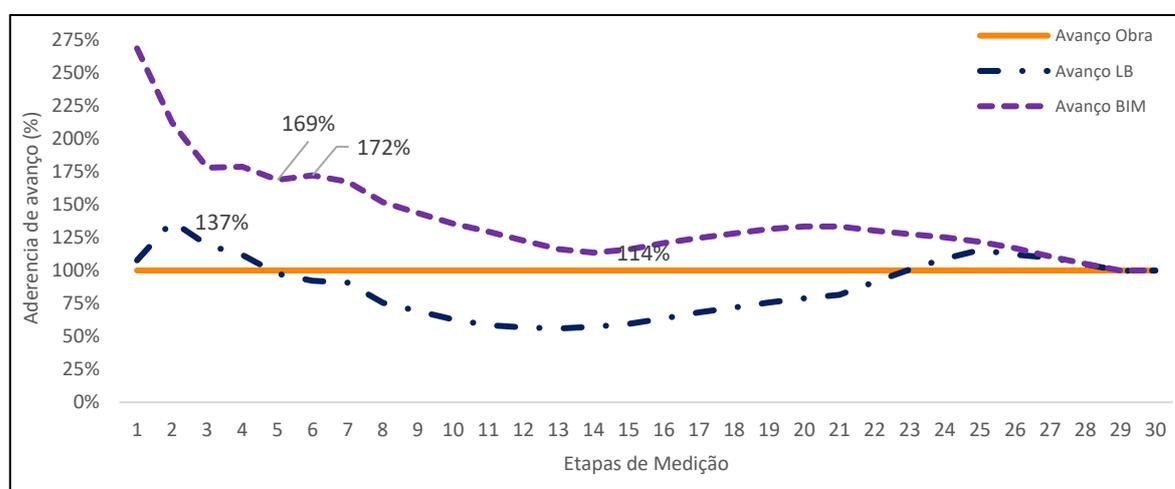


Figura 41 - Aderência dos avanços físicos acumulados dos cronogramas em relação ao proposto pela equipe de obra para o Edifício Álvaro da Silveira.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Estes avanços superiores são resultado da execução rítmica e constante das atividades ao longo de todo o empreendimento. A execução das demolições,

impermeabilização e forro, planejadas pela equipe de obra para serem executadas em poucas etapas, foram substituídas por longas durações. Na etapa 18, em que o planejamento da metodologia BIM atinge 91% de avanço previsto, os demais cronogramas apresentam avanços de 71% e 51%, conforme apresentado na Tabela 5. Este desenvolvimento físico financeiro rápido, além de resguardar o cliente do empreendimento quanto à segurança no prazo, possibilita que a Contratada receba os pagamentos pelas tarefas realizadas de maneira antecipada. Dessa forma, podem ser reduzidos os custos indiretos com seguros e empréstimos.

Tabela 5 – Comparação entre quantidade de etapas das principais atividades e acesso por cronograma para o Edifício Álvaro da Silveira.

	Cronograma Equipe da Obra	Cronograma Linha de Balanço	Cronograma Metodologia BIM
Nº Etapas de Execução	29	28	26*
Nº Etapas de Execução da Demolições	8*	8*	11
Nº Etapas de Execução da Alvenaria	17	16	14*
Nº Etapas de Execução da Revestimento	11*	16	16
Nº Etapas de Execução da Impermeabilização	5*	13	17
Nº Etapas de Execução da Pavimentação	15*	15*	17
Nº Etapas de Execução da Pintura	15	14*	20
Nº Etapas de Execução da Forro	5*	15	18
Etapa de Avanço Acumulado igual a 90%	27	25	18*
% de Avanço na Etapa 18	71%	51%	91%

*Cronograma com menor quantidade de etapas para finalizar as atividades.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

6.2. Edifício Acesso

O projeto aprovado para construção do Edifício Acesso foi modelado para facilitar o entendimento quanto aos quantitativos e as atividades que deveriam ser executadas. Entretanto, as edificações que atualmente ocupam o espaço onde este prédio será construído não foram modelados, impossibilitando a inclusão das atividades de demolição no cronograma conforme modelo utilizado para o Edifício AS. Dessa forma, para as demais atividades modeladas, conforme Figura 42, foram extraídos os quantitativos dos insumos por meio de diferentes composições unitárias.



Figura 42 - Modelo virtual do Edifício Acesso conforme projetos.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

O melhor entendimento dos serviços e quantidades a serem executados possibilitou refinar o cronograma. A título de exemplo, as atividades relacionadas aos vidros puderam ser iniciadas ao mesmo tempo que as atividades de pintura, logo após o término das esquadrias. Sendo assim, as atividades do empreendimento foram condensadas de forma que múltiplas equipes pudessem trabalhar paralelamente.

Assim como no exemplo anterior, as atividades foram dilatadas ao longo da construção do empreendimento. Entretanto, o avanço acumulado das múltiplas frentes de serviço, que atuam de forma paralela no canteiro de obras, é superior aos avanços previstos nas demais metodologias de planejamento deste trabalho. Dessa forma, atividades que haviam sido previstas anteriormente para o final do empreendimento, foram uniformizadas ao longo das etapas, reduzindo concentrações de avanços em uma só etapa ou no final do empreendimento, conforme pode ser verificado na Figura 43.

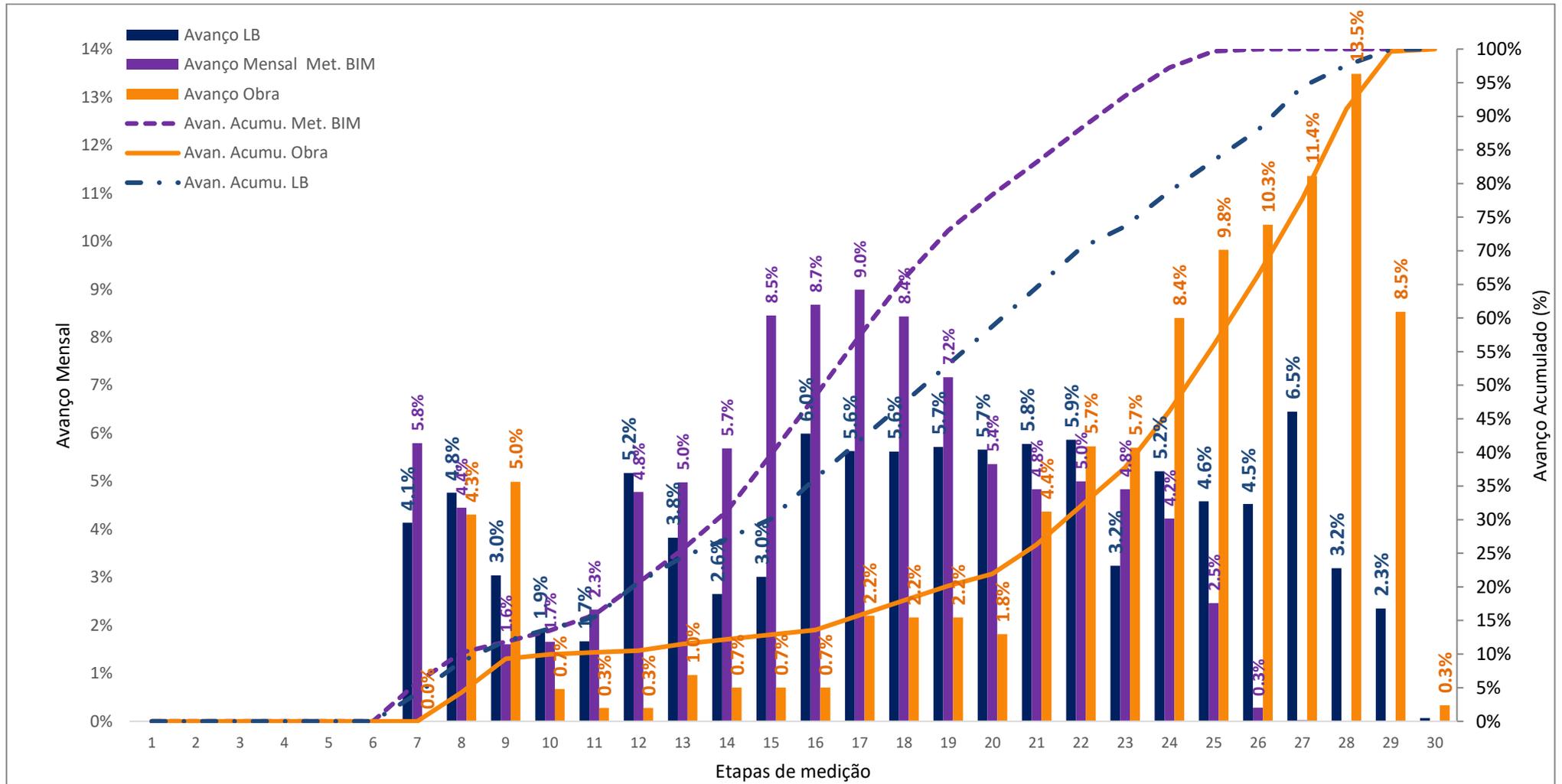


Figura 43 - Comparação entre cronogramas do avanço físico para o Edifício Acesso.
 Fonte: Elaborado pelo Autor.

O avanço proposto no terceiro cronograma, elaborado com o auxílio das informações do banco de dados extraído dos modelos BIM, prevê um ritmo constante de trabalho para todas as equipes. Essa formatação, ao manter as frentes de trabalho por maior tempo dentro do canteiro de obras, resulta em maior avanço nas etapas iniciais e conseqüentemente, menor número de etapas para a conclusão das atividades. Dessa forma, o avanço acumulado dos cronogramas de linha de balanço atinge valores maiores ainda no início do empreendimento, em comparação com o cronograma elaborado pela equipe de obra.

O uso da linha de balanço e da tecnologia BIM resultou em cronogramas cujos avanços físicos e financeiros, para as primeiras 15 etapas, são maiores que os propostos pela equipe de obra. Conforme representado na Figura 44, o avanço acumulado dos cronogramas propostos neste trabalho é até 366% maiores que o previsto pela equipe de obra. Essa diferença, só é corrigida próximo do prazo limite de execução do empreendimento.

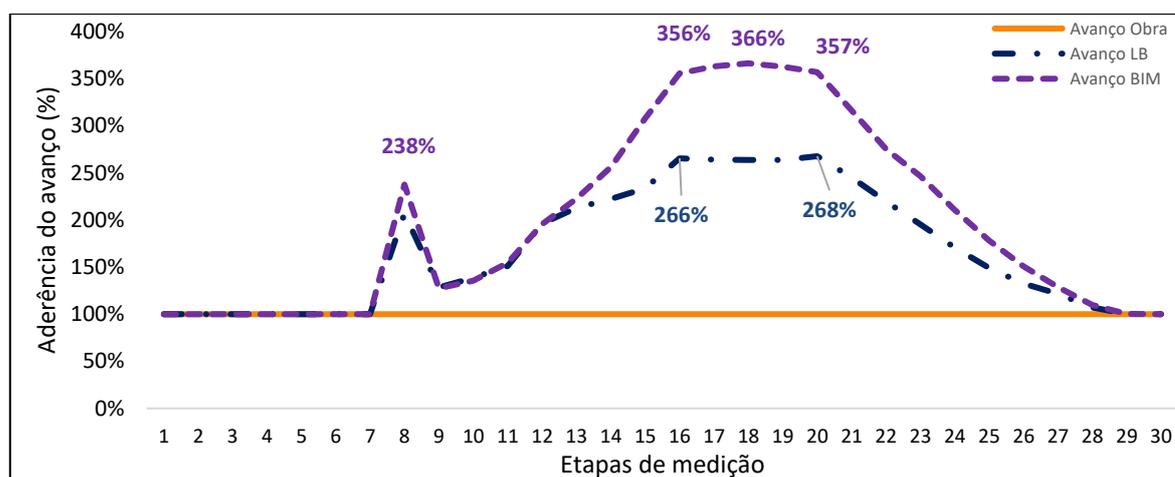


Figura 44 - Aderência dos avanços físicos acumulados dos cronogramas em relação ao proposto pela equipe de obra para o Edifício Acesso.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Estes avanços superiores são resultados da execução rítmica e constante das atividades ao longo de todo o empreendimento. A execução das impermeabilizações, forros e pinturas planejadas pela equipe de obra para serem executadas em poucas etapas, foram substituídas por longas durações. No 23º mês, em que o planejamento da metodologia BIM atinge 93% de avanço previsto, os demais cronogramas apresentam avanços de 46% e 79%, conforme apresentado na Tabela 6. Este desenvolvimento físico financeiro inicial mais rápido,

além de resguardar os donos dos empreendimentos quanto à segurança no prazo, possibilita que a Contratada receba os pagamentos pelas tarefas realizadas de maneira antecipada. Dessa forma, podem ser reduzidos os custos indiretos com seguros e empréstimos.

Tabela 6 - Comparação entre quantidade de etapas das principais atividades e acesso por cronograma para o Edifício Álvaro da Silveira

	Cronograma Obra	Cronograma Linha de Balanço	Cronograma Metodologia BIM
Nº Etapas de Execução	23	24	21*
Nº Etapas de Execução da Estrutura	16	14	11*
Nº Etapas de Execução da Alvenaria	9*	13	9*
Nº Etapas de Execução da Revestimento	9*	15	15
Nº Etapas de Execução da Impermeabilização	4*	14	12
Nº Etapas de Execução da Pavimentação	8*	12	12
Nº Etapas de Execução da Pintura	6*	15	13
Nº Etapas de Execução da Forro	3*	12	12
Etapa de Avanço Acumulado igual a 90%	28	27	23*
% de Avanço na Etapa 23	46%	79%	93%
*Cronograma com menor quantidade de etapas para finalizar as atividades.			

Fonte: Elaborada pelo Autor.

6.3. Edifício Álvaro da Silveira e Acesso

Os modelos dos Edifícios AS e Acesso foram compatibilizados para permitir a visualização do empreendimento e também a extração conjunta das informações, conforme a Figura 45. Embora as análises de cronograma tenham ocorrido separadamente, com definição das equipes de execução distintas, é necessário unificar os avanços para construir o cronograma final do empreendimento. Dessa forma, foi possível extrair informações detalhadas de insumos para o planejamento das atividades.

Quando os cronogramas foram comparados, aquele de maior detalhamento é o responsável pela maior linearidade na execução dos trabalhos e conseqüentemente o que apresenta menor prazo de execução para o empreendimento. Enquanto o cronograma criado pela equipe de obra e pela Linha

de Balanço posterga o início de certas atividades para o final do empreendimento, o cronograma baseado nos dados extraídos do modelo BIM sequênciava essas atividades para execução conforme proposta de trabalho.

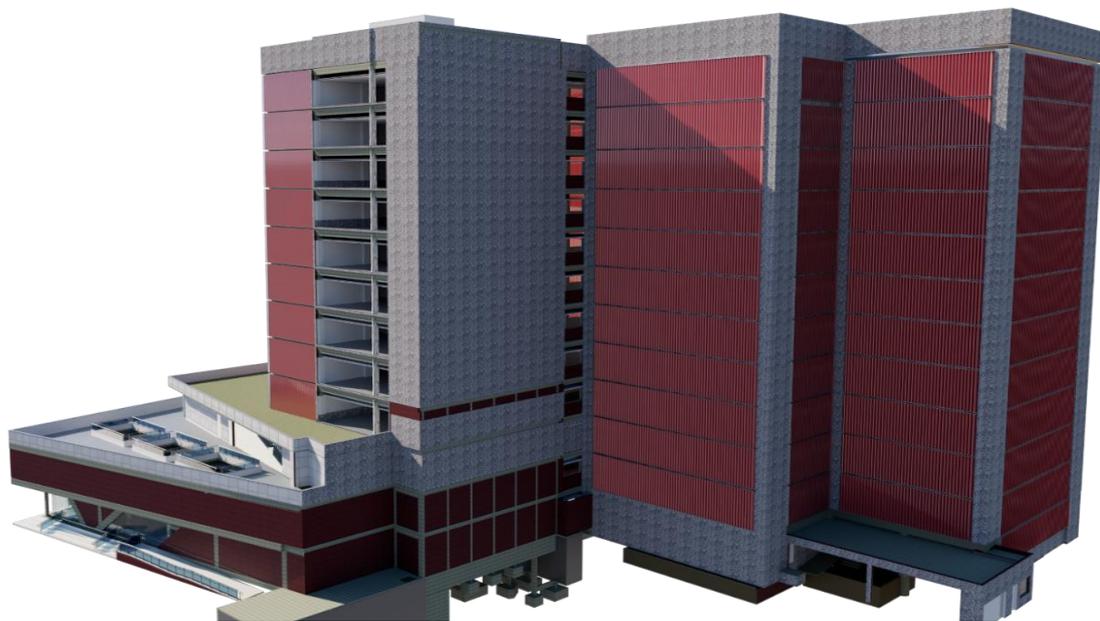


Figura 45 - Modelo virtual do Edifício Acesso conforme projetos.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

O melhor entendimento dos serviços e quantidades a serem executados possibilita esse refinamento e a dilatação dos serviços diminui os avanços isolados de itens da planilha. Em contrapartida, o avanço acumulado das múltiplas frentes de serviço, que atuam de forma paralela no canteiro de obras, é superior ao avanço previsto nas demais metodologias de planejamento deste trabalho. Os três cronogramas do Edifício Álvaro da Silveira e Acesso estão representados na Figura 46.

O uso da linha de balanço e da tecnologia BIM resultou em cronogramas com avanços físicos e financeiros, para os primeiros 20 etapas, maiores que os propostos pela equipe de obra. Conforme representado na Figura 47, o avanço acumulado dos cronogramas propostos neste trabalho são até 268% maiores que o previsto pela equipe de obra. Essa diferença, só é corrigida próximo do prazo limite de execução do empreendimento, quando as atividades necessárias para o término do empreendimento são planejadas para iniciar e terminar em três ou quatro etapas.

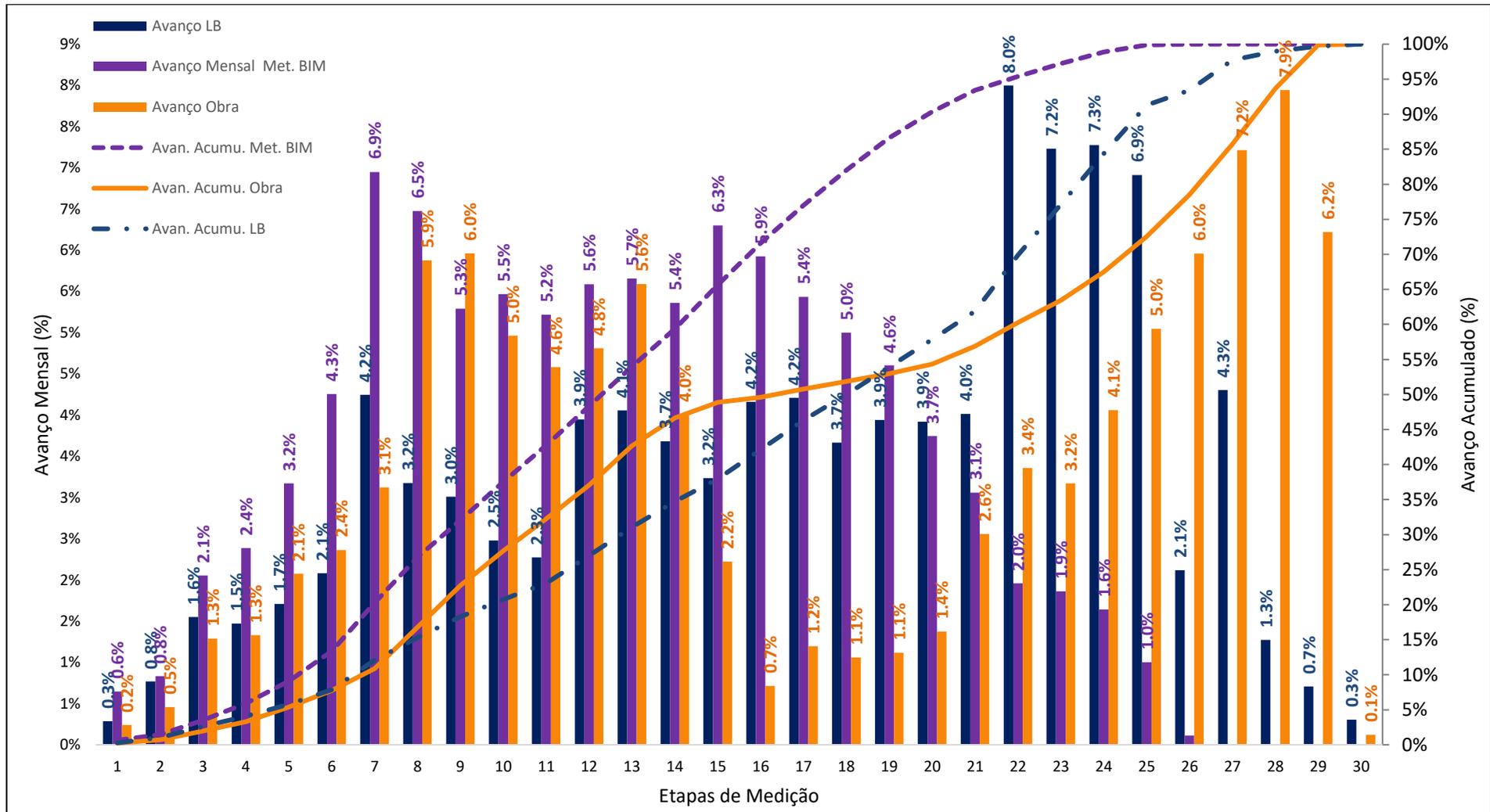


Figura 46 - Comparação entre cronogramas do avanço físico para o Edifício Álvaro da Silveira e Acesso.
 Fonte: Elaborado pelo Autor

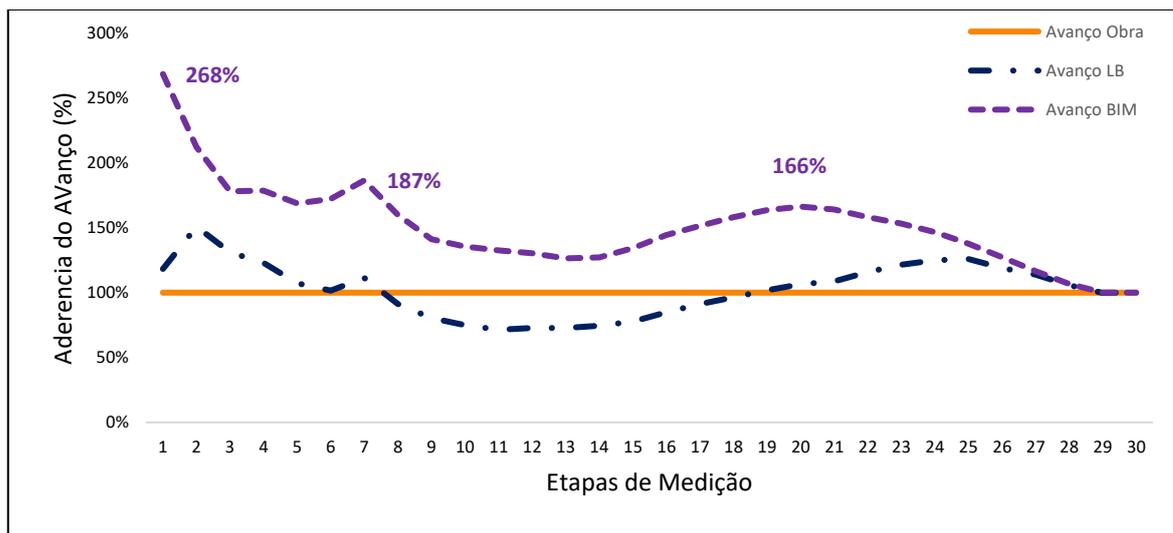


Figura 47 – Aderência dos avanços físicos acumulados dos cronogramas em relação ao proposto pela equipe de obra para o Edifício Álvaro da Silveira e Acesso.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Estes avanços superiores são resultado da execução rítmica e constante das atividades ao longo de todo o empreendimento. A execução dos revestimentos, impermeabilização, pavimentação e pinturas planejadas pela equipe de obra para serem executadas em poucas etapas, foram substituídas por longas durações. No 20º mês, em que o planejamento da metodologia BIM atinge 91% de avanço previsto, os demais cronogramas apresentam avanços de 54% e 58%, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Comparação entre quantidade de etapas das principais atividades e acesso por cronograma para o Edifício Álvaro da Silveira e Acesso.

	Cronograma Obra	Cronograma Linha de Balanço	Cronograma Metodologia BIM
Nº Etapas de execução	30	30	26*
Nº Etapas de execução da Estrutura	21	20	12*
Nº Etapas de execução da Alvenaria	26	20	19*
Nº Etapas de execução da Revestimento	18*	21	23
Nº Etapas de execução da Impermeabilização	14*	19	22
Nº Etapas de execução da Pavimentação	18*	19	21
Nº Etapas de execução da Pintura	16*	18	21
Nº Etapas de execução da Forro	19	16*	22
Etapa de avanço acumulado igual a 90%	28	25	20*
% de Avanço na etapa 20	54%	58%	91%

*Cronograma com menor quantidade de etapas para finalizar as atividades.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os resultados reforçam o entendimento de que para adiantar a entrega do empreendimento como um todo, as atividades devem ser otimizadas para obter o máximo de vantagem provenientes do seu paralelismo. Dessa forma, embora os itens a serem executados tenham seus prazos dilatados, é possível atingir maior avanço do empreendimento por meio da finalização das unidades de repetição ao longo do empreendimento.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho propôs a segmentação dos dados como forma de melhorar a maturidade das programações das atividades que compõem um cronograma físico financeiro. Para o estudo de caso em questão, foi utilizada a obra da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, que seria reformada para o uso e ocupação pelo Tribunal Regional do Trabalho de Minas Gerais. Foi utilizado o cronograma físico financeiro elaborado pela equipe de construção da Contratada como referência para análises e as propostas ilustradas nesta pesquisa.

A motivação em alterar o cronograma previsto pela equipe de obra é alcançar uma programação das atividades realística e economicamente viável para todos os itens licitados. Além disso, permitir que o detalhamento das informações ocorra de forma contínua, sem que seja necessário reiniciar os trabalhos de planejamento. Os benefícios esperados com este trabalho estão relacionados à elaboração do planejamento de forma a alcançar menores incertezas de produção durante o acompanhamento dos serviços e acelerar a elaboração e conferência de boletins de medição. Dessa forma, foi proposta a metodologia de linha de balanço para sequenciamento das atividades e posteriormente, a tecnologia BIM como metodologia para segmentação organizada dos dados.

Inicialmente, foi utilizada a metodologia de linha de balanço para propor um segundo cronograma. Nesta variação, foi proposto um sequenciamento de todos os itens licitados no empreendimento, de forma que só se iniciaria a execução de uma nova atividade mediante o término da anterior. Este sequenciamento tomou como premissa a possibilidade de execução das tarefas em múltiplos pavimentos ao mesmo tempo e requisitou o conhecimento dos quantitativos, de forma aproximada, por pavimento. Os resultados tangíveis da execução dessa metodologia foi a elaboração um cronograma com menos interferências, menos retrabalho e sem impedimento para as etapas de medição. Os resultados intangíveis estão relacionados ao esclarecimento quanto aos quantitativos e avanços mais factíveis.

Motivado pelos resultados obtidos por meio da segmentação dos dados e aplicação da metodologia da linha de balanço, o estudo prosseguiu para uma abordagem de segmentar os trabalhos por insumos como auxílio da tecnologia BIM. A hipótese levantada está relacionada ao aumento do uso desta ferramenta pelo mercado e quais os possíveis benefícios do compartilhamento dos modelos virtuais, pelo contratante, para a execução das atividades contratualmente acordadas, pela contratada.

Durante a pesquisa foi proposto um conjunto de políticas, processos e tecnologias que permitiram a criação de uma metodologia orientada na construção de um banco de dados que representasse, de maneira confiável, as condições de trabalho para a reforma do empreendimento. Sendo assim, foi possível utilizar dos modelos virtuais em BIM para obter os insumos necessários, definir as equipes e calcular o ritmo de produção do empreendimento que atendesse aos 30 meses de serviço. Esta abordagem, em conjunto com o sequenciamento proveniente da linha de balanço, permitiu a construção de um cronograma cujo prazo para o término do empreendimento é 14% menor e é possível alcançar 90% do avanço físico em 70% do tempo previsto originalmente pela equipe de obra. Estes resultados encorajam a modelagem dos projetos auxiliares cujos serviços são complexos e os custos de fabricação e instalação são representativos do todo, como os projetos de ar condicionado, de hidráulica e infraestrutura elétrica.

Desta forma, entende-se que o presente estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre a utilização da tecnologia BIM para alcançar maior maturidade nos projetos, principalmente na elaboração de cronogramas e na programação das atividades. A construção de um banco de dados confiável por meio de modelos virtuais permite ainda a automatização de tarefas cotidianas de fiscalização e o melhor entendimento dos insumos necessários, atividades que vão além da representação visual possibilitada pela modelagem dos elementos em *softwares* BIM. Os resultados obtidos neste estudo abrem espaço para pesquisas futuras, sendo:

- a) identificar os possíveis benefícios obtidos para a programação ao associar cada um dos elementos modelados nos softwares BIM com os softwares de planejamento.
- b) identificar formas de criar cronogramas não determinísticos baseado em informações do modelo, como localização, geometria e/ou quantidade.
- c) Identificar formas de associar a metodologia atual com a metodologia de planejamento *Advanced Work Packaging (AWP)*.
- d) Identificar formas de utilizar do banco de dados para gerenciamento de materiais e almoxarifado.
- e) identificar a aderência dos avanços físicos financeiros nos empreendimentos que utilizarem desta metodologia.
- f) identificar os principais indicadores em modelos BIM que permitam classificá-los quanto à confiabilidade para automatização de cronogramas.
- g) identificar e testar os principais processos que podem ser beneficiados com a utilização de modelos virtuais em BIM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAURRE, M. **Modelos de contrato colaborativo integrado para modelagem da informação da construção**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil. São Paulo, p.186, 2014
- AL SARRAJ, Z. M. Formal development of line-of-balance technique. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 116, n 4, p. 689–704, 1990 *apud* KENLEY, R; SEPPÄNEN, O. **Location-based management system for construction: improving productivity using flowline**. Londres, Editora Spon Press, 2010.
- ANTWI-AFARI, M. F *et al.* Critical success factors for implementing building information modelling (BIM): A longitudinal review. **Automation in Construction**, v. 91, p. 100-110, Jul. 2018.
- ARAYICI, Y.; COATES, S.; KOSKELA, L.; KAGIOGLOU, M.; USHER, C; O'REILLY, K. . Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. **Automation in Construction**. 20. p. 189-195. 2011 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.016>. Acesso em 04 maio 2020.
- ARDITI, D.; SIKANGWAN, P.; TOKDEMIR, O.B. Scheduling system for high rise building construction. **Construction Management and Economics**. v. 20(4), p. 353–364, 2002. *apud* KENLEY, R; SEPPÄNEN, O. **Location-based management system for construction: improving productivity using flowline**. Londres, Editora Spon Press, 2010.
- Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura - **ASBEA Guia de boas práticas em BIM**, 2013. Disponível em: <http://www.asbea.org.br/userfiles/manuais/a607fdeb79ab9ee636cd938e0243b012.pdf> Acesso em 01 maio 2020.
- Associação dos Magistrados da Justiça do Trabalho da 3ª Região - **AMATRA3**, 2016. Disponível em: www.amatra3.com.br. Acesso em 10 jul. 2019.
- BARRY, J.; GREENWOOD, D. The adoption of 4D BIM in the UK construction industry: an innovation diffusion approach. **Engineering, Construction and Architectural Management**, V. 24, n. 6, p.950-967, 2017.
- BIOTTO, C.; FORMOSO, C. ; ISATTO, E. Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS – Brasil. v. 15, n. 2, p. 79-96, abr./jun. 2015
- BIRRELL, G.S. “Construction Planning—Beyond the Critical Path”. **Journal of the Construction Division, American Society of Civil Engineers**, v. 106, n. 3, p. 389–407 , 1980 *apud* KENLEY, R; SEPPÄNEN, O. **Location-based management system for construction: improving productivity using flowline**. Londres, Editora Spon Press, 2010.
- BØLVIKEN, T.; ASLESEN, S.; KALSAAS, B. T; KOSKELA, L. A Balanced Dashboard for Production Planning and Control. In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 9 a 12 Jul. 2017, Heraklion, Greece.

BORTOLAZZA, R.C.; FORMOSO, C.T. A Quantitative Analysis of Data Collected From the Last Planner System in Brazil, Proceedings of the 14th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction, Santiago, Chile, 25 a 27 Jul. 2006.

BRASIL. DECONCIC – Departamento da Indústria da Construção/ FIESP. **Construbusiness 2010**. 9º Congresso Brasileiro da Construção. São Paulo: 2010. 119p.

BRASIL. DECONCIC – Departamento da Indústria da Construção/ FIESP. **Construbusiness 2016**. 11º Congresso Brasileiro da Construção. São Paulo: 2016. 147p.

BRASIL. DECONCIC – Departamento da Indústria da Construção/ FIESP. **Construbusiness 2019**. 13º Congresso Brasileiro da Construção. São Paulo: 2019. 147p.

BRIOSO *et al.* Comparing three scheduling methods using BIM models in the Last Planner System. **Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal**, v. 9, n. 1, p. 1604-1614, 2017.

BRITO, D. M.; FERREIRA, E. A. Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS – Brasil. v. 15, n. 4, p.203-223, out./dez. 2015.

BUCHMANN-SLORUP, R. **Criticality in Location-Based Management of Construction**. Tese (Ph.D.) Department of Management Engineering, Technical University of Denmark, Denmark, 2012 *apud* OLIVIERI, H; GRANJA, A; PICCHI, F. Planejamento tradicional, *Location-Based Management System e Last Planner System*: um modelo integrado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre , v. 16, n. 1, p. 265-283, jan. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100073>. Acesso em 04 maio 2020.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção, **Implementação BIM - Parte 2: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**, Brasília: CBIC, 2016.

CASTRO, J. E. E.; ROQUER. F.; ROSAG. S.; BONFIN, N.S. **Custos administrativos na construção civil**: estudo de caso. 1997. Disponível em: www.abepro.org.br/biblioteca/ENECEP1997_T7215.PDF. Acesso em 04 maio 2020.

CHEN, T.; FU, M.; LIU, R.; XUANHUA XU.; I ZHOU, S.; LIU, B. How do project management competencies change within the project management career model in large Chinese construction companies?, **International Journal of Project Management**, v.37, n. 3, p. 485-500, 2019.

CORREA, L. A. **Método para formulação de pacotes de trabalho para obras repetitivas com o uso do BIM 4D**. Dissertação Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 176, 2019.

DAVE, B.; HÄMÄLÄINEN, J.; KEMMER, S.; KOSKELA, L; KOSKENVESA, A.. Suggestions to Improve Lean Construction Planning. **Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction**. Perth, Austrália, 29 a 31 jul. 2015.

EASTMAN, C. *et al.*, **Manual de BIM** - Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman Editora, 2014.

FALCONI, V. **O verdadeiro poder** / Vicente Falconi. - Nova Lima: FALCONI Consultores de Resultado, 2009.

FERNANDES, A.; BRUCHÊZ, A.; ÁVILA, A.; CASTILHOS, N.; OLEA, P. **Metodologia de pesquisa de dissertações sobre inovação: Análise Bibliométrica**. Desafio Online v.6, n.1, art.8, p 141-159, jan./abr 2018.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. apud GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. Métodos de pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. V. 4, ed. São Paulo: Atlas, 2002 *apud* FERNANDES, A.; BRUCHÊZ, A.; ÁVILA, A.; CASTILHOS, N.; OLEA, P. **Metodologia de pesquisa de dissertações sobre inovação: Análise Bibliométrica**. Desafio Online v.6, n.1, art.8, p. 141-159, jan./abr 2018.

GORSE, C.; EMMITT, S. Communication behaviour during management and design team meetings: a comparison of group interaction, **Construction Management and Economics**, v. 25, n. 11, p. 1197-1213, 2007.

KELLEY, J.E. Critical-Path planning and scheduling: Mathematical basis. **Operations Research**, v.9, n.3, p. 296–320, 1961 *apud* KENLEY, R; SEPPÄNEN, O. **Location-based management system for construction: improving productivity using flowline**. Londres, Editora Spon Press, 2010.

Kelley, J.E. The Critical-Path Method: Resources planning and scheduling. In **Industrial Scheduling**, edited by Muth, J.F. and Thompson, G.L., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, n. 21, p. 347-365, 1963 *apud* KENLEY, R; SEPPÄNEN, O. **Location-based management system for construction: improving productivity using flowline**. Londres, Editora Spon Press, 2010.

KELLEY, J.E; WALKER, M.R. Critical-Path Planning and Scheduling. **Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, 1959** *apud* KENLEY, R; SEPPÄNEN, O. **Location-based management system for construction: improving productivity using flowline**. Londres, Editora Spon Press, 2010.

KENLEY, R; SEPPÄNEN, O. **Location-based management system for construction: improving productivity using flowline**. Londres, Editora Spon Press, 2010.

KOSKELA, L. Application of the new production philosophy in Construction. **CIFE Technical Report**, n. 72, Salford: Center for Integrated Facility Engineering., 1992.

KOSKELA, L.; TEZEL, A.; TZORTZOPOULOS, P. Why visual management? Proceedings of the 26th Annual Conference of the International. **Group for Lean Construction** (IGLC), González, V.A. ed., Chennai, India, p. 250–260, 2018.

KREIDER, RALPH G.; MESSNER, JOHN I. **The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses**. V.0.9, , The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. set. 2013.

KYMMELL, W. **Building Information Modeling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations**. New York: McGraw-Hill, 2008.

LI, H.; GUO, H.L.; SKITMORE, M.; HUANG, T.; CHAN, K.; CHAN, G.; Rethinking prefabricated construction management using the VP-based IKEA model in Hong Kong, **Construction Management and Economics**, v. 29, n. 3, p.233-245, 2011.

LIMMER, C. V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1997.

LIU, S.; XIE, B.; LIU, S.; TIVENDAL, L.; LIU, C. Critical barriers to BIM implementation in the AEC industry. **International Journal of Marketing Studies**, v. 7, p. 162, 2015.

LONDON, K.; GU, N.; Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry, **Automation in Construction**, v.. 19, n.8, 2010.

LUMSDEN, P. The Line-of-Balance method. **Pergamon Press Limited: Industrial Training Division**, Londres, v.71. 1968 *apud* KENLEY, R; SEPPÄNEN, O. **Location-based management system for construction: improving productivity using flowline**. Londres, Editora Spon Press, 2010.

MAGALHÃES, R. M.; MELLO, L. C.; BANDEIRA, R. A. Planejamento e controle de obras civis: estudo de caso múltiplo em construtoras no Rio de Janeiro. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 25, n. 1, p. 44-55, 2018.

McKinsey Global Institute. **Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity**; McKinsey Company: New York, NY, USA, 2017.

MODER, J. J.; PHILLIPS, C. R. Project Management with CPM and PERT. New York: Reinhold, 1970 *apud* Prado, Darci. **PERT/CPM Gerenciamento de Projetos**. 5 ed. Nova Lima: FALCONI Editora, 2015.

MOHR, W. **Project Management and Control** (in the building industry). Department of Architecture and Building, University of Melbourne. Edição 2, p. 210, 1979 *apud* KENLEY, R; SEPPÄNEN, O. **Location-based management system for construction: improving productivity using flowline**. Londres, Editora Spon Press, 2010.

O'BRIEN, J.J. AND PLOTNICK, F.L. *CPM in Construction Management*. McGraw-Hill, Boston, 1999 *apud* KENLEY, R; SEPPÄNEN, O. **Location-based management system**

for construction: improving productivity using flowline. Londres, Editora Spon Press, 2010.

OLIVIERI, H.; GRANJA, A.; PICCHI, F. Planejamento tradicional, Location-Based Management System e Last Planner System: um modelo integrado. **Ambiente Construídor.**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 265-283, jan. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100073>. Acessos em 04 maio 2020.

PEER, S. Network Analysis and Construction Planning. *Journal of the Construction Division, ASCE*, v. 100, n.CO3, p.203–210, 1974 *apud* KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. **Location-based management system for construction:** improving productivity using flowline. Londres, Editora Spon Press, 2010.

POLITO, G. **Utilização da técnica de linhas de balanço em projetos de construção civil. 2017.** Disponível em <http://www.blogdaliga.com.br/wp-content/uploads/2017/05/ARTIGO-1-linhas-de-balanço.pdf>, Recuperado em 10 out. 2018.

PRADO, D. **PERT/CPM** Gerenciamento de Projetos. 5 ed. Nova Lima: FALCONI Editora, 2015.

RATAJCZAK, J.; RIEDL, M.; MATT, D.T. BIM-based and AR Application Combined with Location-Based Management System for the Improvement of the Construction Performance. *Buildings*, v. 9, p. 118, 2019.

SILVA, E.; MENEZES, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** Edição 4 revisada e atualizada, p. 138, Florianópolis: UFSC, 2005.

TEZEL, A.; TAGGART, M.; KOSKELA, L.; TZORTZOPOULOS, P.; HANAHOE, J.; KELLY, M. Lean Construction and BIM in Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs) in Construction: A Systematic Literature Review. **Canadian Journal of Civil Engineering.** 2019.

TOLEDO, R.; ABREU, A.F.; JUNGLES, A.E. A difusão de inovações tecnológicas na indústria da construção civil. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ANTAC**, v. 8, Salvador, 2000.

VARGAS, C. L S.; VARGAS, L. M. Planejamento de atividades repetitivas em obras de construção civil utilizando a técnica da linha de balanço e programas de gerenciamento de projetos: um estudo de caso. **Anais do XIX Simpósio de Engenharia de Produção**, Bauru, SP, Brasil, 5 a 7 nov. 2012.

WON, J.; LEE, G.; DOSSICK, C.; MESSNER, J. Where to focus for successful adoption of building information modeling within organization, **J. Constr. Eng. Manag.** p. 139, 2013 *apud* ANTWI-AFARI Critical success factors for implementing building information modelling (BIM): A longitudinal review. **Automation in Construction**, v. 91, p. 100-110, 2018.

WREN, D. Implementing the Gantt chart in Europe and Britain: the contributions of Wallace Clark, **Journal of Management History**, v. 21, n 3, p. 309-327, 2015.

APÊNDICE A – Linhas de Balanço

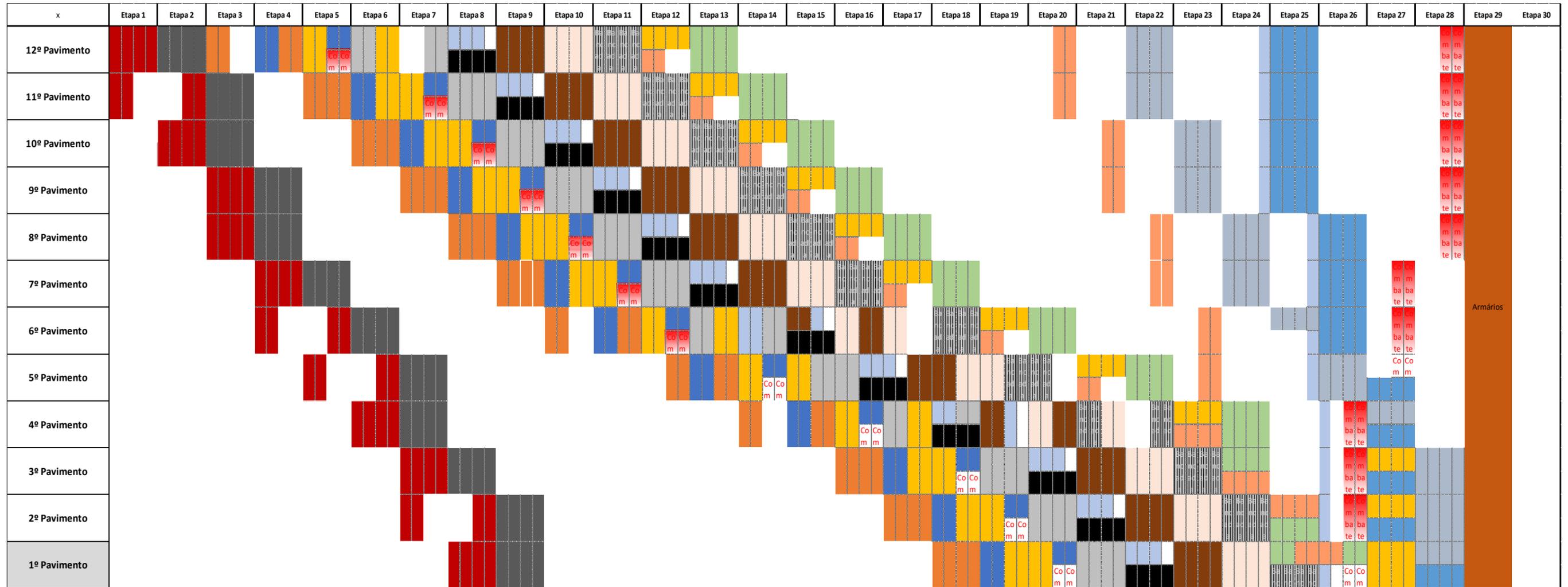


Figura A 1 - Cronograma em linha de balanço do Edifício Álvaro da Silveira.
Fonte: Elaborado pelo autor.

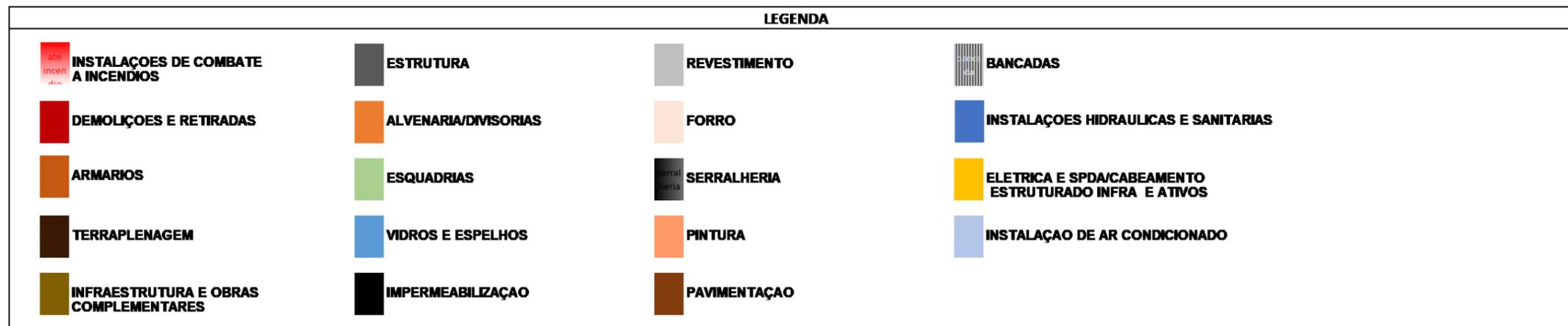
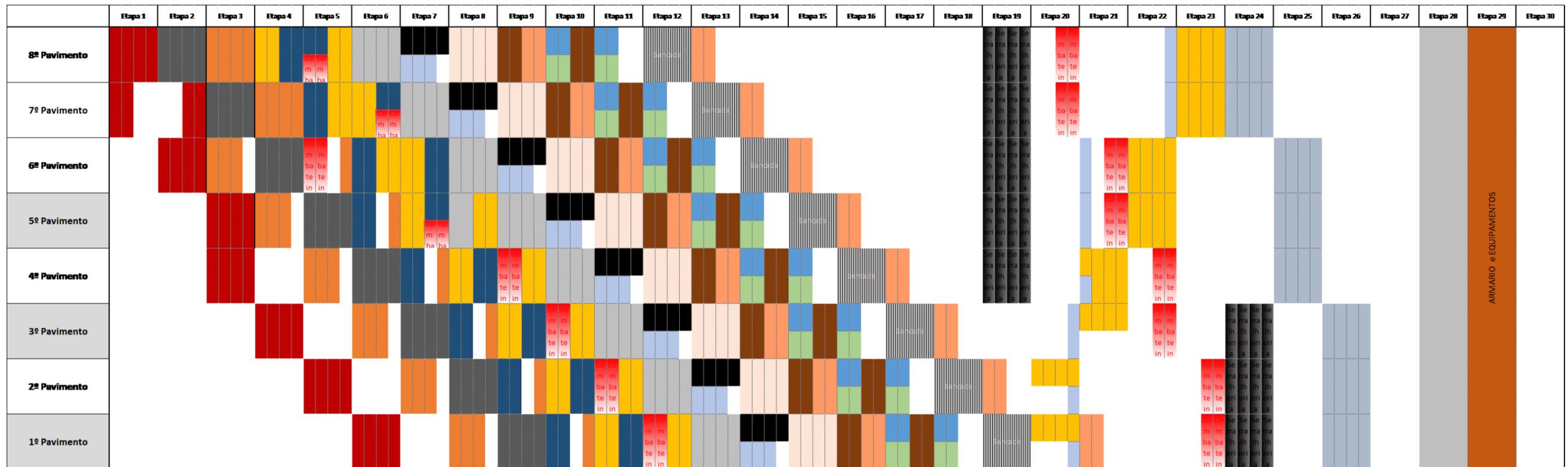
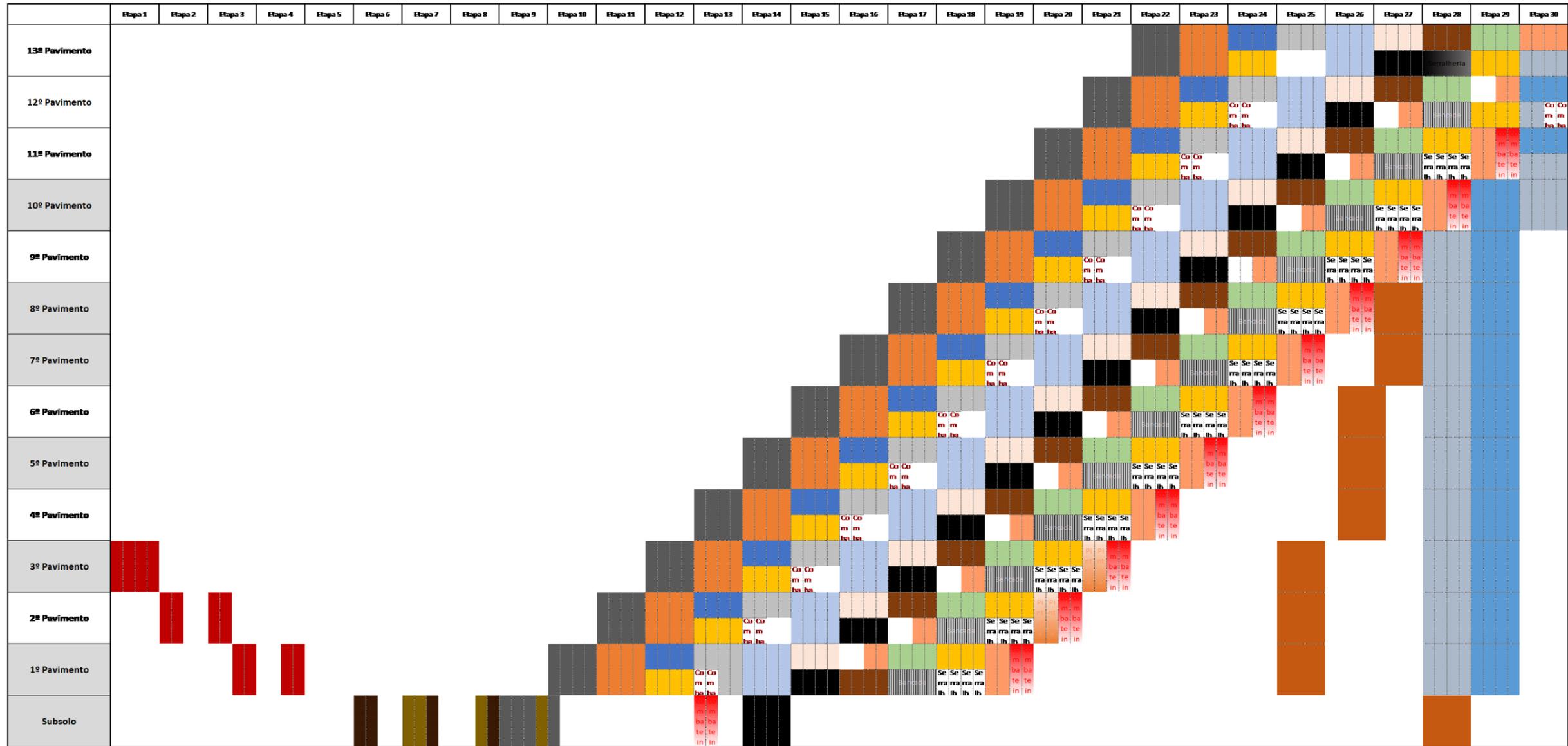


Figura A 2 - Cronograma em linha de balanço do Edifício Arthur Guimarães.
Fonte: Elaborado pelo autor.



LEGENDA

	INSTALAÇÕES DE COMBATE A INCENDIOS		ESTRUTURA		REVESTIMENTO		BANCADAS
	DEMOLIÇÕES E RETIRADAS		ALVENARIA/DIVISORIAS		FORRO		ELETRICA E SPDA/CABEAMENTO ESTRUTURADO INFRA E ATIVOS
	ARMARIOS		ESQUADRIAS		SERRALHERIA		INSTALAÇÃO DE AR CONDICIONADO
	TERRAPLENAGEM		VIDROS E ESPELHOS		PINTURA		INSTALAÇÕES HIDRAULICAS E SANITARIAS
	INFRAESTRUTURA E OBRAS COMPLEMENTARES		IMPERMEABILIZAÇÃO		PAVIMENTAÇÃO		

Figura A 3 - Cronograma em linha de balanço do Edifício Acesso.
Fonte: Elaborada pelo autor.