

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE**  
**CAMPUS ARACAJU**  
**DIRETORIA DE ENSINO**  
**COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL**  
**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**RODRIGO GOMES SILVA**

**A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO OPERACIONAL COM A**  
**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA BIM E DAS TÉCNICAS DE REDE PERT/CPM,**  
**PPC E PDCA. ESTUDO DE CASO APLICADO A UMA OBRA NA CIDADE DE**  
**ARACAJU/SE**

**MONOGRAFIA**

**ARACAJU**  
**2020**

**RODRIGO GOMES SILVA**

**A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO OPERACIONAL COM A  
UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA BIM E DAS TÉCNICAS DE REDE PERT/CPM,  
PPC E PDCA. ESTUDO DE CASO APLICADO A UMA OBRA NA CIDADE DE  
ARACAJU/SE**

Monografia apresentada como requisito parcial  
à obtenção do título de Bacharel, da  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do  
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

**Orientador:** Prof. Dr. José Resende Goes

**ARACAJU**

**2020**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Geocelly Oliveira Gambardella / CRB-5 1815,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Silva, Rodrigo Gomes

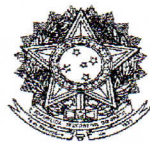
S586i A importância do planejamento operacional com a utilização da metodologia BIM e das técnicas de Rede PERT/CPM, PPC e PDCA. Estudo de caso aplicado a uma obra na cidade de Aracaju/SE / Rodrigo Gomes Silva. - Aracaju, 2020.

150 f. : il.

Orientador: José Resende Goes.  
Monografia (Graduação - Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Sergipe, 2020.

1. Planejamento. 2. BIM. 3. Gerenciamento. 4. PPC. PERT/CPM. I. Goes, José Resende. II. Título.

CDU 624.05(81)



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE  
Av. Jorge Amado, 1551 – Loteamento Garcia, Bairro Jardins - CEP 49025-330 – Aracaju/SE  
Fone: (79) 3711 1400 – E-mail: [reitoria@ifs.edu.br](mailto:reitoria@ifs.edu.br)

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE**

**CAMPUS ARACAJU**

**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

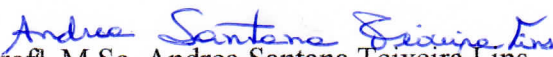
**Título da Monografia Nº 165**

**A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO OPERACIONAL COM A UTILIZAÇÃO  
DA METODOLOGIA BIM E DAS TÉCNICAS DE REDE PERT/CPM, PPC E PDCA.  
ESTUDO DE CASO APLICADO A UMA OBRA NA CIDADE DE ARACAJU/SE**

**RODRIGO GOMES SILVA**

Esta monografia foi apresentada às 19:00 horas do dia 18 de novembro de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados.

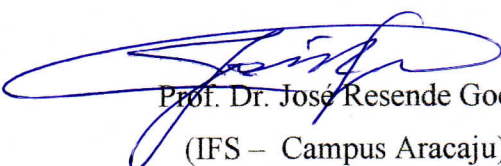
Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

  
Prof.ª M.Sc. Andrea Santana Teixeira Lins

(IFS – Campus Aracaju)

  
Prof. M.Sc. Marcílio Fabiano Goivinho da Silva

(IFS – Campus Aracaju)

  
Prof. Dr. José Resende Goes  
(IFS – Campus Aracaju)  
**Orientador**

  
Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa  
(IFS – Campus Aracaju)  
**Coordenador da COEC**

*Antes de qualquer coisa, ore,  
depois de qualquer coisa, agradeça.*  
(Dani Santos)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela sua fidelidade e sempre me mostrando que com força de vontade e fé tudo é possível.

Aos meus pais, Carmenizia e Josias, agradeço por sempre acreditarem em mim, me apoiando e incentivando nessa trajetória. Dedico todas as minhas conquistas a vocês.

Aos meus irmãos, Bruno e Tassiano, agradeço a compreensão em momentos de ausência com a família, sei que sempre posso contar com vocês. E muito obrigado por tudo que fizeram por mim.

A minha namorada Claudia, pelo apoio e companheirismo durante os incontáveis finais de semana dedicados somente a este trabalho.

Ao meu amigo Matheus, que sempre esteve comigo durante toda a trajetória do curso, me apoiando em diversas situações, muito obrigado por tudo.

Aos professores da Coordenadoria de Engenharia Civil, em especial ao meu orientador, Prof. Dr. José Resende Góes por acreditar em mim e por todo o suporte.

A minha avó, Carmelita (*in memoriam*) por sempre ter me apoiado e acreditado nos meus sonhos, você foi fundamental nessa minha vitória.

À toda a equipe do Jardim Europa Medical Center por todos os ensinamentos, em especial ao Engenheiro Moraes pela oportunidade e por todo o suporte. E a toda equipe da SMG Construções pelo aprendizado, em especial ao Engenheiro Manoel.

Agradeço a todas as pessoas que não foram citadas, mas que contribuíram para a realização deste trabalho. Vocês fazem parte do meu pensamento e da minha gratidão.

## RESUMO

SILVA, Rodrigo Gomes. **A importância do Planejamento Operacional com a utilização da metodologia BIM e das técnicas de rede PERT/CPM, PPC E PDCA. Estudo de caso aplicado a uma obra na cidade de Aracaju/SE.** 150. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2020.

O planejamento e controle de obras é um tema muito discutido devido a grandes inovações tecnológicas como a implementação e utilização de softwares BIM e princípios da Construção Enxuta. Este trabalho teve o objetivo de realizar o planejamento operacional de um pavimento tipo da superestrutura em concreto protendido de uma obra comercial na cidade de Aracaju. Foi utilizada a metodologia BIM em conjunto com as técnicas de redes PERT/CPM, PPC e PDCA. Foi elaborado um levantamento bibliográfico onde foi verificado as técnicas de planejamento para gestão de obras, construção enxuta e da metodologia BIM. No estudo de caso aplicado foi levantado os métodos e processos executivos das subempreiteiras envolvidas na execução de um pavimento tipo da superestrutura em concreto protendido, elaborado um modelo BIM 4D e uma rede PERT/CPM para o acompanhamento das atividades de um pavimento tipo da superestrutura na fase de gestão da produção. O estudo demonstrou vantagens para a tomada de decisão através da aplicação do PPC onde foi filtrado possíveis restrições sofridas durante a execução de um pavimento tipo. O levantamento dos métodos e processos executivos das subempreiteiras em conjunto com as restrições encontradas do PPC foi fundamental na elaboração da EAP e da Rede PERT/CPM. A partir das curvas “S” e cronogramas gerados Da Rede PERT/CPM foi possível monitorar, aferir e padronizar as atividades realizadas pelas subempreiteiras no canteiro de obras. O modelo BIM 4D serviu como uma curva “S” tridimensional que contribuiu na visualização do planejado e o executado das atividades e a rede PERT/CPM foi indispensável no replanejamento das atividades concluindo o ciclo PDCA aplicado.

**Palavras-chave:** Planejamento. BIM. Gerenciamento. PPC. PERT/CPM.

## **ABSTRACT**

SILVA, Rodrigo Gomes. **The importance of Operational Planning With the use of the BIM methodology and network techniques PERT / CPM, PPC and PDCA. Case study applied to a work in the city of Aracaju / SE.** 150. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2020.

The planning and control of works is a topic much discussed due to major technological innovations such as the implementation and use of BIM software and principles of Lean Construction. This work aimed to carry out the operational planning of a floor of the a prestressed concrete superstructure of a commercial work in the city of Aracaju. The BIM methodology was used in conjunction with the PERT/CPM and PPC and PDCA network techniques. A bibliographic survey was prepared in which the planning techniques for construction management, lean construction and the BIM methodology were verified. In the case study raised the methods and executive processes of the subcontractors involved in the execution of a superstructure type sidewalk in prestressed concrete were surveyed, a BIM 4D model and a PERT/CPM network were elaborated to monitor the activities of a floor of the a prestressed concrete superstructuree in the production management phase. The study demonstrated advantages for decision making by applying the PPC where possible restrictions suffered during the execution of a floor of the a superstructure. The survey of the executive methods and processes of the subcontractors together with the restrictions found in the PPC was fundamental in the development of the EAP and the PERT/CPM Network. From the "S" curves and schedules generated by the PERT/CPM Network it was possible to monitor, assess and standardize the activities performed by subcontractors on the construction site. The BIM 4D model served as a three-dimensional "S" curve that contributed to the visualization of the what was planned and the was executed of activities and the PERT/CPM network was indispensable in the replanning of activities concluding the PDCA cycle applied.

**Keywords:** BIM. Planning. BIM. Management. PPC. PERT/CPM.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 2.1 - BIM e o Ciclo de Vida do Empreendimento .....                      | 24  |
| Figura 2.2 – Dimensões do BIM, do 3D ao 10D .....                               | 25  |
| Figura 2.3 - Fluxograma BIM.....                                                | 28  |
| Figura 2.4 - Softwares BIM <i>Autodesk</i> .....                                | 30  |
| Figura 2.5 - Softwares Bim do <i>Nemetschek Group</i> .....                     | 31  |
| Figura 2.6 - Softwares BIM do grupo <i>Trimble</i> .....                        | 32  |
| Figura 2.7 - Softwares BIM da empresa <i>Blentley</i> .....                     | 33  |
| Figura 2.8 - Softwares BIM Diversos .....                                       | 33  |
| Figura 2.9 - Níveis de planejamento e algumas de suas áreas de atuação .....    | 36  |
| Figura 2.10 - Representação de uma Rede feita pelo Método ADM .....             | 43  |
| Figura 2.11 - Término para Início .....                                         | 45  |
| Figura 2.12 - Término para Término.....                                         | 45  |
| Figura 2.13 - Início para Início .....                                          | 45  |
| Figura 2.14 - Início para Término .....                                         | 45  |
| Figura 2.15 - Representação de uma rede feita pelo método PDM .....             | 46  |
| Figura 2.16 - Cronograma físico financeiro para as datas mais cedo .....        | 50  |
| Figura 2.17 – Exemplo de Histograma de Mão de obra .....                        | 51  |
| Figura 2.18 - Atividades do clico PDCA.....                                     | 56  |
| Figura 2.19 – Estrutura do Sistema Toyota de Produção.....                      | 59  |
| Figura 2.20 – Relação entre os níveis hierárquicos de planejamento do LPS ..... | 68  |
| Figura 2.21 - Etapas do <i>Last Planner System</i> .....                        | 71  |
| Figura 3.1 - Organograma da Obra A.....                                         | 73  |
| Figura 3.2 - Cordoalha engraxada.....                                           | 75  |
| Figura 3.3 – Processos Metodológico do trabalho (PDCA) .....                    | 79  |
| Figura 4.1 - Planta Mapa da Superestrutura .....                                | 81  |
| Figura 4.2 – Transferência de eixos para marcação de gastalho.....              | 82  |
| Figura 4.3 – Representação do projeto de eixos para marcação de gastalho.....   | 83  |
| Figura 4.4 - Fluxograma processo de fôrma.....                                  | 85  |
| Figura 4.5 - Fluxograma processo das armaduras passivas .....                   | 86  |
| Figura 4.6 - Fluxograma do processo das instalações elétricas.....              | 90  |
| Figura 4.7 - Fluxograma do processo de concretagem .....                        | 93  |
| Figura 4.8 – Níveis da Superestrutura.....                                      | 96  |
| Figura 4.9 - Modelo 3D da escada, cordoalhas e escoras metálicas .....          | 96  |
| Figura 4.10 - Extensão Forma de Madeira do Revit.....                           | 97  |
| Figura 4.11 – Modelagem Pavimento Tipo e demais serviços .....                  | 97  |
| Figura 4.12 – Modelo 3D da Superestrutura .....                                 | 98  |
| Figura 4.13 - Diagrama de Rede pelo Método PDM .....                            | 104 |
| Figura 4.14 - Cronograma pavimento tipo pelo Ms Project .....                   | 106 |
| Figura 4.15 - Modelo BIM 4D de planejamento .....                               | 110 |
| Figura 4.16 - Previsto x Realizado para 2º dia do planejamento .....            | 114 |
| Figura 4.17 - Planejado e Executado para o 6º dia .....                         | 116 |
| Figura 4.18 – Diagrama do novo planejamento pelo método PDM .....               | 118 |
| Figura 4.19 – Novo planejamento através no <i>Ms Project</i> .....              | 119 |
| Figura 4.20 - Ciclo PDCA .....                                                  | 121 |

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fotografia 4.1 - Forma dos pilares do 4º Pav. Tipo (Obra A) .....          | 83  |
| Fotografia 4.2 - Cimbramento do 3º Pav. Tipo (Obra A).....                 | 84  |
| Fotografia 4.3 - Armação dos pilares do 3º Pav. Tipo (Obra A) .....        | 87  |
| Fotografia 4.4 - Início do posicionamento das armaduras passivas.....      | 88  |
| Fotografia 4.5 – Instalações do SPDA (Obra A).....                         | 89  |
| Fotografia 4.6 - Eletrodutos rígidos (Obra A).....                         | 89  |
| Fotografia 4.7 - Preparação das cordoalhas engraxadas até a Protensão..... | 91  |
| Fotografia 4.8 – Corpos de prova.....                                      | 94  |
| Fotografia 4.9 – Etapa de lançamento e adensamento do concreto .....       | 95  |
| Fotografia 4.10 - 9º dia do planejamento do 10º pavimento tipo .....       | 112 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Quadro 2.1 - Exemplo de uma EAP .....                                             | 48  |
| Quadro 2.2 - Tipos de perdas de acordo com sua natureza, origem e incidência..... | 60  |
| Quadro 2.3 - Os 5 sentidos .....                                                  | 62  |
| Quadro 2.4 - Exemplo de planilha de planejamento semanal .....                    | 66  |
| Quadro 2.5 - Exemplo de planilha de análise de restrições .....                   | 67  |
| Quadro 3.1 – Subempreiteiros responsáveis por serviços da superestrutura .....    | 74  |
| Quadro 4.1 - Programação para a execução de um pavimento tipo .....               | 99  |
| Quadro 4.2 - PPC do 4º Pavimento Tipo .....                                       | 99  |
| Quadro 4.3 - Restrições encontradas no PPC .....                                  | 102 |
| Quadro 4.4 - EAP Pavimento Tipo .....                                             | 103 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfico 2.1 - Curvas "S" de acompanhamento físico, ao longo do tempo ..... | 54  |
| Gráfico 2.2 – Exemplo de Linha de Balanço .....                            | 55  |
| Gráfico 2.3 - Exemplo de uma análise de PPC de produtividade.....          | 68  |
| Gráfico 4.1 - PPC do 3º Pavimento Tipo .....                               | 100 |
| Gráfico 4.2 - PPC 4º Pavimento Tipo .....                                  | 101 |
| Gráfico 4.3 - PPC 5º Pavimento Tipo .....                                  | 101 |
| Gráfico 4.4 - Curva "S" ALAP x ASAP.....                                   | 109 |
| Gráfico 4.5 - PPC 10º Pavimento Tipo até o 12º dia .....                   | 113 |
| Gráfico 4.6 - Curva "S" planejado x executado até o 6º dia .....           | 115 |
| Gráfico 4.7 - Curva "S" Previsto x Realizado.....                          | 120 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 2.1 - Modelo de uma Rede PERT/CPM.....                                    | 43  |
| Tabela 4.1 - Datas das concretagens e dias trabalhados dos pavimentos tipo ..... | 80  |
| Tabela 4.2 - Rede PERT/CPM Pavimento Tipo .....                                  | 105 |
| Tabela 4.3 - Cronograma Físico ALAP - Pavimento Tipo.....                        | 107 |
| Tabela 4.4 - Cronograma Físico ASAP - Pavimento Tipo .....                       | 108 |
| Tabela 4.5 – Resultado do avanço físico por Análise Gráfica e Matemática.....    | 115 |
| Tabela 4.6- Análise do avanço físico por Atividade .....                         | 117 |
| Tabela 4.7 - Rede PERT/CPM do novo planejamento .....                            | 118 |

## LISTA DE SIGLAS

|             |                                                                              |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ABNT</b> | Associação Brasileira de Normas Técnicas                                     |
| <b>ADM</b>  | <i>Arrow Diagramming Method</i>                                              |
| <b>CPM</b>  | <i>Critical Path Method</i>                                                  |
| <b>EAP</b>  | Estrutura Analítica de Projeto                                               |
| <b>FL</b>   | Folga Livre                                                                  |
| <b>FT</b>   | Folga Total                                                                  |
| <b>IAI</b>  | <i>International Alliance of Interoperability</i>                            |
| <b>IFC</b>  | <i>Industry Foundation Classes</i>                                           |
| <b>II</b>   | Início Início                                                                |
| <b>IT</b>   | Início Término                                                               |
| <b>LC</b>   | <i>Lean Construction</i>                                                     |
| <b>LPS</b>  | <i>Last Planner System</i>                                                   |
| <b>NBR</b>  | Norma Brasileira                                                             |
| <b>PDCA</b> | Ciclo PDCA (Plan, Do, Check e Action) - Planejar, executar, verificar e agir |
| <b>PDI</b>  | Primeira Data de Início                                                      |
| <b>PDM</b>  | <i>Precedence Diagramming Method</i>                                         |
| <b>PDT</b>  | Primeira Data Término                                                        |
| <b>PPC</b>  | Percentual de Planos Concluídos                                              |
| <b>STP</b>  | Sistema Toyota de Produção                                                   |
| <b>TD</b>   | Tempo Disponível                                                             |
| <b>TI</b>   | Término Início                                                               |
| <b>TT</b>   | Término Término                                                              |
| <b>UDI</b>  | Última Data de Início                                                        |
| <b>UDT</b>  | Última Data de Término                                                       |
| <b>5S</b>   | 5 Sensos                                                                     |

## LISTA DE ACRÔNIMOS

|             |                                                |
|-------------|------------------------------------------------|
| <b>ALAP</b> | <i>As Late As Possible</i>                     |
| <b>ASAP</b> | <i>As Soon As Possible</i>                     |
| <b>BIM</b>  | <i>Building Information Modeling</i>           |
| <b>CAD</b>  | <i>Computer Aided Design</i>                   |
| <b>JIT</b>  | <i>Just in Time</i>                            |
| <b>PERT</b> | <i>Program Evaluation and Review Technique</i> |

## SUMÁRIO

|          |                                                          |           |
|----------|----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                   | <b>17</b> |
| 1.1      | APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....                            | 20        |
| 1.2      | JUSTIFICATIVAS .....                                     | 21        |
| 1.3      | OBJETIVOS.....                                           | 21        |
| 1.3.1    | Geral.....                                               | 21        |
| 1.3.2    | Específicos .....                                        | 22        |
| 1.4      | ESTRUTURA DO TRABALHO .....                              | 22        |
| <b>2</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>                        | <b>23</b> |
| 2.1      | MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM) .....        | 23        |
| 2.1.1    | Dimensões BIM .....                                      | 25        |
| 2.1.2    | Interoperabilidade e Modelagem Paramétrica .....         | 27        |
| 2.1.3    | Softwares BIM .....                                      | 29        |
| 2.1.3.1  | Autodesk.....                                            | 29        |
| 2.1.3.2  | Nemetschek Group.....                                    | 31        |
| 2.1.3.3  | Trimble.....                                             | 32        |
| 2.1.3.4  | Blentley.....                                            | 33        |
| 2.1.3.5  | Demais softwares .....                                   | 33        |
| 2.2      | PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO .....                | 34        |
| 2.2.1    | Tipos de Planejamento .....                              | 35        |
| 2.2.2    | Técnicas de Planejamento e Programação .....             | 37        |
| 2.2.2.1  | Modelo.....                                              | 37        |
| 2.2.2.2  | Simulação.....                                           | 38        |
| 2.2.3    | Técnicas para Programação de Tempo e Recursos.....       | 39        |
| 2.2.3.1  | Rede PERT/CPM.....                                       | 39        |
| 2.2.3.2  | Caminho crítico.....                                     | 40        |
| 2.2.4    | Método para Representação Gráfica da Rede .....          | 40        |
| 2.2.4.1  | Método do diagrama de flechas.....                       | 42        |
| 2.2.4.2  | Método do diagrama de precedência .....                  | 44        |
| 2.2.5    | Instrumentos de Apoio ao Planejamento e Programação..... | 47        |
| 2.2.5.1  | Estrutura analítica do projeto (EAP) .....               | 47        |
| 2.2.5.2  | Cronograma físico financeiro .....                       | 49        |
| 2.2.5.3  | Histograma .....                                         | 51        |
| 2.2.5.4  | Curvas “S”.....                                          | 52        |
| 2.2.5.5  | Linha de balanço .....                                   | 55        |
| 2.2.6    | Método de Controle de Qualidade e Melhorias (PDCA) ..... | 56        |
| 2.2.6.1  | Método dos 5 porquês .....                               | 57        |
| 2.3      | PRODUÇÃO ENXUTA.....                                     | 58        |
| 2.3.1    | Construção Enxuta .....                                  | 63        |
| 2.3.2    | <i>Last Planner System</i> .....                         | 64        |
| 2.3.2.1  | Planejamento de longo prazo .....                        | 69        |
| 2.3.2.2  | Planejamento de médio prazo - lookahead.....             | 69        |
| 2.3.2.3  | Planejamento de curto prazo - comprometimento .....      | 70        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>                                  | <b>72</b> |
| 3.1      | ESTUDO DE CASO .....                                     | 72        |
| 3.2      | PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE SERVIÇOS .....                | 76        |

|          |                                                                          |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3      | MODELAGEM SUPERESTRUTURA.....                                            | 76         |
| 3.4      | PLANEJAMENTO OPERACIONAL .....                                           | 77         |
| 3.5      | ANÁLISE DO PLANEJAMENTO OPERACIONAL .....                                | 78         |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>                                      | <b>80</b>  |
| 4.1      | PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE SERVIÇOS .....                                | 80         |
| 4.1.1    | Planejamento Mestre da Superestrutura .....                              | 80         |
| 4.1.2    | Fôrma .....                                                              | 81         |
| 4.1.2.1  | Pilares.....                                                             | 82         |
| 4.1.2.2  | Vigas e lajes .....                                                      | 84         |
| 4.1.3    | Armaduras .....                                                          | 85         |
| 4.1.3.1  | Armaduras passivas .....                                                 | 86         |
| 4.1.4    | Instalações elétricas .....                                              | 88         |
| 4.1.5    | Protensão .....                                                          | 90         |
| 4.1.6    | Concretagem .....                                                        | 93         |
| 4.2      | MODELAGEM SUPERESTRUTURA.....                                            | 95         |
| 4.3      | PLANEJAMENTO OPERACIONAL .....                                           | 98         |
| 4.3.1    | Percentual de Planos Concluídos (PPC) .....                              | 98         |
| 4.3.2    | Rede PERT/CPM Método PDM.....                                            | 102        |
| 4.3.3    | BIM 4D.....                                                              | 110        |
| 4.4      | ANÁLISE DO PLANEJAMENTO OPERACIONAL .....                                | 111        |
| 4.4.1    | Percentual de Planos Concluídos.....                                     | 111        |
| 4.4.2    | Análise pelo Modelo BIM 4D e Rede PERT/CPM (PDCA) .....                  | 114        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                         | <b>123</b> |
| <b>6</b> | <b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>                             | <b>125</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                 | <b>126</b> |
|          | <b>ANEXO 01 - Planta de Fôrma do 2º ao 11º Pavimento Tipo.....</b>       | <b>135</b> |
|          | <b>ANEXO 02 - Calendário 2020 Obra A.....</b>                            | <b>137</b> |
|          | <b>ANEXO 03 – Memorial de Cálculo para o Avanço Físico .....</b>         | <b>139</b> |
|          | <b>ANEXO 04 – Memorial de Cálculo para Análise por Atividade .....</b>   | <b>141</b> |
|          | <b>ANEXO 05 – Cronograma da Superestrutura da Obra A .....</b>           | <b>144</b> |
|          | <b>ANEXO 06 – Projeto de Protensão do 2º ao 11º Pavimento Tipo .....</b> | <b>149</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil vem passando por várias transformações nas últimas décadas. Surgindo cada vez mais métodos, materiais e ferramentas para diversas atividades devido às inovações tecnológicas. Devido às suas características dinâmicas e ao ambiente diversificado em que as atividades são desenvolvidas, um dos problemas mais comuns na construção é a fragmentação, onde Alashwal e Fong (2015) consideram como a falta de integração, coordenação, colaboração, limites e ampliação do conhecimento. Para Dave e Koskela (2009), devido a esta fragmentação, a indústria da construção está sujeita a uma fraca comunicação entre as partes interessadas. Nesse sentido, surgem os retrabalhos que não agregam valor e diminui ainda mais a produtividade e são caracterizados por processos que precisam ser refeitos devido a falhas adquiridas na sua execução.

Para Pereira (2012) as principais causas que originam o retrabalho são os erros, as omissões, danos, comunicação ineficaz e decisões ineficazes, como também está relacionado à perda da qualidade. Segundo Silva (2010), a falha na comunicação é um fator resultante de retrabalho, pois algumas tarefas dependem de informações antecedentes, sendo assim, essas informações não podem ser repassadas fora do prazo ou incompletas. Segundo Cazelato (2014), o retrabalho dentro de um processo construtivo, na maioria das vezes, é gerado pela falta de planejamento das operações ou pelo não alinhamento das várias etapas do projeto. O retrabalho gerado principalmente pela falta de controle e gestão, eleva os custos da produção e consequentemente o preço final do produto.

O custo total de uma obra é a soma dos custos diretos e indiretos, sendo que as parcelas que compõe cada custo devem ser orçadas de forma minuciosa, procurando levantar todos os dados possíveis relacionados com os projetos. De acordo com Campos *et al.* (2015), os custos diretos são os gastos relacionados com a mão de obra, materiais e equipamentos agregados ou não ao produto. Já os custos indiretos são os gastos relacionados com a mão de obra técnica e terceirizada como também despesas administrativas, financeiras, comerciais, tributárias e gastos com instalações provisórias de água, energia elétrica e telefone para o funcionamento do canteiro de obras e a ainda gastos com a segurança do trabalho.

Para Gonçalves *et al.* (2014) o setor da construção civil é conhecido pelo elevado desperdício de materiais e de tempo de mão de obra, além de apresentar

grande atraso em relação a outros setores industriais, justificado principalmente pela dificuldade de gerir processos. Para Carvalho *et al.* (2014) o setor se destaca dos demais em relação a quantidade de perdas decorrentes da condução inadequada ao longo de todo o processo.

São elevados os percentuais de desperdício por falta de planejamento na execução dos processos ou negligência dos principais responsáveis envolvidos. Alguns dos motivos para tanto desperdício são: a pouca vinculação da obra com as atividades denominadas de apoio, como as compras, estoques e manutenção; os problemas com os recursos humanos decorrentes da pouca especialização da mão de obra e alta taxa de rotatividade do setor (NETO, 2010).

Para Lucio, Araujo e Bisneto (2016) a falta ou ineficiência de gestão e controle é classificada como um dos principais fatores que influenciam a produtividade, que podem ser: falta de projeto ou detalhamento, métodos ultrapassados ou ineficientes e dificuldade de comunicação entre setores. O processo de produção na construção que apresenta má qualidade e organização precária se reflete nos desencontros das equipes de trabalho e no desperdício de materiais (SOIBELMAN, 1993).

As perdas na construção civil englobam tanto a ocorrência de desperdício de materiais quanto qualquer ineficiência relativa ao uso de equipamentos, mão de obra e execução de tarefas desnecessárias que geram custos adicionais e não agregam valor (SACOMANO, GUERRINI e MOCCELLIN, 2004). Para Vargas *et al.* (1997), perda é todo e qualquer recurso que se gasta na execução de um produto ou serviço além do estritamente necessário (mão de obra, matéria-prima, materiais, tempo, dinheiro, energia, etc.).

Hamzeh, Ballard e Tommelein (2012) destacam a importância do planejamento e controle para melhorar a produtividade, reduzir atrasos e perdas como também apresentar melhor sequência de produção, balancear a quantidade de mão de obra para o trabalho a ser produzido e coordenar múltiplas atividades interdependentes.

Coelho (2003) considera o processo de controle um monitoramento do processo de produção no qual se compara o realizado com o previsto, implementando-se as ações necessárias para manter a produção dentro do esperado. Porém, além dessas funções, o controle ajuda a aumentar a eficiência do trabalho, a acelerar o cronograma e reduzir custos (MUBARAK, 2010).

De acordo com Assumpção (1990), o planejamento operacional envolve estratégias de produção, tais como:

- Como fazer? – Métodos e processos;
- Quando fazer? – Datas e prazos;
- Com o que fazer? – Insumos de produção;
- Quanto e quando gastar? – Custos desembolsos.

Para o autor, após o início da obra não basta apenas estabelecer diretrizes de produção, é preciso aferir e comparar o andamento da mesma, com objetivo de verificar desvios na programação, evitando assim retrabalhos e perdas, e através de uma reprogramação, definir novas diretrizes para a produção. Uma das ferramentas de planejamento mais utilizadas para verificar desvios na programação é o PPC (Percentual de Planos Concluídos), onde é aferido se a programação planejada foi executada, e se caso não foi, é levantado o motivo.

Outras técnicas bastante utilizadas para aferir, comparar e reprogramar o andamento de uma obra, são as técnicas PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) e CPM (*Critical Path Method*), que significam respectivamente Avaliação do Programa e Técnica de Revisão, e Método do Caminho Crítico. Além dessas técnicas, muito utilizado para a resolução de problemas críticos e melhorias contínuas é o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check e Action*), que significa planejar, executar, verificar e agir.

No atual cenário da construção civil uma metodologia para elaboração e gerenciamento de projetos que vem sendo muito utilizada pelo mundo que é o *Building Information Modeling* (BIM). Onde já existem diversos softwares BIM com várias funções como modelagem, análise, coordenação, compatibilização entre outros.

O BIM além de ser um modelo de visualização do espaço projetado, é um modelo digital que contém um banco de dados que agrega informações para diversas finalidades, tais como aumento da produtividade e racionalização do processo (CRESPO E RUSCHEL, 2007).

A metodologia BIM no canteiro de obras atrelado as técnicas de planejamento e controle se torna um poderoso instrumento complementar para tomada de decisões mais precisas, rápidas e eficazes por permitir a visualização tridimensional do andamento da construção antes de ser executado, pelo rápido levantamento de quantitativo de materiais e as inúmeras modalidades de simulação de diferentes alternativas construtivas apenas com um modelo virtual.

Apesar do conhecimento e da importância do planejamento, ainda é carente em algumas obras uma proposta de um planejamento operacional que busque uma

melhor distribuição dos serviços evitando retrabalhos e atrasos, utilizando técnicas pertinentes. Nesse sentido, o estudo de caso realizado neste trabalho busca apresentar uma proposta de planejamento operacional para a etapa de execução da estrutura de um pavimento tipo em uma obra comercial na cidade de Aracaju no estado de Sergipe, buscando alcançar um melhor fluxo de trabalho entre as equipes envolvidas afim de reduzir retrabalhos, buscando a redução de prazos e desperdícios.

## 1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

A obra localizada na cidade de Aracaju é um edifício comercial e o estudo de caso do presente trabalho contempla a fase de execução da superestrutura. Para a execução de um pavimento da superestrutura em concreto protendido, foram divididos cinco principais serviços: fôrma, armação, instalações elétricas, protensão e concretagem. Para cada serviço foi contratado uma ou mais subempreiteira, sendo algumas responsáveis por até dois serviços distintos.

A obra obteve um atraso na infraestrutura devido a reprovação do ensaio de Prova de Carga Estática em Estaca Hélice Contínua, onde esse ensaio teve como objetivo verificar a capacidade de carga por carregamento lento de acordo com a ABNT NBR 16903: 2020, onde foi previsto um deslocamento máximo de 4,0 mm após a aplicação de uma carga de ensaio de 360,0 tf.

O deslocamento de 4 estacas ensaiadas superou o estabelecido pelo projetista, após o envio dos resultados e análise, o mesmo solicitou um novo ensaio de sondagem à percussão e houve a necessidade do reforço na fundação, onde foram cravadas mais estacas hélice contínuas e os blocos de coroamento da torre sofreram aumento em suas dimensões. Ou seja, houve acréscimo de estacas não previstas o que demandou tempo para análise, um novo projeto estrutural dos blocos de coroamento da torre, o que implicou em novos pedidos de aço levando a um acréscimo tanto no custo quanto no tempo previsto para a finalização da fundação.

Além do atraso na fundação, na superestrutura as primeiras cordoalhas engraxadas do primeiro pavimento tiveram erro em suas dimensões e foi preciso substituí-las, onde ocorreu atraso na espera das novas cordoalhas.

Na execução do primeiro pavimento da superestrutura foi verificado conflitos de execução entre as subempreiteiras resultando altos índices de retrabalhos, não havendo uma sequência planejada das atividades executadas. Enquanto os

pavimentos eram sendo executados as subempreiteiras ainda enfrentavam dificuldades na sequência de produção e o não cumpriam os prazos inicialmente acordados de seus serviços.

Durante a execução da superestrutura foram feitas reuniões semanais com os engenheiros, técnicos, mestres e encarregados da obra e das subempreiteiras para definir datas de execução dos serviços e uma sequência de atividades. Porém na maioria das vezes os prazos não eram cumpridos e uma subempreiteira alegava que teria sido por causa de outra o motivo de não cumprir os prazos.

## 1.2 JUSTIFICATIVAS

Magalhães, Mello e Bandeira (2018) concluíram em seu trabalho que há uma defasagem entre o estado atual do planejamento e controle encontrado nas empresas estudadas e o levantamento bibliográfico realizado, que apresenta as principais metodologias e ferramentas de controle de obras identificadas. Dessa forma, torna-se evidente a necessidade de uma melhor integração entre a academia e a indústria da construção civil para a eliminação dos hiatos encontrados.

Com o intuito de aumentar a produtividade e melhorar o fluxo de trabalho entre as subempreiteiras na execução de um pavimento da superestrutura, evitar retrabalhos, atrasos e perdas foi realizado um estudo de caso onde consistiu na realização de um planejamento operacional da superestrutura de um edifício em concreto protendido utilizando a metodologia BIM, técnicas de rede PERT/CPM, PPC e PDCA.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Geral

Demonstrar a importância do planejamento operacional com a utilização de um modelo BIM 4D, das Técnicas de Rede PERT/CPM, PPC e PDCA aplicado a uma superestrutura de concreto protendido de uma obra na cidade de Aracaju/SE.

### 1.3.2 Específicos

- Levantar informações, métodos e os processos da execução da superestrutura de concreto protendido de uma obra na cidade de Aracaju;
- Realizar a modelagem de um pavimento tipo da superestrutura de concreto protendido utilizando a plataforma BIM;
- Elaborar o planejamento operacional de um pavimento tipo utilizando rede PERT/CPM através do método PDM e um modelo BIM 4D;
- Aplicar técnicas como PPC e PDCA para o controle e análise do planejamento operacional.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 2 apresenta toda fundamentação teórica do trabalho abordando os principais conceitos e utilização da metodologia BIM, conceitos, técnicas e instrumentos de planejamento e controle da produção, como também conceitos e metodologia da construção enxuta.

O capítulo 3 relata todo o processo metodológico detalhado do estudo de caso aplicado neste trabalho, separado em sequência iniciando pelo levantamento de todas as informações pertinentes a execução de um pavimento tipo da superestrutura, sua modelagem, seu processo de planejamento e análise do planejamento.

No capítulo 4, foram apresentados os resultados e discussões sobre o estudo de caso que foi realizado, correspondendo a mesma sequência metodológica do capítulo anterior.

No capítulo 5, foram apresentadas as considerações finais, onde houve o fechamento do trabalho e foi verificado se objetivos foram atingidos. No capítulo 6 foi apresentado os possíveis trabalhos futuros considerando a temática abordada no presente trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo será abordado toda a fundamentação teórica inerente ao tema proposto do trabalho, focando em apresentar os conceitos sobre a modelagem da informação da construção, planejamento e controle de obra e construção enxuta.

### 2.1 MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM)

*Building Information Modeling* significa Modelagem da Informação da Construção e sua sigla é BIM. Além de ser um modelo de visualização do espaço projetado, é um modelo digital que contém um banco de dados que agrega informações para diversas finalidades, tais como aumento da produtividade e racionalização do processo (CRESPO E RUSCHEL, 2007).

Segundo Eastman *et al.* (2011), o conceito BIM é uma tecnologia de modelagem e processos para comunicação e análise dos modelos de construção. Enquanto que para Martins *et al.* (2013) o BIM está relacionado aos softwares de modelagens capazes de representar não só tridimensionalmente a edificação, mas em que os elementos modelados representem as características dos elementos reais por meio de uma base de dados.

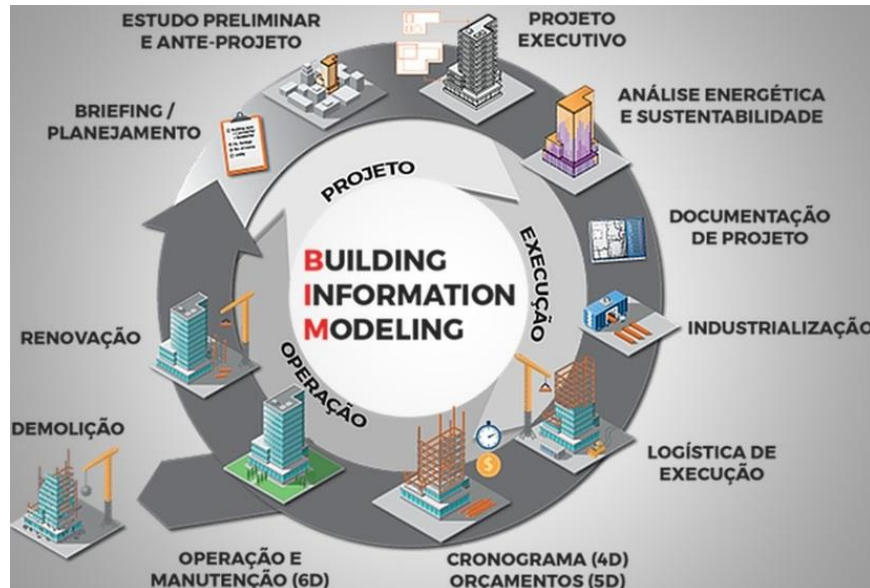
BIM (*Building Information Modeling*) são softwares de bases de dados, em formato digital, de todos os aspectos a considerar na edificação de um projeto, permitindo a criação de um modelo visual 3D e facilitando a visualização do resultado final do projeto em estudo (MARTINS *et al.* 2013, p4).

Ferraz e Moraes (2012) apontam que o BIM representa o processo que inclui a geração e gestão de representações digitais de características físicas e funcionais de um edifício, que vai além do projeto ou término da construção. Em resumo, a tecnologia BIM traz além da representação gráfica (desenho), um número considerável de informações, importantes para o gerenciamento de projetos.

De acordo com a Figura 2.1 pode-se perceber que a metodologia BIM abrange as fases de projeto, execução e operação de um empreendimento, sendo possível acompanhar todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento, compreendendo desde sua concepção e estudo da viabilidade do projeto com o estudo preliminar até seu projeto executivo, onde já se é possível gerar o orçamento do empreendimento e o planejamento, para que então entre na fase de execução compreendendo os

procedimentos de logísticas de execução, planejamento e controle. Como também a fase de operação que compreende o uso do empreendimento e sua manutenção ao longo do tempo podendo chegar na fase de demolição ou renovação.

**Figura 2.1 - BIM e o Ciclo de Vida do Empreendimento**



Fonte: Martini (2018)

Para Rodriguez (2005), a necessidade de coordenar e compatibilizar projetos deriva da perda de elos entre os participantes gerando altos índices de desperdício. Para Crespo e Ruschel (2007) os motivos que justificam a compatibilização são:

- Especialização cada vez maior das diferentes áreas de projetos;
- Conformação de equipes de projeto localizadas em diferentes localidades;
- Número crescente de soluções tecnológicas sendo agregadas nos empreendimentos.

De acordo com Crespo e Ruschel (2007), a coordenação das informações do modelo BIM é assegurada por um repositório de informações padronizadas de desenhos da construção que contém informações embutidas. Ainda segundo os autores, essas informações vão sendo acrescentadas pelos diversos participantes do empreendimento, garantindo a qualidade e a integridade do modelo. Em um projeto em BIM é possível que as mudanças e as visões dos projetos complementares sejam atualizadas automaticamente em um modelo desenvolvido por diversos participantes, o que facilita a comunicação dos envolvidos no produto facilitando a compatibilização de projetos.

### 2.1.1 Dimensões BIM

Os modelos elaborados em CAD (*Computer Aided Design*) podem apresentar até, no máximo, três dimensões, já os modelos em BIM segundo Martins *et al.* (2013), apresentam o que é chamado de “nD” (diversas dimensões ou camadas de informação) o qual incorpora vários aspectos de informação solicitada em cada estágio da construção de um empreendimento e vai além das três dimensões do espaço euclidiano. Segundo Crespo e Rushel (2007) nos modelos BIM os componentes do edifício são objetos digitais codificados que descrevem e representam os componentes do edifício da vida real. Como exemplo, um objeto parede é um objeto com propriedades de paredes e age como uma. Isto quer dizer que este objeto é representado por dimensões como comprimento, largura e altura como também possui seus atributos parametrizáveis como materiais, finalidade, especificações, fabricante e preço. Nesse sentido, os elementos 'D' do BIM estão relacionados às informações associadas ao modelo (CALVERT, 2013).

**Figura 2.2 – Dimensões do BIM, do 3D ao 10D**



Fonte: Darós (2019)

A Figura 2.2 apresenta as dimensões do BIM do 3D ao 10D, onde cada dimensão é relacionada informações associadas ao modelo. Alguns autores como Kamardeen (2010) e Calvert (2013) consideram que as dimensões mais importantes do BIM são o 3D, 4D, 5D, 6D, 7D e 8D. Hassan (2017) e Darós (2019) discutem também as dimensões 9D e 10D. Segundo os autores supracitados as dimensões do BIM apresentadas na Figura 2.2 podem ser descritas a seguinte forma:

- a) 3D – dimensão espacial ao plano, ou seja, três dimensões de representação onde é possível visualizar os objetivos dinamicamente. Um modelo 3D pode

ser utilizado na visualização em perspectiva, como também na pré-fabricação de peças;

- b) 4D – refere-se a informações de programação e apresenta a dimensão de tempo ao modelo. Permite a simulação das fases do projeto, o acompanhamento do planejamento, do monitoramento da entrega de equipamentos e materiais além de que pode ser utilizado para definir em qual momento deve-se comprar alguns equipamentos. Isso melhora consideravelmente a disposição de materiais em canteiros de obras;
- c) 5D – refere-se aos aspectos de estimativa e custo do edifício utilizada para se elaborar orçamento, traz a dimensão de custo, essa dimensão tem a capacidade de determinar os custos, além da alocação de recursos em cada fase do projeto;
- d) 6D – abrange as metas de sustentabilidade de um edifício, dessa forma a nova dimensão abordada é a energia, nessa dimensão é capaz de quantificar a energia utilizada na construção. A energia está conectada diretamente à impacto do projeto ao meio ao qual irá se inserir permitindo que informações como uso de energia, sustentabilidade do ponto de vista de materiais e gerenciamento sejam compreendidas;
- e) 7D – a dimensão aqui adicionada é o *facilities management*, traduzido como gestão das instalações. Devido ao banco de informações dos elementos da construção no modelo como garantias, manuais de manutenção e operação, além de especificações. Essas informações são fundamentais para funcionamento do modelo contendo subsídios para procedimentos de o uso, operação e manutenção das edificações;
- f) 8D – utilizada para adicionar a segurança ao modelo, aqui possíveis riscos são previstos e analisados ainda no modelo para prevenir acidentes no processo construtivo e/ou operacional da edificação;
- g) 9D – essa metodologia de trabalho é utilizada para a conclusão efetiva do processo BIM como parte da estrutura de produção no setor de construção e o uso da digitalização. O foco dessa técnica no setor visa minimizar o desperdício e agregar valor ao produto final, sem diminuir a produtividade nos canteiros de obras, tendo em vista princípios como: reduzir atividades que não agregam valor, aumentar o valor do produto de acordo com as

necessidades dos clientes, reduzir a variabilidade e aumentar a transparência dos processos;

- h) 10D – utilizada para industrializar a construção, integra dados físicos, ambientais, comerciais e funcionais a cada um de seus componentes, peças e sistemas, com o objetivo de busca por uma melhoria na produtividade de cada fase do ciclo de vida da construção. Tanto na etapa de projeto, quanto na implementação e gerenciamento da infraestrutura ou equipamentos.

### 2.1.2 Interoperabilidade e Modelagem Paramétrica

De acordo com Santos (2018), existem dois conceitos importantes relacionados ao entendimento do BIM, são eles: Modelagem paramétrica e Interoperabilidade. Segundo Eastman *et al.* (2011), o primeiro refere-se ao tipo de modelagem onde os componentes do edifício digitais codificados são representados por parâmetros e regras que determinam a geometria, propriedades e recursos não-geométricos. Já o segundo pode ser entendido como a capacidade de troca de dados entre aplicativos, melhorando os fluxos de trabalho e, às vezes, facilitando sua automação.

A modelagem paramétrica permite testar diferentes configurações sem recomeçar do início, pois pode-se alterar os parâmetros no modelo paramétrico para procurar diferentes alternativas de soluções para um problema em questão. A partir dessas alterações, o modelo paramétrico responde às mudanças adaptando ou reconfigurando os novos valores dos parâmetros sem a necessidade de apagar ou redesenhar componentes (HERNANDEZ, 2006; FLORIO, 2009).

A interoperabilidade, segundo Eastman *et al.* (2011), representa a necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que múltiplos tipos de especialistas e aplicações contribuam para o trabalho em questão. Dessa forma, ela se baseia no intercâmbio de formatos de arquivos, ou seja, para que haja a colaboração dos envolvidos no processo.

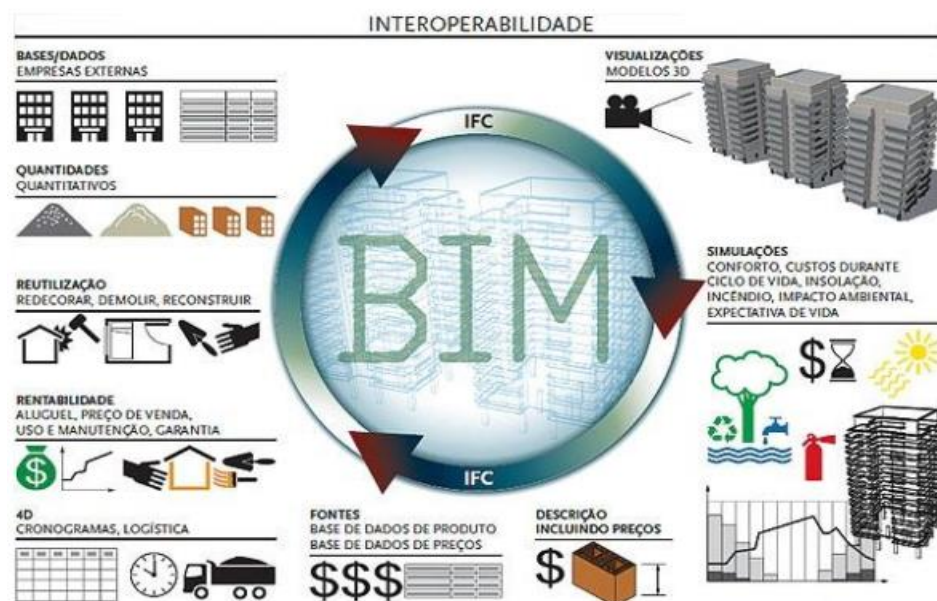
Kalay (1998) conceitua a colaboração como um acordo entre os envolvidos para compartilhar suas habilidades em processos e atingindo os objetivos de todo o projeto.

Leicht, Messner e Anumba (2009) descrevem que há três elementos que definem colaboração:

- Ser um processo;
- Envolve a relação entre mais de duas pessoas;
- Trabalho em conjunto para alcançar um objetivo comum.

Para que os sistemas sejam colaborativos, é necessário que se dê a liberdade para o projetista utilizar o software que desejar. Para isso surgiu o IFC (*Industry Foundation Classes*), que é um formato trazido por vários softwares BIM, que se comunicam entre si (BATISTA, 2017). Por iniciativa da *International Alliance of Interoperability* (IAI) foi desenvolvido um padrão aberto para captura e troca de informações comuns de estruturas de dados chamado IFC. O padrão IFC tornou possível compartilhar e exportar informações de construção entre diferentes IFCs compatíveis com aplicações BIM (HALLBERG e TARANDI, 2011). O que possibilita que vários profissionais da construção civil, trabalhem no mesmo modelo, ainda que utilizem softwares diferente (LACERDA, 2016).

Figura 2.3 - Fluxograma BIM



Fonte: ROSSO, 2011 *apud* LACERDA (2016)

De acordo com a Figura 2.3 percebe-se que o fluxo e os processos expressos em um modelo IFC é capaz de promover a junção entre disciplinas e profissionais. O que torna um dos principais pontos para alcançar o sucesso de um projeto que se baseia no modelo BIM, englobando o modelo IFC como um só e não apenas como processos isolados, ou seja, que se comunicam entre si.

### 2.1.3 Softwares BIM

Batista (2017), afirma que a plataforma BIM é muito ampla, por essa razão abrange um número considerável de softwares, geralmente divididos pelas disciplinas às quais abrange. Alguns softwares podem ser divididos pelas disciplinas às quais eles têm como principal função ou por diversas disciplinas ao mesmo tempo ajudando projetistas a construir, mantendo a maior qualidade e maior eficiência energética dos edifícios (MARTINS *et al.* 2013).

Alguns softwares utilizados atualmente no processo BIM são apresentados por Catelani (2016) definidos por três categorias, a pré-obra, obra e pós obra.

Em relação a pré-obra compreende as fases que antecedem a realização da obra como: desenvolvimento de modelos e visualização; coordenação e verificação de códigos; simulação; quantificação; orçamento; planejamento 4D, detalhamento, entre outros.

O segundo grupo de softwares apresentados por Catelani (2016) apresentam soluções para as fases que acontecem durante a obra como: fabricação, layout e verificação, execução no campo, administração da construção, e comissionamento e entrega.

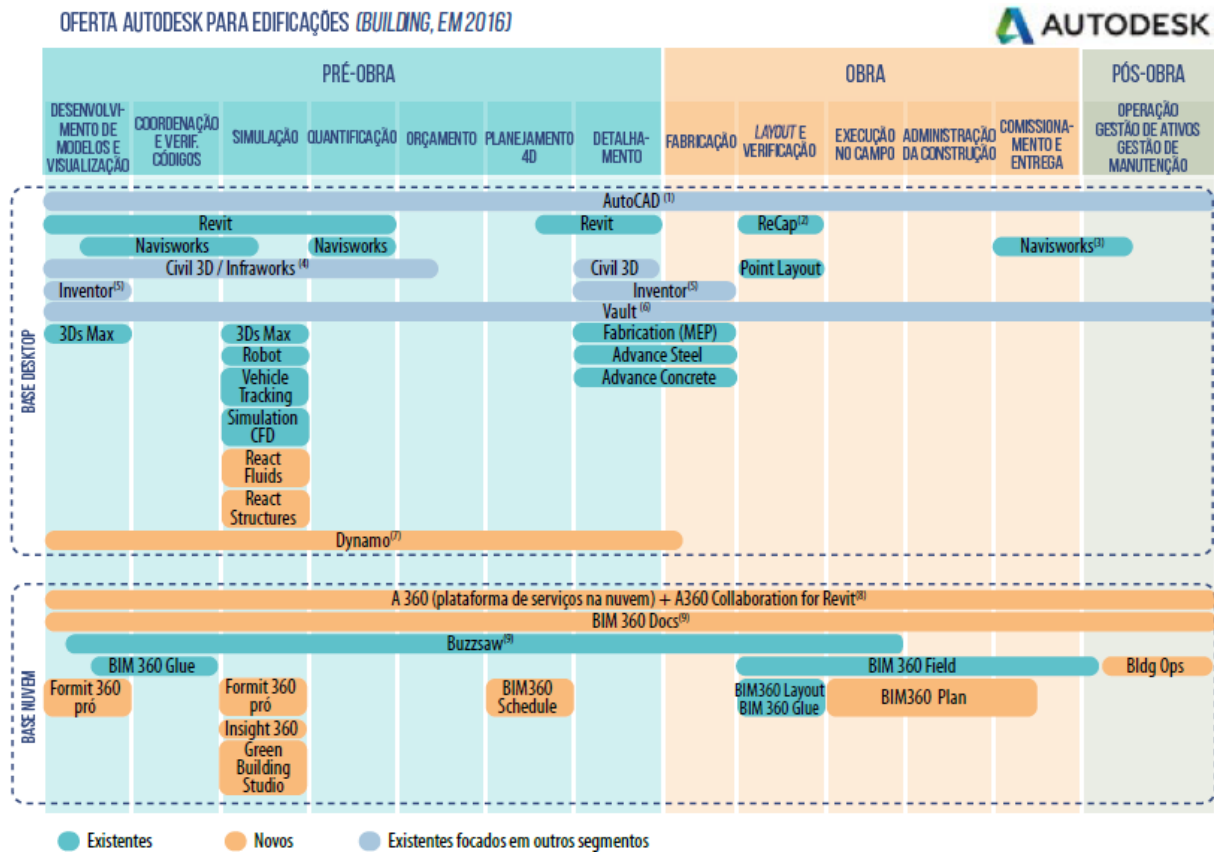
A etapa de pós-obra é apresentada por Catelani (2016) com as fases de operação, gestão de ativos e gestão de manutenção.

Para cada fase descrita, o autor supracitado filtrou em seu trabalho os softwares de empresas desenvolvedoras, destacando suas funções correspondentes para cada fase.

#### 2.1.3.1 Autodesk

A *AutoDesk* é uma empresa de softwares de design e de conteúdo digital. Foi fundada por John Walker e 12 outros cofundadores em 1982 e desde a introdução do software AutoCAD em 1982, a solução mais utilizada na indústria da construção civil para desenhos 2D, a *Autodesk* continua a desenvolver um portfólio de software 3D para os mercados globais. Seus produtos são mais especificamente direcionados para uso em fluxos de trabalho BIM no segmento de edificações.

Figura 2.4 - Softwares BIM Autodesk



- (1) Autocad considerado como ferramenta de suporte, e não como uma solução BIM propriamente dita.
- (2) Recap também pode ser usado no início, para captura de realidade (informações p/ o desenvolvimento).
- (3) Navisworks pode fazer simulações de segurança e integra-se com Field (marcação de *status* e equipamentos).
- (4) Produtos focados em infraestrutura que podem realizar tarefas específicas para edificações.
- (5) Inventor é voltado p/ manufatura, mas pode ser usado pontualmente (montagens específicas e equipamentos).
- (6) Vault é uma ferramenta de Data Management que pode ser utilizada mais amplamente.
- (7) Dynamo é ferramenta de programação visual e projeto generativo que pode suportar todo o desenvolvimento de projetos.
- (8) Colaboração para Revit é um produto de suporte que pode ser utilizado muito amplamente.
- (9) BIM 360 Docs e Buzzsaw são ferramentas de Data Management que podem ser utilizadas mais amplamente.

Fonte: Catelani (2016)

De acordo com Figura 2.4, são apresentados alguns softwares BIM existentes e novos até o ano de 2016, como também softwares focados em outros segmentos que não necessariamente fazem parte da plataforma BIM. Para o mercado de edificações pode-se destacar alguns softwares da Autodesk:

- *Autodesk AutoCAD*: o software é baseado em CAD (desenho auxiliado por computador), utilizado principalmente para elaboração de desenhos técnicos 2D, mas conta com ferramentas de modelagem livre 3D e ferramentas de parametria. O programa tem um campo enorme de abrangência e atualmente é um produto líder de mercado;
- *Autodesk Revit*: solução desenvolvida especificamente para BIM, que permite o desenvolvimento de modelos com recursos para modelagem

(arquitetônica, estrutural, sistemas prediais), anotação, documentação (layout e impressão), levantamento de quantitativos, geração de legendas e tabelas, geração de câmeras e renderizações e geração de passeios interativos;

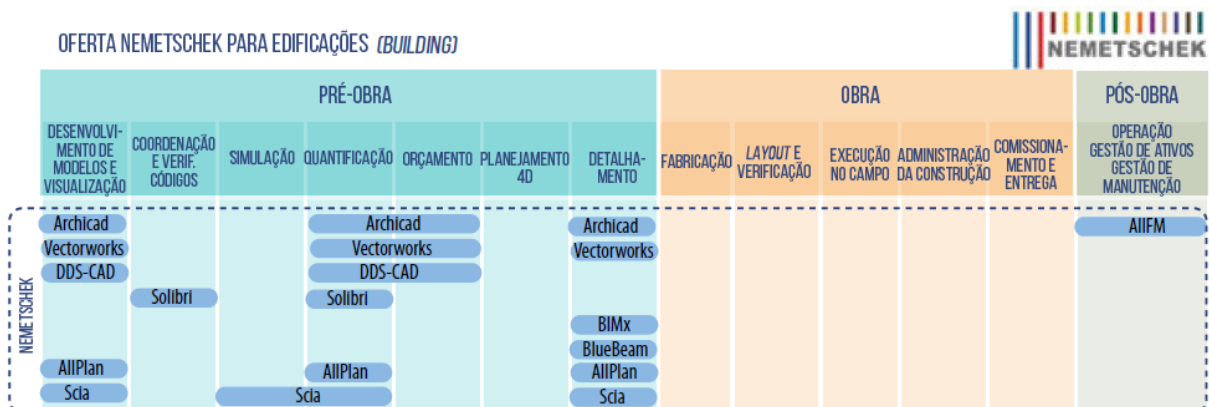
- *Autodesk Navisworks Manage*: permite que profissionais de arquitetura, engenharia e construção possam rever de forma holística os modelos e dados integrados com os interessados para obter um melhor controle sobre os resultados do projeto, checando interferências, simulando a construção e o canteiro de obras, extraindo quantitativos, criando o sequenciamento para abobra (4D), trazendo, assim, maior confiabilidade e previsibilidade aos acontecimentos que podem inviabilizar ou atrasar cronogramas de obras.

### 2.1.3.2 Nemetschek Group

O *Nemetschek Group* foi fundado em 1963 por *Georg Nemetschek*, onde adquiriu o *Vectorworks* no ano 2000; a *Graphisoft (Archicad)* e o *Scia* em 2006; a *Data Design System (DDS-CAD)* em 2013; o *BlueBeam* em 2014; e o *Solibri* em 2015. Atualmente o *Nemetschek Group* trabalham com 16 marcas que fornecem soluções de software e projetos de infraestrutura.

Na Figura 2.5 mostra os softwares BIM do *Nemetschek Group*, sendo que o *Archicad* foi um dos primeiros softwares BIM desenvolvidos em 1984 pela *Graphisoft*, empresa Húngara sediada em Budapest, adquirida em 2006 pelo *Nemetschek Group*.

**Figura 2.5 - Softwares Bim do Nemetschek Group**



Fonte: Catelani (2016)

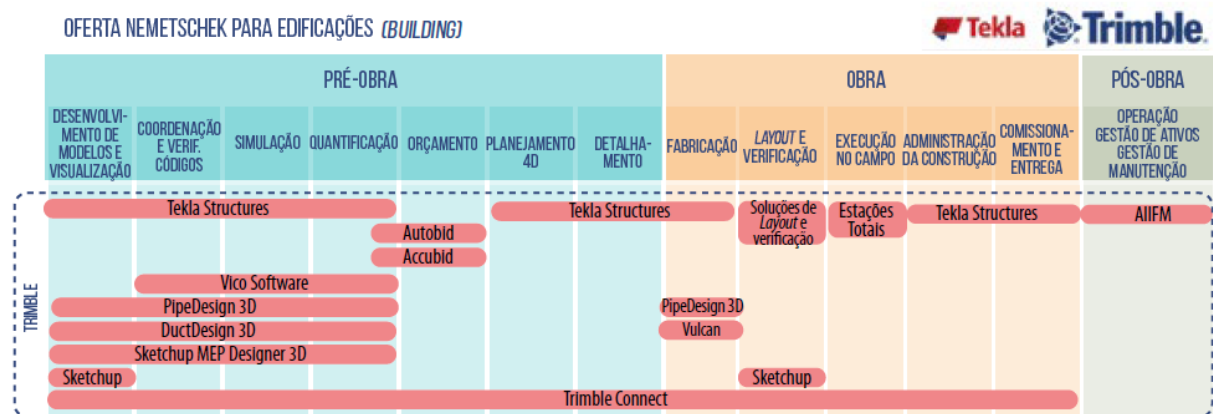
### 2.1.3.3 Trimble

A *Trimble* é um conglomerado norte-americano fundada em 1978, com sede em Sunnyvale, na Califórnia. Atua nos setores da agricultura, construção civil, transporte, telecomunicações, mapeamentos, dentre outros.

O grupo tem um impressionante histórico de aquisições de empresas. Dentre as mais recentes relacionadas diretamente à plataforma BIM, estão: *Tekla*, *StruCad*, *Plancal*, *Sketchup* e *Vico Software* (2012), *Manhatan* e *Gehry Technologies* (2014).

Na Figura 2.6 é apresentado os principais produtos que compõem a oferta da *Trimble* para o mercado de edificações.

**Figura 2.6 - Softwares BIM do grupo Trimble**



Fonte: Catelani (2016)

Para o mercado de edificações pode-se destacar alguns softwares do grupo Trimble como:

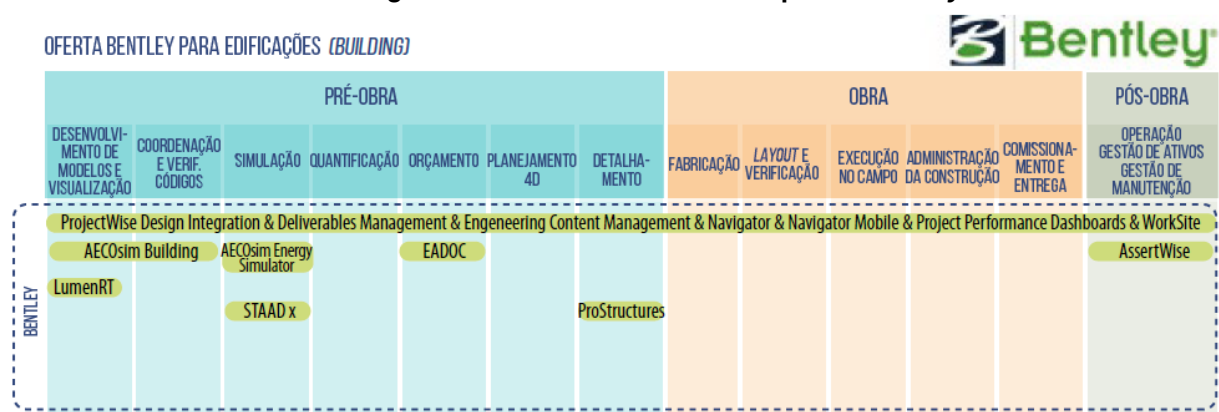
- *Sketchup*: é uma ferramenta de modelagem 3D de rápido aprendizado. É utilizado na fase preliminar e volumétrico de projetos devido sua abordagem dinâmica de criação e comunicação, tendo enorme gama de plug-ins e ferramentas adicionais que podem ser incorporadas ao software;
- *Tekla Structures*: permite modelagem precisa e construtiva de qualquer estrutura, além de gerenciamento e fabricação independentemente do tamanho ou do material.

### 2.1.3.4 Blentley

A *Blentley* é uma empresa norte-americana fundada em 1984, que fornece softwares para arquitetos, engenheiros, profissionais que atuam na área geoespacial, construtores e proprietários-investidores.

Na Figura 2.7 é apresentado os principais produtos que compõem a oferta da *Blentley* para o mercado de edificações.

**Figura 2.7 - Softwares BIM da empresa *Blentley***



Fonte: Catelani (2016)

### 2.1.3.5 Demais softwares

Existem diversas soluções que compõem produtos da plataforma BIM para o segmento de edificações. A Figura 2.8 apresenta alguns softwares BIM com especialidades diversas e muito utilizados por todo o mundo como o TQS, *Synchro*, *Sofistik*, IBM, *Archibus* entre outros.

**Figura 2.8 - Softwares BIM Diversos**



Fonte: Catelani (2016)

Além dos mais difundidos softwares BIM do mercado da construção, segundo Batista (2017), o software *Ms Project* da empresa *Microsoft* sendo o mais utilizado para o planejamento, criação de cronogramas e gráficos, sendo possível planejar, acompanhar as atividades e demais variáveis para a execução de um projeto como custo, tempo e recursos, pode ser utilizado em conjunto com softwares BIM como o software *Navisworks*, que tem alta capacidade para organizar graficamente as informações contidas em modelos 3D, unindo às informações de cronograma contidos no software *Ms Project* (BARRA et al. 2013; SANTOS, 2014; BATISTA, 2017).

## 2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Ackoff (1976) define planejamento como um processo de tomada de decisão, realizado antecipadamente à ação e que se empenha em projetar um futuro desejado e formas eficazes de realizá-lo. Para Costa (2015), planejar é estudar e prever todo o percurso existente para se chegar a um determinado objetivo. Segundo Mattos (2010), planejar é pensar, aplicar, controlar e corrigir em tempo. De modo geral, planejar é buscar conhecer todos os aspectos que diretamente e indiretamente influenciam no andamento de um processo e identificar com antecedência as etapas necessárias e essências para a conclusão desse processo.

Mattos (2010) destaca a importância do planejamento pois esse é um dos principais aspectos do gerenciamento e lista alguns benefícios do planejamento voltados ao gerenciamento de obra, sendo estes:

- a) Conhecimento pleno da obra – A elaboração do planejamento impõe ao profissional o estudo dos projetos, a análise do método construtivo e identificação das produtividades;
- b) Detecção de situações desfavoráveis – Anteceder indícios de desconformidades permite tomar medidas preventivas e corretivas minimizando os impactos no custo e prazo;
- c) Agilidade de decisões – Com uma visão real da obra através do planejamento e controle as decisões gerenciais como exemplo mobilizações de equipamentos, terceirização de serviços, redirecionamento de equipes possuem uma base confiável;

- d) Otimização da alocação de recurso – Por meio da análise do planejamento é possível nivelar recursos, protelar a alocação de equipamentos, como também até quando uma despesa pode ser adiada sem atrasar a obra;
- e) Padronização – A falta de planejamento e controle gera desentendimento frequentes, porque o engenheiro tem uma obra na cabeça, o mestre outra, e o fiscal ainda outra;
- f) Referência para metas – Programas de metas e bônus por cumprimento de prazo podem ser facilmente instituídos porque há um planejamento referencial bem construído;
- g) Documentação e rastreabilidade – Ao gerar registros escritos e periódicos, o planejamento e o controle da obra serão úteis para resolução de pendências, resgate de informações entre outros benefícios;
- h) Profissionalismo – O planejamento transmite seriedade e comprometimento à obra e à empresa, causando boa impressão, inspira confiança nos clientes e ajuda a fechar negócios.

Por meio do planejamento o gestor pode definir as prioridades, estabelecer a sequência de execução, compara alternativas de ataque, monitorar atrasos e desvios, entre outros benefícios (MATTOS, 2010).

De acordo com Laufer e Tucker (1987) *apud* Moura (2008), o processo de controle visa a assegurar que o curso da ação seja mantido e que as metas sejam alcançadas, envolvendo a medição e a avaliação do desempenho, juntamente com a realização de ações corretivas, quando o desempenho é considerado inadequado. Nesse sentido, o controle se dá através da comparação de uma situação real em relação a um padrão de desempenho pré-estabelecido (ACKOFF, 1976).

### 2.2.1 Tipos de Planejamento

Para Santos (2018), é imprescindível que o gerente conheça os níveis de planejamento e suas áreas de atuação que podem ser de curto, médio e longo prazo, além de envolver setores da empresa, desde divisões ou departamentos até a empresa como um todo.

Assumpção (1990) destaca três níveis de planejamento que caracterizam os níveis de decisões, que são:

- Planejamento estratégico: subsidia decisões que afetam diretamente a empresa;
- Planejamento tático: subsidia decisões para escolha de alternativas e formas de implementação;
- Planejamento operacional: subsidia decisões que envolvem estratégias de produção como prazos, custos e manipulação de recursos.

A Figura 2.9 apresenta de forma simplificada os níveis de planejamento e algumas de suas áreas de atuação, como o nível estratégico representado pela alta administração, o nível tático representado pelos gerentes e nível operacional representados pelos supervisores.

**Figura 2.9 - Níveis de planejamento e algumas de suas áreas de atuação**



Fonte: Paula (2015)

De acordo com Ackoff (1976), O planejamento estratégico, abrange o escopo da empresa, e não do empreendimento, tendo um caráter de longo prazo, orientado para os objetivos da organização.

Enquanto que o planejamento tático se destina a escolher os meios pelo quais se tenta atingir os objetivos especificados, sendo que esses são ditados pelos níveis hierarquicamente mais altos na empresa (ACKOFF, 1976).

No nível operacional que são definidas com maior precisão as tarefas a serem executadas, de que maneira, por quem são os prazos (ACKOFF, 1976). O planejamento operacional engloba tanto as funções da programação como as de controle, ora gerando informações da forma planos e programa, ora aferido, avaliando e comparando os resultados (ASSUMPÇÃO, 1990).

Segundo Assumpção (1990), planejamento estratégico, tático e operacional subsidia, respectivamente, decisões que afetam diretamente a empresa, decisões para escolha de alternativas e formas de implementação, decisões que envolvem estratégias de produção.

### 2.2.2 Técnicas de Planejamento e Programação

De acordo com Assumpção (1990), dois conceitos básicos essenciais voltados para planejamento e programação são os de modelo e simulação. Sendo que, estes, possuem a função de simular os cenários das diversas etapas da construção do empreendimento, trazendo os diversos comportamentos possíveis considerando os recursos, investimentos e prazos.

#### 2.2.2.1 Modelo

Para Assumpção (1990), a definição de modelo é a representação de uma situação real, podendo esta ser analisada o seu comportamento como se estivesse efetivamente ocorrendo. Ou seja, por meio de uma simulação onde podem ser feitas análises e previsões que auxiliam no processo de tomada de decisão.

No processo de desenvolvimento de um modelo são consideradas as características intrínsecas ao projeto real, podendo este ser representado por um elemento físico como por um processo, de forma que possibilite a avaliação de estimativas de prazos, utilização de recursos, bem como custos. O modelo torna possível uma visão do processo de desenvolvimento, que serve como mapa de auxílio às decisões (ASSUMPÇÃO, 1990; ROZENFELD *et al.* 2006).

Os custos de uma obra normalmente são considerados como custos diretos e indiretos. Os custos diretos são todos aqueles referentes aos insumos da obra, como, por exemplo, os custos de materiais, equipamentos, mão-de-obra e encargos sociais,

e os custos indiretos são considerados aqueles referentes à administração, ao financiamento e aos impostos (GOLDMAN, 1997; DIAS, 2003; LIMMER, 2015).

De acordo com Rozenfeld *et al.* (2006) construir um modelo serve de contribuição para tanto para a estimativa de custos quanto para a previsão e resolução de problemas futuros, pois quando se tem um modelo é possível prever como será o comportamento futuro para algum sistema, e o processo de prever esse comportamento tem o nome de simulação.

Para Assumpção (1990) através de um modelo físico (um protótipo) de uma casa, é possível estimar custos, prazos e recursos além de contribuir no entendimento do processo construtivo e resolução de problemas tecnológicos.

Enquanto que um modelo conceitual pode ser representado por uma rede, fluxograma, modelos estatísticos ou matemáticos, que tem capacidade de apresentar aproximações de orçamentos, cronogramas, histogramas dentre outros (ASSUMPÇÃO, 1990).

Na programação de obras é mais frequente a utilização de modelos conceituais, pelo grande número de variáveis e de situações simuladas além de serem mais econômicos que os modelos físicos (ASSUMPÇÃO, 1990).

#### 2.2.2.2 Simulação

Para Sakurada e Miyake (2009), simulação é uma técnica para projeto e avaliação de sistemas e suas aplicações têm crescido em todas as áreas, auxiliando gestores na tomada de decisão em problemas complexos, possibilitando um melhor conhecimento dos processos das organizações.

Os modelos utilizados em programação de obras podem focar um único elemento para análise (somente custos por exemplo) ou serem mais completos enfocando custos, prazos e recursos (ASSUMPÇÃO, 1990). A simulação permite utilizar os modelos associados a técnicas matemáticas ou computacionais, que possibilitam a previsão de resultados a serem obtidos em casos reais (FREITAS FILHO, 2008).

Segundo ASSUMPÇÃO (1990), através de simulações é possível obter a situação em que os recursos estejam nivelados, reduzindo-se a ociosidade de mão de obra e equipamentos.

Morabito e Pureza (2010), definem simulação como sendo uma importante ferramenta de planejamento que procura emular, por meio de relações lógicas, o funcionamento de sistemas reais, a fim de observar seu comportamento sob diferentes cenários.

### 2.2.3 Técnicas para Programação de Tempo e Recursos

Limmer (2015) aponta que o tempo de duração de um projeto é um dos elementos fundamentais do seu planejamento. Por essa razão, programar o tempo é essencial para o desenvolvimento e execução de uma obra com eficiência. Além dos prazos, os recursos também devem ser bem organizados e planejados, isso porque esses são limitados. Para o planejamento de tempo há algumas técnicas que podem ser utilizadas.

#### 2.2.3.1 Rede PERT/CPM

Segundo Assumpção (1990), rede é a representação gráfica de um conjunto de atividades interrelacionadas que descrevem um plano de execução. Ainda segundo o autor, as técnicas de redes de precedência para programação de obras vêm sendo utilizadas com o advento das técnicas PERT e CPM.

As técnicas PERT e CPM foram criadas a partir da análise de que para adiantar as atividades de um planejamento basta acelerar uma “cadeia principal” sem influenciar no aumento de custo excessivo. (LIMMER, 2015; COSTA, 2015). De acordo com os autores supracitados essas técnicas são baseadas em redes, que servem para planejar e visualizar a coordenação das atividades do projeto.

De acordo com Limmer (2015) a técnica PERT é probabilística, já a técnica CPM é determinística, porém são distintas apenas pela forma com que são encaradas as avaliações das durações das atividades. No CPM as determinações são feitas embasadas em experiências anteriores. Enquanto que o método PERT as durações das atividades são tratadas como variáveis aleatórias com distribuição de probabilidade (CARDOSO, 2011; LIMMER, 2015).

As siglas PERT/CPM tiveram origem em 1957, através dos matemáticos Morgan Walker e James Kelley, que se puseram a investigar uma maneira de entender melhor a correlação tempo-custo para os projetos de engenharia. Eles batizaram de

“cadeia principal” o que hoje é conhecido em diversas literaturas como caminho crítico (MATTOS, 2010).

#### 2.2.3.2 Caminho crítico

O Caminho Crítico é aquele que cuja soma dos tempos é a mais longa. A partir da análise do caminho crítico é possível se verificar a duração total do projeto, bem como as folgas das tarefas que não são críticas, ou seja, que não controlam a duração do projeto (WEBER *et al.* 2008; MATTOS, 2010; LIMMER, 2015).

Convencionou-se chamar de caminho crítico, a sequência de atividades que do ponto de vista do tempo comanda a duração do projeto. Por essa razão, atrasar a execução de qualquer atividade que pertence ao caminho crítico, implica no atraso no prazo para o término do projeto (MATTOS, 2010; LIMMER, 2015).

O Caminho Crítico tem como função conseguir identificar as atividades de maior importância na execução do projeto, ou seja, aquelas que não podem sofrer atrasos. Assim, permitindo um controle mais eficaz das tarefas, porque a partir disso pode-se priorizar e dar mais atenção às atividades críticas. Além disso, permite o estabelecimento das primeiras datas de início e de término das atividades (WEBER *et al.* 2008).

#### 2.2.4 Método para Representação Gráfica da Rede

Uma das vantagens de representar a lógica do projeto sob a forma de um diagrama de rede, é que a leitura e o manuseio da rede ficam mais simples e fáceis de entender (MATTOS, 2010). Ainda segundo o autor, diagrama de rede tem por definição a representação gráfica das atividades considerando as relações de dependências entre elas. Ou seja, as atividades são sequenciadas e unidas, o que gera um diagrama que pode ser uma malha de flechas ou blocos.

Alguns autores como Assumpção (1990), Maldonado e Nakagawa (2002), Mattos (2010) e Limmer (2015) definem alguns conceitos importantes para a criação dos diagramas de redes, sendo estes listados abaixo:

- Atividade – tarefa a ser executada;
- Nome da atividade – exprimem de forma sintética o que representa a atividade;

- Descrição da atividade – descrição detalhada da atividade, indicando se possível o processo de trabalho empregado para sua execução;
- Duração da atividade – duração estimada para execução da atividade;
- Evento - São pontos de controle do plano. Representam o início e o fim da atividade e mostram a vinculação entre o fim de uma atividade e o início da outra;
- Atividade sucessora – atividade que sucede uma atividade dentro da rede;
- Atividade predecessora – atividade que antecede uma dada atividade dentro da rede;
- Sub-redes ou subprojetos – são partes da programação de um projeto maior;
- Atrasos ou esperas da rede “lag de atividade” – são meios artificiais de amarrar o início ou o final de atividades, servindo para o controle de fluxos na rede;
- Atrasos ou esperas na atividade “lag de recurso” – são meios de se amarrar o início ou o final da participação de um recurso dentro da atividade rede deve iniciar de um evento único;
- Primeira Data de Início (PDI) – data na qual uma atividade poderá ser iniciada, cumpridas todas as atividades que lhe sejam antecessoras;
- Primeira Data de Término (PDT) – consiste da data de término de uma atividade iniciada no PDI, e cuja a duração prevista tenha sido atendida, ou seja,  $PDT = PDI + DURAÇÃO$ ;
- Última Data de Início (UDI) – consiste da data limite na qual uma atividade tem que ser iniciada para poder terminar na sua UDT, ou seja,  $UDI = UDT - DURAÇÃO$ ;
- Última Data de Término (UDT) – consiste da data limite na qual uma atividade tem que ser concluída a fim de não atrasar o início das atividades que a sucedem;
- Tempo Disponível (TD) – diferença entre PDI e UDT de uma determinada atividade;
- Folga Total (FT) – soma da folga livre de uma atividade com a menor entre as folgas livres das atividades que lhe sejam imediatamente sucessoras, sendo  $FT = UDT - (PDI + DURAÇÃO)$ ;

- Folga Livre (FL) – tempo permitido para atraso de uma atividade do cronograma sem atrasar o início mais cedo de qualquer uma das atividades sucessoras;
- Dependência – relação entre as atividades contíguas;
- Atividades em Série – quando as atividades são postas de forma que o início de uma dependa da conclusão de outra, diz-se que elas são realizadas em série;
- Atividades em Paralelo – quando mais de uma atividade podem ocorrer simultaneamente, diz-se que estão em paralelo;
- Atividade Fantasma – também conhecida como fictícia, muda ou virtual estas atividades surgem para resolver problemas de numeração ou de lógica. Não se trata de algo que precise ser realizado no projeto, a ela não é atribuído nem tempo nem recurso.

Esses conceitos são necessários para ser montada uma rede PERT/CPM, que pode ser elaborada pelo Método do Diagrama de Flechas (ADM – *Arrow Diagramming Method*) ou pelo Método do Diagrama de Precedência (PDM – *Precedence Diagramming Method*) que serão descritos a seguir.

De acordo com Assumpção (1990), a programação através de redes possibilita a obtenção de duas situações extremas de programação a partir das quais pode-se estabelecer uma sistemática para controle global da obra, sendo elas:

- a) Programação ASAP – *As Soon As Possible* (Tão cedo quando possível), quando as atividades são previstas para serem iniciadas em suas datas mais cedo (PDI);
- b) Programação ALAP – *As Late As Possible* (Tão tarde quando possível), quando as atividades são previstas para serem executadas em suas datas mais tardes (UDI).

#### 2.2.4.1 Método do diagrama de flechas

As redes feitas pelo Método ADM iniciam-se por um evento início do projeto e terminam com um evento fim do projeto, sendo que todas as atividades possuem seu próprio evento início e seu evento fim, ou seja, dois eventos caracterizam uma única atividade (MATTOS, 2010; CARDOSO, 2011; LIMMER, 2015). Sendo que, esse

método usa flechas para representar as atividades e nós para identificar as relações de dependência das atividades.

Para elaborar a rede PERT/CPM pelo Método ADM é necessário o preenchimento de uma tabela utilizando os conceitos supracitados do item 2.2.4 sobre método para representação gráfica da rede. Matias (2017) em seu trabalho exemplifica uma rede PERT/CPM como mostra a Tabela 2.1, montada pelo Método ADM como mostra a Figura 2.10.

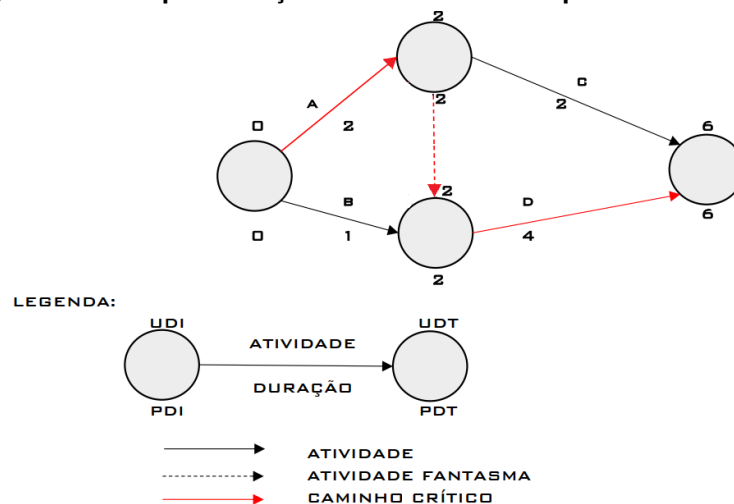
**Tabela 2.1 - Modelo de uma Rede PERT/CPM**

| Atividade | Predecessora | Duração | PDI | PDT | UDI | UDT | FT | FL | CC |
|-----------|--------------|---------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| A         | -            | 2       | 0   | 2   | 0   | 2   | 0  | 0  | X  |
| B         | -            | 1       | 0   | 1   | 1   | 2   | 1  | 1  |    |
| C         | A            | 2       | 2   | 4   | 4   | 6   | 2  | 2  |    |
| D         | A, B         | 4       | 2   | 6   | 2   | 6   | 0  | 0  | X  |

Fonte: adaptado de Matias (2017)

A Tabela 2.1 mostra como descrito no tópico 2.2.4 os cálculos e a lógica para o preenchimento da mesma. De acordo com a Figura 2.10 em sua legenda mostra de forma clara o PDI (Primeiro Dia de Início) que representa a data mais cedo de iniciar a atividade, que, somando o PDI com a duração chega-se ao PDT (Primeiro Dia de Término), considerando nos cálculos a data de início da rede como 0.

**Figura 2.10 - Representação de uma Rede feita pelo Método ADM**



Fonte: Matias (2017)

No Método ADM, cada atividade corresponde um evento início e evento fim e mais de uma atividade pode ter o mesmo evento início como também mais de uma atividade pode ter o mesmo evento fim, porém não é permitido ter duas atividades no mesmo evento início e evento fim, o que nesse caso para resolver é utilizado uma atividade fantasma, com o objetivo apenas para manter a lógica na rede como mostrado na Figura 2.10, elaborada a partir da Tabela 2.1 (CARDOSO, 2011; LIMMER, 2015).

De acordo com Mattos (2010), é necessário um diagrama de flechas satisfazer as seguintes condições:

- O evento inicial do diagrama é único;
- Cada nó (evento) representa uma relação entre todas as atividades que entram e que saem;
- O início de uma atividade só pode ocorrer quando todas as atividades que chegam a seu evento inicial tiverem sido concluídas;
- Todas as atividades que saem de um mesmo nó têm as mesmas predecessoras;
- Todas as atividades que chegam a um mesmo nó têm sucessoras idênticas;
- Cada atividade tem um par único de eventos início-fim;
- Para cada atividade, o número do evento final é maior que o do evento inicial;
- O evento final do diagrama é único.

#### 2.2.4.2 Método do diagrama de precedência

De acordo com Mattos (2010), no Método do Diagrama de Precedência (PDM) também denominado como *Precedence Diagramming Method*, as atividades são representadas em um bloco ou caixa. Neste método as setas representam a ligação entre as atividades e não há o conceito de evento, diferentemente do método das flechas.

No método PDM, é necessário identificar algumas relações de dependência, e também estabelecer o *lag* de atividade, ou seja, atrasos ou esperas da rede capazes de amarrar o início ou o final de atividades, sendo que essas esperas podem ser consideradas nulas. É mostrado a seguir os tipos de ligações e suas relações de dependência estabelecidas com o as suas esperas.

**Figura 2.11 - Término para Início**



Fonte: CARDOSO (2011)

- a) Ligação Término para Início - tipo de ligação TI: indica que a atividade sucessora apenas deve ser iniciada após o término da atividade anterior (ver Figura 2.11).

**Figura 2.12 - Término para Término**



Fonte: CARDOSO (2011)

- b) Ligação Término para Término – tipo de ligação TT: indica que a próxima atividade só pode ser concluída após o término da anterior (ver Figura 2.12).

**Figura 2.13 - Início para Início**



Fonte: CARDOSO (2011)

- c) Ligação Início para Início – tipo de ligação II: indica que a atividade sucessora apenas pode ser iniciada após o início da anterior (ver Figura 2.13).

**Figura 2.14 - Início para Término**



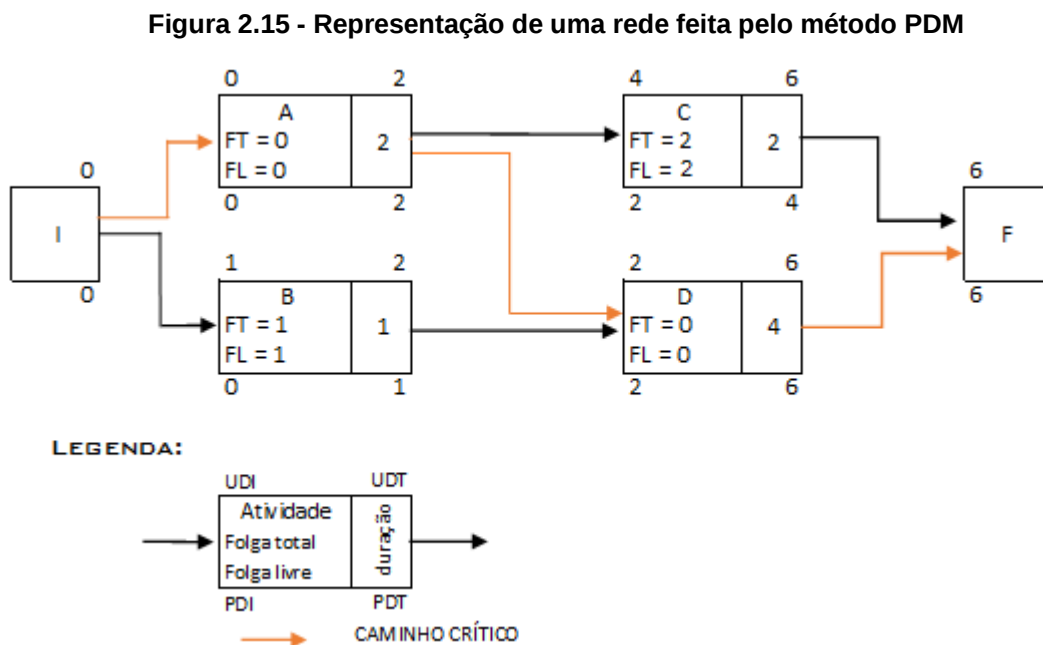
Fonte: CARDOSO (2011)

- d) Ligação Início para Término – tipo de ligação IT: indica que apenas acontecerá o término da atividade posterior quando a atividade anterior iniciar (ver Figura 2.14).

Segundo Mattos (2010), para desenhar o diagrama pelo método dos blocos é necessário seguir alguns passos:

- a) A rede começa com um bloco de início, desenhada a esquerda;
- b) Da barra inicial, partem as atividades iniciais, ou seja, aquelas sem precedentes;
- c) As demais atividades são desenhadas partindo de suas predecessoras;
- d) A rede é finalizada em um bloco de fim, desenhada na extremidade esquerda do diagrama.

A Figura 2.15, demonstra um exemplo de um diagrama elaborado pelo método PDM, de acordo com a Tabela 2.1.



Fonte: adaptado de Matias (2017)

Pode-se analisar na Figura 2.15 que as flechas indicam os caminhos possíveis da rede, através da ligação entre as atividades e não necessitam de atividades fantasmas para representar a lógica do projeto, o que faz com que as atividades sejam identificadas através de um único número diminuindo o número de atividades a serem representadas levando em consideração o diagrama pelo Método ADM da figura 2.10.

### 2.2.5 Instrumentos de Apoio ao Planejamento e Programação

Segundo Assumpção (1990), através de simulações é possível obter a situação em que os recursos estejam nivelados, reduzindo-se a ociosidade de mão de obra e equipamentos.

Para a elaboração de um bom planejamento e programação de um empreendimento é fundamental um bom conhecimento do projeto, com a maior riqueza de detalhes possível. Os instrumentos de programação têm a função de auxiliar o processo de planejamento, através da organização e sistematização das atividades as quais integram o projeto (LIMMER, 2015).

#### 2.2.5.1 Estrutura analítica do projeto (EAP)

Segundo Santos (2018), na preparação do planejamento é envolvida a criação de uma Estrutura Analítica de Projeto (EAP), e essa é responsável por dispor uma estrutura detalhada e hierarquizada dos pacotes de trabalho que serão desenvolvidos. A EAP representa uma visão de todo o projeto composta de camadas ou níveis e é utilizada como um guia para certificar que nada seja ignorado (WAYNE, 2013).

Para Bernardes (2001), uma maneira de determinar uma hierarquia das metas dos planos empregados para o planejamento de uma obra é empregando uma Estrutura Analítica de Projeto. Sendo que, para alcançar as metas estabelecidas são empregados pacotes de trabalho. Conforme PMBOK (2013), o pacote de trabalho mostra uma base lógica para estabelecer atividades ou outorgar responsabilidades, configurando no elemento de trabalho de nível mais baixo na EAP. Enquanto que para Martins (2007), pacote de trabalho equivale a uma atividade atribuída para um responsável que pode ser uma pessoa ou equipe.

Uma EAP tem como função principal desmembrar as fases do projeto em partes menores e manejáveis, para que assim todas as partes consigam uma visão estruturada e clara de todo o projeto (BATISTA, 2017).

Segundo Limmer (2015), a EAP é uma divisão natural do projeto, de caráter essencialmente prático, que se realiza levando-se em conta os produtos finais: bens de consumo, máquinas, equipamentos, informações, serviços, entre outros e as suas divisões funcionais. Sendo assim, a Estrutura Analítica de Projeto nada mais é do que uma síntese estrutural do projeto.

No Quadro 2.1 é apresentada uma EAP para a construção de um edifício, onde pode-se notar os diversos níveis existentes. Nessa EAP, apenas são utilizados dois níveis e pode-se perceber que é uma estrutura hierarquizada, composta de uma decomposição geral, que nesse caso é a construção de um edifício, contendo suas subdivisões em atividades menores, o que é um fator facilitador. E traz grande número de benefícios como já citado anteriormente.

**Quadro 2.1 - Exemplo de uma EAP**

| NÍVEL 0         | NÍVEL 1     | NÍVEL 2            | NÍVEL 3                             |
|-----------------|-------------|--------------------|-------------------------------------|
| Edifício        | Etapa       | Serviço            | Atividade                           |
| Edifício Tipo 1 | Fundações   | Estaqueamento      | Cravação                            |
|                 |             |                    | Arrazamento Estacas                 |
|                 |             | Movimento de Terra | Escavação Manual                    |
|                 |             |                    | Reaterro Compactado                 |
|                 |             | Formas             | Fabricação de Formas                |
|                 |             |                    | Colocação de Formas                 |
|                 |             |                    | Desforma                            |
|                 |             | Armação            | Corte e Dobramento                  |
|                 |             |                    | Montagem Armação                    |
|                 |             | Concretagem        | Concreto                            |
|                 | Estrutura   | Formas             | Colocação de Formas                 |
|                 |             |                    | Desforma                            |
|                 |             | Armação            | Corte e Preparo                     |
|                 |             |                    | Montagem Armação                    |
|                 |             | Concretagem        | Concreto Aparente                   |
|                 |             |                    | Concreto Fck=180 kg/cm <sup>2</sup> |
|                 | Vedações    | Alvenarias         | Alvenaria 1/2 Tijolo Ap             |
|                 |             |                    | Alvenaria 1/2 Tijolo Comum          |
|                 |             |                    | Alvenaria 1 Tijolo Comum            |
|                 |             |                    | Alvenaria Bloco 15 cm               |
|                 |             | Caixilharia        | Caixilho Maximar 50x100             |
|                 |             |                    | Caixilho Fixo 50x120                |
|                 |             |                    | Caixilho Correr 100x160             |
|                 |             | Revestimento       | Chapisco Interno                    |
|                 |             |                    | Reboco Interno                      |
|                 |             |                    | Chapisco Externo                    |
|                 |             |                    | Massa Externa                       |
|                 |             |                    | Azulejos                            |
|                 |             |                    | Gesso                               |
|                 | Instalações | Elétricas          | Rasgo em Alvenarias                 |
|                 |             |                    | Prumadas e Ramais                   |
|                 |             |                    | Enfição                             |
|                 |             | Hidráulicas        | Rasgo em Alvenarias                 |
|                 |             |                    | Prumadas e Ramais                   |
|                 |             |                    | Louças e Metais                     |
|                 |             | Telefone           | Rasgo em Alvenarias                 |

Fonte: Assumpção (1990)

Para Mattos (2010), EAP é a estrutura hierarquizada gerada pela decomposição do geral. O autor ainda cita alguns dos benefícios que a criação da EAP traz para o projeto:

- Ordena o pensamento e cria uma matriz de trabalho lógica e organizada;
- Individualiza as atividades que serão as unidades de elaboração do cronograma permitindo o agrupamento delas em famílias correlatadas;
- Facilita o entendimento das atividades consideradas e do raciocínio utilizado na decomposição dos pacotes de trabalho;
- Facilita a verificação final por outras pessoas;
- Facilita a localização de uma atividade dentro do cronograma extenso;
- Facilita a introdução de novas atividades;
- Facilita o trabalho de orçamentação porque utiliza atividades mais precisas e palpáveis;
- Permite a atribuição de códigos de controle que servem para alocação dos custos incorridos no projeto;
- Evita que uma atividade seja criada em duplicidade.

#### 2.2.5.2 Cronograma físico financeiro

Para Filippi (2017), uma ferramenta muito conhecida em planejamento físico é o Diagrama de Barras, que associa a duração da atividade a uma barra, sendo esta alocada em determinado intervalo de tempo. Para Mubarak (2010), o Diagrama de Barras é uma forma gráfica de representação das atividades do projeto, que mostra barras lineares em uma escala de tempo, sem nenhuma conexão entre as atividades. Sua desvantagem é o fato de não definir claramente as relações de dependência entre as diversas atividades (ASSUMPÇÃO, 1990).

Segundo Assumpção (1990), sua maior utilização tem sido como ferramenta de comunicação, interpretando os resultados obtidos através de outras técnicas. De acordo com Mubarak (2010) o diagrama de barras foi originalmente desenvolvido por Henry Gant em 1917 e por essa razão, é alternativamente chamado de “Diagrama de *Gantt*”. O Gráfico de Barras também conhecido como o Gráfico de *Gantt* se tornou popular na indústria da construção civil, por sua habilidade de representar graficamente as atividades de um projeto na escala tempo.

Segundo Filippi (2017), o Gráfico de *Gantt* possibilita de forma simples e funcional, a visualização das datas de início e término de cada atividade, gerando as barras que demonstram graficamente a duração das mesmas. Nesse contexto, o

Diagrama de *Gantt* é utilizado na elaboração de cronogramas físicos ou físico-financeiros na construção civil.

O cronograma físico-financeiro é uma ferramenta de representação gráfica do plano para a execução de uma obra. Este cronograma engloba todo o escopo do projeto, com todas as atividades contidas na EAP, desde as etapas iniciais até a finalização (DIAS, 2011). O cronograma é constituído fazendo uma lista das atividades para as datas mais cedo ou para as datas mais tarde de um projeto em uma coluna com suas durações, cada tarefa é representada por uma barra horizontal, com colunas adjacentes utilizando uma unidade de tempo adotada no projeto (LIMMER, 2015). Isso pode ser verificado na Figura 2.16.

**Figura 2.16 - Cronograma físico financeiro para as datas mais cedo**

| CRONOGRAMA FÍSICO FINANCEIRO - ASAP |                                                  |                |            |            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                  |                     |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|---------------------|
| CÓD.                                | ATIVIDADE                                        | DURAÇÃO (DIAS) | 2          | 4          | 6            | 8            | 10           | 12           | 14           | 16           | 18           | 20           | 22           | 24           | 26           | 28           | 30           | 32           | 34           | CUSTO / DIA(R\$) | NÚMERO DE SERVENTES |
| 2.1.1                               | Escavação manual de vala                         | 12             |            |            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 118,09           | 1                   |
| 2.1.2                               | Concreto simples fabricado na obra, fck=13,5 mpa | 4              |            |            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 251,69           | 1                   |
| 2.1.3                               | Forma plana para sapatas                         | 2              |            |            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 314,88           | 1                   |
| 2.1.4                               | Aço CA - 50 Ø 6,3 a 12,5mm,                      | 28             |            |            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 89,72            | 1                   |
| 2.1.5                               | Concreto simples fabricado na obra, fck=25 mpa   | 11             |            |            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 334,64           | 1                   |
| 2.1.6                               | Reaterro manual de valas,                        | 6              |            |            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 122,23           | 1                   |
| CUSTO SIMPLES                       |                                                  |                | R\$ 415,62 | R\$ 415,62 | R\$ 415,62   | R\$ 415,62   | R\$ 919,00   | R\$ 919,00   | R\$ 809,20   | R\$ 179,45   | R\$ 179,45   | R\$ 848,72   | R\$ 848,72   | R\$ 848,72   | R\$ 848,72   | R\$ 848,72   | R\$ 579,10   | R\$ 244,47   | R\$ 244,47   |                  |                     |
| CUSTO ACUMULADO                     |                                                  |                | R\$ 415,62 | R\$ 831,24 | R\$ 1.246,86 | R\$ 1.662,48 | R\$ 2.581,48 | R\$ 3.500,48 | R\$ 4.309,68 | R\$ 4.489,12 | R\$ 4.668,57 | R\$ 5.517,29 | R\$ 6.366,00 | R\$ 7.214,72 | R\$ 8.063,44 | R\$ 8.912,15 | R\$ 9.491,26 | R\$ 9.735,72 | R\$ 9.980,19 |                  |                     |

Fonte: Matias (2017)

Na Figura 2.16 mostra a distribuição das atividades no período de tempo em dias, e para cada atividade é aplicado um custo unitário por dia e número de serventes necessários para executar cada atividade. A linha custo simples é a soma dos recursos (custos) das atividades executadas paralelamente no intervalo de dois dias. A linha custo acumulado é soma acumulada da linha custo simples chegando ao valor total do cronograma.

O recurso utilizado no cronograma físico financeiro é o custo (valor monetário). Mattos (2010) ressalta que os recursos utilizando em um cronograma físico podem ser tanto custo ou trabalho (horas ou dias).

Através dos cronogramas físicos são obtidos também os histogramas, que se constituem em eficientes mecanismos para nivelamento de recursos.

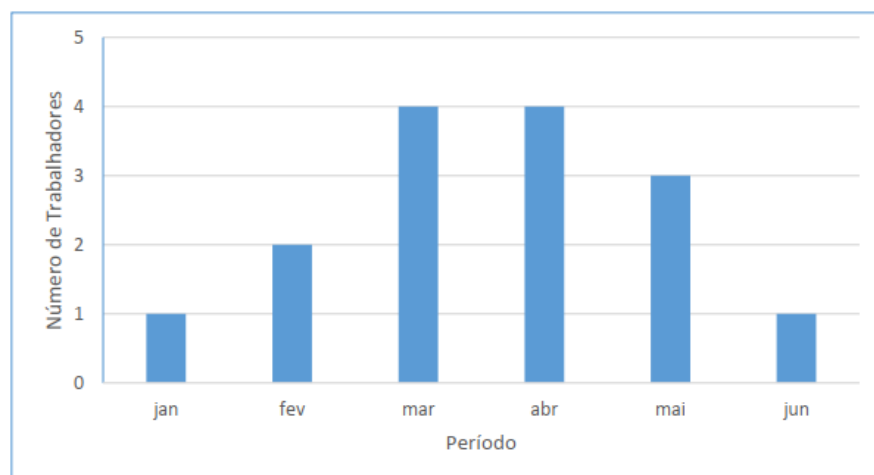
### 2.2.5.3 Histograma

Oliveira, Allora e Sakamoto (2005) definem histograma como um instrumento de base estatística que descrevem as frequências com que variam os processos e a forma que assume a distribuição dos dados da população como um todo. Sendo a função do histograma determinar a curva de frequência de ocorrências de cada medida ou cada intervalo.

LIMMER (2015) define histograma com uma ótica da construção civil, onde segundo o autor o histograma tem o papel de representar a distribuição de recursos por um certo período, podendo esses recursos serem materiais, mão de obra ou equipamentos.

O histograma são gráficos que mostram a necessidade de um recurso, ou de custos, para diferentes períodos. Segundo Batista (2017), os valores para os recursos são distribuídos ao longo das barras representadas no cronograma físico-financeiro, e caso haja atividades sendo executadas paralelamente são somados os valores, totalizando a quantidade naquele período, como representado na Figura 2.17.

**Figura 2.17 – Exemplo de Histograma de Mão de obra**



Fonte: BATISTA (2017)

De acordo com Mattos (2010), o histograma é uma ferramenta poderosa, que facilita o gerenciamento e tem capacidade de revelar se há alocação errônea de

recursos. Ou seja, permite a análise da distribuição dos recursos no decorrer da obra, possibilitando o reconhecimento de períodos onde a distribuição é inadequada. Um exemplo disso, é o nivelamento de mão de obra, ao se fazer o nivelamento deste pode ser reduzida consideravelmente as demissões e contratações durante a obra (PMBOK, 2013).

Com a identificação de distribuição inadequada de recursos é possível alterar a programação física que deu origem ao histograma buscando nivelar estes recursos. Daí, entra o nivelamento, que trata-se de realizar ajustes nas datas de início e finalização do cronograma, baseada na restrição de recursos, ou seja, caso não se tenha mão de obra disponível para a realização de várias atividades ao mesmo tempo, é possível fazer uma realocação das atividades, fazendo-se alterações nas suas datas de início e término (MATTOS, 2010).

#### 2.2.5.4 Curvas “S”

De acordo com Batista (2017), na construção civil a curva “S” é uma ferramenta de grande importância para o gerenciamento de projetos. Ainda, segundo a autora a curva “S” permite que os gestores tenham um controle sobre o andamento do projeto.

Segundo Costa (2017) a curva “S” mostra como se comporta a distribuição de um recurso do projeto de forma cumulativa, representado em termos de homens-hora ou de recursos financeiros necessários à sua execução, e também permite visualizar o ritmo de andamento previsto desses recursos.

Uma característica das obras é que o custo das fases iniciais, em geral, é muito menor do que o das fases intermediárias, e esse é o motivo dos valores acumulados resultarem em um gráfico de formato parecido com a letra “S” (MATTOS, 2010).

Dentre os benefícios da curva “S”, Mattos (2010) cita:

- A curva S é uma curva única que mostra o desenvolvimento da obra do início ao fim;
- Pode ser aplicada de projetos simples a grandes e complexos empreendimentos;
- Possibilita a visualização do parâmetro acumulado (trabalho ou custo) em qualquer época do projeto;
- Aplica-se o detalhamento de engenharia por homem-hora, quantidade de serviço executado, uso de recurso ou valores monetários;

- Ótima ferramenta de controle previsto x realizado;
- Fácil leitura e permite apresentação rápida da evolução do projeto;
- Serve para decisões gerenciais sobre desembolsos e fluxo de caixa;
- De acordo com o formato do S, pode-se constatar se há grande (ou pequena) concentração de atividades no começo (ou fim) da obra.

Com base nos princípios da curva “S”, pode-se gerar modelos de planejamento do consumo dos recursos, bem como modelos de planejamento das despesas diretas dos projetos, fundamentados em dados históricos das empresas construtoras ou em curvas teóricas (ICHIHARA, 1998).

Lima e Coutinho (2014) fala que pelo de formato curvo, a curva “S” é de fácil reconhecimento, sendo uma importante ferramenta de acompanhamento de da evolução de uma variável seja ela de custo, produção, faturamento, etc. no decorrer do tempo.

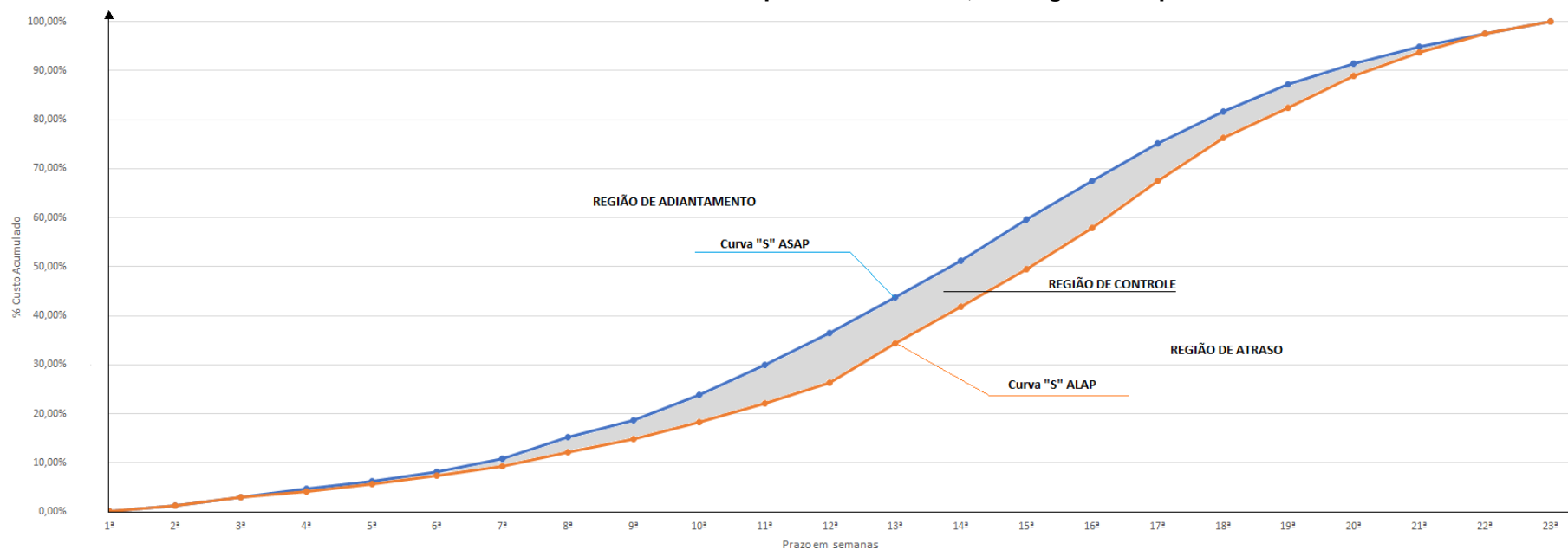
Segundo o Gráfico 2.1, as curvas “S” de acompanhamento físico utilizando recursos financeiros mostra o custo acumulado em porcentagem em função de um prazo em semanas. A curva formada pela cor azul representa a programação ASAP enquanto que a cor laranja representa a programação ALAP.

Pode-se deduzir que escolhendo uma determinada semana, é possível ver que pela programação ALAP sempre terá uma porcentagem acumulada sempre menor ou igual a programação ASAP, isso implica que na curva cor laranja as atividades são previstas para serem executadas em suas datas mais tardes e na cor azul em suas datas mais cedo. E a região abaixo das curvas representa uma região de atraso e acima das curvas uma região de adiantamento, enquanto que, caso o andamento da obra esteja entre as curvas é considerado uma região controlável (ASSUMPAÇÃO, 1990).

Ainda de acordo com o Gráfico 2.1, para ser elaborado uma curva “S” é preciso colocar as somas proporcionais dos recursos utilizados (trabalho ou custo) no período. Nesse sentido, o custo simples de uma determinada semana representa as somas proporcionais das atividades realizadas naquela semana, de acordo com o cronograma previsto. O custo acumulado é soma acumulada dos custos simples de cada semana chegando ao valor total de recursos a serem utilizados no período.

Já a porcentagem de custo simples é do valor do custo simples no determinado período em relação ao valor total previsto. E a porcentagem de custo acumulado segue o mesmo princípio da porcentagem de custo simples.

Gráfico 2.1 - Curvas “S” de acompanhamento físico, ao longo do tempo



| Prazo em Semanas |                       | 1ª     | 2ª       | 3ª       | 4ª        | 5ª        | 6ª        | 7ª        | 8ª        | 9ª        | 10ª       | 11ª       | 12ª       | 13ª       | 14ª        | 15ª        | 16ª        | 17ª        | 18ª        | 19ª        | 20ª        | 21ª        | 22ª        | 23ª        |
|------------------|-----------------------|--------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Programação ALAP | Custo Simples (R\$)   | 324,00 | 2.459,79 | 3.785,63 | 2.456,48  | 3.666,08  | 3.625,40  | 4.236,40  | 6.452,46  | 6.078,30  | 7.352,77  | 8.482,30  | 9.680,78  | 17.562,22 | 16.562,70  | 16.941,70  | 19.024,22  | 21.213,49  | 19.458,74  | 13.582,79  | 14.582,46  | 10.456,79  | 8.542,79   | 5.426,79   |
|                  | Custo Acumulado (R\$) | 324,00 | 2.783,79 | 6.569,42 | 9.025,90  | 12.691,98 | 16.317,38 | 20.553,78 | 27.006,24 | 33.084,54 | 40.437,31 | 48.919,61 | 58.600,39 | 76.162,61 | 92.725,31  | 109.667,01 | 128.691,23 | 149.904,71 | 169.363,45 | 182.946,24 | 197.528,70 | 207.985,49 | 216.528,28 | 221.955,07 |
|                  | % Custo Simples       | 0,15%  | 1,11%    | 1,71%    | 1,11%     | 1,65%     | 1,63%     | 1,91%     | 2,91%     | 2,74%     | 3,31%     | 3,82%     | 4,36%     | 7,91%     | 7,46%      | 7,63%      | 8,57%      | 9,56%      | 8,77%      | 6,12%      | 6,57%      | 4,71%      | 3,85%      | 2,44%      |
|                  | % Custo Acumulado     | 0,15%  | 1,25%    | 2,96%    | 4,07%     | 5,72%     | 7,35%     | 9,26%     | 12,17%    | 14,91%    | 18,22%    | 22,04%    | 26,40%    | 34,31%    | 41,78%     | 49,41%     | 57,98%     | 67,54%     | 76,31%     | 82,42%     | 88,99%     | 93,71%     | 97,56%     | 100,00%    |
| Programação ASAP | Custo Simples (R\$)   | 324,00 | 2.538,79 | 3.845,46 | 3.654,45  | 3.485,78  | 4.089,41  | 6.254,31  | 9.456,00  | 7.953,78  | 11.436,89 | 13.465,48 | 14.526,78 | 16.254,78 | 16.426,00  | 18.452,79  | 17.459,79  | 17.236,48  | 14.256,49  | 12.423,46  | 9.456,46   | 7.426,45   | 6.104,45   | 5.426,79   |
|                  | Custo Acumulado (R\$) | 324,00 | 2.862,79 | 6.708,25 | 10.362,70 | 13.848,48 | 17.937,89 | 24.192,20 | 33.648,20 | 41.601,98 | 53.038,87 | 66.504,35 | 81.031,13 | 97.285,91 | 113.711,91 | 132.164,70 | 149.624,49 | 166.860,97 | 181.117,46 | 193.540,92 | 202.997,38 | 210.423,83 | 216.528,28 | 221.955,07 |
|                  | % Custo Simples       | 0,15%  | 1,14%    | 1,73%    | 1,65%     | 1,57%     | 1,84%     | 2,82%     | 4,26%     | 3,58%     | 5,15%     | 6,07%     | 6,54%     | 7,32%     | 7,40%      | 8,31%      | 7,87%      | 7,77%      | 6,42%      | 5,60%      | 4,26%      | 3,35%      | 2,75%      | 2,44%      |
|                  | % Custo Acumulado     | 0,15%  | 1,29%    | 3,02%    | 4,67%     | 6,24%     | 8,08%     | 10,90%    | 15,16%    | 18,74%    | 23,90%    | 29,96%    | 36,51%    | 43,83%    | 51,23%     | 59,55%     | 67,41%     | 75,18%     | 81,60%     | 87,20%     | 91,46%     | 94,80%     | 97,56%     | 100,00%    |

Fonte: adaptado de Assumpção (1990)

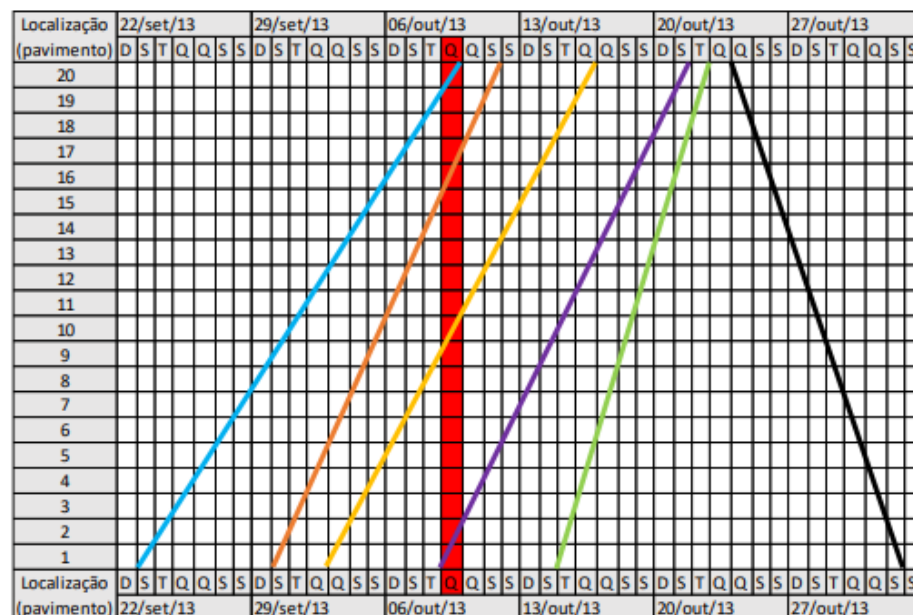
### 2.2.5.5 Linha de balanço

Mattos (2010) ilustra o gráfico das linhas de balanço em relação a representação gráfica no eixo horizontal pelo tempo e quantidade de unidades produzidas no eixo vertical, e quanto mais íngreme a reta, maior será sua produtividade.

Silva (2012) cita que a linha de balanço é uma técnica onde quem define o ritmo de serviços é a mão-de-obra (ou equipamentos). A técnica de linha de balanço apresenta explicitamente o fluxo de trabalho das diferentes equipes na obra o que gera uma vantagem em relação as redes de precedência de atividades. Para Formoso (2001) isto facilita a definição de ritmos que garantam a continuidade do trabalho das equipes de produção.

Segundo Mendes (1999), o ritmo de produção para um processo pode ser determinado por meio da inclinação da linha de balanço e expresso em termo de unidades por unidade de tempo (casas por mês), ou inversamente em unidades de tempo por unidades de produção.

**Gráfico 2.2 – Exemplo de Linha de Balanço**



**Legenda:**

■ Estrutura

■ Instalações

■ Piso

■ Alvenaria

■ Revestimento

■ Pintura e Fachada

Fonte: Nascimento (2020)

O Gráfico 2.2, mostra a evolução de um planejamento feito através das linhas de balanço sendo o eixo horizontal mostra o número de dias e o eixo vertical é mostrado os pavimentos no edifício. É possível acompanhar ao longo dos dias os serviços de estrutura, alvenaria, instalações, revestimento, piso e pintura e fachada, sendo possível verificar que os serviços não se cruzam, ou seja, estão bem planejados. No dia 09 de outubro está em vermelho para destacar que será executado 4 atividades ao mesmo tempo com equipes distintas, porém é interessante destacar esses acontecimentos afim de prever possíveis problema de logística no fornecimento de materiais entre outros aspectos.

#### 2.2.6 Método de Controle de Qualidade e Melhorias (PDCA)

A sigla PDCA tem origem das palavras, *Plan*, *Do*, *Check* e *Action*, que significam, Planejar, Executar, Verificar e Agir. Estes são os passos necessários para aplicar o ciclo PDCA, que foram concebidos por Shewart, e depois aprimorados por Deming (MORETTI, 2003).

**Figura 2.18 - Atividades do ciclo PDCA**



Fonte: Batista (2017), adaptado de Oliveira (2013)

Segundo Moretti (2003), o ciclo PDCA foi projetado para ser utilizado como modelo dinâmico, isso demonstra que a conclusão de uma volta no ciclo PDCA flui para o início do próximo ciclo, ou seja, ele tende a ser aplicado repetidamente como mostra a Figura 2.18. Pode-se entender também a Figura 2.18 como o conjunto de ações ordenadas e interligadas entre si e dispostas graficamente no círculo onde cada quadrante corresponde a uma fase do processo.

Para Batista (2017), tanto na construção civil ou em outras áreas o Ciclo PDCA é uma ferramenta indispensável no objetivo de melhorias contínuas, onde a qualidade e melhoria contínua em processos se dá pela utilização de ferramentas para a tomadas de decisões, ações e melhorias na qualidade.

O PDCA pode é bastante utilizado para a resolução de problemas crônicos ou críticos, que tem a tendência a prejudicar os processos ou serviços. No setor da Construção Civil, o PDCA pode ser utilizado para resolução de problemas críticos, bem como para melhorias contínuas (MORETTI, 2003).

No primeiro quadrante do círculo informa a primeira etapa que é a de planejar, ou seja, estudar o contexto e os processos do projeto, definir uma metodologia para gerar o cronograma e as programações (MATTOS, 2010).

No segundo quadrante é etapa da execução, que consiste em executar as atividades planejadas, ou seja, realizar fisicamente a tarefa.

O terceiro quadrante consiste em verificar o que foi executado, ou seja, checar e aferir o realizado, comparando o previsto e o realizado. Após aferir o que foi efetivamente realizado, é preciso compará-lo com o que estava previsto no planejamento, o que implica em um processo vital para o construtor, pois é o maior manancial de informações gerenciais (MATTOS, 2010).

O quarto quadrante é onde ocorre a ação e padronização, ou seja, é onde são identificação de oportunidades de melhoria e aperfeiçoamento do método adotado no planejamento, como também a detecção de erros e mudança de estratégia para assim serem retomadas as atividades com um novo planejamento padronizado. O último quadrante do círculo mostra que nesse instante o gerente tem de pensar em como colocar a obra de volta nos eixos, ou então revisar o planejamento para a nova realidade (MATTOS, 2010).

#### 2.2.6.1 Método dos 5 porquês

A metodologia 5 porquês, também conhecida como 5-Why, é uma ferramenta muito ligada à gestão da qualidade total e à melhoria contínua nas empresas. Ela foi desenvolvida e aprimorada pela Toyota, tendo surgido como elemento importante para auxiliar na resolução de problemas internos.

Segundo Ohno (1997), o método dos 5 porquês é utilizado para se chegar à causa raiz de um problema, onde normalmente está escondida por trás de sintomas

claros. Para Turner (2008), o método é importante pois permite que através de vários questionamentos se separe a causa do efeito, colaborando para a construção de possíveis possibilidades para a causa raiz do problema.

Weiss (2011) descreve de forma simplificada os 5 passos que devem ser dados para aplicar o método:

- 1 – Inicie a análise com a afirmação da situação que se deseja entender – ou seja, deve-se iniciar com o problema;
- 2 – Pergunte por que a afirmação anterior é verdadeira.
- 3 – Para a razão descrita que explica por que a afirmação anterior é verdadeira, pergunte por quê novamente;
- 4 – Continue perguntando por quê até que não se possa mais perguntar mais por quês;
- 5 – Ao cessar as respostas dos por quês significa que a causa raiz foi identificada.

De acordo ainda com Weiss (2011), para análise dos 5 porquês, embora seja denominada assim, pode-se utilizar menos por quês, ou mais por quês, de acordo com a necessidade para que se encontre a causa raiz.

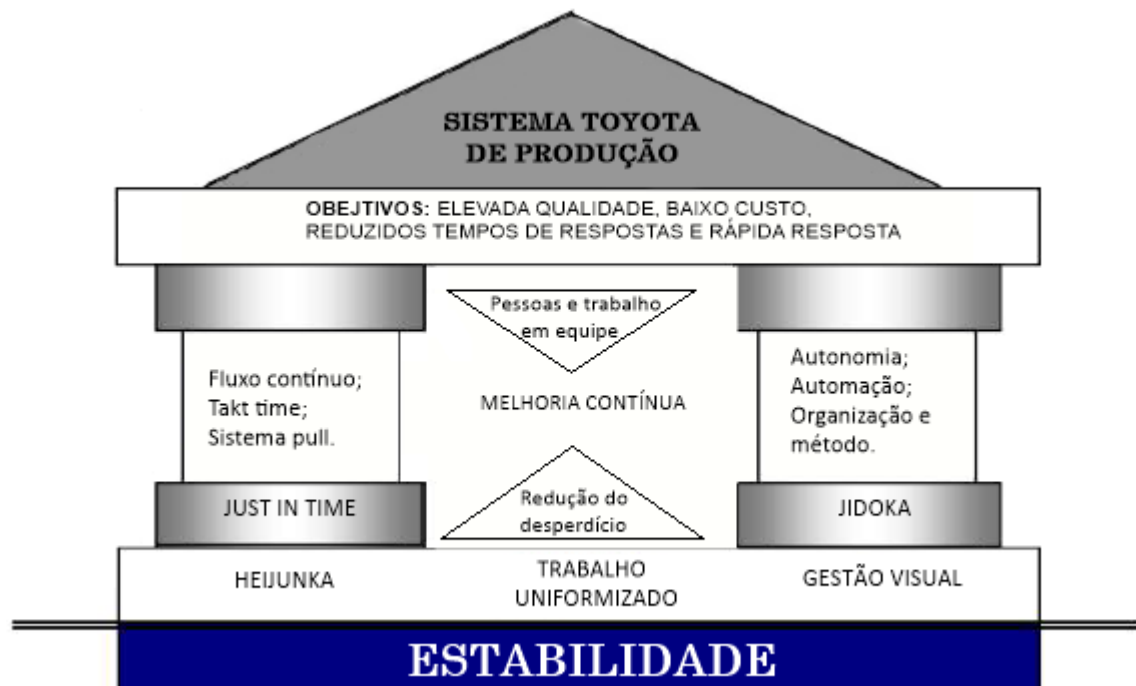
## 2.3 PRODUÇÃO ENXUTA

A *Lean Production* significa Produção Enxuta e foi implantada pela *Toyota Motor Company* no século XX como uma nova forma de produção objetivando fabricar produtos com elevados índices de qualidade e baixo custo, tendo como base a eliminação de desperdício (SCHLUNZEN JUNIOR, 2003).

A Toyota Motor Company para enfrentar a crise do mercado automobilístico em meados dos anos 40 implantou o Sistema Toyota de Produção (STP) que é um modelo gerencial capaz de fornecer produtos e serviços de alta qualidade, com baixo custo e menor tempo de produção (SOUZA, 2010).

O STP conseguiu eliminar desperdícios e impulsionou a manufatura japonesa, visando a melhoria contínua nos processos, com ações para prevenir a ocorrência de erros. O STP é baseado na eliminação do desperdício tendo o *Just in time* e *Jidoka* (autonomação) como pilares de sustentação (PINTO, 2008; AZEVEDO, NETO e NUNES, 2010).

Figura 2.19 – Estrutura do Sistema Toyota de Produção



Fonte: Pinto (2008)

A Figura 2.19 mostra os elementos que caracterizam o STP de acordo com Pinto (2008), sendo eles:

- Processos *Just in Time* (JIT): algo é produzido quando necessário, puxado pela demanda da operação anterior ou então cliente final. Ou seja, em um processo de fluxo as partes necessárias somente devem alcançar a linha de montagem no momento e na quantidade em que são necessárias;
- *Jidoka*: parte do princípio da automação que confere aos processos autonomia dos colaboradores de interferirem nas máquinas, visando a perfeição dos produtos. Nesse sentido, a automação é a automação com a participação humana;
- *Heijunka*: consiste na criação de fluxo contínuo das ações no processo, por meio do nivelamento entre as funções de abastecimento e transformação de insumos;
- Padronização: prega a definição de um modelo uniforme para os processos, para viabilizar a transparência e diminuir a incidência de defeitos encobertos, facilitando a gerência dos produtos;
- Melhoria contínua: faz menção a busca pelo produto perfeito, com zero desperdício, que se torna premissa dos processos produtivos;

- **Gestão Visual:** considera que os controles da produção devem ser transparentes e de simples compreensão, para que possam ser vistos e disseminados por todos os níveis da organização;
- **Estabilidade:** considerada a base de um sistema estável de produção, reforçado pelos conceitos acima expostos.

Womack e Jones (2010) definem que o pensamento enxuto derivado do STP é a solução para os desperdícios da produção, ou seja, qualquer atividade humana que absorve recursos, mas não cria valor. Sendo que, esse pensamento é *lean* pois proporciona fazer mais, com menos, nesse caso com menores esforços de mão de obra, equipamentos, tempo e espaço.

Pinto (2008) cita sete fontes de desperdícios que precisam ser identificados e eliminados com ações de melhoria para o alcance pleno da filosofia *lean*, sendo eles: perdas por superprodução, perdas por transporte, perdas no processamento em si, perdas devido à fabricação de produtos defeituosos, perdas nos estoques, perdas no movimento e perdas por espera.

No Quadro 2.2 é apresentado as perdas supracitadas adaptadas e associadas para a construção civil.

**Quadro 2.2 - Tipos de perdas de acordo com sua natureza, origem e incidência**

| TIPO DE PERDA | CONCEITO                                                                                                                       | EXEMPLO                                                                                        |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Superprodução | Produção superior a necessária.                                                                                                | Produzir mais concreto do que o necessário para uma laje.                                      |
| Estoque       | Estoque em quantidade maior que o necessário.                                                                                  | Armazenamento de materiais muito antes de sua utilização.                                      |
| Espera        | Produtos esperando para serem processados.                                                                                     | Falta de material ou equipamento gerando espera para desenvolver um determinado serviço.       |
| Transporte    | Manuseio excessivo e inadequado de materiais.                                                                                  | Perda de tempo no transporte de materiais entre o local de armazenagem e produção.             |
| Movimento     | Realização de movimentos inadequados dos trabalhadores, fazendo com que eles trabalhem em excesso e reduzam sua produtividade. | Maior esforço no desenvolvimento do trabalho devido à falta de condições ergonômica adequadas. |
| Processamento | Erro na concepção do produto, serviço ou atividade.                                                                            | Retrabalho devido ao erro no processo.                                                         |

Fonte: Vargas *et al.* (1997)

Para a implementação eficaz da filosofia *lean* e assimilar sua abrangência é preciso compreender cinco princípios fundamentais de acordo com Womack e Jones (2010):

- Valor: são as características consideradas como essenciais, é tudo por quanto os consumidores estão dispostos a pagar por um serviço ou produto;
- Cadeia de valor: consiste basicamente em três passos fundamentais desde a identificação de que tipo de produto é desejado pelo cliente, até a entrega física do que lhes foi requisitado;
- Fluxo: o fluxo em um processo de planejamento e controle da produção, é capaz de minimizar o tempo de produção tornando-se importante na geração de produtos de maior qualidade e eliminação de desperdícios sendo capaz de gerar fluxo contínuo, sem estoques intermediários e nem paradas durante o processo;
- Produção puxada: pode ser traduzida como produzir na quantidade e hora certa, para atender a uma exigência. Nesse sentido, puxar a produção refere-se ao nivelamento de processos que busca diminuir um ritmo desordenado de produção e desperdício de insumos dedicados a produtos que sequer foram solicitados;
- Perfeição: a busca pela perfeição pode ser o ponto de partida para a identificação de valor, reconhecimento da cadeia de valor, definição do fluxo e o ordenamento puxado da produção, mas também é o produto fim da sequência elaborada.

As técnicas e ferramentas utilizadas na Produção Enxuta para combater o desperdício permitindo a produção tornar-se mais eficientes são definidas como:

- Mapeamento de Fluxo de Valor: são todas as atividades, quer agreguem valor ou não, necessárias à produção, projeção e entrega dos produtos. O fluxo de valor é formado pelo fluxo de materiais, desde seu recebimento até a entrega; transformação de matérias-primas em produtos acabados e fluxo de informações (WERKEMA, 2012);
- Os 5 Sensos (5S): A metodologia de organização 5S preza pela limpeza e desenvolvimento do ambiente de trabalho produtivo. O Quadro 2.3 mostra uma possível tradução para os 5S.

Quadro 2.3 - Os 5 sentidos

| Sensos (5S)          | Significado                                                                          |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Seiri (separe)       | Elimine o desnecessário e mantenha o necessário                                      |
| Seiton (organize)    | Posicione as coisas de tal maneira que sejam facilmente alcançadas quando necessário |
| Seiso (limpe)        | Mantenha tudo limpo e arrumado                                                       |
| Seiketsu (padronize) | Mantenha sempre a ordem e a limpeza                                                  |
| Shitsuke (sustente)  | Desenvolva o compromisso e orgulho em manter padrões                                 |

Fonte: Slack, Jones e Johnston (2009)

- *Kanban*: traduzido do japonês como “registro visível”, mostra a necessidade de se produzir (Kanban-p) ou entregar (Kanban-c) mais componentes. Um método criado para reduzir o tempo de espera, minimizando também os estoques, melhorando a produtividade e o fluxo do processo produtivo (CORRÊA E CORRÊA, 2012);
- Padronização: consiste basicamente na utilização de ferramentas de trabalho padronizado onde podem ser repassadas, compreendidas e executadas com êxito por qualquer operário que as realizar. Bem como, para tal trabalho, deve ser documentado afim de garantir a qualidade e a segurança das operações (LUSTOSA *et al.* 2008; SILVEIRA e COUTINHO, 2008);
- Troca rápida de ferramentas: busca reduzir perdas de movimento, espera e superprodução através da flexibilização da produção, reduzindo e simplificando o período em que a produção é interrompida (ANTUNES *et al.* 2008);
- Manutenção Produtiva Total: considerada a evolução de manutenção corretiva para a preventiva. Visa a melhoria contínua para prevenção de falhas através de boas práticas de manutenção, além de que acredita que os operários, que são os usuários dos equipamentos, têm mais conhecimentos sobre sua utilização, podendo colaborar, consideravelmente, na melhoria da sua qualidade e produtividade (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011);
- *Poka-Yoke* (Sistema à prova de erros): tem uma filosofia de que não é permitido produzir bens defeituosos, utilizando basicamente dispositivos para eliminar o número de falhas no processo produtivo (DELFINO, 2014);

- Kaizen: pode ser interpretado como mudança para melhor e enfatiza o desenvolvimento de uma cultura voltada para o processo aprimorando a forma como a empresa trabalha. O método é realizado por uma equipe formada por funcionários da empresa e serve para resolver problemas detectados após o Mapeamento de Fluxo de Valor (ARAÚJO e RENTES, 2006).

### 2.3.1 Construção Enxuta

A *Lean Construction* (LC) significa Construção Enxuta e teve seu início pela publicação do trabalho marco realizado por Koskela denominado “*Aplicattion of the new production philosophy in the construction industry*” (*Aplicação da nova filosofia de produção na indústria da construção*). O intuito deste trabalho foi beneficiar o setor da construção civil mediante um sistema de gestão da qualidade de sucesso assim como, foi o caso do Sistema Toyota de Produção (STP) para as linhas de produção automobilísticas da Toyota (KOSKELA, 1999).

Através da identificação e gerenciamento das atividades que não agregam valor, ocorrerá a mudança conceitual na gestão da produção, sendo esta mudança implicitamente contida nas novas abordagens de gestão de produção, frequentemente associadas à Produção Enxuta (KOSKELA, 1992 *apud* BERNARDES, 2003). Sua definição pode colaborar para um maior entendimento do conjunto de conceitos e princípios relacionados ao novo paradigma (BERNARDES, 2003).

Para a obtenção de melhores resultados na construção civil aplicando a Construção Enxuta, é apontado por Koskela (1999), que se deve iniciar atacando a variabilidade presente nas atividades envolvidas no setor. Esta variabilidade está atribuída a quatro características essenciais ao setor:

- A realização de atividades é fortemente dependente dos fluxos cujo progresso, por sua vez, são dependentes da realização dessas mesmas atividades;
- A construção típica pode ser descrita como a produção de um protótipo que, normalmente, apresenta na sua formulação uma série de erros de projeto, planejamento e controle;
- Na produção fabril, uma parte do produto só pode estar, fisicamente, apenas em uma etapa de trabalho em cada momento. Contudo, na construção, uma

peça pode ser trabalhada por várias frentes de trabalho simultaneamente, o que geralmente, pode diminuir a produtividade das frentes;

- O trabalho é realizado sob condições ambientais instáveis, que leva a uma redução da produtividade. Por exemplo, as atividades podem ser realizadas sob a ação de intempéries, como por exemplo, erguer paredes de alvenaria sob tempo instável (chuvas e tempestades) ou sob forte calor (com temperaturas acima de 35°C).

Dessa forma, visando diminuir a variabilidade das atividades no setor, Koskela (1999), propõe diretrizes para diminuição, tais como são: redução de atividades desenvolvidas na obra, maior controle nas atividades desenvolvidas na obra mediante técnicas como o *Last Planner System*, a qual leva ao aumento da produtividade dos sistemas do setor.

Para Koskela e Dave (2008), a construção enxuta se baseia em uma nova forma de olhar para os desperdícios que existem ao longo do sistema produtivo e de como eliminá-los ou reduzi-los para aumentar a eficiência do sistema. A base de um sistema de produção é a estabilidade, e Barbosa *et al.* (2013) mostraram em seu trabalho que essa estabilidade foi alcançada devido à implantação dos conceitos da Construção Enxuta num canteiro de obras, abordando ferramentas e práticas enxutas como projetos de sistema de produção, utilização dos conceitos do *Last Planner System* e adoção de práticas de gestão visual.

O *Last Planner System* é descrito na literatura como uma técnica para o controle da produção que fornece uma estabilidade básica e cria condições para a introdução de ideias enxutas avançadas (VIANA *et al.* 2010).

### 2.3.2 *Last Planner System*

De acordo com Ballard (2000), o *Last Planner System* (LPS), também conhecido como Sistema *Last Planner* que significa o Último Sistema Planejador foi desenvolvido a partir de modelos e conceitos desenvolvidos na Engenharia de Produção com o intuito de melhorar a eficácia dos sistemas de planejamento e controle da construção civil. Ainda de acordo com o autor esse sistema provê um ambiente de produção confiável em empreendimentos através da redução da variabilidade do fluxo de trabalho.

Os *Last Planners* (Últimos Planejadores) são encarregados e supervisores que participam do processo de planejamento, avaliando a pertinência da programação e propondo soluções para interferências, conflitos e restrições no campo (MATTOS, 2010). Ou seja, os encarregados e supervisores de campo contribuem no auxílio de possíveis manutenções ou alterações no planejamento devido a observações de campo.

Ballard (2000) define que o LPS é uma filosofia, com regras e procedimentos e um conjunto de ferramentas que facilite a execução desses procedimentos. A respeito dos procedimentos existem dois componentes:

- Controle da unidade de produção, que visa atribuir melhorias progressivamente as equipes através de ações corretivas;
- Controle de fluxo de trabalho, que visa fazer com que o serviço possa fluir de forma proativa melhorando os índices de produtividade.

Segundo Manzione (2013), a técnica do *Last Planner* ajuda a criar de maneira sistemática planos de *lookaheads* (de médio prazo), nos quais são identificadas as restrições inerentes as tarefas, podendo ser eliminadas com antecedência. Pois segundo o autor a metodologia do *Last Planner* é baseada na redução da quantidade de incertezas dentro do processo de projeto.

Planejamentos de curto prazo semanal também são criados para acompanhar resultados do trabalho produzido por intermédio de um indicador de desempenho *Percent Plan Complete* que significa Percentual de Planos Concluídos e sua sigla é PPC, sendo que esse indicador mede a porcentagem das tarefas semanais planejadas, ou seja, é o número de atividades planejadas que foram concluídas dividido pelo número total de atividades planejadas (MANZIONE, 2013 ; FILIPPI, 2017).

Filippi (2017) fala em sua tese que a utilização de procedimentos formais e flexíveis de planejamento da produção devem ser o passo inicial para a estabilização do ambiente produtivo, e destaca três conceitos como ferramentas de uso imediato em qualquer canteiro de obras:

- Programação de curto prazo (diárias, semanais);
- Sistemas que possibilitem análises de restrições para se cumprir estas programações;
- Uso de índices de desempenho destas programações, com destaque para o indicador do PPC.

O Quadro 2.4 mostra um exemplo de programação de curto prazo no caso um planejamento semanal adotado em uma construção.

**Quadro 2.4 - Exemplo de planilha de planejamento semanal**

|                                    |                                                                            |   |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---|--------------------------------|---|---|--------------------------------------|----------------|----------|-----|---------------|-------------|-------------|
| PLANEJAMENTO SEMANAL<br>DE TAREFAS |                                                                            |   |                                |   |   |                                      | elaborado em:  | 01/10/98 | Nº: |               |             |             |
|                                    |                                                                            |   |                                |   |   |                                      | elaborado por: |          |     | 1             |             |             |
|                                    |                                                                            |   |                                |   |   |                                      | alterado em:   |          |     | Revisão nº:   |             |             |
|                                    |                                                                            |   |                                |   |   |                                      | alterado por:  |          |     | 0             |             |             |
|                                    |                                                                            |   |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
| Obra 240 - Residencial EIRON       |                                                                            |   | Mestre: Mauricio               |   |   | Engenheiro Residente: CARLOS ALBERTO |                |          |     |               |             |             |
| Atividades                         |                                                                            |   | Semana de: 05/10/98 à 10/10/98 |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
|                                    |                                                                            |   |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
| Nº                                 | Descrição                                                                  |   |                                | S | T | Q                                    | Q              | S        | S   | Equipe        | Empreiteira | Comentários |
| 1                                  | Barras de ferro faltando na armadura da cinta de amarração da cobertura 02 | P | X                              |   |   |                                      |                |          |     | Ferreiro 1    |             |             |
|                                    |                                                                            | R |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
| 2                                  | Barras de ferro faltando na armadura da cinta de amarração da cobertura 01 | P | X                              |   |   |                                      |                |          |     | Ferreiro 2    |             |             |
|                                    |                                                                            | R |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
| 3                                  | Tubulações elétricas na cinta de amarração da cobertura 02                 | P | X                              |   |   |                                      |                |          |     | Elétrica 1    |             |             |
|                                    |                                                                            | R |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
| 4                                  | Tubulações elétricas na cinta de amarração da cobertura 01                 | P | X                              |   |   |                                      |                |          |     | Elétrica 2    |             |             |
|                                    |                                                                            | R |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
| 5                                  | Formas da cinta de amarração da cobertura 01                               | P |                                | X |   |                                      |                |          |     | Carpinteiro 1 |             |             |
|                                    |                                                                            | R |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
| 6                                  | Concretagem das cintas de amarração da cobertura 02                        | P |                                |   | X |                                      |                |          |     | Pedreiro 1    |             |             |
|                                    |                                                                            | R |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
| 7                                  | Concretagem das cintas de amarração da cobertura 01                        | P |                                |   | X |                                      |                |          |     | Pedreiro 2    |             |             |
|                                    |                                                                            | R |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
| 8                                  | Marcação alvenaria das sacadas da cobertura                                | P | X                              |   |   |                                      |                |          |     | Pedreiro 5    |             |             |
|                                    |                                                                            | R |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
| 9                                  | Elevação alvenaria sacada apartamento 501                                  | P | X                              |   |   |                                      |                |          |     | Pedreiro 3    |             |             |
|                                    |                                                                            | R |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |
| 10                                 | Elevação alvenaria sacada apartamento 502                                  | P | X                              |   |   |                                      |                |          |     | Pedreiro 4    |             |             |
|                                    |                                                                            | R |                                |   |   |                                      |                |          |     |               |             |             |

Fonte: Formoso, Bernardes e Alves (2001)

No Quadro 2.4 as atividades semanais são descritas e o dia para a sua execução é marcado com um "x". No quadro além de atividades que precisarão serem feitas existe atividade que ainda não foram feitas por conta de alguma restrição e essa atividade é exposta com sua causa no planejamento semanal para que as devidas soluções sejam tomadas, como no exemplo do quadro a realização novamente de uma conferência de armação para a liberação de uma viga.

Enquanto no Quadro 2.5 mostra um exemplo de planilha para análise de restrições de tarefas.

Quadro 2.5 - Exemplo de planilha de análise de restrições

| PLANILHA PARA ANÁLISE DE RESTRIÇÕES DAS TAREFAS |                             |                            |                                     |                        |                                        |                            |                       |          |
|-------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| Obra:                                           | Período: 11/08 – 07/09/2000 |                            | Responsável:                        |                        |                                        |                            |                       |          |
| Tarefa                                          | Equipe                      | Data de início da execução | Data limite p/ remoção da restrição | Restrições             |                                        |                            |                       |          |
|                                                 |                             |                            |                                     | Projeto                | Material                               | Espaço                     | Mão de obra           | Equipam. |
| 1. Marcação da alvenaria – casas 1 a 10         | A                           | 11/08                      | 04/08                               | Paginação da alvenaria |                                        |                            |                       |          |
| 2. Elevação da alvenaria – casas 1 a 10         | B                           | 18/08                      | 08/08                               |                        | 10.000 Tijolos de 8 furos              | Preparar local de descarga |                       |          |
| 3. Colocação de contra marcos - casas 1 a 10    | C                           | 25/08                      | 12/08                               |                        | Preparar os contra marcos pré moldados |                            |                       |          |
| 4. Execução de contra-piso – casas 1 - 10       | D                           | 01/09                      | 20/08                               |                        |                                        |                            | Contratar mão de obra |          |

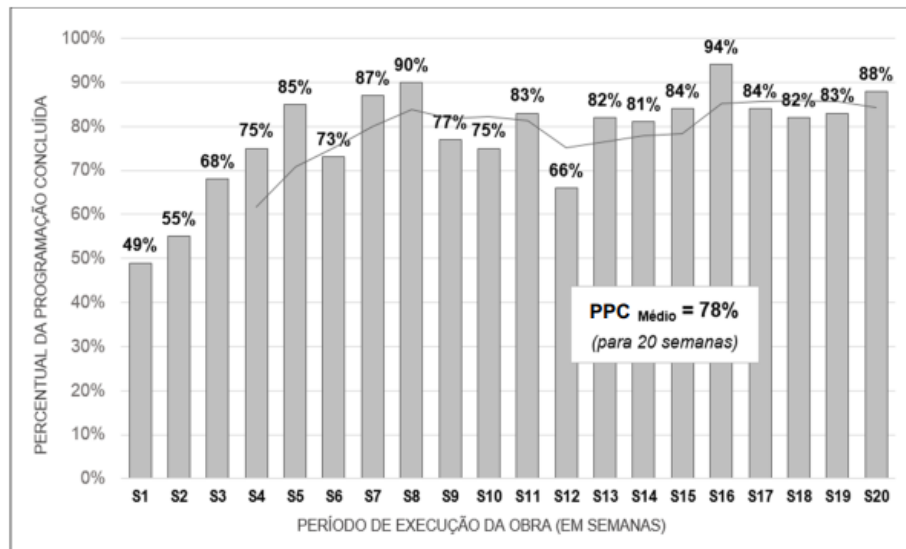
Fonte: Formoso, Bernardes e Alves (2001)

O Quadro 2.4 e 2.5, mostram um exemplo prático tanto da verificação de um planejamento de curto prazo quanto das análises de restrições. Pelo Quadro 2.5 é possível entender o planejamento semanal, onde são definidas tarefas para as equipes com o dia planejado para que a equipe execute a tarefa e com o espaço para preencher qual e quantos dias que foi executado a tarefa. Isso é uma forma de controle do planejamento para que aja ao encerrar a semana planejada seja avaliado o assim definido as possíveis restrições das tarefas, que é o que trata o Quadro 2.5.

O cálculo do PPC é muito utilizado em empreendimentos que são gerenciados com base na filosofia do LC. De acordo com Filippi (2017) este índice é calculado semanalmente para verificar onde encontram-se os problemas da obra. Além de que, proporciona uma avaliação da qualidade dos planejamentos de curto prazo que são desenvolvidos no respectivo empreendimento.

O Gráfico 2.3 ilustra uma avaliação do PPC ao longo de um período de execução de uma obra hipotética, sendo que cada coluna representa a porcentagem dos planos concluídos de acordo com que foi planejado para cada semana. Com o não cumprimento completo das atividades planejadas, são levados em consideração as causas do não atendimento ao planejado e busca-se aplicar medidas que busquem eliminar ou reduzir essas causas.

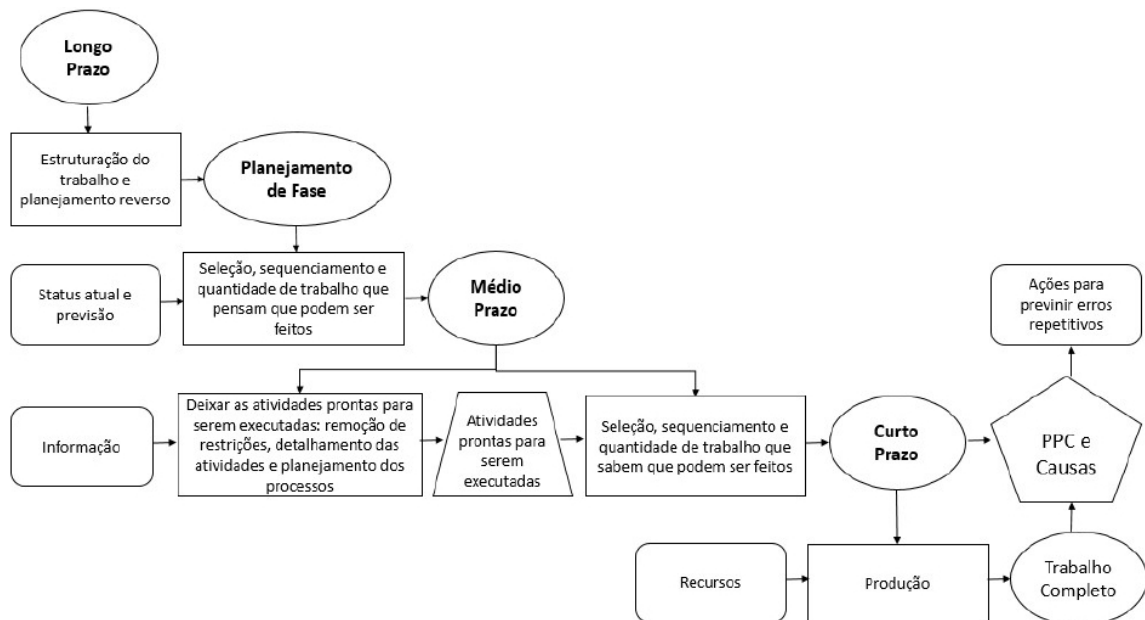
Gráfico 2.3 - Exemplo de uma análise de PPC de produtividade



Fonte: Filippi (2017)

Na Figura 2.20 pode-se visualizar que o LPS pode ser compreendido como um mecanismo de transformação daquilo que deverá ser feito para o que pode ser feito. Dessa forma, é criado um estoque de trabalhos disponíveis e o planejamento semanal pode ser criado com base em um planejamento de longo prazo.

Figura 2.20 – Relação entre os níveis hierárquicos de planejamento do LPS



Fonte: Ribeiro (2018), adaptado de Ballard e Tommelein (2016)

### 2.3.2.1 Planejamento de longo prazo

Próximo do início de um empreendimento, é comum ser realizado um planejamento mestre, ou de longo prazo, o qual se refere a toda a fase de construção (BALLARD, 1997b *apud* MOURA, 2008). Esse plano deve servir, segundo o mesmo autor, para muitos propósitos, desde a coordenação de algumas atividades no longo prazo à projeção dos gastos e desembolsos. Tal plano não deve ser muito detalhado, devido à falta de informação sobre as reais durações e entregas (MOURA, 2008).

O planejamento de longo prazo possui um menor grau de detalhamento, devendo ser utilizado para facilitar a identificação dos objetivos principais da obra, sendo definidos também os ritmos dos principais processos de produção, através de técnicas como a linha de balanço e os diagramas de *Gantt*, por exemplo (LAUFER, 1997 *apud* BERNARDES, 2003).

De acordo com Bernardes (2003), nesta fase deve ser programada a entrega de recursos que requerem um longo prazo de aquisição, incluindo a compra ou aluguel de materiais e equipamentos, e a contratação de mão-de-obra. Segundo Coelho (2003), o planejamento de médio prazo é, também, a etapa do ajuste dos ritmos definidos no longo prazo, os quais podem estar desatualizados, procedendo-se ou pelo detalhamento das tarefas oriundas do planejamento mestre, ou pela retroalimentação de dados coletados na produção.

### 2.3.2.2 Planejamento de médio prazo - lookahead

O processo de planejamento lookahead é uma programação das tarefas potenciais a serem executadas nas próximas 3 a 12 semanas, porém esse período é decidido com base nas características do projeto, tempo de espera de materiais, mão de obra, equipamentos e informações (BALLARD, 2000).

Para Bernardes (2003), este nível de planejamento agrega diversas funções, atuando como a ligação entre o planejamento de longo e o de curto prazo, onde o plano mestre é detalhado e ajustado. A equipe de gerência do empreendimento, a partir de uma maior disponibilidade de informações, toma as devidas ações necessárias para a execução das tarefas selecionadas, bem como a reprogramação daquelas que, por algum motivo, não puderam ser executadas naquele momento (BALLARD e HOWELL, 1998 *apud* MOURA, 2008).

Através da constatação de que os mecanismos de proteção da produção no nível de curto prazo eram insuficientes para estabelecer condições para que as equipes atingissem uma elevada eficiência, motivou-se a introdução do processo de planejamento de médio prazo no LPS (BALLARD, 2000).

### 2.3.2.3 Planejamento de curto prazo - comprometimento

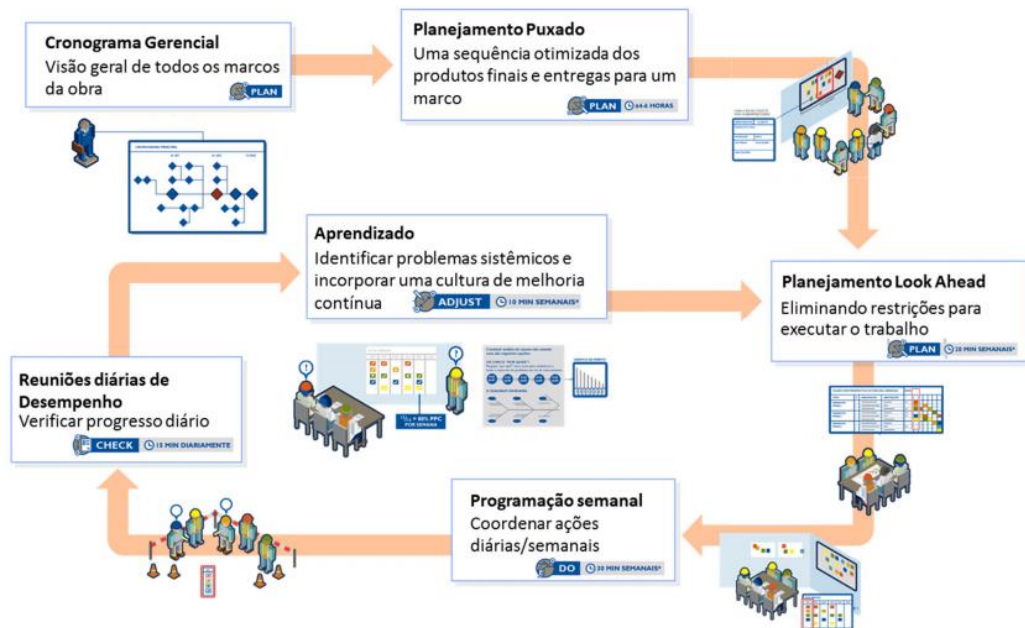
De acordo com Ballard (2000), o planejamento de comprometimento é o nível no qual se especificam meios para atingir os objetivos estabelecidos no planejamento mestre. Ainda de acordo com o autor, isso se dá através da produção dos planos semanais de trabalho em que se orienta de forma direta a execução da obra através da atribuição de tarefas aos operários.

Para Ballard (2000), o comprometimento das equipes operacionais, se dá também através da participação de um representante de cada colaboradora do empreendimento na reunião semanal de planejamento. Moura (2008) afirma que, cada representante possui conhecimento sobre a capacidade de sua equipe e as restrições existentes para a execução de suas tarefas, e sua contribuição é importante para estabelecer um vínculo de comunicação com os demais trabalhadores da obra.

Um dos objetivos dessa reunião semanal é de firmar planos que atendem a certos requisitos de qualidade, e que contemplem pacotes de trabalho em curto prazo. De acordo com Ballard e Howell (1998) *apud* Moura (2008), os pacotes de trabalho devem atender o dimensionamento e sequenciamento das tarefas, que necessitam ser coerentes com a capacidade produtiva de cada equipe e com o tempo disponível para a execução destas. Sendo assim, é necessária a disponibilidade de projetos completos e materiais na obra, além do cumprimento de pré-requisitos, que, em caso negativo, deve-se buscar as causas raízes para a não realização das mesmas através de um rigoroso monitoramento (MOURA, 2008).

De modo geral, cada uma das etapas do LPS está diretamente ligada a um dos níveis de planejamento (inicial, *lookahead* e comprometimento), segundo Ballard (2000) após a confecção do planejamento do comprometimento, é necessário haver a comunicação entre o superior com a equipe de produção, fazendo com que os produtos deste planejamento se tornem eficientes. Para Freijanes (2017), a implementação do LPS em uma obra permite sistematizar a aplicação do ciclo PDCA que é uma das metodologias de melhoria contínua.

**Figura 2.21 - Etapas do Last Planner System**



Fonte: Freijanes. (2017)

Pode-se perceber pela Figura 2.21 as etapas do LPS implementado em uma obra onde inicialmente é realizado um planejamento inicial através de um cronograma que abrange a visão geral da obra, onde esse planejamento se torna um sequenciamento otimizado dos planos gerais da obra, para que dessa forma, seja feito o planejamento *lookahead* buscando eliminar restrições, além de ter um nível maior de detalhes. Em seguida é gerado o planejamento de comprometimento, ou de curto prazo, que pode ser, nesse sentido a programação semanal das atividades. E para completar o ciclo deve ser realizado reuniões com as equipes executoras para verificar o progresso e possíveis implicações ou observações da execução dos serviços, para que dessa forma seja apontado possíveis problemas ou implicações que não colaborem na execução dos serviços e seja refeito ou levado em considerações no planejamento para ser gerado uma adaptação da programação semanal.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo é informado quais os métodos que foram utilizados para realizar a pesquisa, ferramentas e técnicas usadas bem como o cenário.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do presente trabalho consistiu primeiramente na realização de um levantamento bibliográfico sobre a tecnologia BIM, planejamento e controle de obras e construção enxuta, baseadas em recentes pesquisas elaboradas nestas áreas. Em seguida foi feito um estudo de caso onde foram aplicadas e avaliadas as técnicas de planejamento e controle em conjunto com a tecnologia BIM, para a execução de um pavimento tipo em uma obra comercial.

No item 3.1 é mostrado o estudo de caso onde foi situada a obra, bem como seu organograma e a descrição dos serviços executados pelas subempreiteiras em um pavimento tipo da superestrutura.

No item 3.2 é mostrado como foram levantados informações, métodos e processos do planejamento adotados na obra e pelas subempreiteiras, para a execução de serviços do pavimento tipo da superestrutura.

No item 3.3 é mostrado como foi o procedimento de realização da modelagem do pavimento tipo da superestrutura, utilizando a metodologia BIM a partir dos projetos de fôrma, instalações elétricas, armações passivas e ativas.

No item 3.4 é abordado o procedimento do planejamento operacional, do levantamento de informações no canteiro até ser gerado o planejamento operacional semanal da execução do pavimento tipo.

No item 3.5 é apresentado como foi feita a avaliação do planejamento operacional, verificando a sua eficácia através das técnicas de PPC mapeando as causas do não cumprimento, bem como a aplicação do ciclo PDCA para propor a melhoria contínua na execução de um pavimento tipo da superestrutura.

#### 3.1 ESTUDO DE CASO

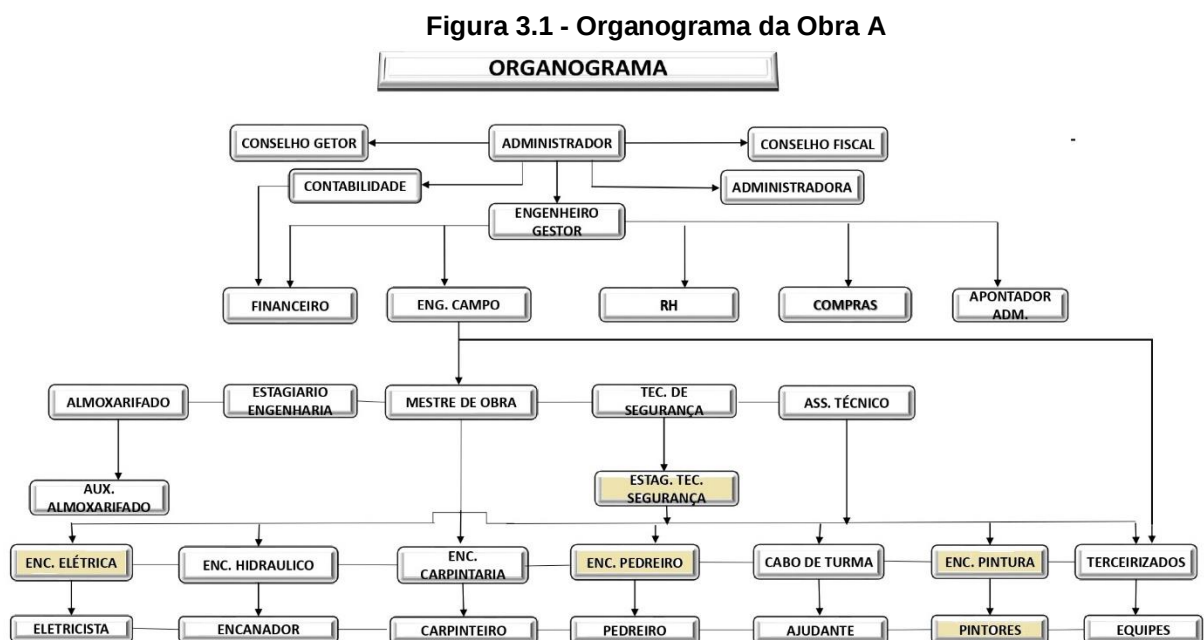
O estudo de caso do presente trabalho consistiu na elaboração de uma proposta de planejamento operacional da execução de um pavimento tipo da superestrutura para uma obra comercial em concreto protendido na cidade de Aracaju.

O empreendimento do estudo de caso nesse trabalho refere-se a um edifício comercial construído em sistema associativo, ou seja, um grupo de investidores se

juntam com a finalidade específica de construção de um determinado edifício sendo criado para a obra um CNPJ que confere aos participantes segurança jurídica e patrimonial. Esse empreendimento será tratado como “Obra A”.

A fundação executada no edifício foi estaca hélice contínua. Sua superestrutura é concebida em lajes e vigas em concreto protendido em uma única torre com 15 pavimentos sendo os 3 primeiros compostos por lojas, farmácias e restaurantes e os outros 11 pavimentos e cobertura são compostos por salas comerciais. Já nas laterais da torre em lajes nervuradas são 3 pavimentos que compõe as garagens. A área total do terreno é de 6.726,25 m<sup>2</sup> e área total construída de 31.332,94 m<sup>2</sup>.

A Figura 3.1 apresenta o organograma da Obra A e os quadros pintados na cor marrom são funcionários que ainda não foram contratados durante o estudo de caso. Na figura é possível entender a hierarquia da obra, sendo fundamental seu entendimento para facilitar o estudo de caso. Nesse caso, entende-se que as subempreiteiras estão subordinadas ao mestre de obras e ao engenheiro de campo, sendo estes, subordinados ao engenheiro gestor.



Fonte: O autor (2020)

Para a execução da superestrutura da Obra A foram definidas 5 etapas: fôrma, armaduras, instalações elétricas, protensão e concretagem. Cada etapa e serviço são executados por uma subempreiteira (terceirizada), totalizando 5 subempreiteiras

como mostra o Quadro 3.1. Sendo que algumas subempreiteiras executam até 2 serviços diferentes.

**Quadro 3.1 – Subempreiteiros responsáveis por serviços da superestrutura**

| Serviço               | Subempreiteiro    | Atividade                                           |
|-----------------------|-------------------|-----------------------------------------------------|
| Fôrma                 | Subempreiteiro 01 | Fabricação e montagem de fôrma                      |
| Armaduras             | Subempreiteiro 01 | Montagem e posicionamento da armadura passiva       |
|                       | Subempreiteiro 03 | Montagem e posicionamento da armadura ativa         |
| Instalações Elétricas | Subempreiteiro 02 | Montagem e posicionamento das instalações elétricas |
| Protensão             | Subempreiteiro 03 | Execução da protensão                               |
| Concretagem           | Subempreiteiro 04 | Preparação, transporte e lançamento do concreto     |
|                       | Subempreiteiro 05 | Controle Técnico do concreto                        |

Fonte: O autor (2020)

O Quadro 3.1 apresenta as 5 subempreiteiras diretamente ligadas a execução da superestrutura executando os seguintes serviços:

a) Fôrma:

- Para os pilares foram utilizados painéis verticais de compensado travados por gravatas de pilares, o cimbramento é composto por escoras metálicas tubulares ajustáveis, vigas metálicas principais e transversais;
- É utilizada madeira compensada com espessura de 20,0 mm para os pilares e assoalho, sendo que essa madeira é parcialmente cortada no canteiro e composta por 2 jogos de fôrma;
- Na montagem do assoalho da laje também são posicionados os shafts que são aberturas verticais na estrutura, por onde passarão tubulações de instalações hidrossanitárias, como água quente, fria, ventilação e esgoto.

b) Instalações Elétricas:

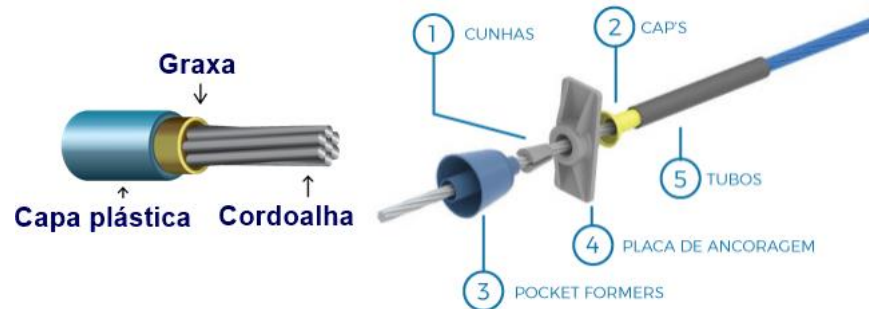
- São posicionadas as caixas de passagens sextavadas que formam pontos de luz embutidos no teto com fundo removível e eletrodutos rígidos no assoalho para instalação de interruptores e tomadas;
- Instalação das barras do Sistemas de Proteção Contra Descargas Atmosféricas (SPDA) junto a armação passiva dos pilares.

c) Armaduras:

- A armadura passiva composta por aço CA – 50 e CA – 60, é entregue cortado e dobrado no canteiro, e é apenas armado e posicionado na fôrma;

- A armadura ativa como mostra a Figura 3.2 é composta pelas cordoalhas engraxadas que são fios em forma de hélice cobertas por uma capa plástica, onde são encaixadas nas ancoragens e posicionadas na fôrma.

**Figura 3.2 - Cordoalha engraxada**



Fonte: Impacto (2020)

d) Concretagem:

- Dividida em duas etapas, concretagem de pilares e posteriormente concretagem de vigas e lajes, o fornecimento de concreto através de caminhões betoneiras pela subempeiteira 04 e realizado o controle tecnológico pela subempeiteira 05, consistindo da coleta de 06 corpos de provas para cada caminhão, sendo rompidos em 03, 07 e 28 dias, sendo especificado em projeto a resistência característica a compressão do concreto de 40,0 MPa (Mega Pascal) aos 28 dias.

e) Protensão:

- 04 dias após a concretagem das lajes e das vigas é realizada a protensão das cordoalhas, sendo aplicado uma força de 15 tf por um macaco hidráulico;
- Realização dos cortes das cordoalhas após a protensão por um maçarico;
- Aplicação de um graute com resistência de 40,0 MPa para garantir o cobrimento das cordoalhas após ser realizado o corte.

O estudo de caso do presente trabalho foi dividido em quatro principais etapas, no levantamento de informações do planejamento e execução de serviços da obra gerando modelos resumidos dos processos das principais etapa dos serviços do pavimento tipo, modelagem da superestrutura, planejamento operacional da execução de um pavimento tipo da superestrutura e a análise deste planejamento com aplicação do PPC e do ciclo PDCA.

### 3.2 PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE SERVIÇOS

Durante a fase de execução dos pavimentos tipos da superestrutura foram levantadas informações pertinentes as atividades executadas no canteiro seguindo os seguintes procedimentos:

- a) Foi levantado informações sobre as técnicas de planejamento e controle utilizadas pelo gestor da Obra A na fase da superestrutura;
- b) Foram monitoradas as datas de concretagens de pilares, vigas e lajes dos pavimentos tipos com objetivo de filtrar informações do tempo de duração das atividades bem como verificar possíveis restrições que ocasionam atrasos ou perdas;
- c) Foram levantados os métodos e gerado um resumo do processo da execução do serviço de fôrma, verificando as técnicas construtivas utilizadas e analisando possíveis restrições ou falhas;
- d) Foi levantado os métodos e gerado um resumo do processo da execução de serviços das armaduras passivas e ativas, além da análise das técnicas construtivas;
- e) Foi feito o acompanhamento e levantamento dos métodos bem como gerado um resumo do processo do serviço de instalações elétricas referente a fase de execução da superestrutura;
- f) Foi feito o acompanhamento e levantamento dos métodos e processos do serviço de protensão;
- g) Foi levantado os métodos e gerado um resumo do processo referente ao serviço de concretagem levando em consideração suas etapas de preparação, transporte, lançamento, adensamento, cura e seu controle tecnológico.

### 3.3 MODELAGEM SUPERESTRUTURA

A modelagem do pavimento tipo compreendeu na transcrição dos modelos em CAD dos projetos de fôrma do pavimento tipo, instalações elétricas e armação de lajes, vigas e pilares para o software *Revit* e consistiu nos seguintes procedimentos:

- Criação dos níveis de elevação dos pavimentos da superestrutura;

- Modelagem dos pilares do pavimento tipo conforme dimensões do projeto de fôrma;
- Modelagem das vigas do pavimento tipo conforme dimensões do projeto de fôrma;
- Modelagem das lajes do pavimento tipo conforme dimensões do projeto de fôrma;
- Modelagem das instalações elétricas conforme projeto elétrico;
- Modelagem das armaduras dos elementos estruturais conforme projeto de armação;
- Modelagem do sistema de fôrma de madeira;
- Modelagem do cimbramento conforme projeto;
- Modelagem das cordoalhas conforme projeto de armação ativa.

O projeto modelado não teve intuito de verificação de cargas, ou validação do cálculo estrutural.

Foram feitas as modelagens de elementos como cordoalhas, escadas e cimbramento no software *Sketchup* e posteriormente lançado no software *Revit*.

Após a modelagem no software *Revit* foi gerado um arquivo da superestrutura e foi lançado no programa *Autodesk Navisworks Manage* devido a interoperabilidade entre os softwares. Foram lançadas as datas de início e fim de cada atividade no *Navisworks* a partir de um cronograma do planejamento operacional, conseguindo dessa maneira a geração de um modelo BIM 4D, onde foi feito o acompanhamento da execução do pavimento tipo.

### 3.4 PLANEJAMENTO OPERACIONAL

Para ser realizado o planejamento operacional foram feitos os seguintes procedimentos:

- a) Foi gerado um PPC do sequenciamento das atividades definido inicialmente pela Obra A para filtrar possíveis restrições de atividades;
- b) Foi feita uma EAP com a sequência de atividades para a execução de um pavimento tipo com suas respectivas durações medidas *in loco*;
- c) Analisou-se tecnicamente o sequenciamento das atividades na Obra A e verificou-se possíveis incoerências ou formas de melhorar o processo em campo;

- d) Inseriu-se o sequenciamento das atividades e durações no software *Ms Project* bem como suas ligações, e foi gerado uma rede PERT/CPM;
- e) Gerou-se os cronogramas físicos ALAP e ASAP;
- f) Elaborou-se as curvas “S” ASAP e ALAP determinando área de atraso, área de adiantamento e área controlável;
- g) Foi lançado o arquivo da modelagem do pavimento tipo no *Navisworks* junto com o arquivo gerado do *Ms Project* gerando modelo BIM 4D;

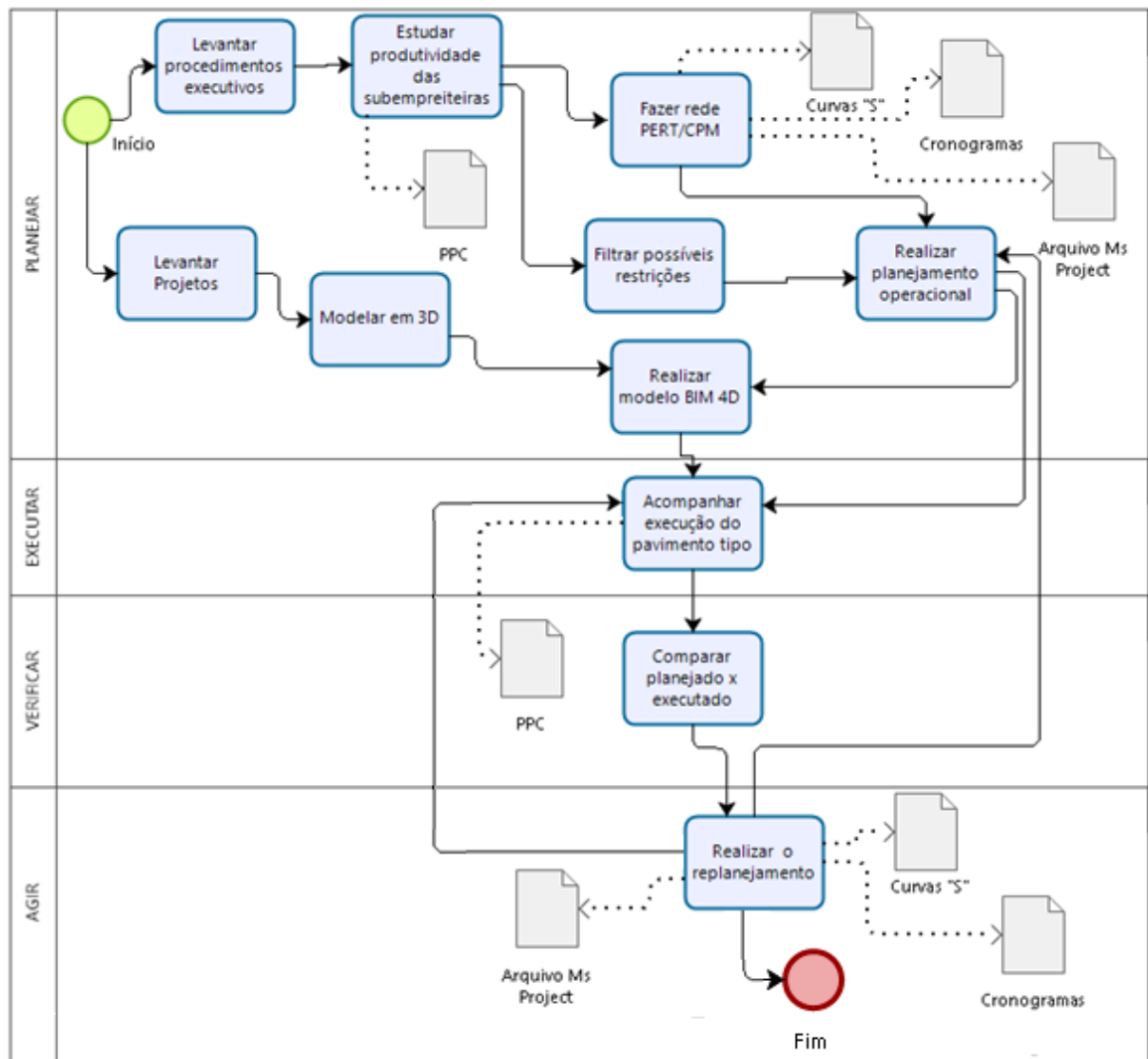
### 3.5 ANÁLISE DO PLANEJAMENTO OPERACIONAL

Após ser feito o planejamento operacional, o mesmo foi aplicado conforme o andamento da execução do pavimento tipo em específico o 10º, sendo feitos os seguintes procedimentos:

- a) Foi gerado o PPC durante a execução do 10º pavimento onde foi verificado percentualmente a conclusão das atividades para cada dia estabelecido e suas causas de não cumprimento;
- b) Foi analisado de forma crítica no 6º dia do planejamento para a data mais cedo e para a data mais tarde através da curva “S” e dos cronogramas físicos, gerando uma tabela de análise do avanço físico por atividade;
- c) Foi feita a comparação do planejado e o executado do 10º pavimento tipo utilizando a ferramenta *Timeliner* do *Navisworks* no modelo BIM 4D;
- d) Definiu-se possíveis alterações no planejamento para gerar as novas datas de finalização da execução do 10º pavimento tipo a partir do dia da análise.

Foi possível resumir na Figura 3.3 o processo metodológico do presente trabalho para garantir um ciclo de melhorias contínuas na execução dos serviços no pavimento tipo da superestrutura onde foi definido o conjunto de ações ordenadas e interligadas entre si compreendendo as fases do ciclo PDCA. Sendo que as primeiras atividades foram o levantamento dos procedimentos executivos, o estudo da produtividade das subempreiteiras até a fase da elaboração do planejamento operacional e suas análises após ser aplicado.

**Figura 3.3 – Processos Metodológico do trabalho (PDCA)**



Fonte: O autor (2020)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo será mostrado dados e informações coletadas no período de execução da superestrutura da Obra A compreendido entre o 2º e o 5º pavimento tipo. Sendo que foi feita uma análise das atividades desenvolvidas nas etapas de fôrma, armaduras, instalações elétricas, protensão e concretagem.

### 4.1 PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE SERVIÇOS

#### 4.1.1 Planejamento Mestre da Superestrutura

O planejamento mestre da obra foi feito por uma subempreiteira e é acompanhado pela mesma com reuniões mensais junto aos gestores da obra onde é comparado o executado e o planejado da obra por uma curva “S”. A subempreiteira disponibiliza uma tabela eletrônica para o preenchimento das atividades e os gastos em materiais e mão obra para ser realizada a medição mensal.

O Anexo 05 mostra o cronograma da superestrutura da Obra A feito e disponibilizado pela subempreiteira responsável pelo planejamento e controle da obra. Em campo é tomado como base esse cronograma como forma de planejamento para execução das atividades e tomada de decisão, o que não propicia uma boa base de acompanhamento de metas de curto prazo. Por ser um cronograma mais amplo não é possível estabelecer metas claras para atividades semanais ou diárias no canteiro.

De acordo com o Anexo 05 para a execução do pavimento tipo foi considerado um período de 11 dias úteis, o que não é cumprido na prática. É possível verificar essa divergência de acordo com a Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 - Datas das concretagens e dias trabalhados dos pavimentos tipo**

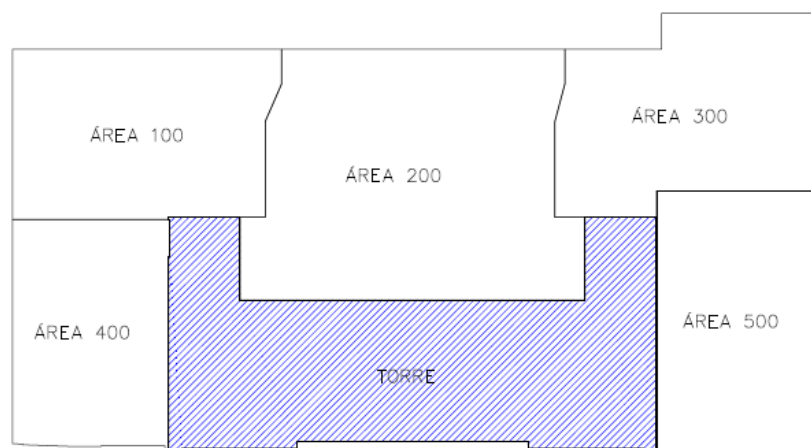
| Obra A       | Datas das Concretagens       |               | Dias trabalhados |               |       |
|--------------|------------------------------|---------------|------------------|---------------|-------|
|              | Pilares                      | Vigas e Lajes | Pilares          | Vigas e Lajes | Total |
| 1º Pav. Tipo | -                            | 11/10/2019    | -                | -             | -     |
| 2º Pav. Tipo | 18/10/19; 21/10/19; 22/10/19 | 29/10/2019    | 8                | 6             | 14    |
| 3º Pav. Tipo | 06/11/19; 07/11/19           | 18/11/2019    | 7                | 9             | 16    |
| 4º Pav. Tipo | 25/11/2019                   | 03/12/2019    | 6                | 7             | 13    |
| 5º Pav. Tipo | 09/12/19; 10/12/19           | 19/12/2019    | 6                | 8             | 14    |

Fonte: O autor (2020)

Na tabela 4.1 o 4º pav. tipo teve um total de 13 dias trabalhados, exatamente o que o foi programado em reunião com os subempreiteiros para definir um prazo para a execução das atividades. Sendo que nesse período o número de funcionários da subempreiteira responsável pela fôrma e as armaduras aumentou de 45 para 62. A concretagem dos pilares do 2º pav. tipo segundo a Tabela 4.1, foi feita em três datas, resultado de retrabalhos na execução da fôrma.

De acordo com a Figura 4.1, as áreas 100, 200, 300, 400 e 500 correspondem as garagens do edifício, sendo que no período do seguinte trabalho a execução da superestrutura estava somente para a torre, onde mostra hachurada na Figura 4.1.

**Figura 4.1 - Planta Mapa da Superestrutura**



Fonte: O autor (2020)

Para a conclusão de um pavimento tipo, foi acordado entre as subempreiteiras envolvidas um prazo de 13 dias úteis, porém não era atingido esse prazo, tendo que muitas vezes os gestores da obra optarem por horas extras, o que resultou em acréscimo de custos tanto para a obra como para as subempreiteiras.

Será abordado nos itens a seguir os serviços destinados para cada subempreiteira e suas interligações umas com as outras.

#### 4.1.2 Fôrma

O sistema de fôrmas utilizado na superestrutura do edifício comercial tem a função de moldar os elementos estruturais como descritos no projeto de fôrma, suportando o peso do concreto fresco e de sobrecargas sem deformações excessivas. Nesse projeto de fôrma o calculista exige um sistema de escoramento e

reescoramento da superestrutura, onde 1 pavimento deve ficar escorado e 3 pavimentos abaixo reescorados 75%, 50% e 25% necessariamente.

Vale ressaltar que não existe um projeto de produção de fôrma na obra, apenas um projeto de escoramento onde são mostradas as especificações dos tipos de escoras, que são metálicas tubulares e sua distribuição ao longo do pavimento. Os painéis de madeira compensada que moldam os pilares e vigas externas, vigas das escadas e dos poços dos elevadores chegam prontos na obra para apenas serem montados já os painéis do assoalho e vigas internas são cortados na própria obra.

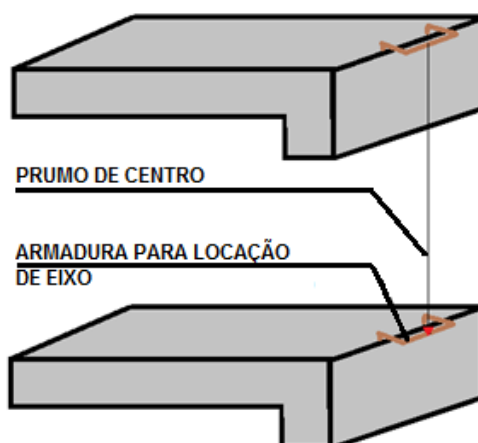
O projeto de fôrma do 2º ao 11º pavimento tipo é mostrado no Anexo 01, sendo 2 escadas cada uma com 2 lances e 1 patamar, 8 poços de elevadores, 44 pilares com dimensões variando entre 120 x 25 cm até 160 x 35cm e os pilares paredes dos elevadores.

A subempreiteira responsável pela fôrma foi denominada nesse trabalho como subempreiteira 01, que também é a responsável pela montagem das armaduras passivas. Composta por 1 engenheiro, 1 mestre de obras, 1 técnico de segurança do trabalho, encarregado de carpintaria, encarregado de armação, carpinteiros, auxiliar de carpinteiros, armadores, auxiliares de armadores, cabo de turma e serventes.

#### 4.1.2.1 Pilares

Um dia após a concretagem das vigas e lajes de um pavimento são iniciadas as atividades de armação de pilares e gastalho, sendo iniciado a desforma dos painéis dos pilares do pavimento inferior.

**Figura 4.2 – Transferência de eixos para marcação de gastalho**

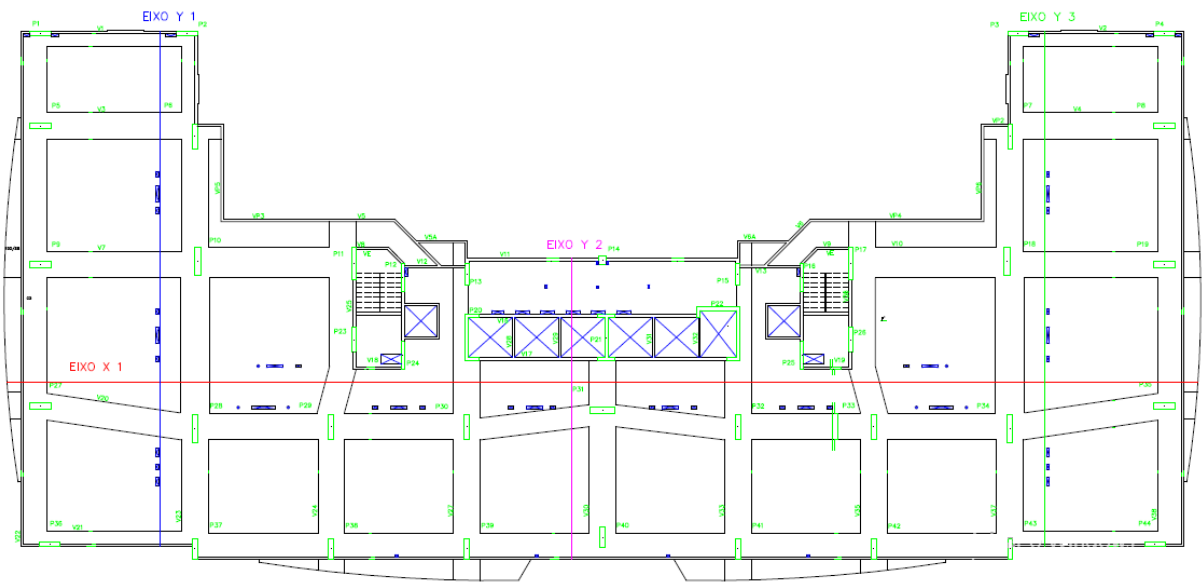


Fonte: O autor (2020)

Na Figura 4.2 mostra como é feita a transferência de eixos de um pavimento para o outro para a marcação dos gualhos, onde foi verificada a vinculação entre eixos, ou seja, se estão ortogonais como descrito em projeto.

A Figura 4.3 mostra como foram transferidos 4 eixos representados de acordo com o plano cartesiano do projeto, denominados eixo y1, eixo y2, eixo y3 e eixo x1 respectivamente, para então ser iniciado a marcação dos gastalhos.

**Figura 4.3 – Representação do projeto de eixos para marcação de gastalho**



Fonte: O autor (2020)

Após a marcação dos gualhos é feito o transporte dos componentes dos pilares para o pavimento.

**Fotografia 4.1 - Forma dos pilares do 4º Pav. Tipo (Obra A)**



Fonte: O autor (2020)

Depois dos painéis montados alguns são aprumados e todos são travados com três escoras metálicas como é mostrado na Fotografia 4.1 e em seguida é transferido o nível do pavimento para todos os pilares utilizando nível a laser ou “nível alemão”.

#### 4.1.2.2 Vigas e lajes

Após o fechamento da fôrma dos pilares é iniciado a montagem do cimbramento com as escoras metálicas tubulares, as longarinas e as transversais para receber o assoalho. Inicialmente é montado somente o assoalho e as fôrma das vigas internas para que seja liberado para a concretagem dos pilares, após a concretagem é iniciada a montagem da fôrma das vigas externas e das escadas.

**Fotografia 4.2 - Cimbramento do 3º Pav. Tipo (Obra A)**



Fonte: O autor (2020)

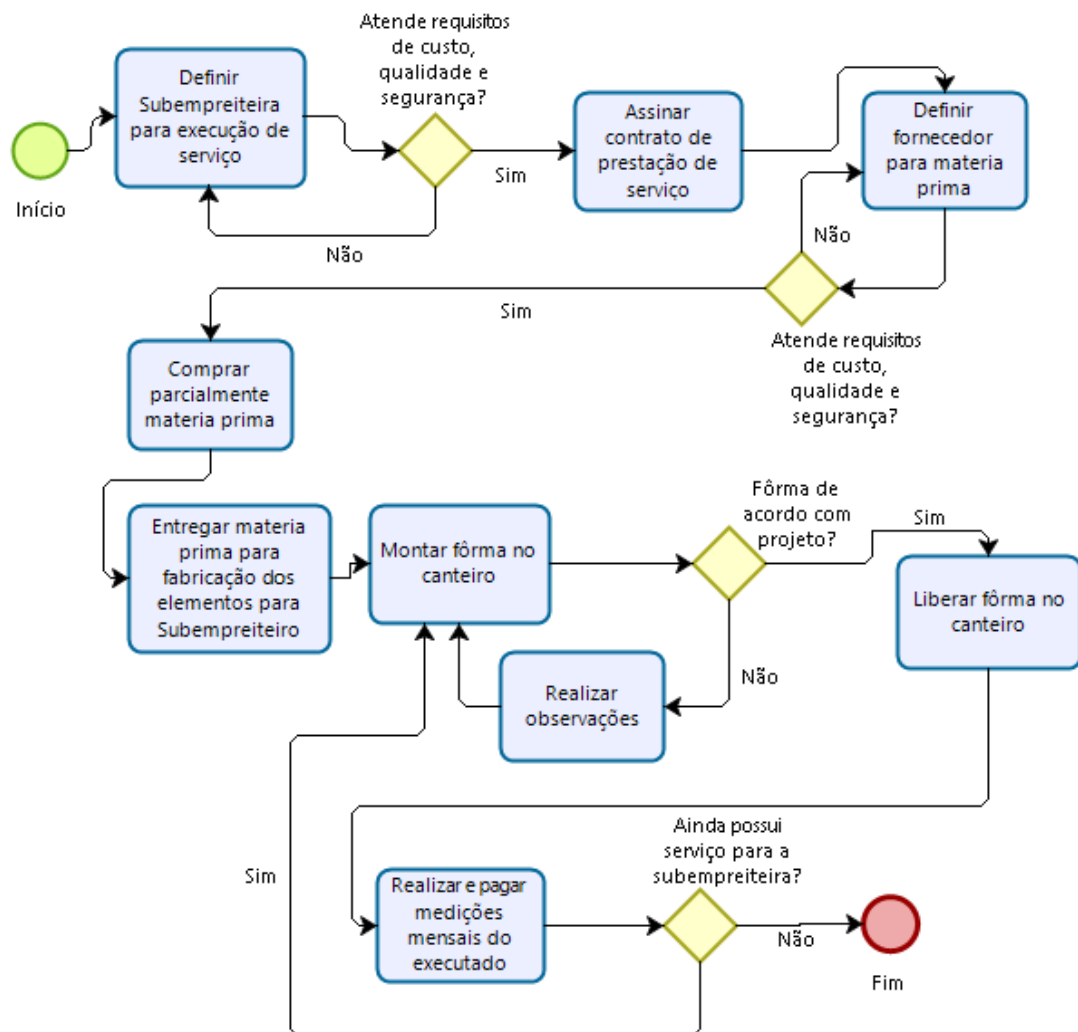
De acordo com a Fotografia 4.2 o cimbramento apresenta uma má organização, sendo grande parte das escoras mal posicionadas sem um padrão de afastamento uma das outras, algumas inclinadas não ficando totalmente na vertical. Com o cimbramento parcialmente executado é realizado a transferência de eixos do pavimento inferior e é iniciado o assoalho com a distribuição dos painéis de madeira compensada com dimensões de 122 x 144 cm.

Após a desforma das vigas e lajes concretadas em alguns pontos como no meio dos vãos houve uma leve curvatura no elemento estrutural viga ou laje. O que representa que para essa obra, considerada de grande porte, seria necessário um

projeto de produção de fôrma, como as lajes e vigas são concretadas de uma só vez com 324,0 m<sup>3</sup> de concreto o que representa de mais de 800 toneladas por pavimento.

De modo geral, todo o processo do sistema de fôrma foi resumido na Figura 4.4, onde mostra o fluxograma simplificado das etapas adotadas na obra A.

**Figura 4.4 - Fluxograma processo de fôrma**



Fonte: O autor (2020)

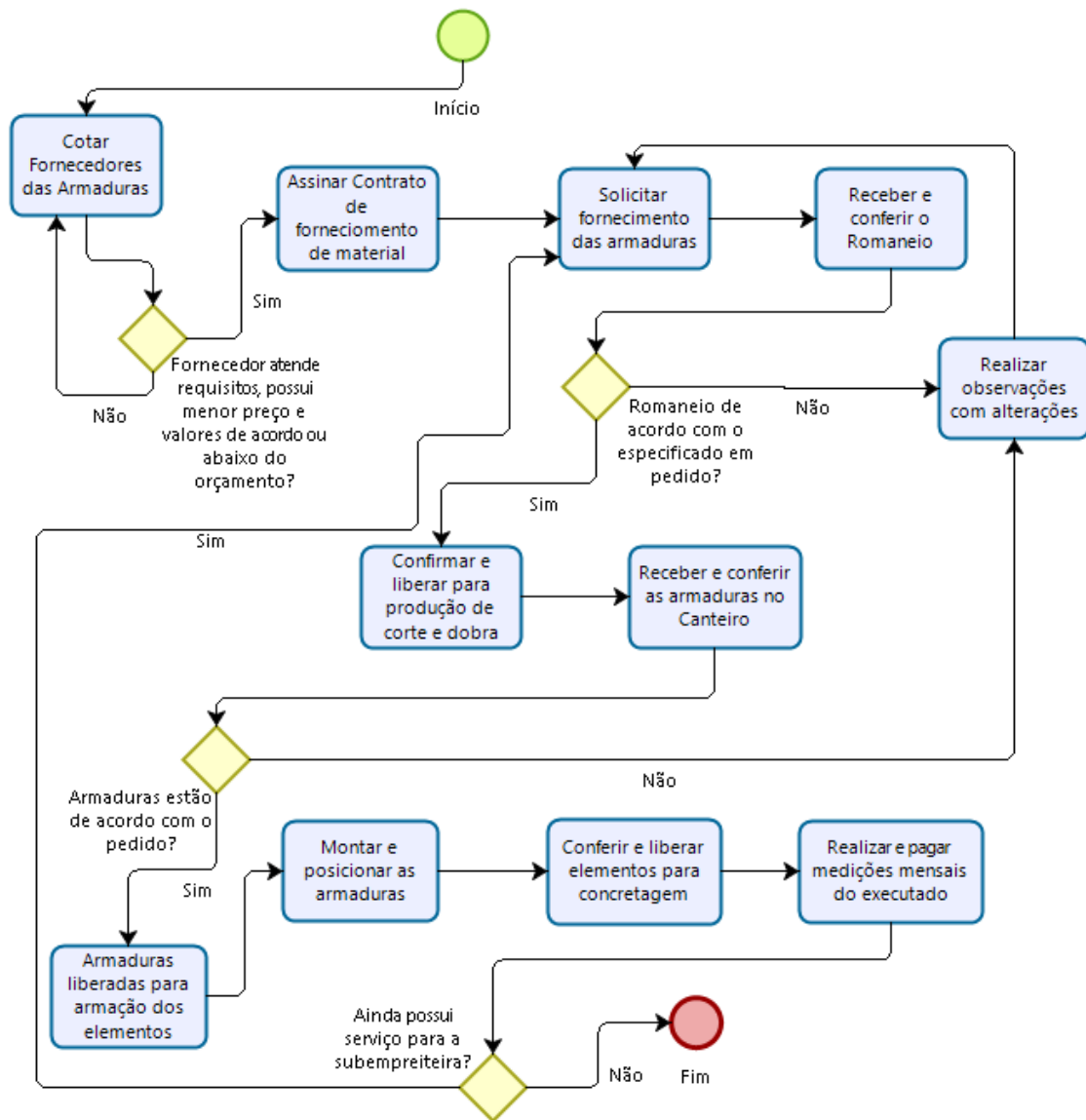
#### 4.1.3 Armaduras

As armaduras utilizadas são as passivas e as ativas, as passivas são barras CA – 50 e CA – 60 já cortadas e dobradas e são armazenadas no canteiro em cima de barrotes ortogonais a sua distribuição. A subempreiteira responsável pelas armaduras passivas é a subempreiteira 01 e das armaduras ativas é a subempreiteira

03. O item que tratará das armaduras ativas será o 4.1.5. Será descrito abaixo com maiores detalhes o processo referente as armaduras passivas.

#### 4.1.3.1 Armaduras passivas

**Figura 4.5 - Fluxograma processo das armaduras passivas**



Fonte: O autor (2020)

A Figura 4.5 mostra o fluxograma do processo das armaduras passivas da sua cotação até o recebimento e liberação para armação dos elementos estruturais.

Os pilares são armados no próprio canteiro 3 dias antes da concretagem das lajes e vigas. O transporte dos pilares é feito por uma mini grua instalada no próprio

pavimento e é realizado com cerca de 90% do pilar armado, faltando somente estribos superiores do encontro com vigas.

Foi verificado que durante o posicionamento dos pilares nos pavimentos tipo não houve uma boa logística, os pilares vinham na mini grua em ordem totalmente aleatória, contribuindo no aumento do prazo das atividades.

Na Fotografia 4.3 é mostrado a falta de logística na armação dos pilares no 3º pavimento tipo sendo que a colocação das armaduras é totalmente aleatória sendo que a colocação da fôrma de uma viga é colocada quando dois pilares em que se apoiam já estão com suas devidas fôrmas, aprumados e travados. Nesse sentido, com uma melhor sequência da armação dos pilares é possível reduzir o tempo para colocação das fôrmas das vigas e cimbramento.

**Fotografia 4.3 - Armação dos pilares do 3º Pav. Tipo (Obra A)**



Fonte: O autor (2020)

Após a concretagem dos pilares com o assoalho feito, é iniciado a etapa de colocação dos conectores de punção, que são as armaduras para evitar colapso progressivo na região do encontro entre pilares e vigas. Enquanto foi colocado esses conectores a subempreiteira 01 posicionava as vigas no assoalho que são também armadas no canteiro e trazidas pela mini grua. Quando finalizado a colocação das vigas é iniciado o posicionamento das armaduras positivas das lajes.

Na Fotografia 4.4 é mostrado o início da armação das vigas internas, e das armaduras positivas como também os conectores de punção. As armaduras negativas

das lajes são posicionadas após a colocação das armaduras ativas, ou seja, após o posicionamento das cordoalhas.

**Fotografia 4.4 - Início do posicionamento das armaduras passivas**



Fonte: O autor (2020)

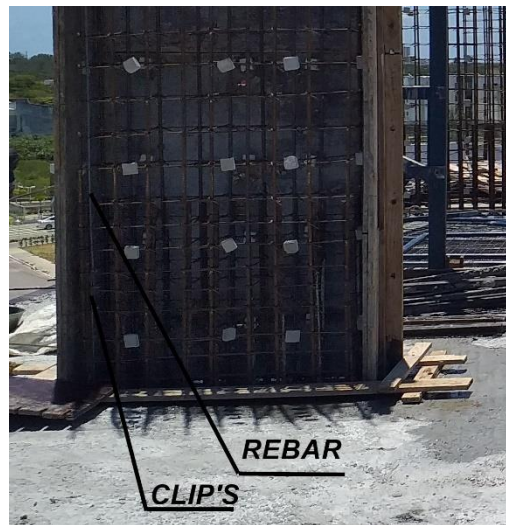
#### 4.1.4 Instalações elétricas

Os serviços referentes as instalações elétricas do pavimento tipo correspondem ao SPDA que foram em todos os pavimentos do edifício pelos pilares, como também pela inserção de algumas caixas de passagens que formam pontos de luz embutidos no teto sextavadas com fundo removível e eletrodutos rígidos no assoalho para instalação de interruptores e tomadas.

Todo a parte elétrica exceto o SPDA é externo da estrutura definido em projeto. Porém, foi solicitado ao engenheiro eletricista e estrutural a possibilidade de colocar caixas de passagem e eletrodutos embutidos na laje para não haver serviço apenas com SPDA. A empresa responsável pela parte elétrica é a subempreiteira 02. Composta por 1 técnico de edificações, 1 encarregado eletricista, 1 eletricista, 1 encanador e serventes.

Na Fotografia 4.5 é mostrado a Rebar e os clip's das instalações do SPDA. São colocados após o posicionamento das armaduras dos pilares e antes do fechamento da fôrma. Instalados a partir da fundação as REBARS são de fácil identificação junto às demais armaduras, sendo que no assoalho deriva das Rebars fios de cobre nas armaduras passivas.

**Fotografia 4.5 – Instalações do SPDA (Obra A)**



Fonte: O autor (2020)

Na Fotografia 4.6 mostra o início do posicionamento dos eletrodutos rígidos e das caixas de passagens que vêm logo após as armaduras positivas das lajes e das cordoalhas para não ocorrer desvios nas cordoalhas.

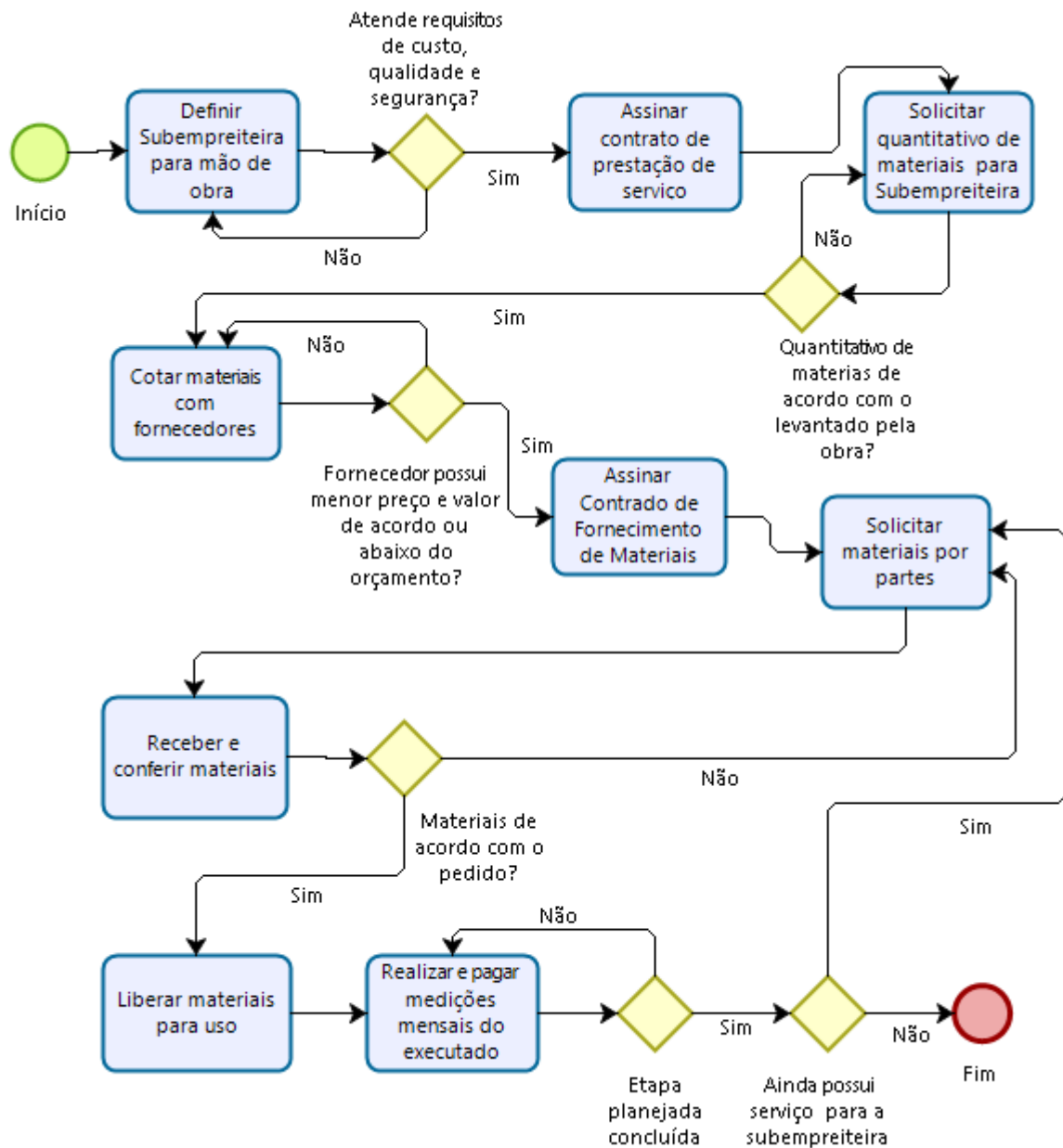
**Fotografia 4.6 - Eletrodutos rígidos (Obra A)**



Fonte: O autor (2020)

A Figura 4.6 apresenta o fluxograma de como ocorre o processo das instalações elétricas na obra A, desde a contratação da subempreiteira. O fluxograma apresenta de forma simplificada o ciclo das atividades que a subempreiteira desenvolve no canteiro. O processo se resume na aquisição de materiais, pagamento para a subempreiteira de acordo com o produzido mensalmente mantendo o controle desse processo.

**Figura 4.6 - Fluxograma do processo das instalações elétricas**



Fonte: O autor (2020)

#### 4.1.5 Protensão

Elementos de concreto protendido segundo a ABNT NBR 6118: 2014 são os quais parte da armadura é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão, bem como a armadura ativa é constituída por cordoalhas, na qual se aplica um pré-alongamento.

Na Obra A é utilizada a protensão sem aderência sendo que de acordo com a ABNT NBR 6118: 2014, o pré-alongamento da armadura ativa é feito após o endurecimento do concreto, não sendo criada aderência com o mesmo, ficando a

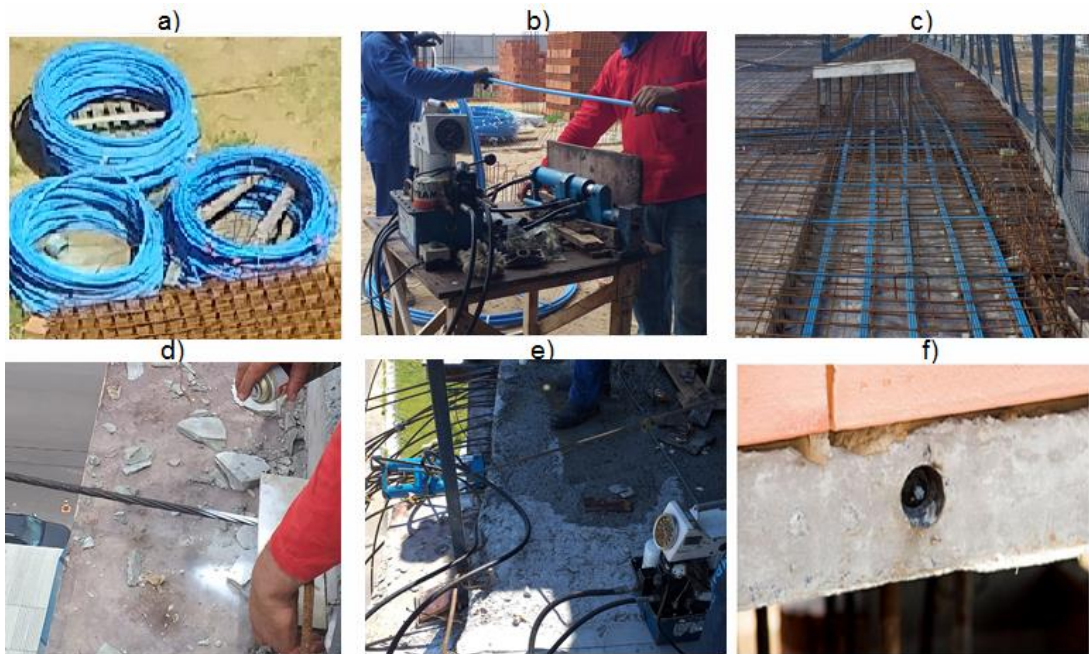
armadura ligada ao concreto apenas em pontos localizados. Corresponde também a protensão limitada, onde o grau de protensão admite tensões de tração sem ultrapassar o limite de formação de fissura.

No Anexo 06 é mostrado o projeto de protensão do 2º ao 11º pavimento tipo. As linhas verdes verticais e horizontais são as cordoalhas de 7 fios engraxadas e plastificadas. As cordoalhas são fixadas em ancoragens ativas e passivas. Nas ativas elas ficam com no mínimo 40,0 cm para fora da fôrma para serem protendidas, já as ancoragens passivas ficam a no mínimo 5,0 cm dentro da fôrma para serem concretadas e permanecerem na parte interior da estrutura.

Devido essas cordoalhas tomar toda a extensão do pavimento foi recomendado pelo projetista que a concretagem das lajes e vigas fossem feitas no mesmo dia para evitar possíveis juntas.

Na Fotografia 4.7 é apresentado o processo da preparação das cordoalhas até a protensão feito pela subempreiteira 03 com mais 4 serventes da Obra A. e é apresentado nos itens abaixo.

**Fotografia 4.7 - Preparação das cordoalhas engraxadas até a Protensão**



Fonte: O autor (2020)

- a) Recebimento e preparo das cordoalhas:
- Após o recebimento das cordoalhas já cortadas elas são desenroladas e medidas para verificar se as dimensões correspondem com as do projeto;

- Cada cordoalha é identificada com sua metragem para não haver confusão e é cortada a bainha da cordoalha do tamanho do macaco hidráulico.
- b) Pré-Blocagem:
- Posicionando a cordoalha no macaco hidráulico e introduzindo a ancoragem passiva na cordoalha;
  - Encaixa-se as cunhas na ancoragem e é aplicado uma força de 15 toneladas através no macaco hidráulico a mesma força para a protensão;
  - Feito a pré-blocagem o cabo é enrolado para o transporte pela mini grua até o pavimento tipo.
- c) Posicionamento das cordoalhas na fôrma:
- Após o transporte, as cordoalhas são posicionadas entre a armadura positiva e negativa das lajes e vigas pressas inicialmente pela ancoragem passiva na armadura passiva;
  - A fôrma de borda é furada para ser encaixada as ancoragens ativas e as cordoalhas serem conectadas permitindo ultrapassar no mínimo 40,0 cm;
  - Em seguida é colocada uma bainha protetora com na cordoalha para ser preparada para a pré-blocagem.
- d) Marcação das cordoalhas após a concretagem:
- Após a concretagem é iniciado a retida da fôrma de borda das vigas e o processo de limpeza nas ancoragens ativas;
  - É medido o alongamento da cordoalha colocando um gabarito de 10,0 cm e tinta spray de secagem rápida estabelecendo referência para as medições;
  - Após o resultado do rompimento dos corpos de prova é verificado se foi atingindo a resistência mínima de 30,0 Mega Pascal para então iniciar a o processo de protensão.
- e) Protensão:
- É iniciado o processo de protensão sendo aplicado uma força de 15 toneladas nas cordoalhas sempre do centro para as extremidades;
  - Após a protensão é medido o alongamento da cordoalha colocando o gabarito de 10 cm e medido a distância até a tinta spray com uma trena;
  - Com a leitura dos alongamentos é comparado com o alongamento teórico estabelecido em projeto, considerando um desvio padrão de 10%, caso ultrapassado o projetista deveria ser informado.

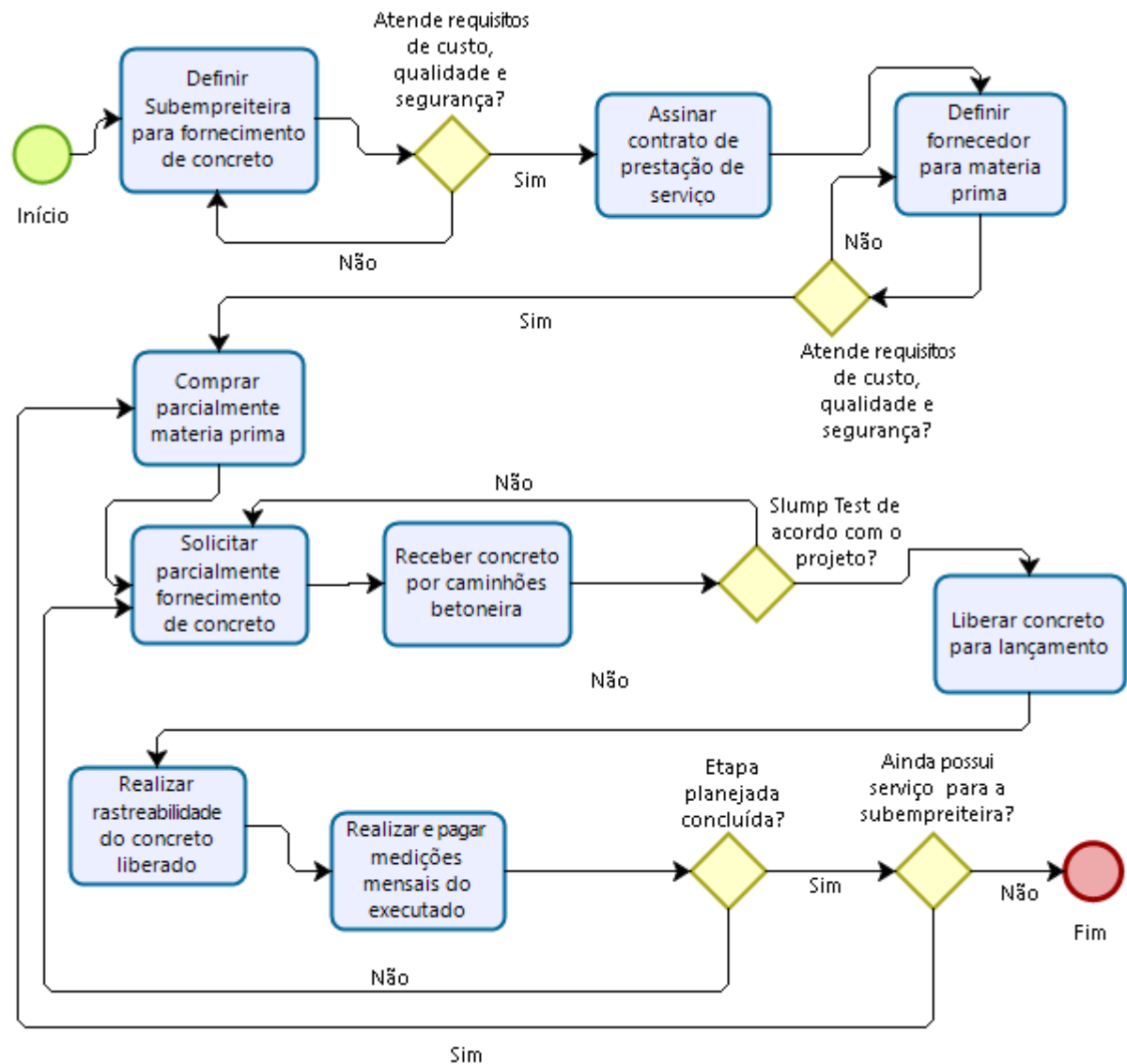
f) Corte das cordoalhas:

- Enviado o relatório das leituras das cordoalhas para o projetista, o mesmo confirma o fim do processo de protensão do pavimento e é iniciado o corte das cordoalhas utilizando maçarico por uma subempreiteira especializada.

#### 4.1.6 Concretagem

O último serviço do ciclo do pavimento tipo é etapa de concretagem com mostra a Figura 4.7 onde mostra todo o processo a respeito desse serviço.

**Figura 4.7 - Fluxograma do processo de concretagem**



Fonte: O autor (2020)

A subempreiteira 04 é a responsável pela dosagem, a preparação mecanicamente por caminhões betoneira, transporte e lançamento do concreto. A Obra A é a responsável pelo adensamento e a cura, enquanto a subempreiteira 05 é responsável pelo controle tecnológico desde o ensaio de Abatimento do Tronco de Cone que mede a consistência e a fluidez do concreto, até o rompimento de corpos de prova em laboratório.

O concreto é dosado para atingir uma resistência à compressão característica de 40,0 MPa e o seu abatimento referente ao ensaio de abatimento do tronco de cone foi de 120 mm +/- 20 mm definido pelo projetista estrutural. As concretagens ocorreram sempre 1 dia após a revisão geral, onde foram posicionadas as mestras nas lajes, a limpeza do assoalho, a conferência das cordoalhas quanto a quantidade e alturas, entre outras atividades pertinentes.

O recebimento do concreto é acompanhando pelo engenheiro e estagiários da Obra, enquanto é feito o ensaio de abatimento de tronco de cone e a coleta de amostras de corpos de prova cilíndricos para ensaio de compressão em laboratório pela subempreiteira 05. Na Fotografia 4.8 é mostrado as amostras coletadas dos caminhões betoneira nos corpos de prova cilíndricos devidamente identificados.

**Fotografia 4.8 – Corpos de prova**



Fonte: O autor (2020)

Na Fotografia 4.9 é apresentado a etapa de lançamento e adensamento do concreto para o 6º pavimento tipo, no período de análise das atividades.

**Fotografia 4.9 – Etapa de lançamento e adensamento do concreto**



Fonte: O autor (2020)

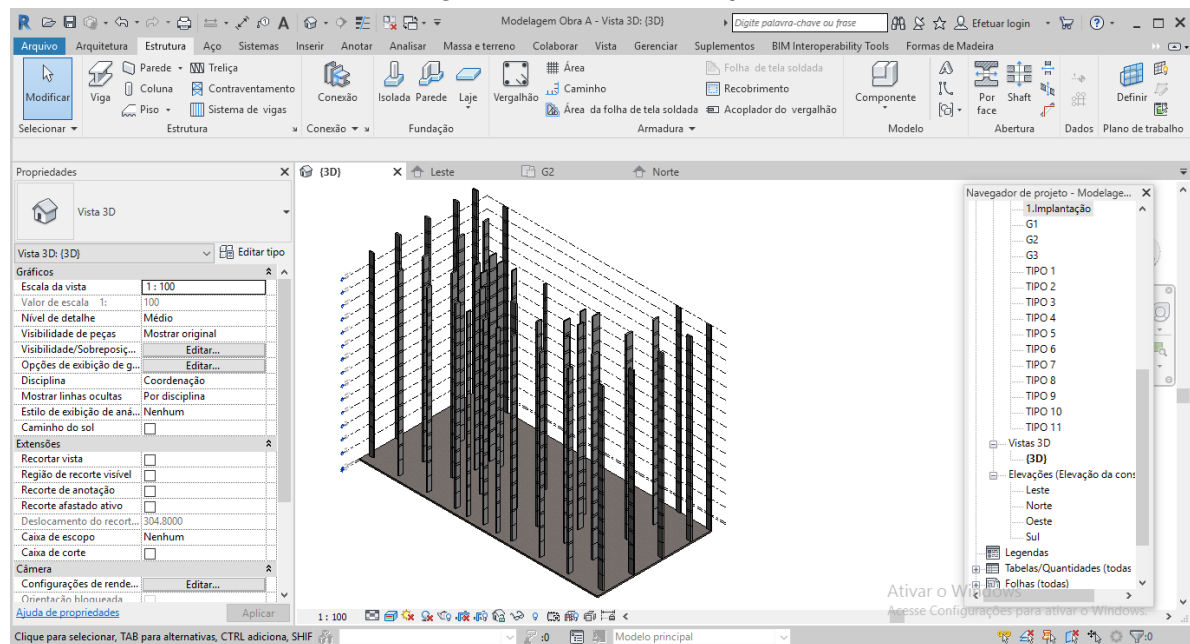
Na concretagem das vigas e lajes é fornecido para a Obra A 324,0 m<sup>3</sup> de concreto. Foi instalado em dois locais uma tubulação metálica para o bombeamento do concreto até o pavimento tipo. São divididas 2 equipes de concretagem, as duas iniciam a concretagem pela extremidade e se encontram no meio do pavimento. Durante a concretagem a subempreiteira 01 faz o nivelamento do assoalho para as duas equipes de concretagem cada uma com um nível a laser.

## 4.2 MODELAGEM SUPERESTRUTURA

Para o início da modelagem foi utilizado o software *Autodesk Revit* criado os níveis do pavimento G1 ao 11º pavimento tipo totalizando 14 pavimentos da superestrutura. Na criação dos níveis foi especificado o mesmo pé esquerdo especificado no projeto estrutural disponibilizado pela Obra A, o que nos pavimentos tipo é de 3,15 m.

Com a criação dos níveis, foi feita a inserção dos pilares como é apresentado na Figura 4.8 e foram copiados para os demais pavimentos e em seguida corrigidas suas dimensões em alguns pavimentos, o que houve redução de seção na maioria. Em cada pavimento foram inseridos um total de 44 pilares.

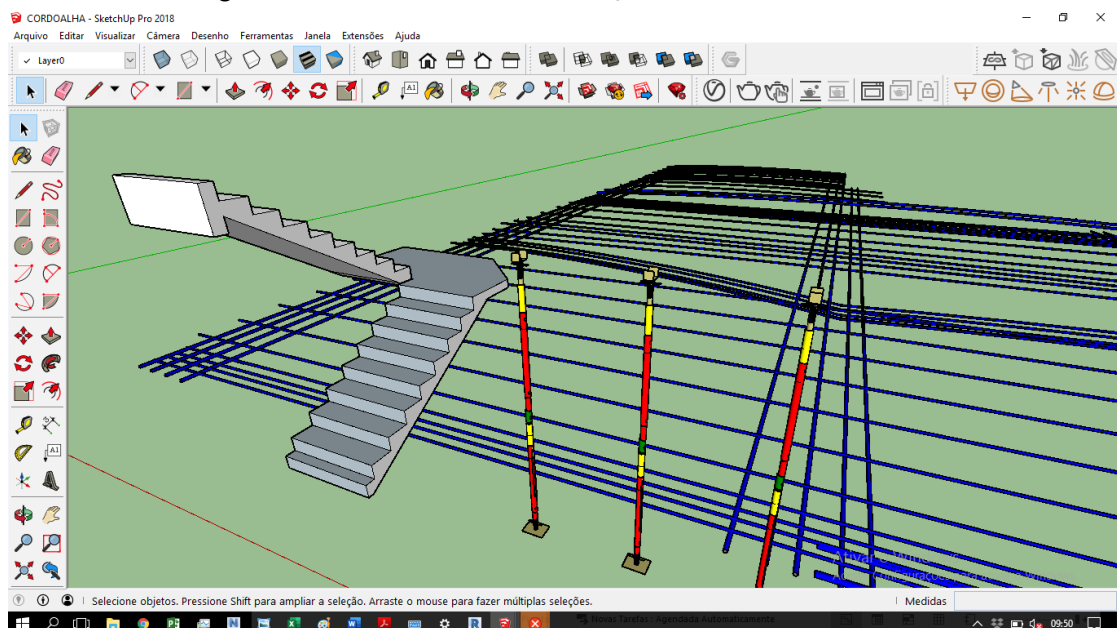
**Figura 4.8 – Níveis da Superestrutura**



Fonte: O autor (2020)

Após a inserção dos pilares foi feita a modelagem das vigas e das lajes dos pavimentos conforme o projeto de fôrma. As escadas, o cimbramento e as cordoalhas foram modeladas no *Sketchup* e em seguida transferidas para o *Revit* em modelo 3D. Na Figura 4.9 é mostrado a escada do lado direito, as escoras metálicas tubulares que compõe o cimbramento e as cordoalhas, todos modelados no *Sketchup* posteriormente foram lançados no *Revit*.

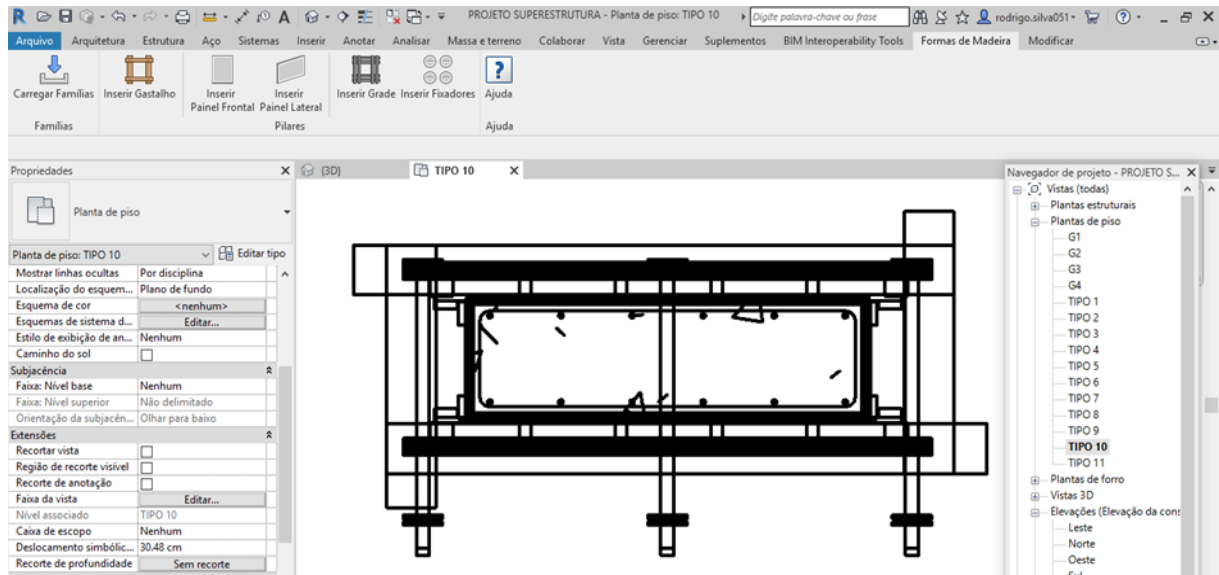
**Figura 4.9 - Modelo 3D da escada, cordoalhas e escoras metálicas**



Fonte: O autor (2020)

Foi instalado a extensão Fôrmas de Madeira no Revit como mostra a Figura 4.10 onde foi possível inserir gastalhos, painéis de compensado, parafusos entre outros elementos que compõe o sistema de forma do pavimento tipo.

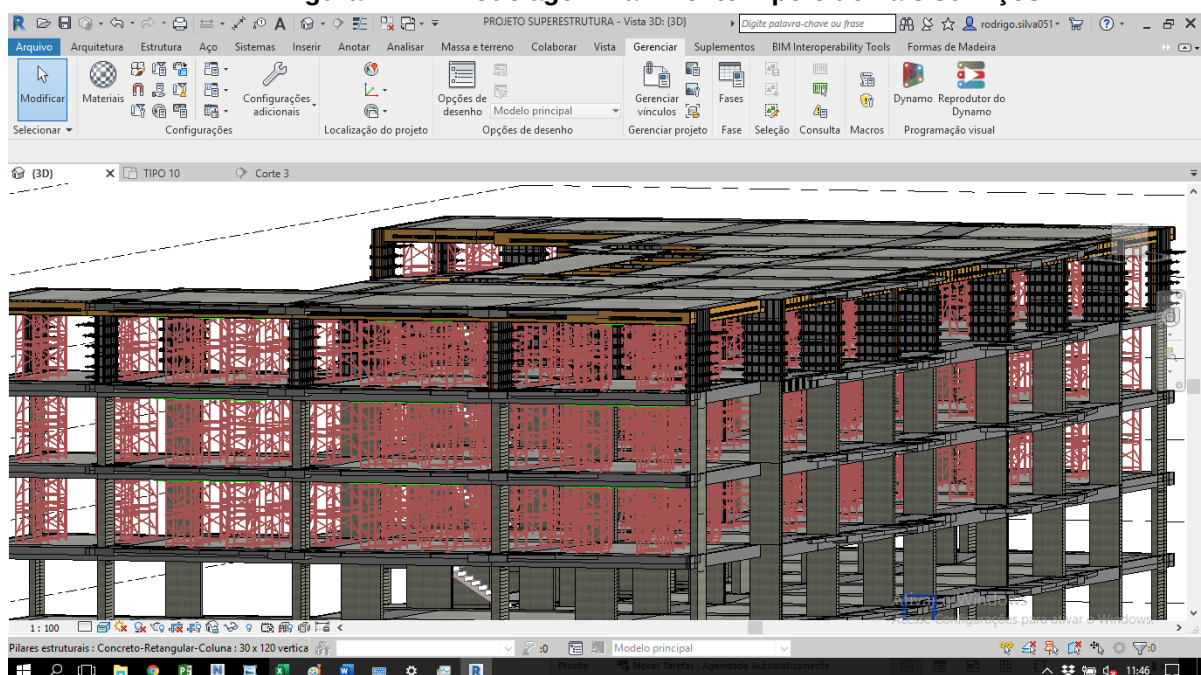
**Figura 4.10 - Extensão Forma de Madeira do Revit**



Fonte: O autor (2020)

Na Figura 4.11 mostra a modelagem de um pavimento tipo completo incluindo os serviços de fôrmas, armaduras, protensão, instalação elétrica e concretagem.

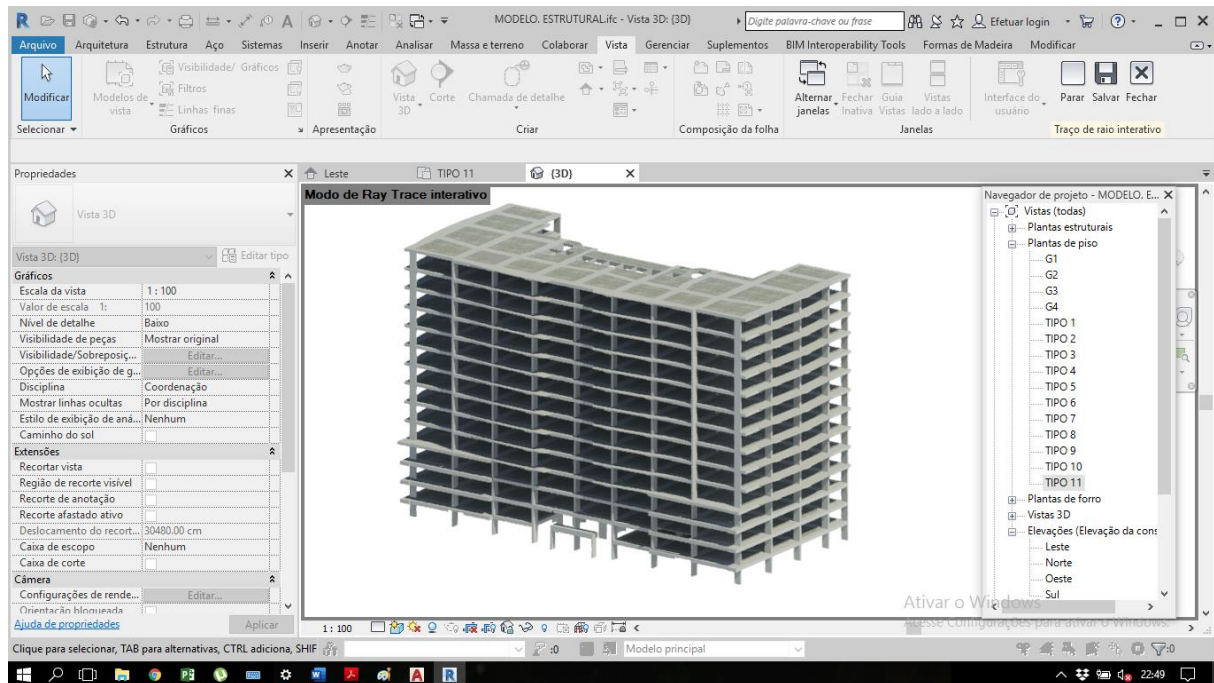
**Figura 4.11 – Modelagem Pavimento Tipo e demais serviços**



Fonte: O autor (2020)

Na Figura 4.12 é apresentado o modelo 3D da superestrutura totalmente finalizado.

**Figura 4.12 – Modelo 3D da Superestrutura**



Fonte: O autor (2020)

## 4.3 PLANEJAMENTO OPERACIONAL

### 4.3.1 Percentual de Planos Concluídos (PPC)

O PPC aplicado antes do planejamento operacional, foi possível avaliar e entender o porquê da execução do pavimento tipo não chegar a um período acordado inicialmente entre as subempreiteiras. Sendo que, durante a execução da superestrutura foi feito semanalmente reuniões com todas as subempreiteiras para discutir o planejamento das atividades.

No Quadro 4.1 mostra a programação para a execução de um pavimento tipo definida pelo gestor da obra e as subempreiteiras após alguns conflitos de execução. Foi definido as atividades para cada dia de acordo com a experiência e produtividade de cada subempreiteira.

**Quadro 4.1 - Programação para a execução de um pavimento tipo**

| PROGRAMAÇÃO SEQUENCIAL DA ESTRUTURA |                                       |      |
|-------------------------------------|---------------------------------------|------|
| 1º DIA                              | Armação dos Pilares                   | 100% |
|                                     | Gastalho                              | 50%  |
| 2º DIA                              | Gastalho                              | 100% |
|                                     | Forma de Pilares                      | 100% |
| 3º DIA                              | Início do assoalho da laje            | 33%  |
|                                     | Desforma painéis laterais das vigas   | 100% |
|                                     | Limpeza das vigas para Protensão      | 100% |
| 4º DIA                              | Assoalho da Laje                      | 66%  |
| 5º DIA                              | Conclusão do Assoalho da Laje         | 100% |
|                                     | Início da Protensão                   | 50%  |
| 6º DIA                              | Conclusão da Protensão                | 100% |
| 7º DIA                              | Concretagem dos Pilares               | 100% |
| 8º DIA                              | Início da Armação positiva da Laje    | 50%  |
| 9º DIA                              | Conclusão da Armação Positiva da Laje | 100% |
|                                     | Início dos Cabos                      | 50%  |
| 10º DIA                             | Conclusão dos Cabos                   | 100% |
|                                     | Início da Armação negativa da Laje    | 50%  |
| 11º DIA                             | Conclusão da armação negativa da Laje | 100% |
| 12º DIA                             | Revisão Geral da Laje                 | 100% |
| 13º DIA                             | Concretagem da Laje                   | 100% |

Fonte: O autor (2020)

Nesse contexto, foi aplicado o PPC com base no Quadro 4.2. Onde foi medido a porcentagem executada em relação a porcentagem planejada e verificada as causas do não cumprimento das atividades.

**Quadro 4.2 - PPC do 4º Pavimento Tipo**

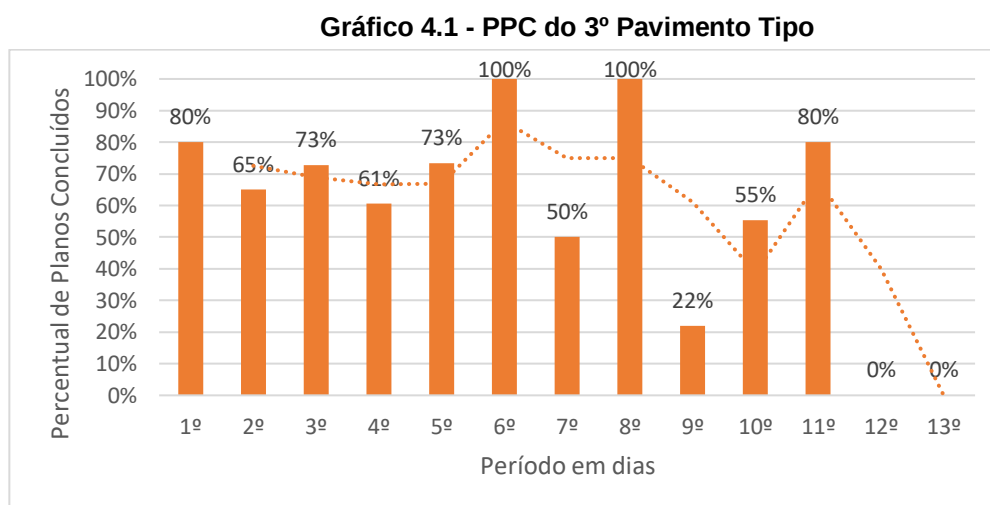
| PROGRAMAÇÃO SEQUENCIAL DA ESTRUTURA |                                     | % PLAN. | % EXEC. | DIA   | % CONCL. | CAUSA DA NÃO CONCLUSÃO                                                      |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|-------|----------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1º DIA                              | Armação dos Pilares                 | 100%    | 40%     |       |          |                                                                             |
|                                     | Gastalho                            | 50%     | 100%    | 1º    | 93%      | Pilares demoram para subir e superestimação da mão de obra                  |
| 2º DIA                              | Gastalho                            | 100%    | 100%    | 2º    | 85%      | Forma dos pilares ficam em U na espera da conferencia do engenheiro         |
|                                     | Forma de Pilares                    | 100%    | 70%     | 3º    | 83%      | Andaime para executar o serviço não estava feito                            |
| 3º DIA                              | Início do assoalho da laje          | 33%     | 33%     | 4º    | 100%     |                                                                             |
|                                     | Desforma painéis laterais das vigas | 100%    | 100%    | 5º    | 67%      | Atraso da atividade de anterior (limpeza das vigas para protensão)          |
|                                     | Limpeza das vigas para Protensão    | 100%    | 60%     | 6º    | 0%       | Decidido adiar atividade pois pode ser feita após a concretagem dos pilares |
| 4º DIA                              | Assoalho da Laje                    | 66%     | 66%     | 7º    | 100%     |                                                                             |
| 5º DIA                              | Conclusão do Assoalho da Laje       | 100%    | 100%    | 8º    | 100%     |                                                                             |
|                                     | Início da Protensão                 | 50%     | 0%      | 9º    | 84%      | Logistica das armaduras não permitiu avanço / não conclusão das armaduras   |
| 6º DIA                              | Conclusão da Protensão              | 100%    | 0%      | 10º   | 55%      | Logistica das armaduras não permitiu avanço dos cabos                       |
| 7º DIA                              | Concretagem dos Pilares             | 100%    | 100%    | 11º   | 80%      | Produtividade superestimada                                                 |
| 8º DIA                              | Início da Armação positiva          | 50%     | 50%     | 12º   | 100%     |                                                                             |
| 9º DIA                              | Conclusão da Armação Positiva       | 100%    | 96%     | 13º   | 100%     |                                                                             |
|                                     | Início dos Cabos                    | 50%     | 30%     | MÉDIA | 81%      |                                                                             |
| 10º DIA                             | Conclusão dos Cabos                 | 100%    | 60%     |       |          |                                                                             |
|                                     | Início da Armação negativa          | 100%    | 50%     |       |          |                                                                             |
| 11º DIA                             | Conclusão da armação negativa       | 100%    | 80%     |       |          |                                                                             |
| 12º DIA                             | Revisão Geral da Laje               | 100%    | 100%    |       |          |                                                                             |
| 13º DIA                             | Concretagem da Laje                 | 100%    | 100%    |       |          |                                                                             |

Fonte: O autor (2020)

No Quadro 4.2 da esquerda para a direita mostra os dias definidos para a execução das atividades e o percentual planejado para ser executado, em seguida o percentual executado medido *in loco*. É apresentado também o percentual concluído de atividades referente a cada dia. E em caso do não cumprimento do planejado para o dia em específico, é levantado a sua causa.

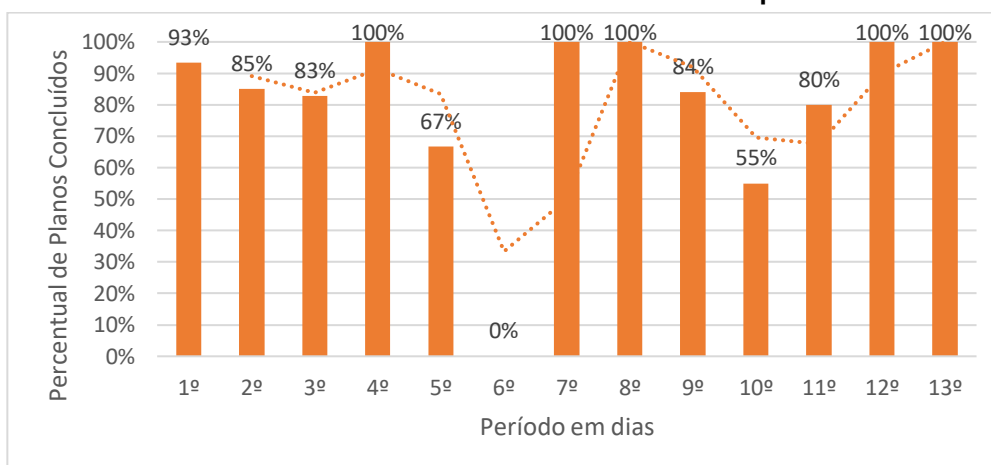
A partir desta análise foram feitos gráficos para melhor visualização do acompanhamento do PPC dos pavimentos tipo antes de aplicar o planejamento operacional. Ao mesmo tempo foi filtrado as causas do não cumprimento das atividades e discutidas ao longo da execução da superestrutura onde foi buscado minimizar ou eliminá-las.

No Gráfico 4.1 apresenta o PPC do 3º pavimento tipo, onde mostra que no 12º e 13º dias não foram executadas nenhuma das atividades planejadas para estes dias. O que consequentemente mostra que o pavimento apresenta atraso. A média do PPC foi de 58%.



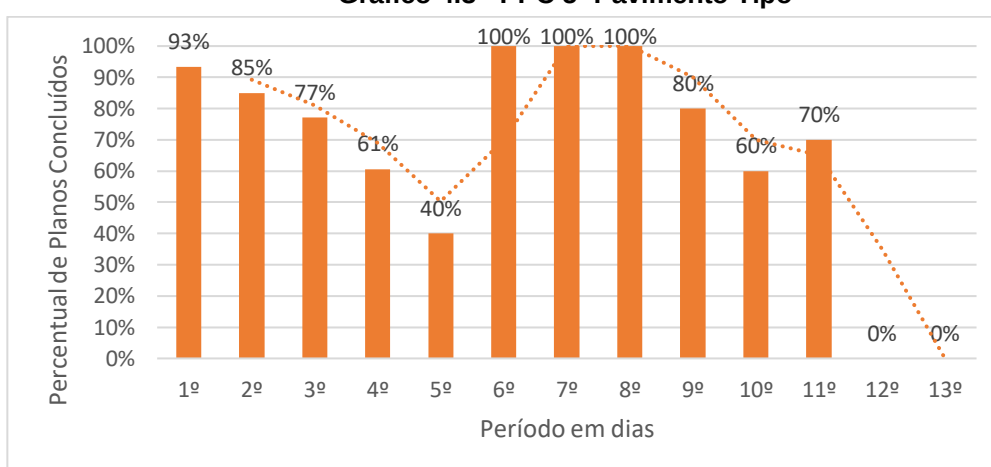
Fonte: O autor (2020)

No Gráfico 4.2 apresenta o PPC do 4º pavimento tipo. É possível verificar que mesmo no 6º dia não ter sido executado a atividade que foi planejada ainda assim, não houve atraso para finalizar o pavimento tipo. Essa atividade foi a protensão do pavimento inferior, que era obrigatória antes da concretagem dos pilares, porém houve uma mudança e ela ficou como obrigatória antes da concretagem das lajes e vigas. Isso significa que a atividade obteve uma folga e por isso não comprometeu outras atividades do pavimento. A média do PPC foi de 81%.

**Gráfico 4.2 - PPC 4º Pavimento Tipo**

Fonte: O autor (2020)

No Gráfico 4.3 apresenta o PPC do 5º pavimento tipo onde mostra que no 12º e 13º dias também não foram executadas nenhuma das atividades planejadas para estes dias. Evidenciando o atraso das atividades. A média do PPC foi de 67%.

**Gráfico 4.3 - PPC 5º Pavimento Tipo**

Fonte: O autor (2020)

As causas mais recorrentes do não cumprimento das atividades encontradas na aplicação do PPC é apresentado no Quadro 4.3. Entre elas, algumas foram solucionadas totalmente ou parcialmente, sendo muito válido identificar estas restrições. Pois através de reuniões semanais com encarregados, engenheiros, técnicos e supervisores de todas as subempreiteiras e o gestor da obra foi discutido o andamento das atividades, definindo datas e buscando eliminar possíveis restrições.

**Quadro 4.3 - Restrições encontradas no PPC**

|     |                                         |
|-----|-----------------------------------------|
|     | <b>MÃO DE OBRA</b>                      |
| 1.  | Baixa produtividade                     |
| 2.  | Modificação da equipe                   |
| 3.  | Falta de programação de mão de obra     |
| 4.  | Superestimação da produtividade         |
| 5.  | Interferência entre equipe de trabalho  |
|     | <b>MATERIAIS</b>                        |
| 6.  | Falta de programação de materiais       |
| 7.  | Falta de materiais do empreiteiro       |
|     | <b>EQUIPAMENTO</b>                      |
| 8.  | Falta de programação de equipamento     |
|     | <b>PROJETO</b>                          |
| 9.  | Alteração do projeto                    |
| 10. | Falta de conferência do projeto         |
|     | <b>PLANEJAMENTO</b>                     |
| 11. | Modificação dos planos                  |
| 12. | Má especificação da tarefa              |
| 13. | Atraso da tarefa antecedente            |
| 14. | Pré-requisito do plano não foi cumprido |
| 15. | Falha na solicitação do recurso         |
| 16. | Problema não previsto na execução       |
| 17. | Problema na gerência do serviço         |
|     | <b>INTERFERENCIA ADVERSA</b>            |
| 18. | Solicitação de paralisação dos serviços |
|     | <b>PROBLEMA METEOROLOGICOS</b>          |
| 19. | Condições adversas do tempo             |
|     | <b>FORNECEDORES</b>                     |
| 20. | Atraso na entrega                       |
| 21. | Manutenção de equipamento do fornecedor |

Fonte: O autor (2020)

Com base no PPC, antes de aplicar o planejamento do seguinte trabalho foi possível ter uma visão melhor do contexto da construção e obter a produtividade das subempreiteiras envolvidas.

#### 4.3.2 Rede PERT/CPM Método PDM

Primeiramente foi definida uma EAP das atividades referente ao pavimento tipo da superestrutura. O Quadro 4.4 apresenta a EAP do pavimento tipo com as atividades e durações referente a fôrmas, armaduras, instalações elétricas, protensão e concretagem.

Quadro 4.4 - EAP Pavimento Tipo

| ETAPA          | SERVIÇO               | SUBEMPREENTEIRA           | DESCRIÇÃO DE ATIVIDADE          | DURAÇÃO |
|----------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|---------|
| PAVIMENTO TIPO | FORMAS                | SUB. EMP. 01              | GASTALHO                        | 12      |
|                |                       |                           | FÔRMA PILARES                   | 27      |
|                |                       |                           | ASSOALHO DA PAV. SUPERIOR       | 44      |
|                |                       |                           | DESFORMA PAINÉIS LATERAIS VIGAS | 9       |
|                | ARMADURAS             | SUB. EMP. 01              | ARMAÇÃO DOS PILARES             | 18      |
|                |                       | OBRA A                    | CONECTORES DE PUNÇÃO            | 12      |
|                |                       | SUB. EMP. 01              | ARMAÇÃO POSITIVA LAJES E VIGAS  | 36      |
|                |                       |                           | ARMAÇÃO NEGATIVA                | 18      |
|                | PROTENSÃO             | SUB. EMP. 02              | LIMPEZA DOS PONTOS DE PROTENSÃO | 15      |
|                |                       |                           | APLICAR PROTENSÃO PAV. INFERIOR | 9       |
|                |                       |                           | CORDOALHAS                      | 27      |
|                |                       | OBRA A                    | ANÁLISE PROJETISTA              | 18      |
|                | INSTALAÇÕES ELÉTRICAS | SUB. EMP. 03              | SPDA                            | 16      |
|                |                       |                           | INSTALAÇÕES ELÉT.               | 18      |
|                | CONCRETAGEM           | SUB. EMP. 04 SUB. EMP. 05 | CONCRETAGEM PAV. INFERIOR       | 9       |
|                |                       |                           | CONCRETAGEM PILARES             | 9       |
|                |                       |                           | CONCRETAGEM PAVIMENTO           | 9       |
|                |                       | OBRA A                    | REVISÃO GERAL                   | 9       |

Fonte: O autor (2020)

Através de uma pesquisa de campo foram delimitadas as atividades de cada subempreiteira de acordo com sua produtividade e feito o cálculo para a rede PERT/CPM pelo método PDM como mostra a Figura 4.13, determinando a folga livre, folga total, UDI, UDT, PDI, PDT e o caminho crítico. As atividades foram nomeadas por letras para melhor visualização e ocupar menor espaço nos quadros do diagrama. De acordo com o diagrama foi definido o caminho crítico pela cor laranja.

Figura 4.13 - Diagrama de Rede pelo Método PDM

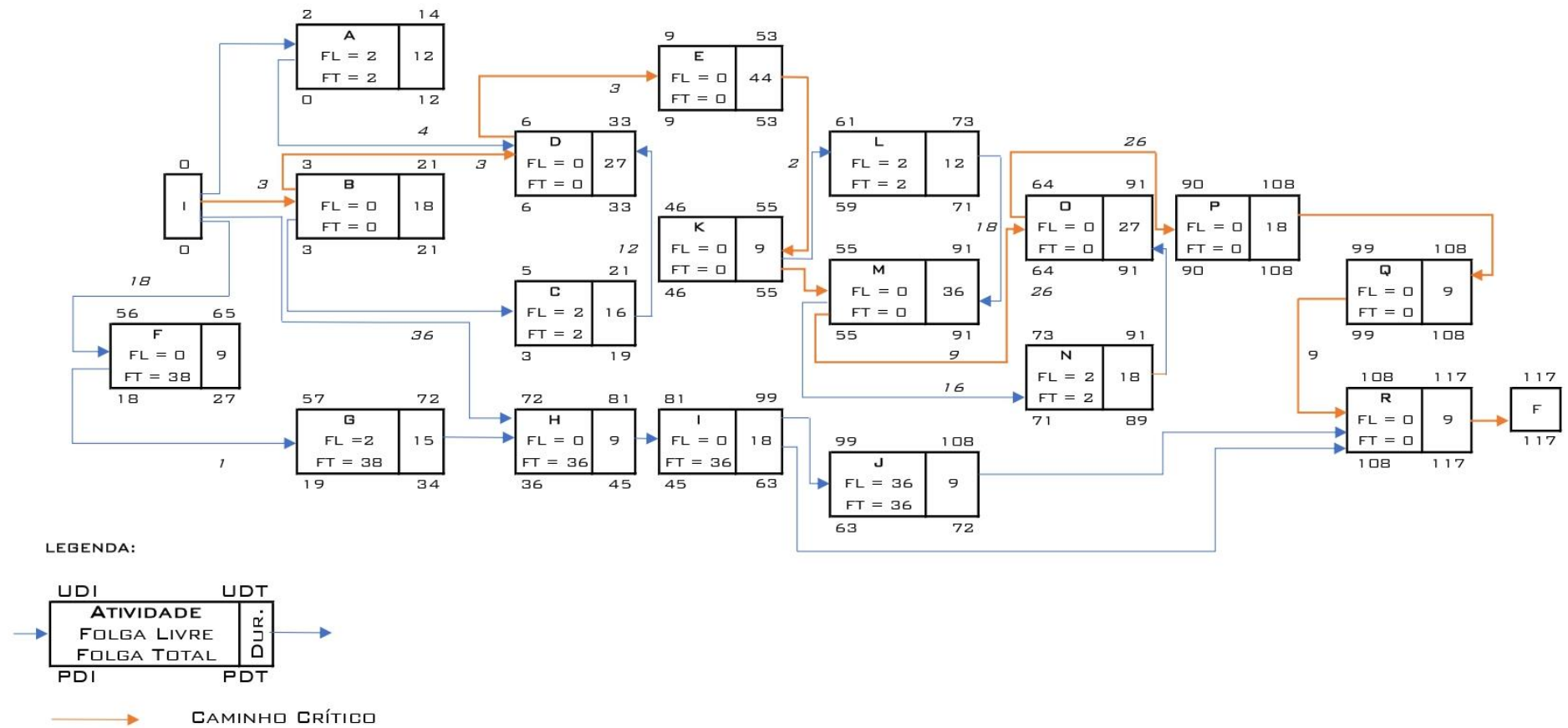


Tabela 4.2 - Rede PERT/CPM Pavimento Tipo

| Nº | EQUIPE                   | DESCRIÇÃO DE ATIVIDADE          | ATIVIDADE | DUR.<br>(H) | PRED.   | TIPOS DE<br>LIGAÇÃO | ESPERA<br>(H) | PDI | PDT | UDI | UDT | FT | FL | CC |
|----|--------------------------|---------------------------------|-----------|-------------|---------|---------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 1  | SUB. EMP 01              | GASTALHO                        | A         | 12          | -       | TI                  | 0             | 0   | 12  | 2   | 14  | 2  | 2  |    |
| 2  | SUB. EMP 01              | ARMAÇÃO DOS PILARES             | B         | 18          | -       | TI                  | 3             | 3   | 21  | 3   | 21  | 0  | 0  | X  |
| 3  | SUB. EMP 02              | SPDA                            | C         | 16          | B       | II                  | 0             | 3   | 19  | 5   | 21  | 2  | 2  |    |
| 4  | SUB. EMP 01              | FÔRMA PILARES                   | D         | 27          | A, B, C | II, II, TT          | 4, 3, 12      | 6   | 33  | 6   | 33  | 0  | 0  | X  |
| 5  | SUB. EMP 01              | ASSOALHO PAV. SUPERIOR          | E         | 44          | D       | II                  | 3             | 9   | 53  | 9   | 53  | 0  | 0  | X  |
| 6  | SUB. EMP 01              | DESFORMA PAINÉIS LATERAIS VIGAS | F         | 9           | -       | TI                  | 18            | 18  | 27  | 56  | 65  | 38 | 0  |    |
| 7  | SUB. EMP 03              | LIMPEZA DOS PONTOS DE PROTENSÃO | G         | 15          | F       | II                  | 1             | 19  | 34  | 57  | 72  | 38 | 2  |    |
| 8  | SUB. EMP 03              | PROTENSÃO PAVIMENTO INFERIOR    | H         | 9           | G, -    | TI, TI              | 0, 36         | 36  | 45  | 72  | 81  | 36 | 0  |    |
| 9  | OBRA A                   | ANÁLISE PROJETISTA              | I         | 18          | H       | TI                  | 0             | 45  | 63  | 81  | 99  | 36 | 0  |    |
| 10 | SUB. EMP 03              | PROTENSÃO APÓS ANÁLISE          | J         | 9           | I       | TI                  | 0             | 63  | 72  | 99  | 108 | 36 | 36 |    |
| 11 | SUB. EMP 04; SUB. EMP 05 | CONCRETAGEM PILARES             | K         | 9           | E       | TT                  | 2             | 46  | 55  | 46  | 55  | 0  | 0  | X  |
| 12 | OBRA A                   | CONECTORES DE PUNÇÃO            | L         | 12          | K       | TI                  | 4             | 59  | 71  | 61  | 73  | 2  | 2  |    |
| 13 | SUB. EMP 01              | ARMAÇÃO POSITIVA LAJES E VIGAS  | M         | 36          | K, L    | TI, TT              | 0, 18         | 55  | 91  | 55  | 91  | 0  | 0  | X  |
| 14 | SUB. EMP 02              | INSTALAÇÕES ELÉT.               | N         | 18          | M       | II                  | 16            | 71  | 89  | 73  | 91  | 2  | 2  |    |
| 15 | SUB. EMP 03              | CORDOALHAS                      | O         | 27          | M, N    | II, TT              | 9, 0          | 64  | 91  | 64  | 91  | 0  | 0  | X  |
| 16 | SUB. EMP 01              | ARMAÇÃO NEGATIVA                | P         | 18          | O       | II                  | 26            | 90  | 108 | 90  | 108 | 0  | 0  | X  |
| 17 | OBRA A                   | REVISÃO GERAL                   | Q         | 9           | P       | TT                  | 0             | 99  | 108 | 99  | 108 | 0  | 0  | X  |
| 18 | SUB. EMP 04; SUB. EMP 05 | CONCRETAGEM PAVIMENTO           | R         | 9           | Q, I, J | TI, TI, TI          | 0, 0, 0       | 108 | 117 | 108 | 117 | 0  | 0  | X  |

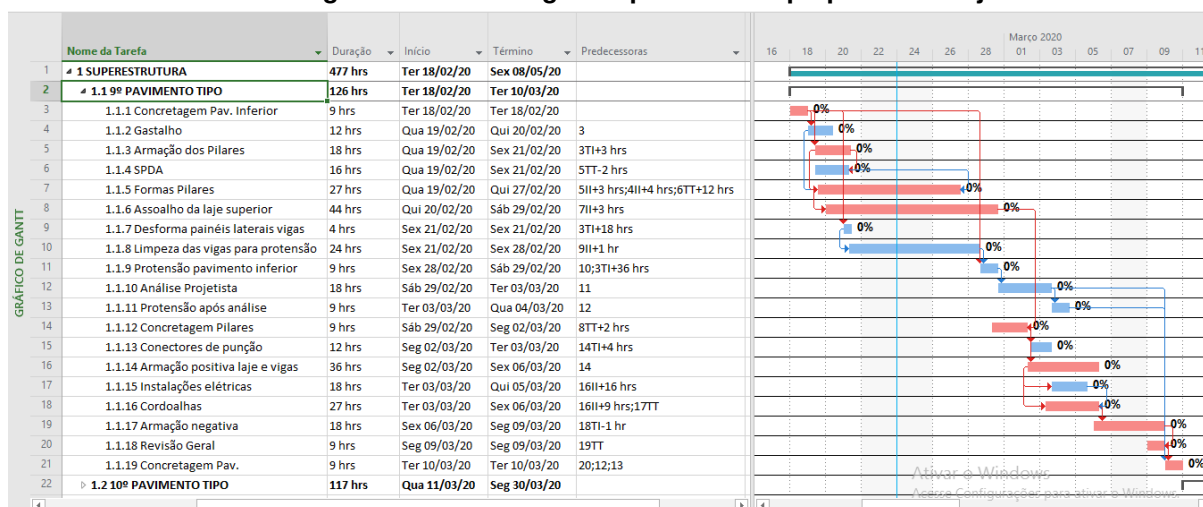
Fonte: O autor (2020)

Na Tabela 4.2 foram listadas 18 atividades para a conclusão de um pavimento tipo. Na coluna Predecessoras foi utilizado relações de dependência II (Início para início), TI (Término para início), TT (Término para término) e suas respectivas esperas. Foi determinado um período de 117 horas para a conclusão de um pavimento tipo, correspondendo a 13 dias trabalhados considerando o tempo de 9 horas/dia.

Utilizando o software *Ms Project* foi adicionado o calendário de trabalho do ano de 2020 da Obra A de acordo com o Anexo 02, e o período de 9 horas por dia de trabalho, das 07:00 às 17:00. Sendo também que alguns dias não definidos no calendário para serem trabalhados foram incluídos de última hora por decisão do Engenheiro da obra, nesse caso, gerando hora extra para a obra e para os subempreiteiros.

De acordo com a Figura 4.14 foi possível organizar as atividades, gerando um cronograma e o gráfico de *Gantt* pelo *Ms Project* e em vermelho no gráfico de *Gantt* é mostrado o caminho crítico da rede.

**Figura 4.14 - Cronograma pavimento tipo pelo Ms Project**



Fonte: O autor (2020)

Considerando as durações das atividades e o tipo de ligação entre elas serem as mesmas da Rede PERT/CPM da Tabela 4.2. Foi verificado exatamente o mesmo período de duração da execução do pavimento tipo. Pelo *Ms Project* é possível visualizar os dias que devem ser iniciadas cada atividade e o acompanhamento do andamento das mesmas de acordo com o Figura 4.14.

A partir da Tabela 4.2 foi gerado as Tabelas 4.3 e 4.4 com um cronograma físico ALAP e um ASAP, para as datas mais tarde e datas mais cedo, respectivamente.

Tabela 4.3 - Cronograma Físico ALAP - Pavimento Tipo

| CRONOGRAMA FÍSICO - ALAP |                                  |         |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|--------------------------|----------------------------------|---------|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|
| EQUIPE                   | ATIVIDADE                        | DUR (h) | 1º DIA |   | 2º DIA |   | 3º DIA |   | 4º DIA |   | 5º DIA |   | 6º DIA |   | 7º DIA |   | 8º DIA |   | 9º DIA |   | 10º DIA |   | 11º DIA |   | 12º DIA |   | 13º DIA |   |
|                          |                                  |         | M      | T | M      | T | M      | T | M      | T | M      | T | M      | T | M      | T | M      | T | M      | T | M       | T | M       | T | M       | T | M       | T |
|                          | GASTALHO                         | 12      |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | ARMAÇÃO DOS PILARES              | 18      |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | SPDA                             | 16      |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | FÔRMA PILARES                    | 27      |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | ASSOALHO DA LAJE SUPERIOR        | 44      |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | DESFORMA PAINÉIS                 | 9       |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | LATERAIS VIGAS                   |         |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | LIMPEZA DAS VIGAS PARA PROTENSÃO | 15      |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | PROTENSÃO LAJE INFERIOR          | 9       |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | ANÁLISE PROJETISTA               | 18      |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | PROTENSÃO APÓS ANÁLISE           | 9       |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | CONCRETAGEM PILARES              | 9       |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | CONNECTORES DE PUNÇÃO            | 12      |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | ARMAÇÃO POSITIVA LAJE E VIGAS    | 36      |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | INSTALAÇÕES ELÉTRICAS            | 18      |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | CORDOALHAS                       | 27      |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | ARMAÇÃO NEGATIVA                 | 18      |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | REVISÃO GERAL                    | 9       |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | CONCRETAGEM PAV.                 | 9       |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | TOTAL                            | 315     |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | HORAS SIMPLES                    |         | 20     |   | 41     |   | 24     |   | 15     |   | 9      |   | 16     |   | 24     |   | 37     |   | 36     |   | 36      |   | 21      |   | 27      |   | 9       |   |
|                          | HORAS ACUMULADAS                 |         | 20     |   | 61     |   | 85     |   | 100    |   | 109    |   | 125    |   | 149    |   | 186    |   | 222    |   | 258     |   | 279     |   | 306     |   | 315     |   |
|                          | % HORAS SIMPLES                  |         | 6,35   |   | 13,02  |   | 7,62   |   | 4,76   |   | 2,86   |   | 5,08   |   | 7,62   |   | 11,75  |   | 11,43  |   | 11,43   |   | 6,67    |   | 8,57    |   | 2,86    |   |
|                          | % HORAS ACUMULADAS               |         | 6,349  |   | 19,37  |   | 26,98  |   | 31,75  |   | 34,60  |   | 39,68  |   | 47,30  |   | 59,05  |   | 70,48  |   | 81,90   |   | 88,57   |   | 97,14   |   | 100,00  |   |

Fonte: O autor (2020)

Tabela 4.4 - Cronograma Físico ASAP - Pavimento Tipo

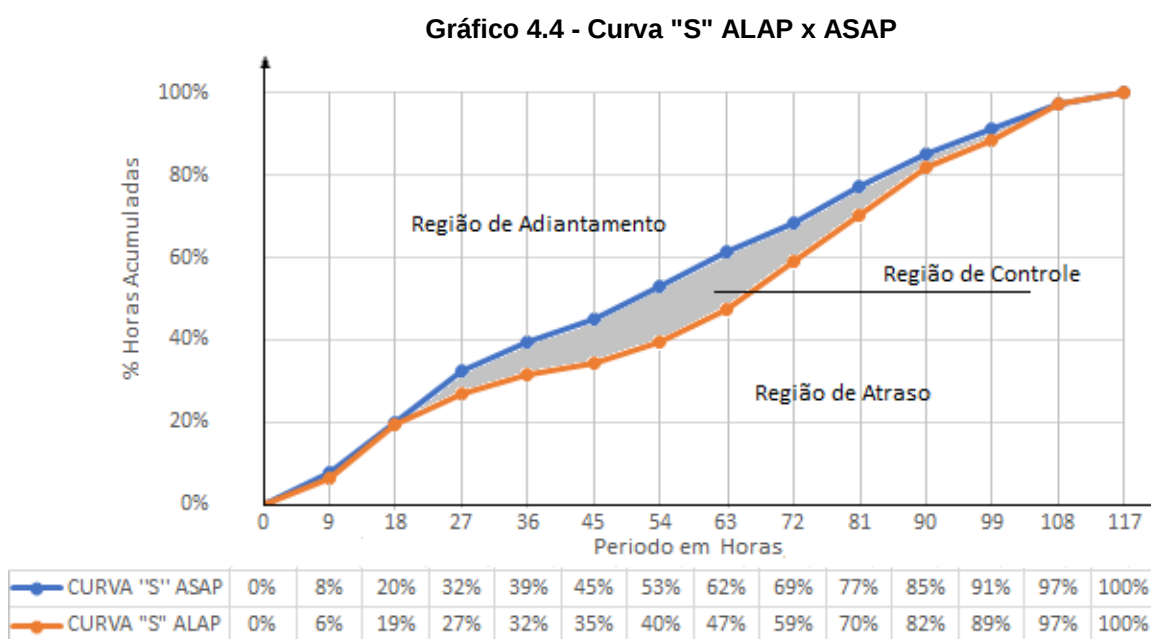
| CRONOGRAMA FÍSICO - ASAP |                                  |             |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|--------------------------|----------------------------------|-------------|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|
| EQUIPE                   | ATIVIDADE                        | DUR.<br>(H) | 1º DIA |   | 2º DIA |   | 3º DIA |   | 4º DIA |   | 5º DIA |   | 6º DIA |   | 7º DIA |   | 8º DIA |   | 9º DIA |   | 10º DIA |   | 11º DIA |   | 12º DIA |   | 13º DIA |   |
|                          |                                  |             | M      | T | M      | T | M      | T | M      | T | M      | T | M      | T | M      | T | M      | T | M      | T | M       | T | M       | T | M       | T | M       | T |
|                          | GASTALHO                         | 12          |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | ARMAÇÃO DOS PILARES              | 18          |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | SPDA                             | 16          |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | FÔRMA PILARES                    | 27          |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | ASSOALHO DA LAJE SUPERIOR        | 44          |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | DESFORMA PAINÉIS LATERAIS VIGAS  | 9           |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | LIMPEZA DAS VIGAS PARA PROTENSÃO | 15          |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | PROTENSÃO LAJE INFERIOR          | 9           |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | ANÁLISE PROJETISTA               | 18          |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | PROTENSÃO APÓS ANÁLISE           | 9           |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | CONCRETAGEM PILARES              | 9           |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | CONECTORES DE PUNÇÃO             | 12          |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | ARMAÇÃO POSITIVA LAJE E VIGAS    | 36          |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | INSTALAÇÕES ELÉTRICAS            | 18          |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | CORDOALHAS                       | 27          |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | ARMAÇÃO NEGATIVA                 | 18          |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | REVISÃO GERAL                    | 9           |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | CONCRETAGEM PAV.                 | 9           |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | TOTAL                            | 315         |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |        |   |         |   |         |   |         |   |         |   |
|                          | HORAS SIMPLES                    |             | 24     |   | 39     |   | 39     |   | 22     |   | 18     |   | 25     |   | 27     |   | 22     |   | 27     |   | 26      |   | 19      |   | 18      |   | 9       |   |
|                          | HORAS ACUMULADAS                 |             | 24     |   | 63     |   | 102    |   | 124    |   | 142    |   | 167    |   | 194    |   | 216    |   | 243    |   | 269     |   | 288     |   | 306     |   | 315     |   |
|                          | % HORAS SIMPLES                  |             | 7,62   |   | 12,38  |   | 12,38  |   | 6,98   |   | 5,71   |   | 7,94   |   | 8,57   |   | 6,98   |   | 8,57   |   | 8,25    |   | 6,03    |   | 5,71    |   | 2,86    |   |
|                          | % HORAS ACUMULADAS               |             | 7,62   |   | 20,00  |   | 32,38  |   | 39,37  |   | 45,08  |   | 53,02  |   | 61,59  |   | 68,57  |   | 77,14  |   | 85,40   |   | 91,43   |   | 97,14   |   | 100,00  |   |

Fonte: O autor (2020)

Os cronogramas físicos ASAP e ALAP foram utilizados para ser comparado as atividades planejadas com as executadas e análise das suas restrições, gerando assim o PPC do 10º pavimento tipo.

Na Tabela 4.3 é apresentado o Cronograma Físico ALAP e na Tabela 4.4 o Cronograma Físico ASAP, sendo apresentado as atividades e seus respectivos tempo de duração. Cada dia foi definido com dois períodos, manhã e tarde, contando 5 horas para o período da manhã e 4 horas para o período da tarde, totalizando 9 horas diárias de trabalho. Foram definidos 13 dias de atividades para a conclusão do pavimento tipo, iniciando as atividades com a marcação dos gastalhos dos pilares e finalizando com a concretagem do pavimento tipo em específico.

O recurso utilizado nos cronogramas físicos das Tabelas 4.3 e 4.4 foi horas-trabalho, ou seja, as horas necessárias para executar cada atividade.



Fonte: O autor (2020)

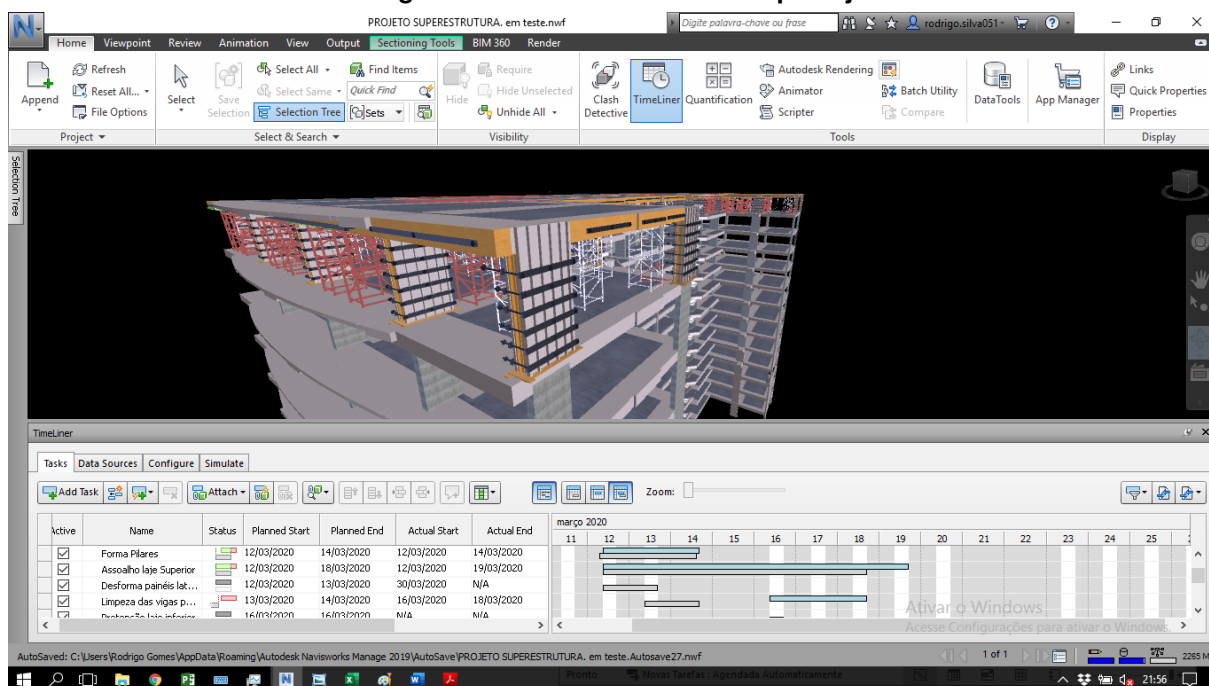
No Gráfico 4.4 é apresentada a curva "S" ASAP e a curva "S" ALAP, representando as datas mais cedo e as datas mais tardes respectivamente. As curvas foram feitas a partir das Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4.

De acordo com o Gráfico 4.4, as curvas "S" de acompanhamento físico mostra a porcentagem do acúmulo de horas dedicadas por dia em função de um prazo em horas. A curva formada pela cor azul representa a programação ASAP enquanto que a cor laranja representa a programação ALAP, e nesse intervalo fica a região de controle do andamento das atividades.

### 4.3.3 BIM 4D

Definido o cronograma das atividades para execução do pavimento tipo foram lançados no software *Navisworks* a modelagem 3D da superestrutura elaborada no *Revit* junto com o arquivo do *Ms Project* gerando o modelo 4D a ser utilizado para a simulação como mostra a Figura 4.15.

**Figura 4.15 - Modelo BIM 4D de planejamento**



Fonte: O autor (2020)

O modelo 4D é um instrumento fundamental na visualização do desenvolvimento das atividades da superestrutura em datas específicas, verificando através da representação em 3D o planejado e o executado, dando assim ao gestor da obra uma melhor perspectiva para a tomada de decisão. Nesse sentido, o modelo 4D é basicamente uma representação em 3D da curva “S”.

No Modelo 4D foi lançado as datas previstas das atividades bem como as datas executadas. Dessa forma, é possível além de verificar atividades adiantadas ou atrasadas, é possível recalcular as atividades para novas datas evidenciando o efeito de um possível atraso e com fácil visualização, o que se torna fundamentalmente importante.

## 4.4 ANÁLISE DO PLANEJAMENTO OPERACIONAL

### 4.4.1 Percentual de Planos Concluídos

Dentre várias restrições encontradas na aplicação do PPC foi possível eliminar ou diminuir suas possíveis causas. Foi destacado a solução da falta de logística do posicionamento das armaduras dos pilares utilizando a técnica dos 5 por quês.

Foi verificado que a recorrência do problema da falta de logística do posicionamento das armaduras dos pilares implicou no atraso de atividades futuras, sendo que a causa real do problema não foi identificada corretamente. Dessa maneira foi aplicado a ferramenta dos 5 porquês, reunindo os principais envolvidos no serviço seguindo das seguintes perguntas:

- a) Por que as armaduras dos pilares são posicionadas de forma totalmente aleatória não favorecendo a logística para a colocação da fôrma dos pilares, cimbramento e assoalho?
  - Porque são trazidos pela mini grua e não são selecionados antes de subir, e assim que chegam são colocados em suas devidas posições;
- b) Por que não são selecionados de forma eficaz os pilares armados antes de serem erguidos pela mini grua?
  - Porque são pegos os pilares armados que estão na parte de cima, já que estão todos empilhados;
- c) Por que os pilares armados são empilhados de forma que não favoreça a liberação dos mesmo para serem erguidos em uma melhor sequência na mini grua?
  - Porque são armados de acordo com as barras de aço que estão na parte superior do local de armazenamento já que são mais fáceis de pegar;
- d) Por que essas barras de aço que são mais fáceis de pegar não estão organizadas para favorecer uma melhor sequência para a armação dos pilares?
  - Porque na hora da entrega do fornecedor, as armaduras dos pilares são descarregadas junto com as das vigas e lajes e fica difícil tentar escolher qual pegar, é preciso pegar as que estão mais fáceis.

Pelo método dos 5 por quês, foi verificado que a causa da falta de logística do posicionamento das armaduras dos pilares estava ligada ao armazenamento das

armaduras no canteiro. Nesse sentido, foi definido receber e colocar as armaduras o mais espaçadas possíveis para facilitar a montagem dos pilares. Essa medida aumentou expressivamente a produtividade e a logística do posicionamento dos pilares armados.

Em relação a interferência de equipes de trabalho foi optado para melhoria das atividades após a concretagem dos pilares a colação das armaduras das vigas de bordo do pavimento tipo após a concretagem dos pilares ao mesmo tempo que é colocado os conectores de punção. Para em seguida ser colocado as armaduras positivas da laje primeiramente onde passa as cordoalhas, não atrasando assim a equipe das cordoalhas e dessa forma é possível várias das subempreiteiras trabalharem ao mesmo tempo em um fluxo de atividades mais contínuo evitando conflitos diversos.

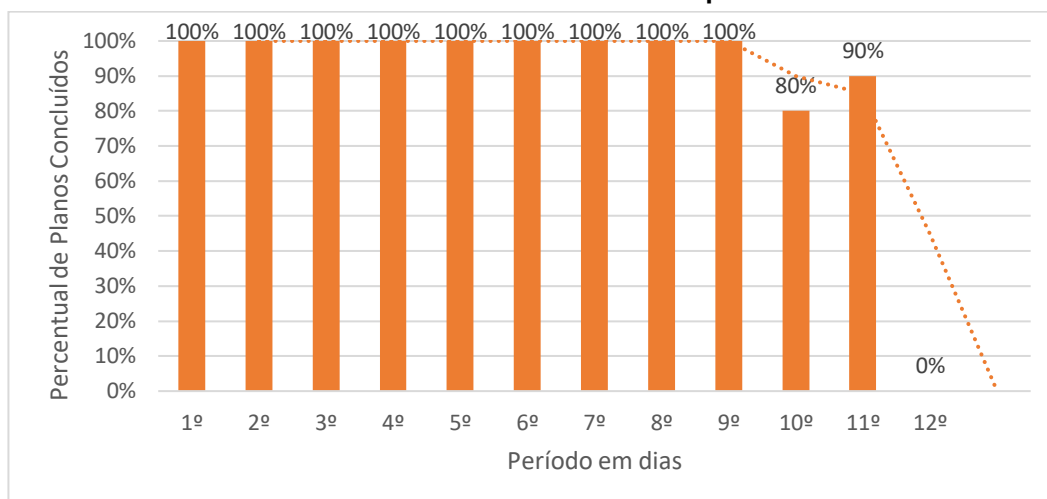
Na Fotografia 4.10 é possível verificar as atividades de cordoalhas, instalações elétricas e armação positiva no 10º pavimento tipo. Onde foi o pavimento escolhido para aplicar o planejamento desenvolvido no presente trabalho.

**Fotografia 4.10 - 9º dia do planejamento do 10º pavimento tipo**



Fonte: O autor (2020)

No Gráfico 4.5 mostra o PPC do 10º pavimento tipo até o 12º dia de planejamento, onde foi atingido maiorias das metas estabelecidas. A medição foi até o 12º dia pois foi feito um replanejamento e definido 12 dias úteis para a finalização do 10º pavimento. Sendo que foi acompanhado diariamente o desenvolvimento das atividades e feita uma medição no 6º dia que será discutida no próximo item.

**Gráfico 4.5 - PPC 10º Pavimento Tipo até o 12º dia**

Fonte: O autor (2020)

O Gráfico 4.5 mostra que até o 9º dia de planejamento foram atingidas todas as metas. Houve um adiantamento devido uma subempreiteira ter trabalhado 2 dias em que pelo calendário não seria um dia para trabalho, o que consequentemente houve um adiantamento no cronograma planejado.

No 6º dia do planejamento do 10º pavimento tipo, todas as atividades da obra foram interrompidas por conta de determinação judicial devido a uma pandemia no estado. Nesse caso, foi feita a medição e foi verificado que a duração de execução do pavimento seria de 12 dias no total, ou seja, seriam apenas mais 6 dias de atividades.

Ao voltar as atividades normalmente na segunda-feira dia 13 de maio, a gestão da obra escalou uma equipe para trabalhar no sábado. Foi apresentado os resultados do planejamento e a concretagem do pavimento poderia ser feita no 12º dia de trabalho, nesse caso, no sábado ou na segunda. Porém mesmo ter apresentado os resultados, a gestão manteve a decisão de trabalhar no sábado a equipe escalada. A equipe ao ser informada que iria trabalhar no sábado, teve sua produtividade reduzida no 10º e 11º dia. Ao ser verificado e questionado a baixa produtividade, a equipe alegou que como trabalhariam no sábado poderiam prolongar o tempo de execução do serviço. No sábado trabalhado a equipe finalizou o serviço em poucas horas.

A última atividade que poderia ser feita no 12º dia não foi feita, gerando o 0% no PPC como mostra o Gráfico 4.5. Dessa forma, foi desperdiçado o dia ganho no planejamento, porém foi mantido os 13 dias de execução inicialmente planejado do 10º pavimento tipo.

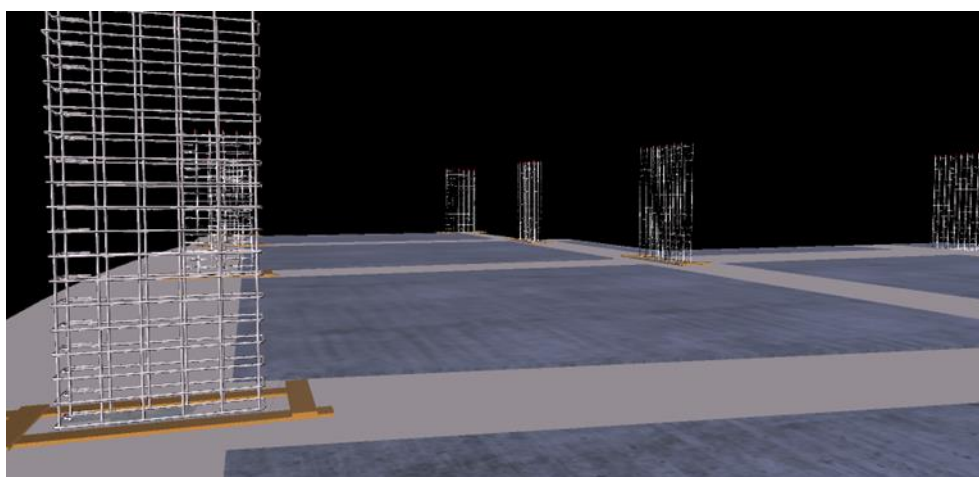
#### 4.4.2 Análise pelo Modelo BIM 4D e Rede PERT/CPM (PDCA)

Além da análise do planejamento pelo PPC foi feita uma análise com fundamentos do PDCA com base modelo BIM 4D pelo software *Navisworks* e através da rede PERT/CPM em conjunto com as curvas “S” e os cronogramas físicos.

De acordo com a figura 4.16 é possível perceber que as armaduras dos pilares obtiveram uma melhor logística evitando posicionar pilares tão afastados um dos outros e que o executado ficou de acordo com planejado.

**Figura 4.16 - Previsto x Realizado para 2º dia do planejamento**

a) Previsto *Timeliner Navisworks* no 2º dia



b) Realizado no 2º dia



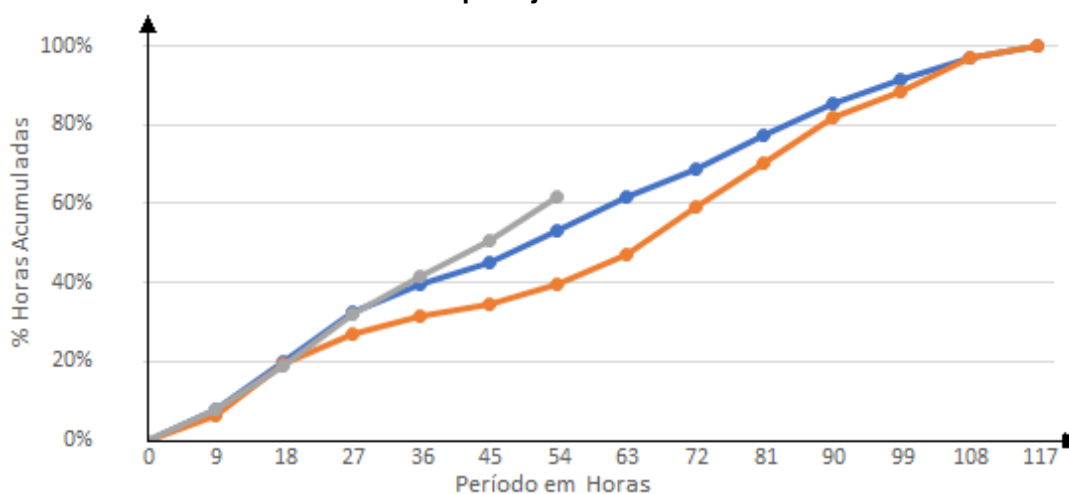
Fonte: O autor (2020)

No acompanhamento do andamento do 10º pavimento tipo, foi verificado que nesse período, a obra não funcionou nos dias 14, 16 e 17 de março como definido no

calendário da obra. Porém somente a subempreiteira 01 trabalhou nos dias 14 e 16 de março, mas o cronograma obedeceu ao planejado no calendário do Anexo 02.

Analisando o cronograma ALAP o 4º e 5º dia compreende as atividades da subempreiteira 01. Já analisando o cronograma ASAP o 4º e 5º dia compreende a atividades da subempreiteira 01 e subempreiteira 03. O 4º e 5º dia seria no caso, os dias 14 e 16 de março, porém como esses dias não estavam previstos no calendário, a análise do planejamento se deu normalmente com os dias úteis do Anexo 02.

**Gráfico 4.6 - Curva "S" planejado x executado até o 6º dia**



|                                                        |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|--------------------------------------------------------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| <span style="color: blue;">—●—</span> CURVA "S" ASAP   | 0% | 8% | 20% | 32% | 39% | 45% | 53% | 62% | 69% | 77% | 85% | 91% | 97% | 100% |
| <span style="color: orange;">—●—</span> CURVA "S" ALAP | 0% | 6% | 19% | 27% | 32% | 35% | 40% | 47% | 59% | 70% | 82% | 89% | 97% | 100% |
| <span style="color: gray;">—●—</span> CURVA "S" REAL   | 0% | 8% | 19% | 32% | 42% | 51% | 62% |     |     |     |     |     |     |      |

Fonte: O autor (2020)

O Gráfico 4.6 apresenta as curvas “S” ASAP, ALAP e a real. No gráfico mostra que a partir do 4º dia (36 horas) houve um crescimento maior que a curva “S” ASAP, ou seja, a curva entrou para a região de controle até o 6º dia (54 horas). O principal motivo para o crescimento da curva real foi o motivo da subempreiteira 01 ter trabalhado 2 dias fora do planejado no calendário da Obra A.

**Tabela 4.5 – Resultado do avanço físico por Análise Gráfica e Matemática**

|       | Análise Gráfica |        | Análise Matemática |        |
|-------|-----------------|--------|--------------------|--------|
|       | ALAP            | ASAP   | ALAP               | ASAP   |
| %     | 53,968          | 16,202 | 55,2               | 16,168 |
| Horas | 20              | 9      | 19,998             | 8,999  |

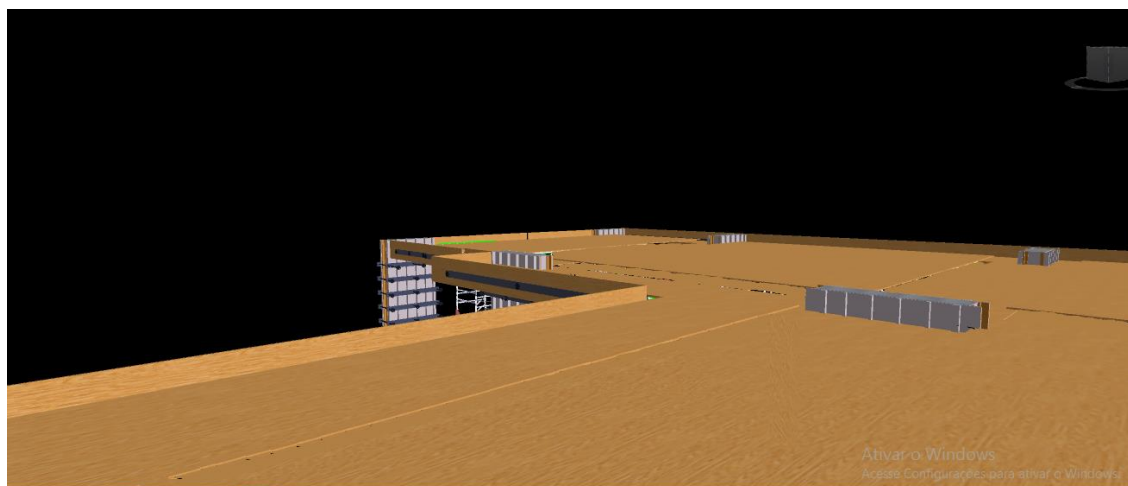
Fonte: O autor (2020)

A Tabela 4.5 apresenta a medição do avanço físico do 10º pavimento tipo no 6º dia conforme descrito no memorial de cálculo do Anexo 03, onde foi feita uma análise gráfica e matemática utilizando o diagrama de rede, a rede PERT/CPM, os cronogramas físicos e as cursas “S” ALAP e ASAP. Foi verificado em relação a programação das datas mais tarde (ALAP) que o pavimento está adiantado em cerca de 55% ou em 20 horas. Já a programação das datas mais tarde (ASAP) o pavimento está adiantado em cerca de 16% ou em 9,0 horas.

Na Figura 4.17 mostra o planejado e executado para o 6º dia. Sendo possível verificar o avanço físico mostrado no Gráfico 4.6.

**Figura 4.17 - Planejado e Executado para o 6º dia**

a) Previsto *Timeliner Navisworks* no 6º dia



b) Realizado no 6º dia



Fonte: O autor (2020)

É possível verificar que foi iniciada a colocação das armaduras das vigas na Figura 4.17 b), enquanto que na Figura 4.17 a) é mostrado a finalização do assoalho. Isso mostra de forma clara a avanço da curva “S” apresentada no Gráfico 4.6.

É possível citar como uma vantagem a questão de poder simular a construção tridimensionalmente através do *Timeliner*. Ressaltando a possibilidade de ter uma curva “S” tridimensional que possibilita a visualização e prevenção de problemas.

Foi feita uma análise por atividade verificando o quanto cada atividade estava adiantada ou atrasada conforme o memorial de cálculo do Anexo 04, bem como apresentada na Tabela 4.6. Na coluna Previsto da tabela é apresentada a porcentagem de quanto a atividade estava programada até o 6º dia e em Horas é quantidade de horas de execução da atividade até o 6º dia dia.

Na coluna Situação da Tabela 4.6 é apresentada a porcentagem de quanto que a atividade está atrasada ou adiantada em relação ao planejado, assim como na coluna Horas onde mostra quantas horas que está atrasada ou adianta a atividade em relação ao programado.

**Tabela 4.6- Análise do avanço físico por Atividade**

| Visita no 6º Dia (54h) | % Execut. | ALAP     |       |          |       | ASAP     |       |          |       |
|------------------------|-----------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
|                        |           | Previsto |       | Situação |       | Previsto |       | Situação |       |
|                        |           | %        | Horas | %        | Horas | %        | Horas | %        | Horas |
| A                      | 100%      | -        | -     | -        | -     | -        | -     | -        | -     |
| B                      | 100%      | -        | -     | -        | -     | -        | -     | -        | -     |
| C                      | 100%      | -        | -     | -        | -     | -        | -     | -        | -     |
| D                      | 100%      | -        | -     | -        | -     | -        | -     | -        | -     |
| E                      | 100%      | -        | -     | -        | -     | -        | -     | -        | -     |
| F                      | 100%      | 0%       | -     | 100%     | 9     | -        | -     | -        | -     |
| G                      | 100%      | 0%       | -     | 100%     | 15    | -        | -     | -        | -     |
| H                      | 100%      | 0%       | -     | 100%     | 9     | -        | -     | -        | -     |
| I                      | 100%      | 0%       | -     | 100%     | 18    | 50%      | 9     | 100%     | 9     |
| K                      | 100%      | 88,89%   | 8     | 12,50%   | 1     | 88,89%   | 8     | 12,50%   | 1     |
| L                      | 66,67%    | 0%       | -     | 66,67%   | 8     | 0,00%    | -     | 66,67%   | 8     |
| M                      | 25%       | 0%       | -     | 25,00%   | 9     | 0,00%    | -     | 25,00%   | 9     |

+ Adiantado

- Atrasado

Fonte: O autor (2020)

Após a análise por atividade, foi feito um novo planejamento a partir do 6º dia, gerando uma nova rede PERT/CPM como mostra a Tabela 4.7.

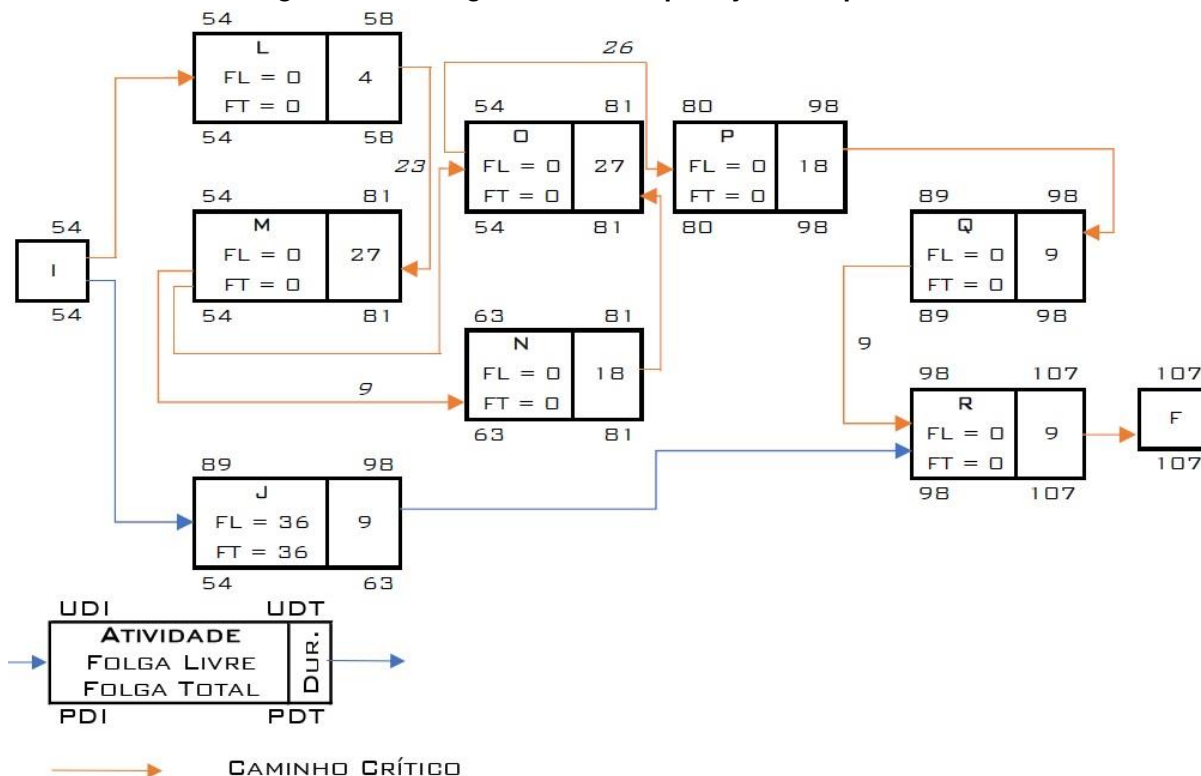
Tabela 4.7 - Rede PERT/CPM do novo planejamento

| Nº | DESCRIÇÃO DE ATIVIDADE         | ATIVIDADE | DUR.<br>(H) | PRED.   | TIPOS DE<br>LIGAÇÃO | ESPERA<br>(H) | PDI | PDT | UDI | UDT | FT | FL | CC |
|----|--------------------------------|-----------|-------------|---------|---------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 10 | PROTENSÃO APÓS ANÁLISE         | J         | 9           | -       | TI                  | 0             | 54  | 63  | 89  | 98  | 35 | 35 |    |
| 12 | CONECTORES DE PUNÇÃO           | L         | 4           | -       | TI                  | 0             | 54  | 58  | 54  | 58  | 0  | 0  | x  |
| 13 | ARMAÇÃO POSITIVA LAJES E VIGAS | M         | 27          | L       | TT                  | 23            | 54  | 81  | 54  | 81  | 0  | 0  | x  |
| 14 | INSTALAÇÕES ELÉT.              | N         | 18          | M       | II                  | 9             | 63  | 81  | 63  | 81  | 0  | 0  | x  |
| 15 | CORDOALHAS                     | O         | 27          | M, N    | II, TT              | 0, 0          | 54  | 81  | 54  | 81  | 0  | 0  | x  |
| 16 | ARMAÇÃO NEGATIVA               | P         | 18          | O       | II                  | 26            | 80  | 98  | 80  | 98  | 0  | 0  | x  |
| 17 | REVISÃO GERAL                  | Q         | 9           | P       | TT                  | 0             | 89  | 98  | 89  | 98  | 0  | 0  | x  |
| 18 | CONCRETAGEM PAVIMENTO          | R         | 9           | Q, I, J | II, TI, TI          | 9, 0, 0       | 98  | 107 | 98  | 107 | 0  | 0  | x  |

Fonte: O autor (2020)

A coluna numeração da Tabela 4.7 é iniciada no número 10 pois a atividade corresponde exatamente a do primeiro planejamento. Através da Tabela 4.7 é possível verificar que a maioria das atividades são críticas. Para montar a tabela foi feito também um novo diagrama pelo método PDM como mostra a Figura 4.18.

Figura 4.18 – Diagrama do novo planejamento pelo método PDM



Fonte: O autor (2020)

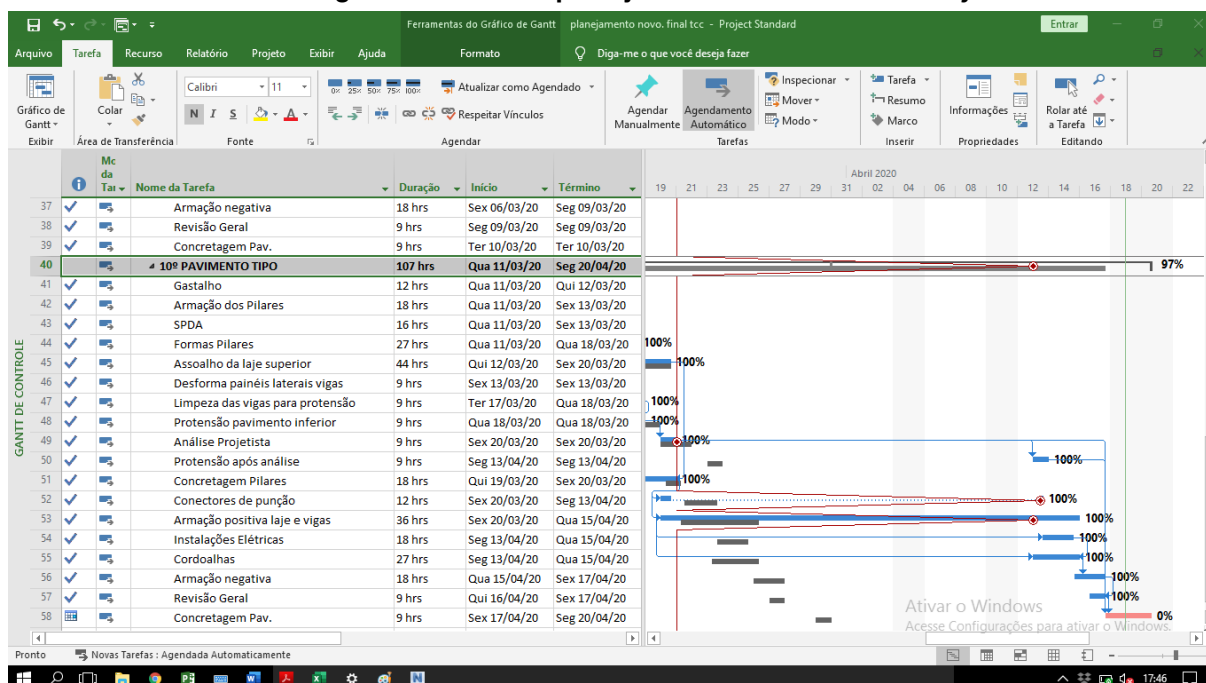
De acordo com a Figura 4.18 o tempo total de duração para as atividades foi de 107 horas, ou seja, em relação ao planejamento inicial foi obtido uma economia de

10 horas, nesse caso de um dia, pois inicialmente foi planejado 117 horas. Nesse sentido, o pavimento tipo está planejado para ser concluído em 12 dias úteis.

A obra parou no dia 20 de março, no 6º dia do 10º pavimento tipo, devido a medidas de segurança ordenadas por órgãos do Ministério do Trabalho por conta de uma epidemia causada pelo vírus COVID – 19. Foi definido a suspensão de todas as atividades do canteiro até o dia 13 de abril de 2020.

Foi atualizado no *Ms Project* os dias de execução do 10º pavimento tipo e o período de parada da obra. Na Figura 4.19 é mostrado o novo planejamento do *Ms Project* que ficou definido também em 107 horas.

**Figura 4.19 – Novo planejamento através no *Ms Project***

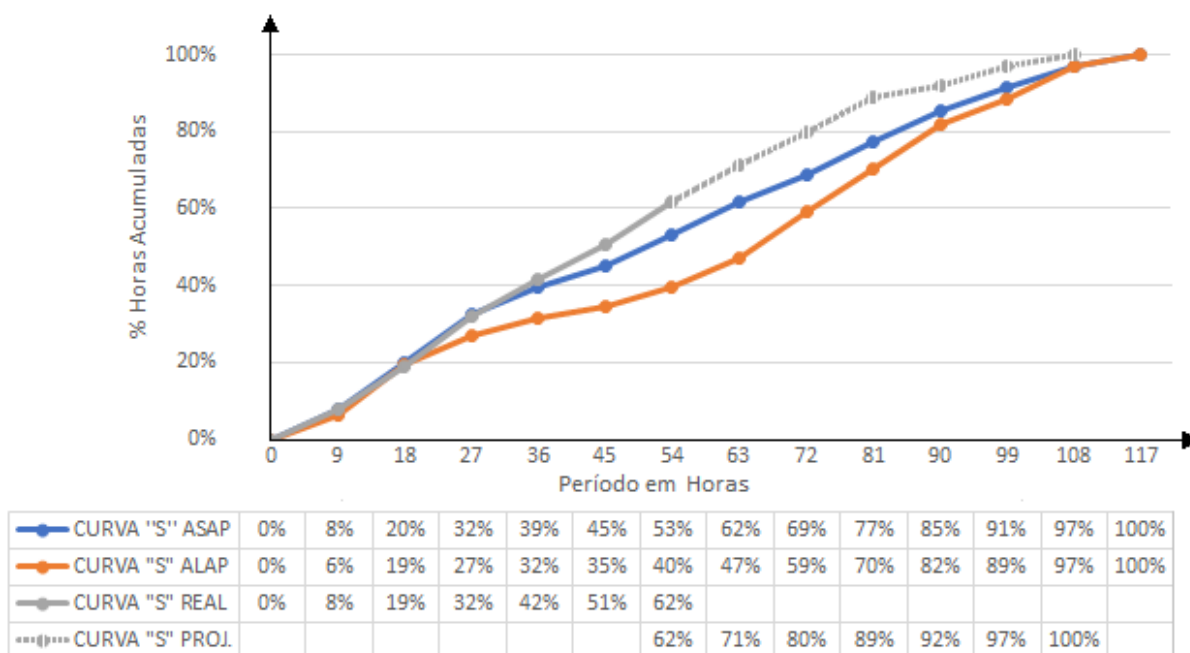


Fonte: O autor (2020)

Na Figura 4.19 mostra a ferramenta de controle do *Ms Project* onde as barras cinzas do lado direito do gráfico de *Gantt* é o planejado inicialmente e as barras azuis e vermelhas o novo planejamento. A linha vermelha com bolas vermelhas é a linha de andamento que nos dá uma visualização do andamento das atividades em relação a um determinado dia.

De acordo com o Gráfico 4.7 é possível ver a projeção futura da curva “S” para o 10º pavimento tipo. É possível verificar a evolução em relação ao planejado inicialmente.

Gráfico 4.7 - Curva "S" Previsto x Realizado



Fonte: O autor (2020)

No Gráfico 4.7 mostra as curvas “S” ASAP e ALAP como o previsto e as curvas “S” REAL e PROJ., sendo a REAL o realizado até o 6º dia do 10º pavimento tipo, e a PROJ., sendo a continuação da curva “S” REAL de acordo com a replanejamento feito após a análise do 6º dia. É possível verificar que a curva “S” PROJ. está finalizando em 108 horas, ou seja, foi possível prever um ganho de um dia para a finalização do 10º pavimento tipo.

Como a maioria das atividades do replanejado foram críticas, ou seja, suas datas mais cedo iguais as datas tardes, foi optado por não fazer uma projeção ASAP e ALAP não sendo necessário pois a diferença entre as curvas seria tão pequena que praticamente existiria apenas uma linha, nesse sentido, foi feito apenas a continuação da curva “S” REAL com a curva “S” PROJ.

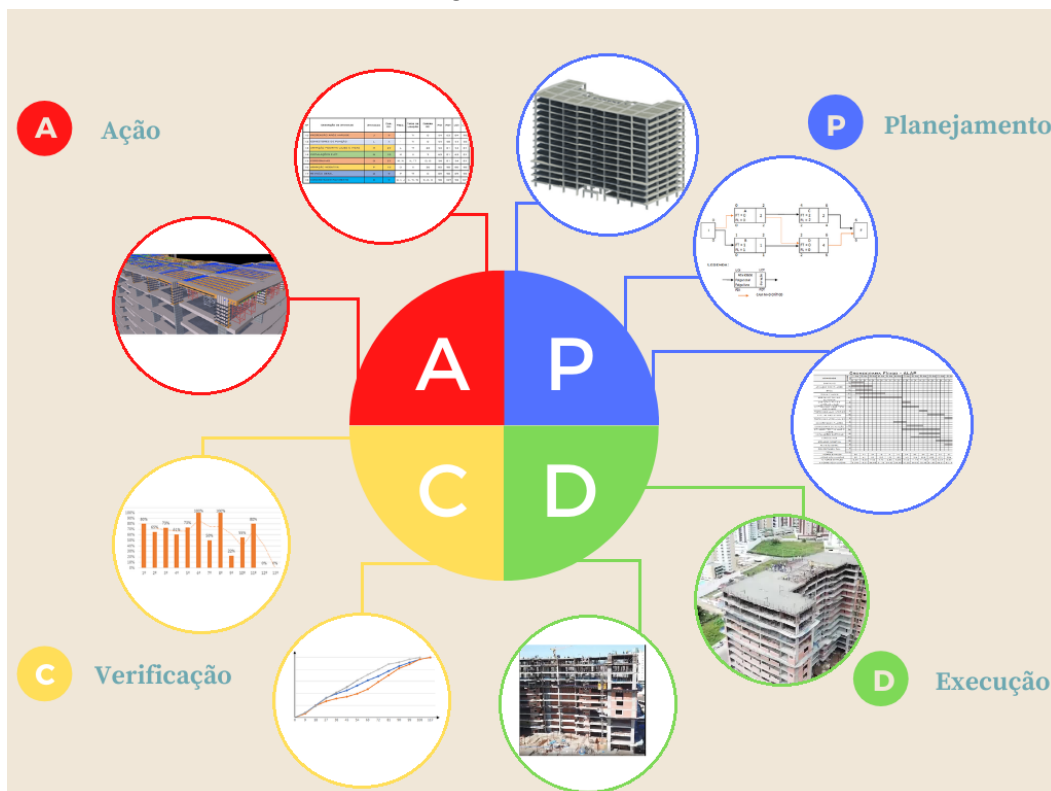
Mesmo sendo especificado que foi reduzido um dia no planejamento, a gestão da obra optou por convocar uma pequena equipe para trabalhar aos finais de semana para compensar a paralização da obra. Mesmo sendo provado que não seria vantajoso, a gestão da obra ao informar a equipe notou-se uma baixa produtividade no 11º dia do planejamento onde a atividade foi a de revisão. Em consequência, no 12º dia os funcionários trabalharam apenas 3 horas e depois foram liberados.

Foi possível observar que a subempreiteira 01 trabalhou dois dias a mais. Porém, o pavimento tipo teve um ganho de somente um dia de adiantamento. Mesmo

que nesses dois dias a subempreiteira tenha executados as atividades críticas o ganho ainda não foi proporcional ao que poderia ser, chegando à conclusão que a produtividade dela poderia ter sido maior. Mas como não houve nenhum gasto por parte da obra A, devemos considerar apenas como ganho. Essas informações só são possíveis de serem obtidas realizando o controle da Obra.

De modo geral e simplificado, é possível perceber na Figura 4.20 os passos aplicados do ciclo PDCA no decorrer do presente trabalho, utilizado para resolução de problemas, bem como para melhorias contínuas na execução da superestrutura da Obra A.

**Figura 4.20 - Ciclo PDCA**



Fonte: O autor (2020)

A letra “P” do primeiro quadrante do círculo significa planejar, e as figuras ligadas representa o resultado do estudo do contexto e processos da obra, onde foi possível definir um planejamento operacional para a execução do pavimento tipo.

A letra “D” do segundo quadrante do círculo significa executar, e a imagem representa o andamento das atividades, ou seja, a execução do planejado.

A letra “C” do terceiro quadrante significa verificar o que foi executado, ou seja, checado e aferido o realizado, comparando o previsto e o realizado pelo método PPC, rede PERT/CPM e pelo modelo BIM 4D.

E por fim, a letra “A” que significa agir, que representas as medidas tomadas para minimizar e/ou eliminar possíveis restrições na execução dos serviços e focando no replanejamento das atividades fazendo o ciclo completo do PDCA.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho permitiu mostrar algumas vantagens da metodologia BIM junto ao planejamento do obras. Apresentando técnicas de planejamento e controle de obras como a Rede PERT/CPM, PPC e PDCA.

O levantamento bibliográfico foi essencial para entender e amarrar os conceitos da metodologia BIM, planejamento e controle de obras, bem como a construção enxuta. O que possibilitou concluir que a utilização da metodologia BIM para o planejamento e controle de obras é uma ferramenta poderosa, ágil e de fácil interpretação. Além de utilizar técnicas da construção enxuta, que agrega muito mais valor tanto ao planejamento quanto para o próprio gestor de obras.

O estudo ainda permitiu a aplicação de técnicas como PPC e PDCA para o controle e análise do planejamento operacional. Demonstrou vantagens da utilização de softwares BIM, junto com as técnicas de planejamento e controle para o gerenciamento de empreendimentos de construção civil. Sendo possível apresentar de forma clara, na fase da gestão da produção, quando foi feito a rede PERT/CPM para melhorar a gestão das atividades de cinco subempreiteiras apenas na fase da superestrutura. Onde foi mostrado através de uma curva “S” tridimensional o planejado e o executado de um pavimento tipo da superestrutura no software *Navisworks* através do *Timeliner*. Além das vantagens do PPC para entender e corrigir possíveis restrições, promovendo uma melhoria contínua ao longo do período de execução das atividades sendo aplicado o PDCA.

O levantamento dos métodos e processos executivos das subempreiteiras foi fundamental para a elaboração da EAP, da análise das restrições a partir do PPC, e da criação da rede PERT/CPM.

A rede PERT/CPM foi essencial para a criação das curvas “S” e dos cronogramas físicos. Ferramentas essas, que serviram para monitorar, aferir e padronizar as atividades realizadas pelas subempreiteiras no canteiro de obras.

Foi possível perceber na fase da modelagem que a interoperabilidade dos softwares BIM *Revit* e *Navisworks*, melhorou os fluxos de trabalho facilitando no resultado do modelo 3D ao modelo 4D. O modelo BIM 4D serviu como uma curva “S” tridimensional e ajudou na visualização da comparação entre o planejado e o executado dos serviços. O que permitiu uma visualização mais clara do modelo para

tomadas de decisões na prevenção de problemas, além da possibilidade de aplicação do ciclo PDCA, melhorando a qualidade do produto final.

Para a fase do gerenciamento da produção as técnicas de rede PERT/CPM, PPC e PDCA foram eficazes para o planejamento e controle da obra, independente da utilização dos softwares BIM, porém através do modelo BIM 4D a forma de verificação dos resultados foram mais claras que as demais técnicas utilizadas comparando o planejado e o executado.

Foi possível perceber que para uma boa gestão da produção é indispensável o conhecimento técnico de ferramentas de planejamento e controle da produção. E que a metodologia BIM vem como uma ferramenta que agrega um imenso valor ao empreendimento e ao gestor de obras.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os temas abordados neste trabalho possuem a possibilidade de serem estudados visões distintas, sendo possível destacar alguns temas para aprofundamento em trabalhos futuros como:

- Aplicação de um modelo BIM 5D em uma obra: otimização do planejamento e análise de custo;
- Gerenciamento e Controle de Obra: uso de Drone e de um modelo BIM 5D na fase de gestão da construção;
- Elaboração do planejamento de curto, médio e longo prazo de uma obra utilizando a metodologia BIM e a *Lean Construction* como ferramentas de apoio;
- Gerenciamento e Controle de Obra: Aplicação do *Last Planner System* a partir de um modelo BIM 4D em uma Obra;
- Análise da utilização da metodologia BIM em conjunto com as técnicas de planejamento e controle de obras para a fase de gestão da concepção em uma obra residencial.

## REFERÊNCIAS

- ACKOFF, Lincoln Russel. **Planejamento Empresarial**. Rio de Janeiro: LTC, 114p, 1976.
- ALASHWAL, A.; FONG, P. **Empirical study to determine fragmentation of construction projects**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 141, 2015.
- ANTUNES, Junico; ALVAREZ, Roberto; PELLEGRIN, Ivan; KLIPPEL, Marcelo; BORTOLOTO, Pedro. **Sistemas de Produção: sistemas e práticas para projetos e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008. 326 p.
- ARAÚJO, C. A. C. de; RENTES, A. F. **A metodologia Kaizen na condução de processos de mudança em sistemas de produção enxuta**. São Paulo: Revista Gestão Industrial - Universidade de São Paulo (USP), 2006.
- ASSUMPÇÃO, J. F. P. **Planejamento de Obras - Conceito e Técnicas**. Apostila do Curso de Especialização em Gerenciamento da Construção Civil, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 16903: Solo – Prova de carga estática em fundação profunda**. Rio de Janeiro, 2020.
- AZEVEDO, M. J.; NETO, J. P. D.; NUNES, F. R. M. **Análise dos aspectos estratégicos da implantação da Lean Construction em duas empresas de construção civil de Fortaleza - CE**. XIII SIMPOI - SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS. Anais... São Paulo, SP: 2010.
- BALLARD, Herman Glenn. **O último sistema planejador de controle de produção**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de Birmingham.
- BARBOSA, George.; ANDRADE, Fabíola.; BIOTTO, Clarissa.; MOTA, Bruno. **Implementação de construção enxuta em um ano em um projeto de construção**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, v. 8, 2013.
- BARRA, Renata B. M.; SEPTIMIO, Gabriela A.; BASTOS, Leonardo S. L.; MARTINS, Vítor W. B. **Elaboração de rede PERT/CPM na indústria da construção civil através da utilização do software MS Project: um estudo de caso**. In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DA PRODUÇÃO, 2013, Salvador, Bahia.
- BATISTA, Maiara Lisboa. **A Importância da Utilização de Softwares da Plataforma BIM no Gerenciamento de Obras de Construção – Proposta de Planejamento Utilizando Modelo BIM 4D**. 124 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

BERNARDES, M. M. e S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção**. 2001. 291p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil — PPGEC/UFRGS, Porto Alegre. 2001.

\_\_\_\_\_. **Planejamento e controle da produção para empresas da construção civil**. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 190p.

CALVERT, Neil. **Why We care about BIM**. Directions Magazine, 2013. Disponível em: < <https://www.directionsmag.com/article/1486> >. Acesso em: 13, mar. 2020.

CAMPOS, Glaudson.; SILVA, Kássio.; SILVA, Ricardo M.; SANTOS, Gouveia. **Orçamento: A composição de custos na construção civil**. Revista Pensar Engenharia, v.3, n. 1, 2015.

CARDOSO, Roberto Silva. **Orçamento de Obras Em Foco: Um novo olhar sobre a engenharia de Custos**. 2. ed. São Paulo. PINI, 2011.

CARVALHO, H. G. A.; LIMA, Y. C. C.; MENESES, V. N.; QUEIROZ, E. L.; FRASÃO S. C. **Lean Construction e P+L como ferramenta de gestão da qualidade na construção civil: uma estratégia competitiva**. In: XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Engenharia de Produção, Infraestrutura e Desenvolvimento Sustentável: a Agenda Brasil+10, Curitiba, PR. 2014.

CATELANI, Wilton Silva. **Colaboração e integração BIM - Parte 3: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras**. 132p. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Brasília, 2016.

CAZELATO, Fernanda F. **Análise da correlação entre atrasos de cronograma e retrabalhos em obras de edifício de múltiplos apartamentos na região metropolitana de Curitiba**. Monografia – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

COELHO, H. O. **Diretrizes e requisitos para o planejamento e controle da produção em nível de médio prazo na construção civil**. 2003. 134p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS/PPGEC, 2003.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de Produção e Operações – Manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 3ª Ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2012. 680p.

COSTA, Amaurí Harvey da. **Aplicação da Curva S e do método do caminho crítico do planejamento de obras**. 65 f. Dissertação (mestrado profissional) – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.

COSTA, Julianno Teixeira. **Modelagem 4D aplicada ao planejamento de curto prazo com práticas enxutas na construção civil**. 116 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

COSTA, Lucas Klein da Costa. **O uso do sistema *Last Planner* como ferramenta para controle de produção aplicabilidade e estudo de caso**. 83 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

CRESPO, Cláudia Campos; RUSCHEL, Regina Coeli. **Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto**. In: Anais do III Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil. Porto Alegre, 2007.

DARÓS, José. **Guia Completo: BIM 10D construção industrializada**. Utilizando BIM, 2019. Disponível em: <<https://utilizandobim.com/blog/bim-10d-construcao-industrializada/>>. Acesso em: 16 jun. 2020.

DAVE B.; KOSKELA L. **Collaborative knowledge management - A construction case study**. Automation in Construction, 18 (2009): 894-902. Salford Centre for Research and Innovation, University of Salford, Maxwell Building, Greater Manchester. 2009.

DELFINO, Eneida Lopes de Moraes. **O estudo da produção enxuta na eliminação de desperdícios e sua aplicação em uma empresa de gelados comestíveis**. 62 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Governador Valadares. 2014.

DIAS, Paulo Roberto Vilela. **Engenharia de Custos uma Metodologia e Orçamentação Para Obras Cíveis**. Paulo Roberto: São Paulo, 2011.

\_\_\_\_\_. **Preços de serviços de engenharia e arquitetura consultivo: empresas e profissionais**. 2. Ed., Rio de Janeiro: Copiare. 2003.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, Inc. 2ed. New Jersey, 2011.

FERRAZ, Miguel.; MORAIS, Ruben. **O conceito BIM e a especificação IFC na indústria da construção e em particular na indústria de pré-fabricação em betão**. Encontro Nacional Betão Estrutural -BE2012, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, outubro de 2012.

FILIPPI, Giancarlo Azevedo. **Método para planejamento da produção e gestão de prazos de empreendimentos imobiliários**. 295p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2017.

FLORIO, W. **Modelagem Paramétrica no Processo de Projeto em Arquitetura**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, SBPQ 2009, São Carlos. **Anais...** São Carlos: USP, 2009, p. 571-582.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luís Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. 265 p.

FORMOSO, C. T.; BERNARDES, M. M. S.; ALVES, T. C. L. **Gestão da qualidade na construção civil: estratégias e melhorias de processos em empresas de pequeno porte**. Porto Alegre: UFRGS/PPGEC/NORIE, 2001. 58. (Relatório de Pesquisa: Proposta de intervenção no sistema de planejamento da produção de empresas de construção civil, Volume 6). 2001.

FORMOSO, C. T. **Planejamento e Controle da produção em empresas de construção**. Porto Alegre, NORIE, UFRGS, 2001.

FREIJANES, Bruno Costa. **Estudo sobre os ganhos obtidos com a adoção do *last planner system* aplicado ao planejamento e controle na construção de uma usina hidrelétrica de grande porte**. 66 f. Projeto de Graduação – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: UFRJ, 2017.

FREITAS FILHO, Paulo. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. 2ª Edição. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GOLDMAN, Pedrinho. **Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira**. 3. Ed., São Paulo: PINI. 1997.

HALLBERG, D.; TARANDI, V. **On the use of open BIM and 4d visualisation in a predictive life cycle management system for construction works**. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), v. 16, p. 445-466, 2011.

HAMZEH, Farook; BALLARD, Glenn.; TOMMELEIN, Iris D. **Rethinking lookahead planning to optimize construction workflow**. Lean Construction Journal, 2012, 15-34.

HASSAN, Akram Shahir. **BIM 10 DIMENSIONS**. LinkedIn, 2017. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/bim-10-dimensions-prof-akram-hassan-phd-mba-opm3-pmp/>>. Acesso em: 21, jan. 2020.

HERNANDEZ, C. Thinking parametric design: introducing parametric Gaudi. **Design Studies**, v. 27, p.309-324, 2006.

ICHIHARA, Jorge. **Um método de soluções heurístico para a programação de edifícios dotados e múltiplos pavimentos-tipo**. Florianópolis: UFSC, 1998, 188f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

IMPACTO. Protensão não aderente. Disponível em: <http://impactoprotensao.com.br/servicos/protensao/protensao-nao-aderente/>. Acesso em: 12 jan. 2020.

KALAY, Y. P3: Computational environment to support design collaboration. Automation in Construction, **Journal Automation in Construction**. Berkeley, California. v.8, n.1, p.37-48, 1998.

KAMARDEEN, Imriyas. **8D BIM Modelling tool for accident prevention through design**. Faculty of Build Environment, University of New South Wales, Australia, 2010.

KOSKELA, L. Management of Production in Construction: A Theoretical View. **International Group for Lean Construction**, v. 7, p. 241–252, 1999.

KOSKELA, L.; DAVE, B. **Process and IT**. Construction Innovation: Information, Process, Management. 2008.

LACERDA, Monique Batista Liguori de. **GERENCIAMENTO DE PROJETOS COM UTILIZAÇÃO DE EXTRANETS**. 2016. 93p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

LEICHT, R. M.; MESSNER, J. I.; ANUMBA, C.J. **A framework for using interactive workspaces for effective collaboration**. Journal of Information Technology in Construction. v.14, p. 180 -203, 2009.

MAGALHÃES, Rachel Madeira.; MELLO, Luiz C. B. B.; BANDEIRA, Renata A. M. **Planejamento e controle de obras civis: estudo de caso múltiplo em construtoras no Rio de Janeiro**. Gest. Prod., São Carlos, v. 25, n. 1, p. 44-55, 2018.

LIMA, Thiago Tamm; COUTINHO, Ítalo Azeredo. **Aplicação da Curva “S” no Controle de Documentos Para a Gestão de Projetos**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Minas Gerais, 2014.

LIMMER, Carl V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras**. Rio de Janeiro, 2015. 244 p.

LUCIO, Denis S.; ARAUJO, Ingryd L. P.; BISNETO, Sindio F. de A. **GESTÃO DE CONTROLE E QUALIDADE DE OBRAS: ANÁLISE DAS FALHAS NA EXECUÇÃO DE HABITAÇÃO POPULAR EM JOÃO PESSOA, PB**. Inter Scientia. v. 4, n. 2, p.152-162, 2016.

LUSTOSA, Leonardo; MESQUITA, Marco A.; QUELHAS, O; OLIVEIRA, Rodrigo J. **Planejamento e Controle da Produção**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2008. 355p.

MALDONADO, José Carlos; NAKAGAWA, Elisa Yumi. **Gerência e Planejamento De Projeto**. São Paulo. 2002. 52 f.

MANZIONE, Leonardo. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do proceso de projeto colaborativo com o uso do BIM**. 2013. 325p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo.

MARTINI, Gustavo. **BIM E AS POLITICAS PÚBLICAS DO BRASIL**. GM Projetos e Plotagens. 2018, Foz do Iguaçu, PR. Disponível em: <<https://www.gmarquiteturaengenharia.com/single-post/2018/03/10/BIM-E-AS-POLITICAS-P%C3%9ABLICAS-DO-BRASIL>>. Acesso em: 13 jan. 2020.

MARTINS, J. C. C. **Técnicas Para Gerenciamento de Projetos de Software**. 1.ed. Rio de Janeiro: Barsport, 2007.

MARTINS, Margarida.; NEVES, João.; SANTOS, Diogo.; MAIA, Bruno.; CARDOSO, Andreia. **BIM: O que é?**. Porto, Portugal: FEUP, 2013. 27 slides, color.

MATIAS, Antonio Pereira. **Planejamento e Controle de Obras**: Técnicas e Aplicações para uma Unidade Unifamiliar. 74. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

MATTOS, A. D. **Planejamento e Controle de Obras**. 1º ed. São Paulo. PINI, 2010.

MENDES, Ricardo J. **Programação da Produção na Construção de Edifícios de Múltiplos Pavimentos**. 1999. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e simulação. In: CAUCHICK MIGUEL, P.A.C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p.165-192.

MORETTI, J. W. **O total quality control de A. Feigenbaum como modelo de sistemas de Gestão da Qualidade**. Dissertação – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo. 2003.

MOURA, Camile Borges. **Avaliação do impacto do sistema Last Planner no desempenho de empreendimentos da construção civil**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, RS. 2008.

MUBARAK, S. **Construction Project sheduling and control**. 2ed. USA John Wiley e Sons, 2010. 456p.

NASCIMENTO, Jean Lucas P. **PROPOSTA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO UTILIZANDO A TÉCNICA DA LINHA DE BALANÇO: UMA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://semanaacademica.com.br/artigo/proposta-de-planejamento-e-controle-da-producao-utilizando-tecnica-da-linha-de-balanco-uma> Acessado em: 21/05/2020.

NETO, Humberto S. da Rocha. **Avaliação dos índices de desperdícios de materiais: Estudo de caso em uma obra de edificação na cidade de feira de Santana-BA**. 2010. 133 p. Monografia. (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2010.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre, Bookman, 1997.

OLIVEIRA, Daniel Ferreira. **O Conceito de Qualidade Aliado às Patologias na Construção Civil**. 96 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2013.

OLIVEIRA, Simone Espíndola de.; ALLORA, Valerio.; SAKAMOTO, Frederico T. C. **Utilização conjunta do método UP' – Unidade de Produção (UEP') com o Diagrama de Pareto para identificar as oportunidades de melhoria dos processos de fabricação – um estudo na agroindústria de abate de frango**. In: IX Congresso Internacional de Custos – Florianópolis, SC. 2005.

PAULA, Gilles B. de. **Planejamento Estratégico, Tático e Operacional – O Guia completo para sua empresa garantir os melhores resultados!**. Santa Catarina: 2015. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/planejamento-estrategico-tatico-e-operacional/>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

PEREIRA, E. S. S. **Fatores associados ao atraso na entrega de edifícios residenciais**. 204 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

PINTO, João Paulo. **Lean thinking. Comunidade Lean Thinking**, p. 1-8, 2008.

PMBOK. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos**. 5ª Edição, 595 f. Project Management Institute, 2013.

RIBEIRO, Flora Seixas. **Diretrizes para Implementação e Avaliação do Sistema Last Planner com foco nas Práticas do Planejamento de Fase**. 221 f. Dissertação (Mestrado - Mestrado em Engenharia Civil) -- Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Salvador, 2018.

RODRIGUEZ, M. A. A. **Coordenação técnica de projetos: caracterização e subsídios para sua aplicação na gestão do processo de projeto de edificações**. Florianópolis, 2005. 170p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRADINI, D.H.; SCALICE, R.K **Gestão do Desenvolvimento de Produtos - Uma referência para a melhoria do processo**. Ed. Saraiva, 2006.

SACOMANO, Jose Benedito; GUERRINI, Fabio Muller; MOCCELLIN, Joao Vitor. **Administração de produção na construção civil: o gerenciamento de obras baseado em critérios competitivos**. São Paulo: Arte e Ciência, 2004.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. **Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. Gestão & Produção.** São Carlos, v. 16, n. 1, p. 25-43, 2009.

SANTOS, Márcio Bambirra. **MS PROJECT 2013, Um Breve Resumo de Aplicações.** Minas Gerais: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2014.

SANTOS, Mirian Caroline Farias. **Método para Integração do Orçamento, Planejamento e Acompanhamento da Produção com Apoio de Building Information Modeling.** 208 f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2018.

SCHLUNZEN JUNIOR, K. **Aprendizagem, cultura e tecnologia: Desenvolvendo potencialidades corporativas.** 1ª edição, 166f. UNESP, 2003.

SILVA, D. D. C. **Avaliação do impacto da transferência precoce de informação no tempo e no custo de desenvolvimento de projetos.** 142 f. 2010. Dissertação (mestrado em engenharia de produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SILVA, Mariana do Prado. **Influência do Planejamento e Controle de Obras nos Horizontes de Médio e Curto Prazo em Entrega de Edifícios Residenciais em Goiânia.** Brasília: Universidade de Brasília, 2012. 244 f. Tese (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SILVEIRA, Adriana de Oliveira; COUTINHO, Heloisa Helena. **Trabalho padronizado: A busca por eliminação de desperdícios.** Revista INICIA, Santa Rita do Sapucaí, n. 8, p.8-16, 2008.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** 3ª Ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2009. 703p.

SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações: Sua incidência e controle.** Porto Alegre, 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SOUZA, L. S.; BRANDSTETTER, M. C. G. O. **Avaliação de princípios da Lean Construction em construtoras goianas.** XXX ENEGEP - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais... São Carlos, SP: 2010.

TERNER, Gilberto Luís Kupper. **Avaliação da Aplicação dos Métodos de Análise e solução de problemas em uma empresa Metal-Mecânica.** Porto Alegre, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VARGAS, Carlos L. S. A.; MARCHIORI, Fernanda F.; MENEZES, Marilei de O.; COELHO, Renato de Q.; LIMEIRA, Uziel R. **Avaliação de perdas em obras – aplicação de metodologia expedita**. Anais do 17º Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Gramado, RS. 1997.

VIANA, D.; MOTA, B.; FORMOSO, C.; ECHEVESTE, M.; PEIXOTO, M.; RODRIGUES, C. **A Survey on The Last Planner System : Impacts and Difficulties for Implementation in Brazilian Companies**. IGLC, 18, Haifa, 497–507. 2010.

WAYNE, J. **Project Control: Integrating cost and schedule in construction**. 1.ed. Canadá: Wiley, 2013.

WEISS, A.E. **Key business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know**. Grã-Bretanha: Pearson Education Limited, 2011.

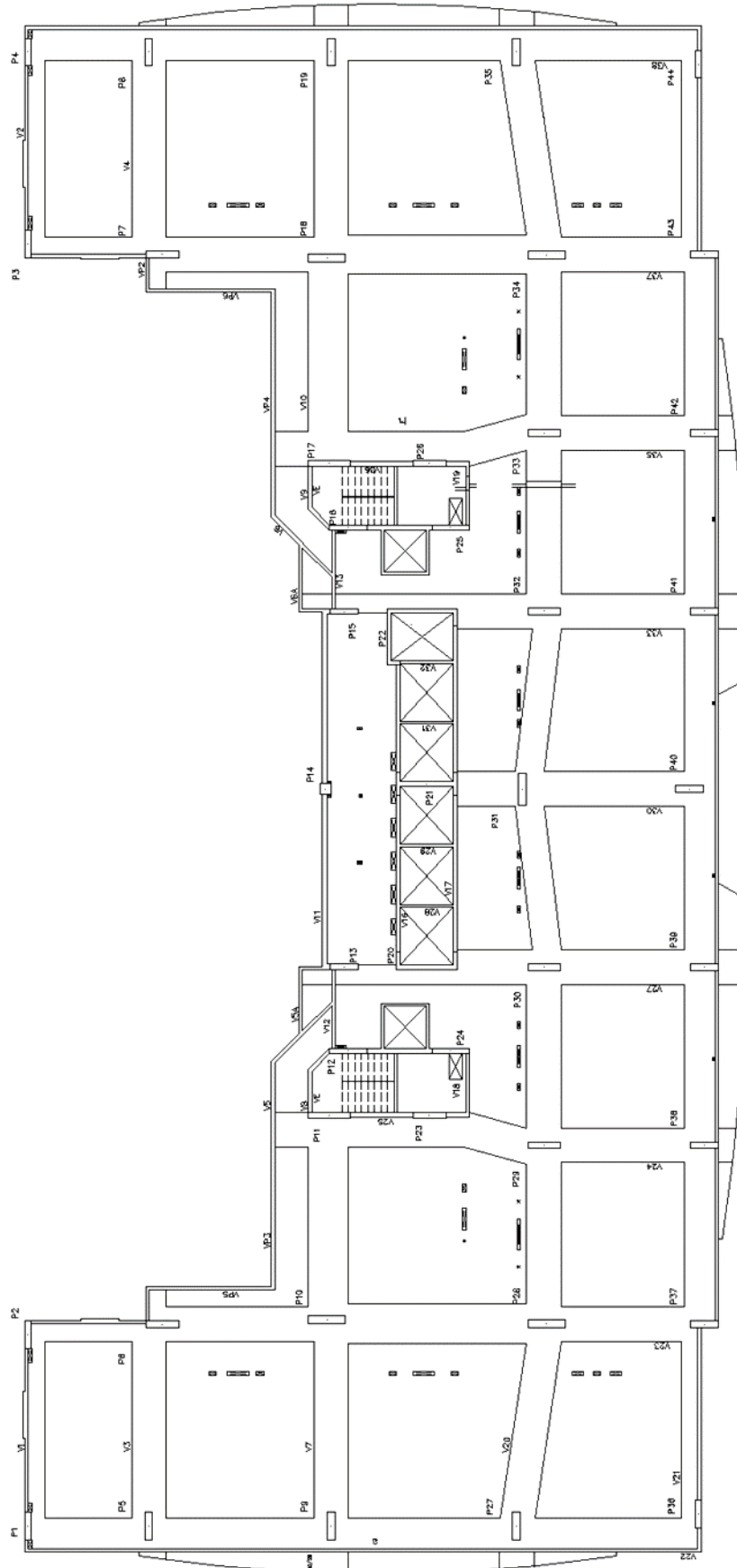
WERKEMA, Cristina. **Lean Seis sigma: Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing**. 2. ed.: Elsevier. 120 p, 2012.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation**. Simon and Schuster, 2010.

WEBER, Abílio J.; AMARAL FILHO, Dario do.; ALEXANDRIA, João P.; CUNHA, José A.; ARAUJO, P. **Curso Técnico Mecânico: Manutenção Industrial**. Contagem: SENAI-CFP, Alvimar Carneiro de Rezende. Contagem, MG. 2008.

**ANEXO 01 - Planta de Fôrma do 2º ao 11º Pavimento Tipo**

# ANEXO 01 – Planta de Fôrma do 2º ao 11º Pavimento Tipo



**ANEXO 02 - Calendário 2020 Obra A**

## ANEXO 02 – Calendário 2020 Obra A

## CALENDÁRIO 2020

| JANEIRO |     |     |     |     |     |     | FEVEREIRO |     |     |     |     |     |     | MARÇO    |     |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Seg     | Ter | Qua | Qui | Sex | Sab | Dom | Seg       | Ter | Qua | Qui | Sex | Sab | Dom | Seg      | Ter | Qua | Qui | Sex | Sab | Dom |
|         |     | 1   | 2   | ③   | 4   | 5   |           |     |     |     |     | 1   | 2   |          |     |     |     | ⑥   | 7   | 8   |
| 6       | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 3         | 4   | 5   | 6   | ⑦   | 8   | 9   | 2        | 3   | 4   | 5   | 12  | 13  | 14  |
| 13      | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 10        | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 9        | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  |
| 20      | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 17        | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 16       | 17* | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  |
| 27      | 28  | 29  | 30  | 31  |     |     | 24        | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  |     | 23       | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  |
|         |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     | 30       | 31  |     |     |     |     |     |
| ABRIL   |     |     |     |     |     |     | MAIO      |     |     |     |     |     |     | JUNHO    |     |     |     |     |     |     |
| Seg     | Ter | Qua | Qui | Sex | Sab | Dom | Seg       | Ter | Qua | Qui | Sex | Sab | Dom | Seg      | Ter | Qua | Qui | Sex | Sab | Dom |
|         |     | 1   | 2   | ③   | 4   | 5   |           |     |     |     | 1   | 2   | 3   | 1        | 2   | 3   | 4   | ⑤   | 6   | 7   |
| 6       | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 4         | 5   | 6   | 7   | ⑧   | 9   | 10  | 8        | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |
| 13      | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 11        | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 15       | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  |
| 20      | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 18        | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 22       | 23  | 24* | 25  | 26  | 27  | 28  |
| 27      | 28  | 29  | 30  |     |     |     | 25        | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  | 31  | 29       | 30  |     |     |     |     |     |
| JULHO   |     |     |     |     |     |     | AGOSTO    |     |     |     |     |     |     | SETEMBRO |     |     |     |     |     |     |
| Seg     | Ter | Qua | Qui | Sex | Sab | Dom | Seg       | Ter | Qua | Qui | Sex | Sab | Dom | Seg      | Ter | Qua | Qui | Sex | Sab | Dom |
|         |     | 1   | 2   | ③   | 4   | 5   |           |     |     |     |     | 1   | 2   |          |     | 1   | 2   | 3   | ④   | 5   |
| 6       | 7   | 8*  | 9   | 10  | 11  | 12  | 3         | 4   | 5   | 6   | ⑦   | 8   | 9   | 7        | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  |
| 13      | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 10        | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 14       | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |
| 20      | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 17        | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 21       | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  |
| 27      | 28  | 29  | 30  | 31  |     |     | 24        | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  | 28       | 29  | 30  |     |     |     |     |
|         |     |     |     |     |     |     | 31        |     |     |     |     |     |     |          |     |     |     |     |     |     |
| OUTUBRO |     |     |     |     |     |     | NOVEMBRO  |     |     |     |     |     |     | DEZEMBRO |     |     |     |     |     |     |
| Seg     | Ter | Qua | Qui | Sex | Sab | Dom | Seg       | Ter | Qua | Qui | Sex | Sab | Dom | Seg      | Ter | Qua | Qui | Sex | Sab | Dom |
|         |     |     | 1   | ②   | 3   | 4   |           |     |     |     |     |     | 1   |          |     | 1   | 2   | 3   | ④   | 5   |
| 5       | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 2         | 3   | 4   | 5   | ⑥   | 7   | 8   | 7        | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  |
| 12      | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 9         | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 14       | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |
| 19      | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 16        | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 21       | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  |
| 26      | 27  | 28  | 29  | 30  | 31  |     | 23        | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 28       | 29  | 30  | 31  |     |     |     |
|         |     |     |     |     |     |     | 30        |     |     |     |     |     |     |          |     |     |     |     |     |     |

## LEGENDA:

|   |                                          |
|---|------------------------------------------|
|   | Feriados Nacionais                       |
| * | Feriados Municipal                       |
|   | Compensações                             |
| ● | Dia de trabalho (compensação de feriado) |
| ○ | Dia de Pagamento                         |

## FERIADOS NACIONAIS

1 de janeiro - Confraternização Universal  
 25 de fevereiro - Carnaval  
 10 de abril - Sexta-feira Santa  
 21 de abril - Tiradentes  
 1 de maio - Dia do Trabalho  
 11 de junho - Corpus Christi  
 7 de setembro - Independência do Brasil  
 12 de outubro - Padroeira do Brasil  
 2 de novembro - Finados  
 15 de novembro - Proclamação da República  
 25 de dezembro - Natal

**ANEXO 03 – Memorial de Cálculo para Avanço Físico**

## ANEXO 03 – Memorial de Cálculo para o Avanço Físico

### Análise para o 6º dia (54h)

| Atividade | % Concluída | Duração (h) |
|-----------|-------------|-------------|
| A         | 100%        | 12          |
| B         | 100%        | 18          |
| C         | 100%        | 16          |
| D         | 100%        | 27          |
| E         | 100%        | 44          |
| F         | 100%        | 9           |
| G         | 100%        | 15          |
| H         | 100%        | 9           |
| I         | 100%        | 18          |
| J         | 0%          |             |
| K         | 100%        | 9           |
| L         | 67%         | 8           |
| M         | 25%         | 9           |

Total 194

$$\begin{array}{l} 315h \_ 100\% \\ 194 \_ x \end{array}$$

$$x = 61,587\%$$

#### Análise Gráfica ASAP

Pelo Gráfico - curva "S"

$$61,59\% = 63h$$

$$63h - 54h = 9h \text{ Adiantado}$$

no 6º dia deveria está com 53%  
(54h)

$$53\% \_ 100\%$$

$$61,587\% \_ x$$

$$x = 116,202\% - 100\% = 16,202\%$$

**Adiantado**

#### Análise Gráfica ALAP

Pelo Gráfico - curva "S"

$$61,59\% = 74h$$

$$74h - 54h = 20h \text{ Adiantado}$$

no 6º dia deveria está com 40%  
(54h)

$$40\% \_ 100\%$$

$$61,587\% \_ x$$

$$x = 153,968\% - 100\% = 53,968\%$$

**Adiantado**

#### Análise Matemática ASAP

No 6º dia ( previsto)

$$167h \_ 100\%$$

$$194h \_ x$$

$$x = 116,168\% - 100\% = 16,168\%$$

**Adiantado**

$$61,59\% \text{ --- } 63h$$

$$- 53,02\% \text{ --- } 54h$$

$$\begin{array}{r} 8,57\% \quad 9h \\ 0,952\% \text{ por hora} \end{array}$$

$$61,587\% - 53,02\% = 8,567\%$$

$$0,952\% \_ 1h$$

$$8,567\% \_ x$$

$$x = 8,999h + 54h = 62,999h$$

$$62,999h - 54h = 8,999h \text{ Adiantado}$$

#### Análise Matemática ALAP

No 6º dia ( previsto)

$$125h \_ 100\%$$

$$194h \_ x$$

$$x = 155,2\% - 100\% = 55,2\%$$

**Adiantado**

$$70,48\% \text{ --- } 81h$$

$$- 59,05\% \text{ --- } 72h$$

$$\begin{array}{r} 11,43\% \quad 9h \\ 1,27\% \text{ por hora} \end{array}$$

$$61,587\% - 59,05\% = 2,537\%$$

$$1,27\% \_ 1h$$

$$2,537\% \_ x$$

$$x = 1,998h + 72h = 73,998h$$

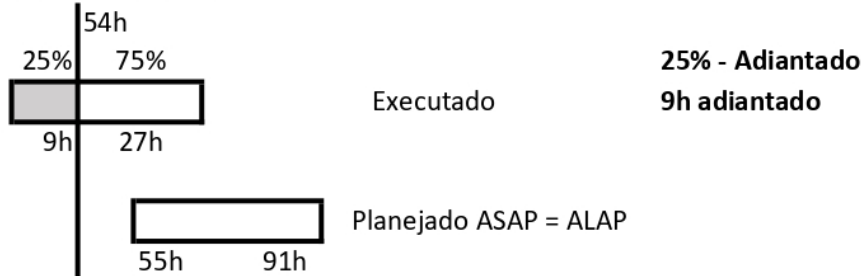
$$73,998h - 54h = 19,998h \text{ Adiantado}$$

**ANEXO 04 – Memorial de Cálculo para Análise por Atividade**

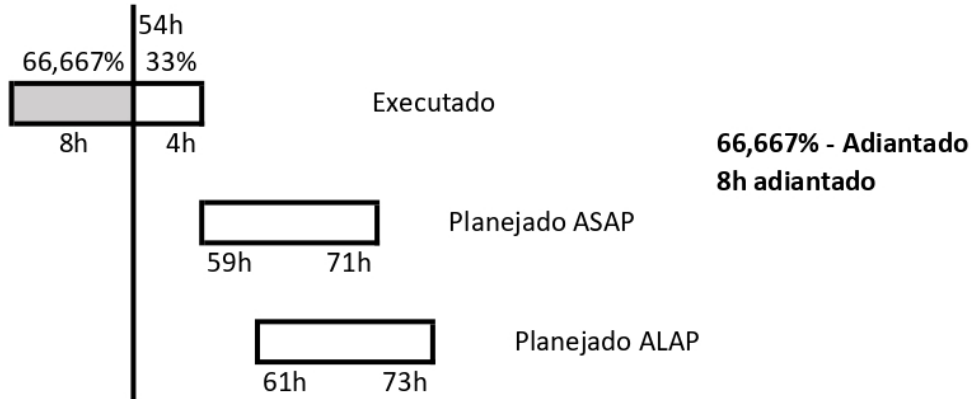
## ANEXO 04 – Memorial de Cálculo para Análise por atividade

### Análise por atividade no 6º dia (54h)

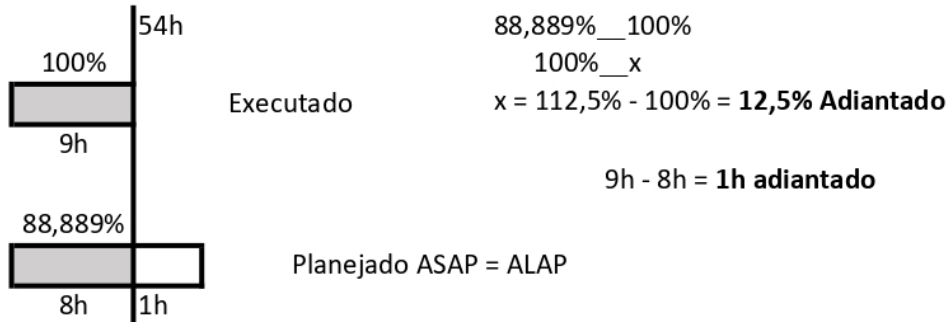
#### M - 25% Concluída



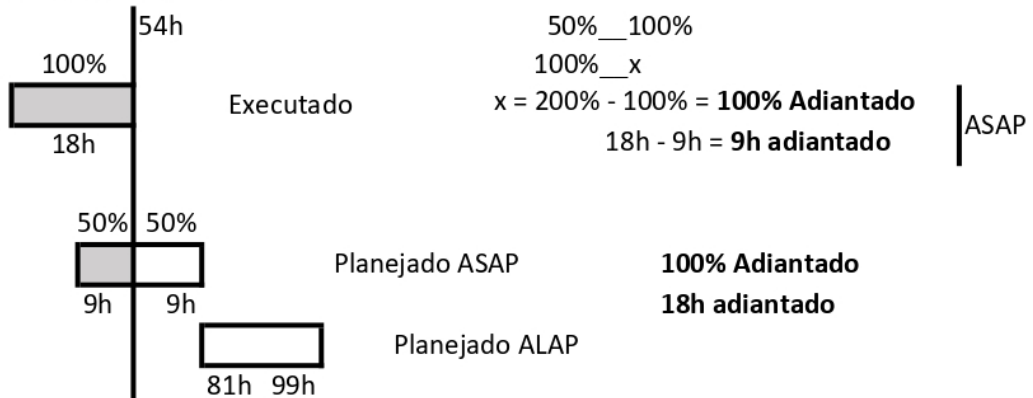
#### L - 66,667% Concluída

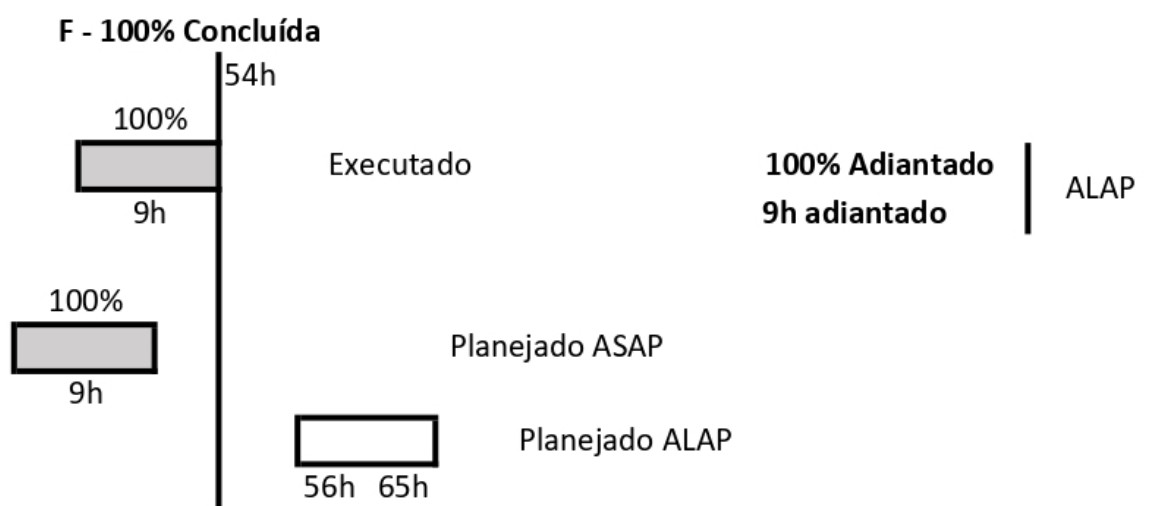
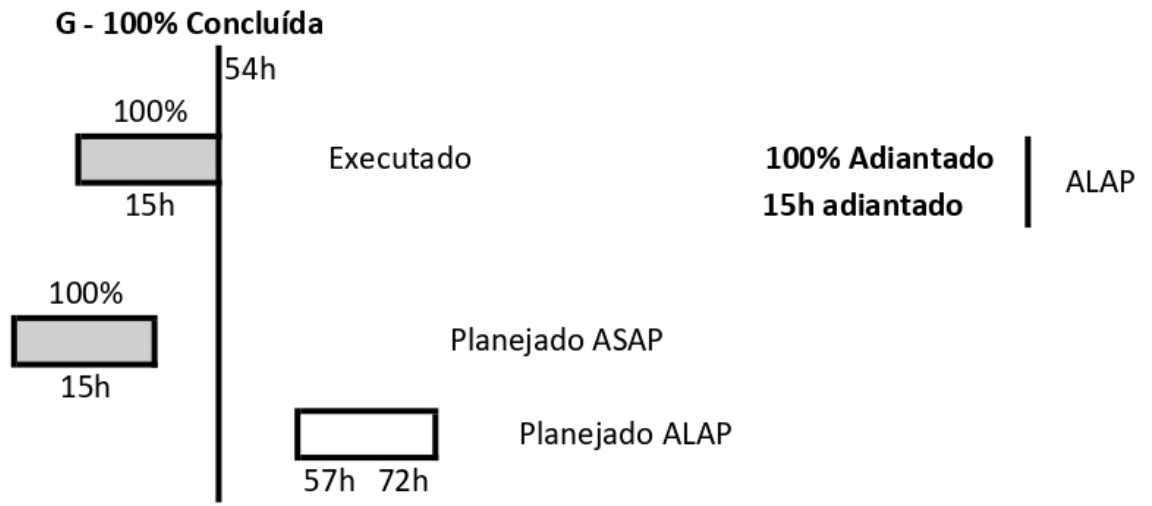
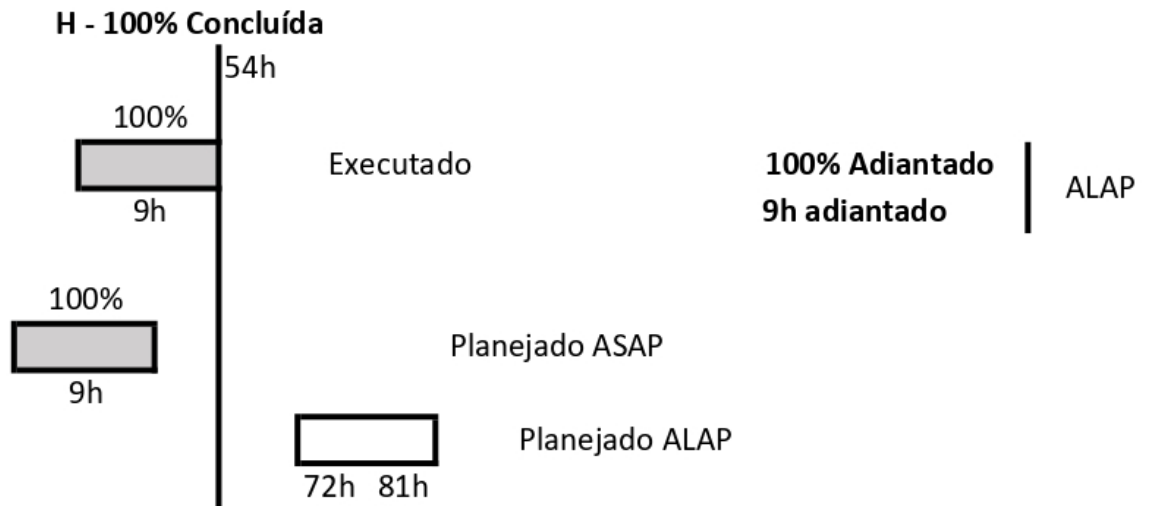


#### K - 100% Concluída



#### I - 100% Concluída





## **ANEXO 05 – Cronograma da Superestrutura da Obra A**

### ANEXO 05 – Cronograma da Superestrutura da Obra A

| EDT     | LOCAL 1 | LOCAL 2   | PAVIMENTO | ATIVIDADE                 | NOME DA TAREFA                         | DURAÇÃO     | INÍCIO     | TÉRMINO    | ID | PREDECESSORAS          |
|---------|---------|-----------|-----------|---------------------------|----------------------------------------|-------------|------------|------------|----|------------------------|
| 1.5     |         | ESTRUTURA |           |                           | ESTRUTURA                              | 236,29 dias | 17/07/2019 | 09/07/2020 | 23 |                        |
| 1.5.1   |         | ESTRUTURA |           |                           | TORRE (PILARES)                        | 228,79 dias | 17/07/2019 | 29/06/2020 | 24 |                        |
| 1.5.1.1 | TORRE   | ESTRUTURA | G2        | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | G2 -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES)      | 11 dias     | 17/07/2019 | 07/08/2019 | 25 | 11II;12II;13II+45 dias |
| 1.5.1.2 | TORRE   | ESTRUTURA | G3        | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | G3 -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES)      | 4,4 dias    | 12/08/2019 | 16/08/2019 | 26 | 44                     |
| 1.5.1.3 | TORRE   | ESTRUTURA | G4        | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | G4 -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES)      | 6 dias      | 05/09/2019 | 13/09/2019 | 27 | 45                     |
| 1.5.1.4 | TORRE   | ESTRUTURA | 1º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 1º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 4,4 dias    | 23/09/2019 | 07/10/2019 | 28 | 46                     |
| 1.5.1.5 | TORRE   | ESTRUTURA | 2º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 2º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 4,4 dias    | 15/10/2019 | 22/10/2019 | 29 | 47                     |
| 1.5.1.6 | TORRE   | ESTRUTURA | 3º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 3º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 4,4 dias    | 30/10/2019 | 07/11/2019 | 30 | 48                     |
| 1.5.1.7 | TORRE   | ESTRUTURA | 4º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 4º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 4,4 dias    | 18/11/2019 | 25/11/2019 | 31 | 49                     |
| 1.5.1.8 | TORRE   | ESTRUTURA | 5º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 5º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 4,4 dias    | 03/12/2019 | 10/12/2019 | 32 | 50                     |
| 1.5.1.9 | TORRE   | ESTRUTURA | 6º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 6º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 4,4 dias    | 18/12/2019 | 26/12/2019 | 33 | 51                     |

| EDT          | LOCAL 1 | LOCAL 2   | PAVIMENTO | ATIVIDADE                 | NOME DA TAREFA                            | DURAÇÃO     | INÍCIO     | TÉRMINO    | ID | PREDECESSORAS |
|--------------|---------|-----------|-----------|---------------------------|-------------------------------------------|-------------|------------|------------|----|---------------|
| 1.5          |         | ESTRUTURA |           |                           | ESTRUTURA                                 | 236,29 dias | 17/07/2019 | 09/07/2020 | 23 |               |
| 1.5.1        |         | ESTRUTURA |           |                           | TORRE (PILARES)                           | 228,79 dias | 17/07/2019 | 29/06/2020 | 24 |               |
| 1.5.1.1<br>0 | TORRE   | ESTRUTURA | 7º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 7º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES)    | 4,4 dias    | 14/01/2020 | 20/01/2020 | 34 | 52            |
| 1.5.1.1<br>1 | TORRE   | ESTRUTURA | 8º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 8º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES)    | 4,4 dias    | 03/02/2020 | 07/02/2020 | 35 | 53            |
| 1.5.1.1<br>2 | TORRE   | ESTRUTURA | 9º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 9º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES)    | 4,4 dias    | 18/02/2020 | 02/03/2020 | 36 | 54            |
| 1.5.1.1<br>3 | TORRE   | ESTRUTURA | 10º TIPO  | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 10º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES)   | 4,4 dias    | 09/03/2020 | 16/03/2020 | 37 | 55            |
| 1.5.1.1<br>4 | TORRE   | ESTRUTURA | 11º TIPO  | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 11º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES)   | 4,4 dias    | 16/04/2020 | 23/04/2020 | 38 | 56            |
| 1.5.1.1<br>5 | TORRE   | ESTRUTURA | COBERTURA | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | FORRO -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES)      | 4,4 dias    | 08/05/2020 | 15/05/2020 | 39 | 57            |
| 1.5.1.1<br>6 | TORRE   | ESTRUTURA | COBERTURA | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | PLATAFORMA -<br>ESTRUTURA TORRE (PILARES) | 3,75 dias   | 25/05/2020 | 29/05/2020 | 40 | 39;58         |
| 1.5.1.1<br>7 | TORRE   | ESTRUTURA | COBERTURA | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | FUNDO DO<br>RESERVATÓRIO SUPERIOR -       | 3,75 dias   | 04/06/2020 | 09/06/2020 | 41 | 59            |
| 1.5.1.1<br>8 | TORRE   | ESTRUTURA | COBERTURA | ESTRUTURA TORRE (PILARES) | TAMPA DO<br>RESERVATÓRIO SUPERIOR -       | 7,5 dias    | 16/06/2020 | 29/06/2020 | 42 | 60            |

| EDT      | LOCAL 1 | LOCAL 2   | PAVIMENTO | ATIVIDADE                       | NOME DA TAREFA                            | DURAÇÃO     | INÍCIO     | TÉRMINO    | ID | PREDECESSORAS      |
|----------|---------|-----------|-----------|---------------------------------|-------------------------------------------|-------------|------------|------------|----|--------------------|
| 1.5      |         | ESTRUTURA |           |                                 | ESTRUTURA                                 | 236,29 dias | 17/07/2019 | 09/07/2020 | 23 |                    |
| 1.5.2    | TORRE   | ESTRUTURA |           |                                 | TORRE (VIGAS E LAJES)                     | 236,29 dias | 17/07/2019 | 09/07/2020 | 43 |                    |
| 1.5.2.1  | TORRE   | ESTRUTURA | G2        | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | G2 - ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES)      | 11 dias     | 17/07/2019 | 12/08/2019 | 44 | 11II;12II;13II;25I |
| 1.5.2.2  | TORRE   | ESTRUTURA | G3        | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | G3 - ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES)      | 6,6 dias    | 19/08/2019 | 05/09/2019 | 45 | 26                 |
| 1.5.2.3  | TORRE   | ESTRUTURA | G4        | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | G4 - ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES)      | 6,6 dias    | 13/09/2019 | 23/09/2019 | 46 | 27                 |
| 1.5.2.4  | TORRE   | ESTRUTURA | 1º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 1º TIPO - ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 6,6 dias    | 07/10/2019 | 15/10/2019 | 47 | 28                 |
| 1.5.2.5  | TORRE   | ESTRUTURA | 2º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 2º TIPO - ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 6,6 dias    | 22/10/2019 | 30/10/2019 | 48 | 29                 |
| 1.5.2.6  | TORRE   | ESTRUTURA | 3º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 3º TIPO - ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 6,6 dias    | 07/11/2019 | 18/11/2019 | 49 | 30                 |
| 1.5.2.7  | TORRE   | ESTRUTURA | 4º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 4º TIPO - ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 6,6 dias    | 22/11/2019 | 03/12/2019 | 50 | 31II+4 dias        |
| 1.5.2.8  | TORRE   | ESTRUTURA | 5º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 5º TIPO - ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 6,6 dias    | 10/12/2019 | 18/12/2019 | 51 | 32                 |
| 1.5.2.9  | TORRE   | ESTRUTURA | 6º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 6º TIPO - ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 6,6 dias    | 06/01/2020 | 14/01/2020 | 52 | 33                 |
| 1.5.2.10 | TORRE   | ESTRUTURA | 7º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 7º TIPO - ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 6,6 dias    | 21/01/2020 | 29/01/2020 | 53 | 34                 |

| EDT          | LOCAL 1 | LOCAL 2   | PAVIMENTO | ATIVIDADE                       | NOME DA TAREFA                                  | DURAÇÃO     | INÍCIO     | TÉRMINO    | ID | PREDECESSORAS |
|--------------|---------|-----------|-----------|---------------------------------|-------------------------------------------------|-------------|------------|------------|----|---------------|
| 1.5          |         | ESTRUTURA |           |                                 | ESTRUTURA                                       | 236,29 dias | 17/07/2019 | 09/07/2020 | 23 |               |
| 1.5.2        | TORRE   | ESTRUTURA |           |                                 | TORRE (VIGAS E LAJES)                           | 236,29 dias | 17/07/2019 | 09/07/2020 | 43 |               |
| 1.5.2.1<br>1 | TORRE   | ESTRUTURA | 8º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 8º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES)    | 6,6 dias    | 07/02/2020 | 17/02/2020 | 54 | 35            |
| 1.5.2.1<br>2 | TORRE   | ESTRUTURA | 9º TIPO   | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 9º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES)    | 6,6 dias    | 27/02/2020 | 09/03/2020 | 55 | 36II+4 dias   |
| 1.5.2.1<br>3 | TORRE   | ESTRUTURA | 10º TIPO  | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 10º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES)   | 6,6 dias    | 16/03/2020 | 16/04/2020 | 56 | 37            |
| 1.5.2.1<br>4 | TORRE   | ESTRUTURA | 11º TIPO  | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 11º TIPO -<br>ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES)   | 6,6 dias    | 23/04/2020 | 08/05/2020 | 57 | 38            |
| 1.5.2.1<br>5 | TORRE   | ESTRUTURA | COBERTURA | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | FORRO -<br>ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES)      | 6,6 dias    | 15/05/2020 | 25/05/2020 | 58 | 39            |
| 1.5.2.1<br>6 | TORRE   | ESTRUTURA | COBERTURA | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | PLATAFORMA<br>- ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | 3,75 dias   | 29/05/2020 | 04/06/2020 | 59 | 40            |
| 1.5.2.1<br>7 | TORRE   | ESTRUTURA | COBERTURA | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | FUNDO DO<br>RESERVATÓRIO SUPERIOR -             | 3,75 dias   | 09/06/2020 | 16/06/2020 | 60 | 41            |
| 1.5.2.1<br>8 | TORRE   | ESTRUTURA | COBERTURA | ESTRUTURA TORRE (VIGAS E LAJES) | TAMPA DO<br>RESERVATÓRIO SUPERIOR -             | 7,5 dias    | 29/06/2020 | 09/07/2020 | 61 | 42            |

**ANEXO 06 – Projeto de Protensão do 2º ao 11º Pavimento Tipo**

## ANEXO 06 – Projeto de Protensão do 2º ao 11º Pavimento Tipo

