

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

PEDRO TORRESINI PRATAVIERA

**APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DA
PRODUÇÃO BASEADO EM ZONAS DE TRABALHO E BIM EM UMA OBRA
COMERCIAL**

**Porto Alegre
Outubro 2022**

PEDRO TORRESINI PRATAVIERA

**APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DA
PRODUÇÃO BASEADO EM ZONAS DE TRABALHO E BIM EM UMA OBRA
COMERCIAL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Iamara Bulhões

Co-orientador: Fabrício Berger de Vargas

Porto Alegre

Outubro 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha orientadora Iamara e meu coorientador Fabricio por todo o apoio durante o desenvolvimento do trabalho. Agradeço por todos os ensinamentos, dicas, elogios, paciência e toda a dedicação de vocês em serem exímios profissionais. Vocês tiveram um papel fundamental na minha formação profissional, levarei todos esses aprendizados para o resto da minha vida.

Na sequência gostaria de agradecer a todos os professores da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul os quais tive o prazer de conhecer e ter aulas.

Agradeço também a todos os meus amigos de Caxias do Sul que me apoiaram nesses períodos de estudo. Toda a força de vocês e compreensão da minha ausência foi de enorme importância para me manter motivado em desenvolver esse trabalho.

Agradeço também a todos os meus colegas e amigos de Porto Alegre. Vocês sempre me apoiaram nos momentos de dificuldade e me acompanharam nos momentos de alegria e tonaram meu processo de formação muito mais leve.

Agradeço a todos os meus colegas de trabalho em especial o Daniel, Bruna e Lucas por compreender a importância do trabalho, me ajudar de todas as formas a desenvolvê-lo e por me suprirem de informações que foram fundamentais para a pesquisa. Agradeço também por me auxiliarem na minha formação profissional.

Agradeço aos meus tios, meus primos e meus avós Magda, João Alberto, Ruy e Lygia por sempre me apoiarem e vibrarem comigo pelas minhas conquistas.

Por fim agradeço imensamente àqueles que sempre estiver ao meu lado. À minha família: meu pai João, minha mãe Graziela e minha irmã Isabela, obrigado por todo o apoio e carinho de vocês. Sem toda a força que vocês me deram nada disso seria possível. Sou muito grato a todos os incentivos e tudo o que fizeram por mim durante esse período. Vocês são a minha base e meu amor por vocês é incondicional.

*No fim tudo dá certo, e se não deu certo é
porque ainda não chegou ao fim.
Fernando Sabino*

RESUMO

O Projeto do Sistema de Produção (PSP) consiste em um processo a ser realizado antes do início da execução de um empreendimento ou em suas fases iniciais a fim de antecipar a tomada de decisões da obra. Suas principais vantagens são a possibilidade de uma visão sistêmica do empreendimento e a capacidade de encontrar soluções aos problemas de forma colaborativa e com antecedência a fim de permitir lidar com incertezas presentes do processo de construção. O Planejamento e Controle da Produção (PCP), por sua vez, refina o planejado durante o Projeto do Sistema de Produção conforme o andamento da obra. Guiado pelo sistema *Last Planner*, o mesmo tem como objetivo proteger a produção dos efeitos de incerteza, dividindo o planejamento em longo, médio e curto prazo. Uma técnica que facilita o processo de PSP e PCP é o zoneamento da edificação. A divisão do empreendimento em zonas de trabalho consiste em segregar a obra em áreas definidas onde o trabalho será planejado, controlado e executado.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo aplicar o PSP e o PCP em uma obra comercial não repetitiva, dividindo-a em zonas de trabalho. Com o auxílio de modelos BIM e métodos de PSP e PCP desenvolvidos por Schramm (2004), Rodrigues (2006) e Vargas (2018) foi possível desenvolver o planejamento de uma obra comercial. O trabalho foi dividido em revisão bibliográfica, coleta de dados da obra, desenvolvimento do PSP e PCP e avaliação dos resultados. Ao fim do processo foi possível visualizar a aplicação dos métodos citados com sucesso, reduzindo os níveis de incerteza, removendo restrições de atividades, antecipando a tomada de decisões da obra e possibilitando que a produção siga o cronograma definido.

Palavras chave: Projeto do Sistema de Produção, PSP, Planejamento e Controle da Produção, PCP, *Last Planner*, Linha de Balanço

ABSTRACT

The Production System Design (PSD) consists of a process to be carried out before the beginning of the execution of a project or in its initial phases in order to anticipate the decision-making of the work. Its main advantages are the possibility of a systemic view of the project and the ability to find solutions to problems in a collaborative way and in advance in order to allow dealing with the uncertainties present in the construction process. Production Planning and Control (PPC), in turn, refines what was planned during the Production System Design as the work progresses. Guided by the Last Planner system, it aims to protect production from the effects of uncertainty, dividing planning into long, medium and short term. A technique that facilitates the PSD and PPC process is the zoning of the building. The division of the enterprise into work zones consists of segregating the work into defined areas where the work will be planned, controlled and executed.

In this way, the present work aims to apply the PSD and the PPC in a non-repetitive commercial work, dividing it into work zones. With the help of BIM models and PSD and PPC methods developed by Schramm (2004), Rodrigues (2006) and Vargas (2018) it was possible to develop the planning of a commercial work. The work was divided into literature review, data collection of the work, development of PSD and PPC and evaluation of results. At the end of the process, it was possible to visualize the successful application of the mentioned methods, reducing the levels of uncertainty, removing restrictions on activities, anticipating the decision-making of the work and allowing the production to follow the defined schedule.

Keywords: Production System Design, PSD, Production Planning and Control, PPC, Last Planner, Line of Balance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de planejamento Laufer e Tucker (1987) <i>apud</i> Formoso (1999).....	17
Figura 2: Etapas da elaboração do PSP (SCHRAMM, 2004)	25
Figura 3: Delineamento da pesquisa	36
Figura 4: Planta de localização da obra	40
Figura 5: Sequenciamento de atividades.....	53
Figura 6: Legenda equipes de produção	54
Figura 7: Diagrama de sequência.....	58
Figura 8: Zoneamento opção 1	60
Figura 9: Zoneamento opção 2	60
Figura 10: Zoneamento opção 3	61
Figura 11: Estratégia de execução do empreendimento	62
Figura 12: Linha de Balanço 1 - opção de zoneamento 1	64
Figura 13: Linha de Balanço 2 - opção de zoneamento 2.....	64
Figura 14: Linha de Balanço 3 – opção de zoneamento 3	65
Figura 15: Simulação Navisworks: execução de instalações provisórias	67
Figura 16: Simulação Navisworks: execução de estacas e blocos de fundação	68
Figura 17: Simulação Navisworks: execução de andaimes fachadeiros e estrutura 2° pavimento	68
Figura 18: Simulação Navisworks: execução de andaimes fachadeiros 2° pavimento, estrutura e telhamento cobertura.....	69
Figura 19: Simulação Navisworks: execução de alvenarias térreo e 2° pavimento.....	69
Figura 20: Simulação Navisworks: desmobilização e primeira entrega da obra finalizada 70	
Figura 21: Histograma de mão de obra.....	72
Figura 22: Instalações provisórias: áreas de vivência.....	73
Figura 23: Instalações provisórias: estoques.....	74
Figura 24: Platô para execução das contenções.....	76
Figura 25: Linha de Balanço atualizada.....	78
Figura 26: Zoneamento contenções	80
Figura 27: Zoneamento fundações.....	81

Figura 28: Sequência de montagem do sistema de fôrmas Topec® SH.....	84
Figura 29: Sequência de reescoramento do sistema de fôrmas Topec® SH.	85
Figura 30: Planejamento de médio prazo.....	88
Figura 31: Lista de restrições e planos de ação.....	90
Figura 32: Índice de remoção de restrições	91
Figura 33: Planejamento de curto prazo	92
Figura 34: Percentual de pacotes concluídos por semana.....	94
Figura 35: Causas dos atrasos nas atividades	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Dimensionamento de capacidade de produção e recursos	55
Quadro 2: Estratégia de execução contenções e fundações.....	82
Quadro 3: Métodos utilizados para as etapas do planejamento.....	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PSP – Projeto do Sistema de Produção

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PPC – Percentual de pacotes concluídos

NR – Norma reguladora

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE QUADROS	9
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	10
SUMÁRIO	11
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.3 DELIMITAÇÕES	15
1.4 MODALIDADE	15
2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)	16
2.1 CONCEITO GERAL DE PLANEJAMENTO E CONTROLE	16
2.2 DIMENSÃO HORIZONTAL	17
2.3 DIMENSÃO VERTICAL	19
2.4 SISTEMA <i>LAST PLANNER</i>	19
2.4.1 PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO	20
2.4.2 PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO	20
2.4.3 PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO	21
2.5 AVALIAÇÃO DO PROCESSO	22
3 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO (PSP)	24
3.1 CONCEITO GERAL DE PSP	24
3.2 MODELO PSP PROPOSTO POR SCHRAMM (2004)	24
3.2.1 ETAPA 1	25
3.2.2 ETAPA 2	26
3.2.3 ETAPA 3	28
3.2.4 ETAPA 4	29
3.2.5 ETAPA 5	30
3.2.6 ETAPA 6	30

3.3	MODELO DO PSP PROPOSTO POR RODRIGUES (2006)	31
3.3.1	CAPTAÇÃO DAS NECESSIDADES DOS CLIENTES	32
3.4	UTILIZAÇÃO DE BIM NO PSP	32
4	MÉTODO DE PESQUISA	36
4.1	DELINEAMENTO DA PESQUISA	36
4.1.1	ETAPA 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
4.1.2	ETAPA 2: COLETA DE DADOS	37
4.1.3	ETAPA 4: DESENVOLVIMENTO DE PSP E PCP	37
4.2	DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DA OBRA	38
4.3	COLETA DE DADOS	41
4.3.1	CONTATO INICIAL COM O CLIENTE	41
4.3.2	REUNIÕES DA ENGENHARIA	42
4.3.3	REUNIÃO DO PLANEJAMENTO MENSAL	46
4.3.4	REUNIÕES DO PLANEJAMENTO SEMANAL	47
5	RESULTADOS	49
5.1	PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA OBRA X	49
5.1.1	ETAPA 1: CAPTAÇÃO DAS NECESSIDADES DO CLIENTE	49
5.1.2	ETAPA 2: SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO	52
5.1.3	ETAPA 3: DIMENSIONAMENTO DAS CAPACIDADES DE PRODUÇÃO E RECURSOS	54
5.1.4	ETAPA 4: DEFINIÇÃO DO DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA	58
5.1.5	ETAPA 5: ZONEAMENTO DA OBRA	58
5.1.6	ETAPA 6: DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO	61
5.1.7	ETAPA 7: ESTUDO DOS FLUXOS DE TRABALHO	63
5.1.8	ETAPA 8: SIMULAÇÕES DO CRONOGRAMA DA OBRA	67
5.1.9	ETAPA 9: DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS	70
5.1.10	ETAPA 10: IDENTIFICAÇÃO E PROJETO DOS PROCESSOS CRÍTICOS	75
5.2	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	86
5.2.1	PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO	87
5.2.2	PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO	91
5.3	DISCUSSÕES	95
6	CONCLUSÕES	98
7	REFERÊNCIAS	101

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

O setor da construção civil no Brasil sofre com problemas típicos que causam impactos significativos nas obras do país. Observando um panorama geral percebemos que problemas como a falta de planejamento, o desperdício de insumos e a baixa produtividade são recorrentes no cenário nacional. Como principais impactos encontramos obras inacabadas, com atraso de entregas, com orçamento estourado e com improvisações em todo o país. Como solução para reverter essa situação, é necessário que medidas de Planejamento e Controle da Produção sejam fomentadas, de forma com que a cultura por trás das construções no Brasil seja alterada.

Segundo Formoso (2001. p5):

Planejamento é um processo gerencial, que envolve o estabelecimento de objetivos e a determinação dos procedimentos necessários para atingi-los, sendo eficaz quando realizado em conjunto com o controle.

As principais vantagens obtidas em planejar e controlar a produção são o conhecimento total da obra, a detecção de situações desfavoráveis, a agilidade de decisões, a melhor relação com o orçamento e a otimização da alocação de recursos (MATTOS, 2019). O conhecimento e domínio dessas informações na obra é fundamental a empresas que visam o lucro do investimento.

Um método de planejamento que vem sendo difundido e utilizado nas obras da atualidade é o Projeto do Sistema de Produção (PSP). O PSP é um processo fundamental a ser desenvolvido em obras que busca antecipar a tomada de decisões e diminuir o grau de incerteza do processo produtivo. Por ser desenvolvido antes do início da obra, ou em suas fases iniciais, esse estudo antecipa a identificação de interdependências entre os processos e os problemas de projeto (RODRIGUES, 2006).

Atrelado ao PSP e o PCP, o método de planejamento baseado em localização, que consiste em dividir a obra em zonas de trabalho, pode trazer vantagens em se planejar e controlar a produção. O planejamento baseado em localização tem como foco principal a gestão dos recursos e o fluxo de trabalho onde zonas de trabalho (locais) são a base do planejamento (VARGAS, 2018).

Uma abordagem que vem se tornando cada vez mais tendência em nível global e deve crescer no Brasil é o BIM (Building Information Modeling). O BIM condiciona às empresas uma melhoria substancial em seu fluxo de trabalho, seja na área de projetos, produção (obras), compras, contabilidade e planejamento (MANZIONE, 2013).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo implementar o Projeto do Sistema de Produção (PSP) e métodos de Planejamento e Controle da Produção (PCP) com BIM em uma obra comercial em andamento.

Como motivação principal, esse tema foi escolhido por se tratarem de métodos que podem trazer inúmeros benefícios à obra onde autor do trabalho está tendo a oportunidade de trabalhar. Assim, a compreensão e aplicação dos conceitos de PSP e PCP em um caso real foram de enorme importância para a formação profissional do autor.

1.2 OBJETIVOS

Baseado nas dissertações de Schramm (2004), Rodrigues (2006) e Vargas (2018), o presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver o Projeto do Sistema de Produção e acompanhar os primeiros ciclos de PCP de uma obra comercial baseado nos métodos mencionados. Basicamente, os métodos de Schramm (2004) e Rodrigues (2006) consistem em projetar o sistema de produção de uma obra antes dela iniciar enquanto o método de Vargas (2018) prevê a segmentação de uma obra em zonas de trabalho vinculadas ao BIM e desenvolvimento do Planejamento e Controle da Produção a partir do sistema *Last Planner*.

Como objetivos específicos tem-se:

- Desenvolver o Projeto do Sistema de Produção para a obra analisada
- Implementar o processo de Planejamento e Controle da Produção durante as fases iniciais da obra

- Analisar a aplicabilidade dos métodos na obra

1.3 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho não abordará questões de viabilidade econômica de aplicação do método. A forma de medir aplicabilidade do mesmo será a partir da eficácia dos indicadores do planejamento e não de questões financeiras com seu uso.

1.4 MODALIDADE

O trabalho consiste em uma monografia enquadrada dentro da área de construção civil.

2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)

2.1 CONCEITO GERAL DE PLANEJAMENTO E CONTROLE

Segundo Slack (1987) o principal objetivo do planejamento e controle é garantir que a produção ocorra de forma eficaz, satisfazendo a demanda dos consumidores. O autor também prevê que para que tal condição ocorra é necessário que os recursos produtivos estejam na quantidade, momento e qualidade adequados. Além dos recursos, para Moreira e Bernardes (2003) o que rege que as metas estabelecidas nos planos sejam cumpridas é o processo decisório, ou seja acertar na tomada de decisões.

Para melhor compreender a definição de planejamento e controle é necessário distinguir-se os conceitos de planejamento e controle. Para Slack (1987) o planejamento é um conjunto de intenções, ou seja é a formalização do que se pretende que ocorra no futuro. Entretanto, ainda segundo o autor, devido ao fato de um plano ser uma expectativa, ele pode ser considerado como uma esperança relativa ao futuro. Isso ocorre pois em quaisquer operações de diferentes naturezas existem muitas variáveis que incidem no processo, contribuindo para que um plano não se torne exequível (SLACK, 1987). Como exemplo do setor da construção civil, em uma obra um fornecedor pode atrasar uma entrega por falha de logística, um funcionário pode faltar o trabalho, um acidente pode parar a produção, dentre outras demais variáveis que podem atrasar um planejamento.

Nesse sentido existe a necessidade do controle da produção: administrar e trabalhar com essas variáveis. Segundo Slack (1987, p. 321), “o controle faz os ajustes que permitem que a operação atinja os objetivos que o plano estabeleceu, mesmo que as suposições feitas pelo plano não se confirmem”. Além disso o autor afirma que as funções do controle são de monitorar o executado, comparar com o planejado e fazer os ajustes necessários para o realinhamento do plano.

Laufer e Tucker (1987) *apud* Moreira e Bernardes (2003) dividem o planejamento em duas dimensões básicas: a horizontal e a vertical, as quais serão melhores exploradas a seguir.

2.2 DIMENSÃO HORIZONTAL

Segundo Laufer e Tucker (1987) *apud* Moreira e Bernardes (2003), a dimensão horizontal é dividida em cinco etapas, pelas quais o processo de controle e planejamento é explorado, conforme pode ser observado na Figura 1.



Figura 1: Ciclo de planejamento Laufer e Tucker (1987) *apud* Formoso (1999)

A primeira etapa é preparação do processo de planejamento. Para Formoso (1999) nessa etapa definem-se procedimentos e padrões a serem adotados no planejamento e entre eles podemos citar: definir envolvidos e responsabilidades, definir níveis hierárquicos e periodicidade dos planos, definir qual o nível de detalhe em cada nível do planejamento, criterizar a subdivisão do plano e definir técnicas a serem empregadas. Além disso o autor salienta a necessidade de estudar estratégias de ataque e identificar restrições nessa etapa do planejamento.

A segunda etapa é a coleta de informações, na qual coletam-se dados necessários para a realização do planejamento. Segundo Moreira e Bernardes (2003, p. 13) essas informações incluem geralmente:

“Contratos, plantas, especificações técnicas, descrição das condições do canteiro e das condições ambientais, tecnologia a ser utilizada na construção, viabilidade da terceirização ou não de processos, índices de produtividade do trabalho, dados de equipamentos a serem utilizados e metas estabelecidas pela alta gerência.”

A terceira etapa é a de preparação dos planos, etapa que tem a maior importância no planejamento por ser o momento no qual é feito o plano da obra. Segundo Formoso (1999)

não há uma melhor técnica de planejamento geral. O autor afirma que conhecendo a natureza do processo de planejamento e controle, pode-se usar simultaneamente diversas técnicas. Howell e Ballard (1996) *apud* Moreira e Bernardes (2003) ainda complementam que as técnicas utilizadas devem ser hierarquizadas através de níveis de planejamento, principalmente na questão de disponibilidade e alocação de recursos no canteiro.

A quarta etapa é a difusão de informações, que devem ser repassadas aos diferentes envolvidos da obra. Para Formoso (1999) como cada um dos envolvidos demandam uma parcela de informação específica, é fundamental que sejam definidos a natureza da informação demandada, sua periodicidade, formato a ser apresentado e o ciclo de retroalimentação. Laufer e Tucker (1987) *apud* Moreira e Bernardes (2003) destaca a importância de um responsável pela difusão da informação que deve identificar as pessoas pertinentes em seus processos decisórios e preparar as informações conforme as necessidades destes.

Por fim a quinta etapa consiste na avaliação do processo de planejamento. Segundo Formoso (1999) com o uso de indicadores de desempenho é possível avaliar o processo de planejamento e de produção, a fim de possibilitar a melhoria do processo para empreendimentos futuros. O autor complementa com a necessidade de se definirem ciclos de avaliação conforme as características da empresa, da obra e dos intervenientes. Quanto à periodicidade dos ciclos, Formoso (1999, p. 13) sugere que “ciclos muito curtos podem definir tomadas de decisão pouco amadurecidas, enquanto ciclos muito longos podem resultar numa inércia que tende a gerar desmotivação nos envolvidos”.

O planejamento pode ser dividido em um ciclo de preparação e avaliação do processo e um ciclo de planejamento e controle (FORMOSO, 1999). Segundo o autor esse primeiro ciclo é deficiente em empresas de construção civil e ocorre de forma intermitente, sendo que a fase inicial ocorre no lançamento do empreendimento e a fase final no término da construção. O segundo ciclo, entretanto, é um ciclo que se repete com o objetivo de identificar possíveis desvios nas metas dos planos e suas causas e poder replanejar o sistema que está sendo controlado (MOREIRA E BERNARDES, 2003).

Durante o ciclo de planejamento e controle, há uma fase de ação, na qual o processo de produção é controlado e monitorado e a partir disso são atualizados os planos e preparados

os relatórios de desempenho da produção (FORMOSO, 1999) apud MOREIRA E BERNARDES, 2003). Segundo Laufer e Tucker (1987) apud Moreira e Bernardes (2003) nessa fase há três riscos a serem eliminados, a fim de reduzir a incerteza ou minimizar seus efeitos: 1) risco conceitual – falha na formulação de um problema; 2) risco administrativo – falha ao implementar a solução de um problema e; 3) risco ambiental – mudança ambiental não prevista.

2.3 DIMENSÃO VERTICAL

Segundo Laufer e Tucker (1987) apud Moreira e Bernardes (2003) como o setor da construção é repleto de incertezas, é fundamental que os planos sejam preparados em cada nível com um grau de detalhe apropriado, de forma com que o grau aumente proporcionalmente a proximidade da implementação. Da mesma forma, Formoso (1999) relaciona o nível de detalhe com o grau de incerteza: em casos de elevada incerteza não convém fazer planejamentos muito detalhados e, em contrapartida, para menores graus de incerteza se fazem planos iniciais de obras com maiores níveis de detalhe.

Formoso (1999) previa a necessidade de dividir o planejamento e controle da produção em três níveis hierárquicos: o estratégico, o tático e o operacional. Para o autor, o nível estratégico está relacionado as estratégias para se atingir o objetivo do empreendimento, como prazos, financiamentos e parcerias. Já o nível tático dedica-se a elaboração de planos e aquisição de recursos (como materiais e mão de obra) para se atingir os objetivos do empreendimento (FORMOSO, 1999). Por fim o nível operacional é o planejamento operacional relacionado com as decisões a serem tomadas a curto prazo (LAUFER E TUCKER, 1987 apud MOREIRA E BERNARDES, 2003).

2.4 SISTEMA LAST PLANNER

Segundo Ballard (2000) apud Vargas (2018) o Sistema *Last Planner* tem como função transformar o que deveria ser feito no que poderia ser feito, a partir de pacotes de trabalho que originam os planos de trabalho semanais. Ballard (2000) apud Formoso (2009) ainda definem que o sistema visa a redução da variabilidade no fluxo de trabalho, ou seja, reduzir os movimentos de informações e materiais através das unidades de produção, que são as

equipes envolvidas no processo. O sistema *Last Planner* é dividido em três níveis, os quais serão explorados na sequência: o planejamento de longo prazo, planejamento de médio prazo e planejamento de curto prazo.

2.4.1 PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO

Para Formoso (1999) o planejamento de longo prazo é o primeiro no nível tático e tem como principal objetivo definir os ritmos em que deverão ser executados os principais processos de produção. Moreira e Bernardes (2003) definem que geralmente esse plano apresenta um baixo grau de detalhes, devido à incerteza existente no ambiente produtivo. Os autores ainda dividem o plano nas seguintes etapas:

- Coleta de informações pertinentes ao planejamento;
- Definição dos ritmos de trabalho para as equipes de produção;
- Refinamento do fluxo de caixa conforme as metas presentes no plano de longo prazo;
- Difusão escrita e verbal do plano;
- Programação de recursos/equipes que requerem longos prazos de aquisição;
- Compra, aluguel e contratação de recursos e equipes.

Vale ressaltar que o período analisado desse planejamento é do início ao fim da obra, com durações, datas e descrições com baixo grau de precisão. Essas informações devem ser atualizadas periodicamente conforme mudanças no andamento da obra (FORMOSO, 1999).

2.4.2 PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO

O planejamento de médio prazo, por sua vez, é um plano móvel e tem como objetivo vincular o planejamento de longo ao de curto prazo, de forma que as atividades definidas no longo prazo sejam detalhadas e segmentadas em lotes de acordo com o zoneamento estabelecido (FORMOSO, 1999). Para Moreira e Bernardes (2003) esse plano tem como objetivo identificar restrições existentes, para possibilitar o desencadeamento de ações para removê-

las, a fim de aumentar a confiabilidade no planejamento de curto prazo. Conforme os mesmos autores, as etapas envolvidas nesse planejamento são:

- Coleta de informações a partir dos pacotes de trabalho que foram executados;
- Análise dos fluxos físicos, evitando conflitos de equipes e identificando materiais a serem usados;
- Planejamento com um grau de detalhes superior ao plano de longo prazo e identificação de restrições a serem removidas;
- Difusão do plano ao setor de suprimentos e ao responsável pelo plano de curto prazo, com datas precisas;
- Identificação de datas limites para aquisição de recursos;
- Contratação de mão de obra conforme prazos estipulados na programação;
- Compra de recursos e aluguel de equipamentos ainda não adquiridos;
- Rastreamento e conferência de recursos obtidos.

Segundo Formoso (1999), o ciclo de replanejamento varia conforme a natureza da obra, seu tamanho, o prazo de entrega, o grau de incerteza, entre outros fatores, com o ciclo de planejamento podendo variar de um trimestre a uma semana, com ou sem subdivisões.

2.4.3 PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO

Para Moreira e Bernardes (2003, p. 75) “o planejamento de curto prazo tem por objetivo orientar diretamente a execução da obra, através de designações de pacotes de trabalho fixados no plano de médio prazo às equipes de produção”. Para Formoso (1999), esse planejamento tem forte ênfase no engajamento das equipes com as metas estabelecidas, a partir de reuniões semanais envolvendo gerentes de obras, mestres de obra, sub-empregados e líderes de equipes. Moreira e Bernardes (2003) dividem o plano de curto prazo nas seguintes etapas:

- Coleta de informações a partir do plano de médio prazo e plano de curto prazo do ciclo anterior;

- Elaboração do plano de forma com que se proteja a produção dos efeitos da incerteza, ou seja, planos passíveis de serem atingidos;
- Difusão do plano, primeiramente em uma reunião de negociação de metas entre o engenheiro, mestre de obras, subempreiteiros e encarregados e na sequência através de um contato verbal entre os encarregados e a equipe de produção;
- Alocação de recursos nos postos de trabalho;
- Controle de execução das atividades e execução de medidas corretivas.

Geralmente esse plano é realizado em ciclos semanais, mas dependendo da incerteza do processo de produção, ele pode ter períodos menores, como ciclos diários (MOREIRA E BERNARDES, 2003).

2.5 AVALIAÇÃO DO PROCESSO

Avaliar o planejamento e controle com indicadores de desempenho é fundamental, tanto por possibilitar a melhoria do processo para empreendimentos futuros quanto para proporcionar a melhoria contínua durante o período de execução (FORMOSO, 1999). O autor complementa afirmando que esses indicadores devem tanto avaliar o resultado do processo quanto apontar onde estão os problemas no processo. Para o sistema *Last Planner* aplicado em obras de construção civil podemos destacar o uso de três principais indicadores: o indicador de valor agregado, o índice de remoção de restrições e o percentual de pacotes concluídos.

Para Netto et al. (2015) o indicador de valor agregado, também conhecido como curva “S” devido a forma como é representado graficamente, avalia o projeto em questões de prazo, escopo e custo, de forma com que as atividades do planejamento sejam quantificadas em custo e sejam determinadas as datas de conclusão de cada tarefa. Esse indicador compara graficamente o valor planejado à obra com os custos reais e o valor agregado.

Já o índice de remoção de restrições tem como função medir a eficácia do planejamento de médio prazo a partir de uma relação entre as restrições removidas e as restrições identificadas (VARGAS, 2018).

Por fim, para Vargas (2018), o percentual de pacotes concluídos tem papel fundamental em firmar o comprometimento dos envolvidos na produção em cumprir o que foi planejado, de forma avaliativa. Conforme o autor, esse percentual deve ser medido ao fim de cada ciclo semanal e é calculado pela relação entre o número de pacotes de trabalho planejados que foram executados e a quantidade total de pacotes planejados. Ele tem aplicação no planejamento de curto prazo.

3 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO (PSP)

3.1 CONCEITO GERAL DE PSP

Segundo Schramm (2004), sistemas são um conjunto de partes que operam harmonicamente para atingir um objetivo comum. Askin e Goldberg (2002) *apud* Rodrigues (2006) definem sistema de produção como o grupo de recursos e procedimentos que convertem materiais em produtos e a sua respectiva entrega aos consumidores. Para Slack et. al. (1997) o PSP consiste nas decisões de integração vertical (fazer ou comprar), decisões da gestão de capacidade produtiva de longo prazo, decisões de localização das operações produtivas, arranjo físico das instalações, seleção das tecnologias a serem empregadas e gestão do pessoal de produção. Schramm (2004) define o Projeto do Sistema de Produção na construção civil como o processo de analisar alternativas de organização do sistema de produção e escolher a alternativa mais coerente ao empreendimento.

Para um melhor desempenho do PSP, o mesmo deve ser realizado antes do início das atividades de produção (SCHRAMM et al, 2006). Conforme os autores, isso se dá pelo fato de que quanto maior a sobreposição temporal entre o projeto do produto e o projeto do sistema de produção, maiores são as oportunidades de reduzir atividades que não agregam valor ao sistema de produção. Schramm et. al., (2006) ainda definem que as antecipações das decisões relacionadas ao sistema de produção reduzem os níveis de incerteza e variabilidade e tem efeitos amplificados, dependendo das características do empreendimento, como por exemplo, velocidade e repetitividade.

3.2 MODELO PSP PROPOSTO POR SCHRAMM (2004)

O modelo de PSP, para empreendimentos Habitacionais de Interesse Social, proposto por Schramm (2004), é dividido em seis etapas distintas (Figura 2), de forma integrada. A modificação das decisões tomadas repercutirá em maior ou menor grau nas demais decisões, à montante ou à jusante. Dessa forma, conforme o mesmo autor, há um fluxo de decisão, caracterizado pela definição da etapa e um fluxo de revisão, pelo fato do processo de tomada de decisão ser interativo.

As seguintes etapas serão abordadas na sequência.

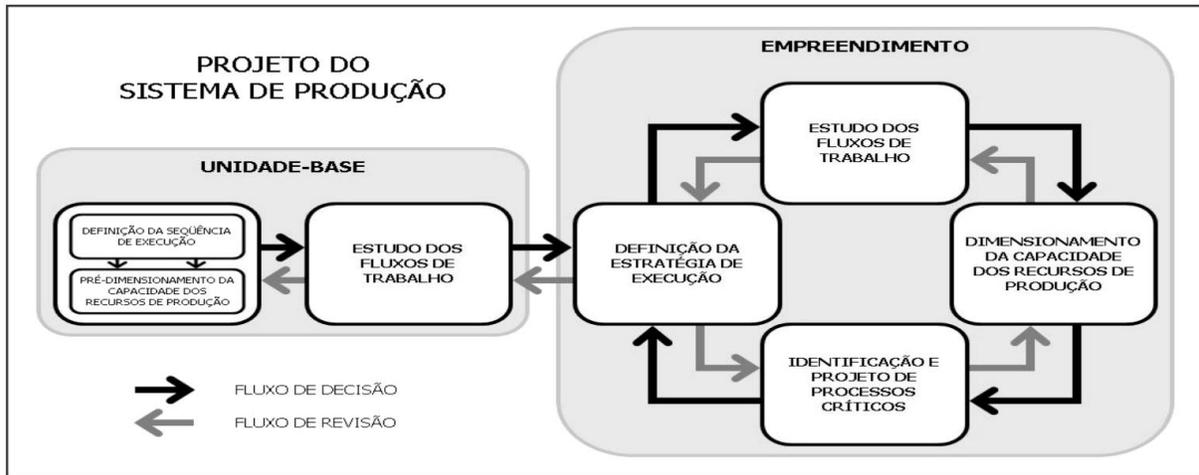


Figura 2: Etapas da elaboração do PSP (SCHRAMM, 2004)

3.2.1 ETAPA 1

Na Etapa 1 é feita a definição da sequência de execução e pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção (Figura 2). Para Rodrigues (2006) a definição da sequência de execução resume-se em buscar o sequenciamento de atividades mais adequado, que facilite a obtenção de um fluxo contínuo dos processos, reduzindo o retrabalho e auxiliando na identificação das interdependências entre os processos. A autora ainda prevê nessa fase a análise do tempo de ciclo do processo e seus respectivos ritmos, a fim de cumprir com o prazo da obra. A definição desse sequenciamento baseia-se na experiência da equipe de produção na execução de empreendimentos já executados (SCHRAMM, 2004). O autor ainda defende que durante essa etapa são abordadas questões como o nível de integração vertical: definir se materiais e processos serão comprados/executados in loco e são selecionadas tecnologias a serem implementadas na obra. Rodrigues (2006) complementa com a necessidade, nessa fase, de se identificar o tempo que um produto demora para chegar a obra, o prazo de contratação dos serviços a serem executados e que, dentro do possível, os fornecedores e empreiteiros participem dessa fase, a fim de encontrar as melhores soluções para o empreendimento.

Na sequência, o pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção consiste em identificar cada atividade, definir os recursos necessários em termos de mão de obra e equipamentos, estimar o tempo de conclusão de uma unidade repetitiva, o tamanho do lote

que será executado pela equipe em questão por vez, antes de mudar de lote e quais atividades são as precedentes da atividade analisada (SCHRAMM, 2006). O autor ainda complementa que como esse pré-dimensionamento é realizado em uma fase inicial da obra e de forma determinística, ou seja baseado em experiências do passado, geralmente são deixados buffers, que são acréscimos de tempo no período de uma atividade para lidar com as possíveis incertezas envolvidas no processo.

3.2.2 ETAPA 2

Na Etapa 2 são feitos estudos dos fluxos de trabalho na unidade-base (Figura 2). Para Schramm (2004) deve-se considerar o fluxo de trabalho das equipes de produção em relação às dimensões de espaço e tempo, a fim de identificar e prevenir possíveis interferências entre as equipes. Dessa forma, se faz necessária a conceituação das unidades base, ou seja, as zonas de trabalho e da técnica da Linha de Balanço, adotada para definir os fluxos de trabalho nessa etapa do PSP.

3.2.2.1 Definição das zonas de trabalho

Zonas de trabalho podem ser conceituadas como um volume delimitado e bem definido, resultado da quebra do projeto em áreas menores, a fim de facilitar o planejamento, análise e controle da produção no momento em que o trabalho flui por essas zonas (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010 *apud* VARGAS, 2018). Os mesmos autores ainda complementam que uma das maiores vantagens da divisão da obra em zonas de trabalho se dá pelo efeito aprendizagem, no qual a repetição de atividades pela equipe de produção favorece o aumento da experiência, da produtividade e uma maior facilidade em estimar-se os tempos de ciclo. Vargas (2018, p. 144) ainda sugere que: “uma zona de trabalho deve ser espacialmente bem definida, ser pequena o suficiente para remover os buffers implícitos, ser a mais genérica possível, de forma a atender às tarefas de uma mesma etapa da obra, e atender aos lotes de produção e transferência definidos”.

Vargas (2018) define as seguintes diretrizes para definição das zonas de trabalho:

- Tipologia e compartimentação do empreendimento: zonas divididas por pavimentos, limites de apartamentos e áreas comuns ou outros limites físicos de espaço impostos pela tipologia do empreendimento;

- Soluções construtivas adotadas no empreendimento: zonas divididas conforme execução de determinada tarefa;
- Grau de repetição do empreendimento: zonas divididas conforme unidades repetitivas ou conforme áreas que contém volumes de trabalho semelhantes;
- Tarefas em uma mesma zona de trabalho: zonas divididas de forma com que sejam válidas para diferentes atividades;
- Medições de empreiteiros e órgãos financiadores: zonas divididas conforme unidades de medição financeira;
- Controle da qualidade e controle da produção: zonas divididas conforme lotes válidos para inspeções e verificações da qualidade.

Conforme Vargas (2018), as zonas, também conhecidas como lotes, podem ser divididas em lotes de produção e lotes de transferência. Segundo o autor, os lotes de produção surgem a partir da vinculação entre uma tarefa e uma zona de trabalho, ou seja, é o tamanho do lote no qual a equipe irá executar uma atividade. Os lotes de transferência, por sua vez, são definidos a partir das predecessoras, de forma com que a equipe apenas avance a um novo lote de transferência no momento em que o anterior for finalizado. Para melhor compreensão se analisa um caso de revestimentos cerâmicos, no qual o lote de produção é um apartamento e o lote de transferência é um pavimento, e a edificação contém quatro apartamentos por andar. Nesse caso, a equipe trabalhará no primeiro, segundo terceiro e quarto apartamento (lotes de produção) na sequência que for adotada, mas apenas poderá trocar de pavimento (lote de transferência) quando os quatro apartamentos estiverem concluídos.

3.2.2.2 Linha de Balanço

Para Schramm (2004), a Linha de Balanço traz inúmeras vantagens ao processo de planejamento por ser uma ferramenta de fácil compreensão, que de forma gráfica, fornece trajetórias, ritmos de produção e informações de duração. O autor ainda afirma que ela

demonstra se haverá interferência entre equipes, permitindo que atividades sejam planejadas em paralelo e reduzindo o tempo de ciclo da unidade base. A Linha de Balanço junta informações do sequenciamento de execução do empreendimento, com o ritmo e o fluxo dos processos planejados a serem desenvolvidos, facilitando a visualização para os engenheiros, fornecedores, empreiteiros e cliente (RODRIGUES, 2006).

Schramm (2004) complementa que a partir da análise do fluxo de trabalho na unidade base pela Linha de Balanço é possível conhecer o tempo de ciclo na unidade base. O autor ainda define que partir dessa análise é possível remanejar, inicialmente, as informações desenvolvidas na etapa inicial do pré-dimensionamento da capacidade de recursos, a fim de encurtar o tempo de ciclo da unidade base e reduzir o prazo de finalização do empreendimento.

3.2.3 ETAPA 3

Na Etapa 3 é definida a estratégia de execução do empreendimento (Figura 2). Nessa fase do PSP são definidas as ligações de trajetória, que basicamente são os percursos das equipes de trabalho durante a execução das diferentes atividades, envolvidas na construção do empreendimento (SCHRAMM, 2004). Para obter-se o sucesso do desenvolvimento desses percursos é fundamental que as equipes de produção sigam um fluxo contínuo de trabalho pelas zonas de trabalho anteriormente definidas, com o ritmo estabelecido pela engenharia (SCHRAMM, 2004).

Schramm (2004) também destaca a importância de se fazerem simulações e análises com diferentes possibilidades de percursos a serem executados, até se encontrar a que melhor atenda as particularidades do empreendimento. O autor ainda destaca os seguintes requisitos para guiar a escolha do percurso:

- Prazo de execução do empreendimento: optar pelos percursos nos quais se tenham os melhores tempos de ciclo entre as zonas de trabalho;
- Compatibilização entre entrega de suprimentos e produção: desenvolver o percurso de forma que, os fornecedores consigam entregar os materiais, juntamente ao avanço da produção;

- Capacidade de produção dos processos críticos: o percurso deve seguir o ritmo estipulado pelos processos que possuem mais atividades subsequentes;
- Viabilidade financeira das atividades: o percurso deve atender a um fluxo financeiro em função dos insumos e mão de obra para execução da tarefa.

Por fim Schramm (2004) destaca que em alguns casos diferentes trajetórias de equipes de produção seguem o ritmo e o percurso da trajetória de atividades críticas. Como exemplo, o autor destaca a formulação de um percurso para a equipe de alvenaria, por ser um processo crítico, com diversas atividades sucessoras, como chapisco e reboco, que seguem as premissas definidas para a alvenaria.

3.2.4 ETAPA 4

Na Etapa 4 faz-se o estudo de fluxos de trabalho do empreendimento (Figura 2). A partir da estratégia de execução definida, a subdivisão do empreendimento e o estudo dos fluxos na unidade base, o estudo dos fluxos no empreendimento tem como objetivo determinar quantas frentes de trabalho serão abertas, e o ritmo de execução de vários processos (SCHRAMM, 2004). O autor ainda complementa que nessa etapa se analisam a sincronização dos fluxos de trabalho dos diversos processos, a fim de possibilitar a execução em paralelo de atividades e organizar os recursos de produção que são compartilhados por diferentes tarefas, como por exemplo, guindastes.

Rodrigues (2006) prevê a necessidade do envolvimento, nessa etapa do processo, da engenharia, da gestão da construtora, dos fornecedores e dos encarregados pela produção, para que seja mais fácil identificar interferências entre as equipes de produção. A autora ainda complementa que devido à complexidade de alguns ambientes, as decisões não devem ser excessivamente detalhadas e que a Linha de Balanço, ferramenta utilizada nesse processo, deve ser revisada na passagem de cada uma das fases do empreendimento, sendo adicionadas mais informações ao processo conforme o estado da obra.

3.2.5 ETAPA 5

Na etapa 5 serão feitos estudos sobre dimensionamento e capacidade dos recursos de produção. O pré-dimensionamento de recursos, anteriormente desenvolvido, é refinado com a adição das informações obtidas no estudo dos fluxos de trabalho (SCHRAMM, 2004). Além disso, o autor complementa que, nessa fase, se analisa a necessidade de alocar mais de uma equipe de produção para uma determinada atividade, no caso de ocorrência de execução de uma mesma atividade, no mesmo momento, em mais de uma locação.

Schramm et. al., (2006) definem que, com o número de equipes e com o fluxo de trabalho é possível gerar planilhas e histogramas de mão de obra e recursos e que, a partir dessas informações geradas, é possível analisar e reprogramar atividades em função de uma disponibilidade limitada. Para Rodrigues (2006) as informações obtidas nessa etapa também auxiliam no dimensionamento das instalações provisórias e no layout do canteiro de obras, que serão dimensionados para atender o efetivo dimensionado no pico da obra. Outro benefício destacado pela autora nesse processo é o de controle da produção, no qual é possível, em períodos de maior incidência de trabalhadores, identificar se as metas definidas com o empreiteiro estão ou não sendo cumpridas.

Para o dimensionamento das instalações provisórias, abordaram-se as premissas da NR-18 (1978) que definem normas para condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção civil. A partir dessas abordagens da norma é possível dimensionar os espaços para vestiários, refeitórios, instalações sanitárias, lavanderia, alojamento, cozinha, ambulatório e áreas de lazer, quando necessários nos canteiros de obra.

3.2.6 ETAPA 6

Finalmente, na Etapa 6 faz-se a identificação e o projeto de processos críticos (Figura 2). Cox e Spencer (1998) *apud* Schramm (2004) definem processos críticos como as atividades cuja capacidade individual limitam a capacidade de produção do sistema como um todo. Schramm (2004) ainda destaca a importância que deve ser dada a esses processos, visto que seus efeitos negativos, como por exemplo, atrasar um processo crítico, acarreta em um atraso

generalizado no prazo do empreendimento por impedir a execução de diversas tarefas sucessoras.

Os ritmos de produção dos processos críticos devem ser dimensionados com folga de capacidade, pois a partir deles, os ritmos das atividades subsequentes serão definidos (SCHRAMM, 2004). A análise desses processos tem como objetivo identificar possíveis problemas e restrições no processo de produção considerado como crítico, a fim de evitar sua interrupção e garantir a ocorrência dos processos que vem na sequência (RODRIGUES, 2006).

Schramm et. al. (2006) ainda definem a utilização de três ferramentas para a análise dos processos críticos:

- Estudo de layout de canteiro e capacidade do processo produtivo;
- Planilha de definição da sequência de execução do processo;
- Planilha comparativa entre a capacidade acumulada de produção do processo com a demanda acumulada do empreendimento.

3.3 MODELO DO PSP PROPOSTO POR RODRIGUES (2006)

Rodrigues (2006) propõe um modelo de PSP, que diverge em algumas questões do modelo proposto por Schramm (2004), para ser aplicado em empreendimentos complexos, nos quais se deve levar em consideração a captação das necessidades dos clientes, como uma importante etapa de elaboração do PSP. Conforme a autora os requisitos dos clientes quanto a qualidade, prazo de entrega, tecnologias, custo e flexibilidade são informações a serem coletadas no início do processo de PSP que auxiliam o desenvolvimento do processo. Além disso, devido ao grau de incerteza ser maior em empreendimentos complexos, em comparação com os de habitação de interesse social, abordados no modelo de Schramm (2004), Rodrigues (2006) destaca a importância da reavaliação do processo de PSP ao longo da execução da obra.

3.3.1 CAPTAÇÃO DAS NECESSIDADES DOS CLIENTES

Para Rodrigues (2006) é importante manter o contato com o cliente e captar suas necessidades, nos processos iniciais do PSP. A autora salienta que esse contato inicial diminui as incidências de modificações tardias em projeto e auxilia a construtora a atender requisitos de prazo e qualidade. Além disso, o envolvimento do cliente nas decisões do PSP e consultar sua satisfação quanto ao que está sendo planejado traz uma melhora a imagem da construtora, auxilia a tomada de decisões, minimiza as incertezas de projeto e traz mais confiabilidade ao cliente (RODRIGUES, 2006).

Rodrigues (2006) aponta alguns dos requisitos a serem debatidos com o cliente nas fases iniciais do PSP, a fim de facilitar a sua elaboração:

- Prazos finais e parciais da entrega do empreendimento: definir datas para as entregas da obra;
- Qualidade: definir quais requisitos de qualidade o cliente exige e garantir a sua inspeção;
- Segurança: cumprir com os requisitos de segurança solicitados pelo cliente no canteiro de obras;
- Espaços físicos: cumprir com possíveis limitações ou restrições do cliente aos espaços físicos disponíveis para trabalho ou estoque de materiais.

3.4 UTILIZAÇÃO DE BIM NO PSP

Uma inovação que auxilia a formulação do PSP é o uso da modelagem de informação da construção (BIM). Para a conceituação de tal método analisou-se o trabalho de Durante (2016) que analisa as diretrizes para o desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção apoiado pelos processos BIM.

Para Durante (2016), o BIM pode ser definido como uma tecnologia de modelagem de projetos e processos associados que visam a produção, comunicação e análise de modelos de construção. O autor ainda complementa que a tecnologia armazena componentes ou objetos de informação inseridos como informações úteis ao ciclo de vida da edificação.

Segundo Gomes et al. (2020), quando as incompatibilidades entre projetos são encontradas em campo durante a execução, obstáculos como atrasos no planejamento, desperdícios de materiais por retrabalho e necessidade de revisões de projetos impactam diretamente no cronograma da obra. Dessa forma, conforme os mesmos autores, se fazem necessários os usos de softwares automatizados em modelagem tridimensional para detecção das incompatibilidades.

Brito e Ferreira (2015, p. 10) destacam as seguintes potencialidades do desenvolvimento de modelos BIM quando aplicados ao planejamento e controle da obra:

- (a) redução do esforço na visualização e interpretação mental do planejamento;
- (b) identificação de possíveis conflitos e interferências de espaço e tempo durante a construção;
- (c) inserção de equipamentos, elementos de canteiro e recursos para análises do planejamento;
- (d) apoio no sequenciamento e na conformação ideal do ritmo de trabalho do cronograma;
- (e) transmissão de possíveis impactos causados por mudanças no planejamento; e
- (f) integração e comunicação entre todos os envolvidos no projeto.

Durante (2016) destaca as seguintes vantagens do uso de BIM para o desenvolvimento de PSP:

- Minimização e gerenciamento da variabilidade: BIM auxilia na identificação de situações que gerem variabilidade durante a execução, permite simulações para gerenciar essas variabilidades e auxilia a gestão da comunicação em tempo real;
- Integração dos projetos de produto e processo: a partir de simulações é possível verificar tal integração, juntamente com o envolvimento dos responsáveis pela execução do empreendimento e os fornecedores;
- Estruturação do fluxo de trabalho entre as equipes: simulações 4D (cronograma integrado ao modelo de construção virtual da edificação) facilitam a identificação de interferências entre fluxos e possibilita visualizar diferentes cenários;

- Determinação da capacidade efetiva de produção: com a inserção de dados reais de canteiro de obras passadas no modelo BIM e com simulações, é possível estimar com maior precisão a capacidade efetiva de produção;
- Determinação do layout de canteiro: a visualização da forma permite a avaliação estética e funcional do canteiro e, pela velocidade de se gerarem diferentes alternativas, é possível encontrar a melhor solução em termos de construção, interferências e avanço da obra ao longo do tempo;
- Determinação de tecnologias e processos integrados: a simulação de tecnologias e processos em termos de construção, custos, escopo da obra e integração com fornecedores, suprindo-os de informações necessárias, tem grande importância na tomada de decisão desse processo;
- *First Run Study*: prototipagem física realizada antes do início da execução do empreendimento que serve de modelo virtual para visualização (HOWELL E BALLARD, 1999, apud. DURANTE, 2016).

Por fim, Durante (2016) analisou como a aplicação de BIM poderia auxiliar no desenvolvimento dos modelos de PSP propostos por Schramm (2004) e por Rodrigues (2006), validando o uso de BIM em cada uma das etapas propostas pelos autores.

- Captação das necessidades dos clientes: desenvolvimento de formulários padronizados que relacionem as necessidades de cada cliente e conversão dos mesmos em parâmetros para que softwares de análise e verificação do modelo BIM possam os acessar para verificar o atendimento das necessidades dos clientes;
- Definição da sequência de execução do empreendimento: com o uso de BIM 4D é possível avaliar diferentes estratégias para a sequência de execução do empreendimento, abordando as necessidades do cliente em relação ao espaço físico disponível;
- Definição da unidade base: análise do modelo e definição da unidade base conforme volumes de trabalhos inseridos no modelo BIM;
- Dimensionamento da capacidade de recursos: com o armazenamento de informações de capacidade de produção por unidade padrão (homem/hora por exemplo) de obras

do passado, é possível inserir esses dados no modelo BIM do PSP em desenvolvimento facilitando o dimensionamento da capacidade de recursos;

- Estudo dos fluxos de trabalho: o modelo BIM auxilia a visualização das atividades que ocorrem no fluxo e sua devida sincronia, além de servir de repositório de dados para projetos futuros;
- Estudo dos processos críticos: a partir de análises dentro do modelo é possível criar critérios que analisem as atividades críticas e poder identificar visualmente possíveis problemas nelas.

4 MÉTODO DE PESQUISA

A metodologia de pesquisa adotada para a formulação do presente trabalho foi de estudo de caso. Segundo Yin (2001), o estudo de caso pode ser conceituado com uma estratégia de pesquisa que compreende um método, incluindo abordagens específicas de coletas e análise de dados. Nesse caso, serão abordados os dados coletados e utilizados na execução da obra X, que está sendo executada no presente momento.

Nesse capítulo será descrito o desenvolvimento do processo de pesquisa. Primeiramente, será explicado o delineamento da pesquisa, resumindo cada uma das etapas. Na sequência será contextualizado o cenário da obra analisada com informações que foram pertinentes à pesquisa. Por fim, será apresentado a forma de coleta dos dados e o nível de integração com a obra.

4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa foi dividida em quatro etapas complementares, conforme apresentado na Figura 3. O processo foi interativo e dessa forma diversas vezes retrocedeu-se a uma etapa anterior para revisão. As três etapas foram: revisão bibliográfica, coleta de dados e desenvolvimento do PSP e PCP. Cada uma das etapas será descrita na sequência.

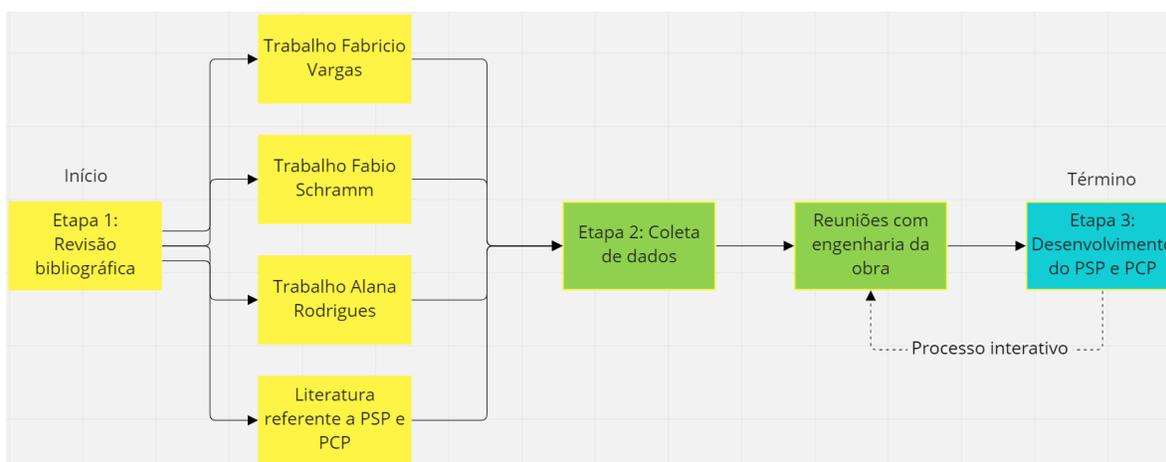


Figura 3: Delineamento da pesquisa

4.1.1 ETAPA 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica do presente trabalho iniciou-se com a leitura da dissertação de mestrado dos engenheiros Fabio Schramm, Alana Rodrigues e Fabricio Vargas. Assim, iniciaram-se os estudos na área de planejamento para melhor fundamentação do trabalho. O primeiro tema a ser estudado foi o de Planejamento e Controle da Produção. Com o auxílio de literaturas e conteúdos aprendidos na disciplina de Gerenciamento da Construção II foi possível aprender sobre a área de Planejamento e Controle da Produção, em especial, aplicada em obras de construção civil.

Na sequência, dedicou-se aos estudos sobre o Projeto do Sistema de Produção. No início do desenvolvimento do trabalho a obra escolhida ainda não havia sido iniciada. Dessa maneira, o PSP tornou-se um método de planejamento viável a ser executado para a obra, devido ao fato de ele ser elaborado antes do início da obra. Assim o autor do trabalho dedicou-se a estudar a literatura de métodos aplicados à construção civil. Por fim, analisou-se referências bibliográficas sobre zoneamento em lotes de produção. Esta, por sua vez, foi embasada em artigos e na dissertação de Vargas (2018).

4.1.2 ETAPA 2: COLETA DE DADOS

A coleta de dados ocorreu desde os estudos iniciais da execução da obra até o final do presente trabalho de forma interativa. Como estagiário da empresa na qual a obra está sendo executada, o autor do presente trabalho teve a oportunidade de participar de reuniões com o cliente, com a engenharia, com o setor de planejamento, com o engenheiro de segurança e com os empreiteiros. Além disso foi possível acompanhar o andamento das atividades em campo, de forma que fosse possível visualizar o avanço da obra. Em resumo, foi possível ter amplo acesso às informações necessárias ao desenvolvimento do PSP e do PCP.

4.1.3 ETAPA 4: DESENVOLVIMENTO DE PSP E PCP

Baseando-se no referencial bibliográfico estudado, no método de aplicação de PSP conforme capacitação realizada pelo Fabrício Vargas e utilizando-se das informações coletadas na obra,

foi possível desenvolver o PSP e implementar o PCP. O processo iniciou-se com a elaboração do PSP que foi dividida nas seguintes etapas:

- Captação das necessidades dos clientes;
- Desenvolvimento da sequência de execução;
- Dimensionamento da capacidade de produção e recursos;
- Definição do diagrama de sequência;
- Zoneamento da obra;
- Definição da estratégia de execução do empreendimento;
- Estudo dos fluxos de trabalho;
- Simulação do cronograma da obra;
- Dimensionamento de instalações provisórias;
- Identificação e projeto dos processos críticos.

No decorrer do trabalho cada uma das etapas será abordada, sendo analisados o desenvolvimento e os resultados da mesma. Para o PCP foram implementados os seguintes níveis de Planejamento:

- Planejamento de médio prazo
- Planejamento de curto prazo

Assim como no PSP as etapas do PCP serão analisadas posteriormente.

4.2 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DA OBRA

Para o desenvolvimento do trabalho, foram coletados dados na obra X, que está sendo executada pela empresa Y. A incorporação da obra foi realizada pela incorporadora Z e a construção da mesma pela empresa Y, a qual o autor do trabalho está trabalhando.

A empresa Y atua a mais de 10 anos no mercado de construção civil e é especializada em obras de valor arquitetônico, na qual o maior objetivo a ser alcançado é a arquitetura de qualidade. No momento a empresa conta com 5 obras em andamento e uma equipe composta

por engenharia de obras, suprimentos, financeiro, qualidade e segurança do trabalho. A mão de obra para a construção é terceirizada, sendo que os únicos funcionários da empresa são a equipe técnica.

O empreendimento X é uma obra comercial, especializada em artigos de cuidado para animais de estimação e produtos para casa e jardim. A obra tem uma área total de 1724,24 m² sendo 652,63 m² de estacionamento térreo e 1071,61 m² de lojas no 2º pavimento.

O terreno destinado a execução da obra tem área total de 1169,64 m² e tem acesso por duas ruas. A primeira delas a sudeste, com frente de 23,78 m, denominada de Rua A é uma avenida asfaltada de duas mãos separada por canteiro com elevado fluxo de veículos. A segunda, localizada a nordeste, com frente de 5,11 m denominada Rua B, é de pedras irregulares, mão simples e com baixo fluxo de veículos (Figura 4). Essas informações serão pertinentes dentro do estudo do canteiro de obras e logística de acesso, que serão abordadas no trabalho.

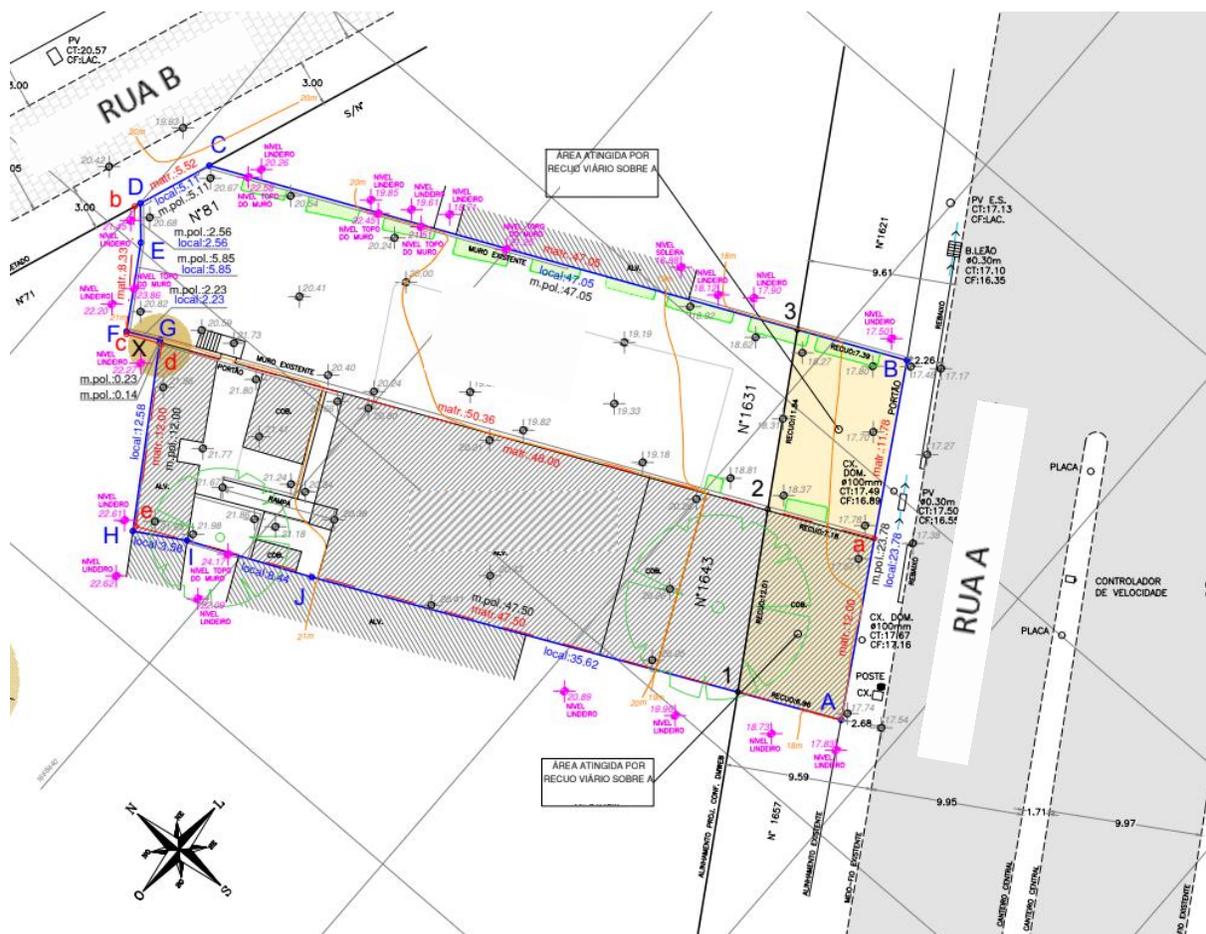


Figura 4: Planta de localização da obra

O terreno possuía edificações existentes que foram demolidas no início da obra. A área total de demolição foi de 451,23 m². Além da demolição foi necessário remover árvores e vegetações existentes, escavar a obra em algumas áreas e aterrar em outras, até atingir a cota de projeto. O sistema construtivo será composto por:

- Infraestrutura: contenções de solo com cortinas de concreto armado e estacas de contenção, fundações profundas tipo estacas escavadas, blocos de fundações e vigas baldrame em concreto armado usinado e moldado in loco.
- Superestrutura: contrapiso armado do térreo em concreto aparente, pilares vigas e lajes de concreto armado usinado e moldado in loco.
- Cobertura: estrutura metálica para sustentação de telhas metálicas.
- Alvenarias: alvenarias de vedação com blocos de concreto.
- Instalações: instalações elétricas, hidráulicas e de PPCI.
- Serviços finais: pinturas, pavimentações, impermeabilizações, serralheria, entre outros.

Vale ressaltar que os itens acima descritos serão analisados e descritos de forma mais detalhada no decorrer do trabalho, devido à importância que os mesmos possuem para o planejamento da obra. Além disso, o escopo contratado não prevê a entrega da obra completa para início das atividades comerciais. Itens como mobiliários, acabamentos, revestimentos cerâmicos, louças e metais, entre outros, não estão contemplados no escopo da empresa Y até o presente momento. Esses itens farão parte da segunda etapa da obra, a qual ainda não foi contratada. O presente trabalho não irá abordar essa segunda etapa, visto que não há prazos, orçamento e nem previsão de execução da mesma.

Conforme já mencionado acima, a mão de obra de produção para execução da obra será terceirizada. Os únicos funcionários da empresa serão a equipe técnica de engenharia e dois serventes para limpeza da obra, controle de almoxarifado, controle de acesso de funcionários, recebimento de materiais e ajustes para segurança do trabalho no canteiro. O engenheiro de segurança do trabalho também foi terceirizado, participando da regularização de documentação dos funcionários da obra, das medidas de segurança e de diálogos semanais

sobre a segurança no canteiro. A engenharia da obra é composta por uma engenheira residente e um estagiário. Há também um engenheiro coordenador de obras que faz visitas semanais à obra. As questões de dimensionamento de equipe de produção são fundamentais para o planejamento do canteiro, que faz parte de uma etapa do PSP. A obra iniciou no dia 20/06/2022 e tem o final previsto para 20/01/2023, com prazo para entrega da obra de 7 meses, a contar da data de início.

Os projetos arquitetônicos, estruturais e de instalações elétricas, hidráulicas e PPCI foram modelados com o uso de softwares automatizados em modelagem tridimensional. Dessa forma, a partir da modelagem e de simulações com o cronograma da obra foi possível prever incompatibilidades entre os projetos e ter uma melhor gestão visual do avanço físico do empreendimento. Para esse processo foram utilizados dois diferentes softwares. O primeiro deles foi o Revit da Autodesk, utilizado para a modelagem em BIM da obra. Com os projetos de diferentes disciplinas fez-se a modelagem da obra e das instalações provisórias de canteiro. Após esse processo, inseriu-se o modelo BIM em outro software utilizado, o Navisworks da Autodesk. Esse software além de ter como função o gerenciamento e coordenação de projetos em BIM, serve para gerar Simulações 4D da obra.

4.3 COLETA DE DADOS

A coleta de dados para a formulação do trabalho foi dividida em diversas etapas, as quais serão analisadas a seguir. Vale complementar que as etapas de coleta de dados não seguem a mesma divisão do PSP mas que as informações coletadas serviram como base para o desenvolvimento do PSP e PCP.

4.3.1 CONTATO INICIAL COM O CLIENTE

O primeiro contato da incorporadora Z com a construtora Y foi realizado em uma reunião com participação da gerência da construtora Y. Nesta reunião foram tratadas de questões técnicas, que envolveu projetos, orçamentos, contratos, etc. Além disso, nessa reunião se definiu as datas de início e término da obra, bem como o prazo de 7 meses para entrega do empreendimento.

4.3.2 REUNIÕES DA ENGENHARIA

Com o contrato da obra fechado entre as duas partes deu-se início as reuniões da engenharia para o desenvolvimento do PSP da obra. As reuniões ocorriam em períodos de tempo espaçados e eram marcadas pela gerência da empresa, conforme as pendências repassadas ao responsáveis eram resolvidas.

Ao término de cada reunião era formulada uma ata de reunião com os itens debatidos descritos, o prazo estipulado para resolução da pendência e o responsável pela mesma. As atas eram enviadas a todos os participantes para serem assinadas e assim se formalizava o o comprometimento com a resolução dos itens discutidos. As informações abaixo foram retiradas das atas de reunião que foram realizadas durante os meses de maio, junho e julho de 2022.

- **Reunião dia 06/05/2022 – 1ª reunião**

Sabendo que a obra apenas iniciaria no dia 20/06/2022 a engenharia tinha um intervalo de 45 dias para planejar o início das atividades da obra. Essa reunião foi o primeiro contato do autor do trabalho. Nessa primeira reunião interna participaram o engenheiro coordenador de obras, a engenheira residente da obra, o estagiário da obra, um engenheiro responsável pelo setor de orçamento e planejamento e a gerência da empresa. Basicamente nessa reunião foi apresentado a equipe de engenharia os projetos, o orçamento, as peculiaridades da obra, as datas macro e definidas algumas pendências a serem resolvidas até o início da obra. A seguir estão citadas algumas pendências, relacionadas com o trabalho.

- Compatibilização de projetos
- Modelagem dos projetos em BIM
- Definição de equipe para a obra
- Definições iniciais do PSP
- Layout do canteiro de obra
- Cronograma e orçamento

As pendências foram divididas entre as equipes de engenharia, suprimentos, planejamento e segurança do trabalho da empresa, de forma que se atribuissem um responsável para cada item, com prazos de entrega estipulados pela gerência.

- **Reunião dia 10/05/2022 – 2ª reunião**

A segunda reunião envolveu o cliente e a direção da construtora. Os itens abordados na reunião foram referente à questão de subcontratações, contratos, pagamentos, compra de insumos e orçamentos. Nessa reunião algumas necessidades e exigências do cliente foram captadas de forma a guiar o processo de PSP. Além disso foram analisadas questões quanto às licenças e início dos serviços de demolição, escavação, retirada de vegetação, montagem de tapumes e segurança. Por fim, foram citadas questões pertinentes aos projetos ainda não aprovados e revisões necessárias nos projetos.

- **Reunião dia 30/05/2022 – 3ª reunião**

A terceira reunião teve como foco o pré-dimensionamento das instalações provisórias do canteiro de obras. Nessa reunião fizeram parte a equipe de engenharia da construtora e o engenheiro de segurança do trabalho. Primeiramente foi feito um pré-dimensionamento de equipe, baseado na área da obra e com estimativas quantitativas utilizadas em outras obras da empresa. Além disso questões como acessos de pessoas e materiais, logística de recebimento e equipamentos de transporte de material no canteiro foram levantadas. Por fim entrou-se no tópico de segurança do trabalho onde debateu-se sobre proteção coletiva e individual, proteção às fachadas vizinhas, andaimes fachadeiros, reuniões semanais de segurança na obra, documentação de funcionários, controle de acesso dos trabalhadores, entre outros itens. Vale ressaltar que as escolhas tomadas serão apresentadas na sequência, dentro dos resultados do PSP.

- **Reunião dia 10/06/2022 – 4ª reunião**

Na quarta reunião foi apresentado ao cliente o pré-dimensionamento das instalações provisórias que havia sido definido na terceira reunião. A definição inicial era de que os containers para engenharia ficariam na parte dos fundos da obra e a parte da frente ficasse destinada ao recebimento de material e acesso de caminhões dentro do canteiro. Entretanto,

devido à dificuldades de aprovação da EPTC de paralisar a Rua A para acesso pela frente da obra o cliente solicitou que as instalações fossem invertidas. Assim, as provisórias ficariam instaladas na frente da obra e o acesso de materiais pela parte dos fundos. Esses itens serão melhor apresentados dentro dos resultados do PSP, no dimensionamento de instalações provisórias.

Por fim, na mesma reunião foi apresentado o modelo BIM 3D desenvolvido pela engenharia. Diferentes disciplinas de projetos foram modeladas e foi feita a compatibilidade entre os projetos, detectando algumas interferências. Essas incompatibilidades foram mostradas ao cliente sendo que algumas delas foram resolvidas durante a reunião e outras foram passadas aos projetistas responsáveis para tomar-se uma decisão.

- **Reunião dia 20/06/2022 - 5ª reunião**

A quinta reunião foi realizada entre a equipe de engenharia e planejamento da construtora. Nesse dia também iniciaram-se os serviços de demolição das edificações existentes, retirada de vegetação existente e escavação da obra.

Dando seguimento ao processo de PSP definiu-se o sequenciamento de atividades. O processo foi feito de forma interativa com o uso de blocos de notas adesivos (post-it) em um quadro branco. Dessa forma, os engenheiros, estagiários e assistentes do setor de planejamento podiam contribuir simultaneamente com o ordenamento das atividades a serem executadas na obra. O sequenciamento de atividades será demonstrado na seção de resultados.

- **Reunião dia 20/07/2022 – 6ª reunião**

O intervalo entre a quinta e a sexta reunião foi de 1 mês, período que o autor do trabalho dedicou-se ao desenvolvimento do PSP. Dessa reunião participaram apenas a equipe de engenharia para a revisão do PSP que foi formulado. Primeiramente foram explicados os passos tomados para a formulação do PSP e o motivo das escolhas tomadas. O processo foi interativo, no qual em cada fase do PSP abordada a equipe de engenharia fazia correções, revisando durações das atividades, predecessoras e a logística de execução. Ao final da reunião percebeu-se que não era viável dividir a obra em 4 zonas por pavimento, como havia

sido optado inicialmente. Dessa forma, optou-se por dividir o pavimento ao meio de forma com que fosse melhor de controlar e planejar os serviços. Por fim, fez-se necessário uma revisão de alguns itens do PSP alterando o zoneamento adotado para a obra. Esse novo PSP será revisado novamente nas futuras reuniões.

- **Reunião dia 05/08/2022 – 7ª reunião**

A sétima reunião foi realizada entre a equipe de engenharia e o engenheiro de segurança do trabalho para definição definitiva das instalações provisórias. Nesse momento na obra estavam sendo finalizadas as escavações e demolições e em 10 dias iniciariam-se a montagem das provisórias.

Nesse momento era necessário definir a localização das instalações provisórias de forma definitiva e qual a área necessária para comportar o efetivo da obra. Como mencionado anteriormente, na quarta reunião o cliente solicitou uma alteração no posicionamento das instalações provisórias. Dessa forma, as instalações de vestiários, sanitários, refeitório e engenharia ficariam localizadas na parte frontal da obra, na Rua A, bem como por onde seria o acesso de funcionários na obra. Assim, os telheiros para montagem de formas e aço e os estoques até a concretagem da primeira laje serão na parte de trás da obra, na Rua B.

Como no PSP havia sido dimensionado o histograma de mão de obra seria possível saber com mais precisão qual seria o efetivo no pico da obra. A partir desse número de trabalhadores e seguindo as instrumentações da NR 18 foi possível dimensionar as instalações provisórias. As áreas adotadas e as recomendações da norma seguidas serão apresentadas na sequência, nos resultados. Após a reunião foram alugados os containers e comprados materiais para montagem de telheiros.

Por fim definiu-se o sistema de proteção às fachadas periféricas e o sistema de andaimes fachadeiros que seriam utilizados na obra. A partir dessa reunião foi dado o início ao processo de orçamentação e reuniões com empresas para locação de andaimes fachadeiros.

- **Reunião dia 12/08/2022 – 8ª reunião**

Na oitava reunião o foco foi revisar o PSP da obra conforme havia sido apontado na sexta reunião. Nela participaram apenas a equipe de engenharia. A principal mudança que foi

realizada foi a alteração da divisão das zonas de trabalho da obra. Inicialmente a ideia prevista havia sido de dividir o pavimento em 4 zonas de trabalho de mesma área. Entretanto, essa divisão não apresentou ser viável pela dificuldade de definir o término de uma zona e início de outra e por não ser viável para planejar as atividades da equipe de produção. Dessa forma, ao fim da sexta reunião sugeriu-se dividir a obra em duas zonas de áreas iguais e assim foi reformulado o PSP.

Além disso, agora nem todas as atividades da obra teriam como lote de produção e transferência essas duas zonas por pavimento. Algumas atividades seguiriam a zona como o pavimento inteiro, outras como a zona dentro do pavimento e outras como a área da frente e fundos da obra. Assim, nessa nona reunião esses itens foram apresentados à engenharia que aprovou o novo PSP que serviria de base para a formulação do planejamento de médio prazo e curto prazo para as próximas semanas, onde novas atividades iniciariam.

4.3.3 REUNIÃO DO PLANEJAMENTO MENSAL

A partir dessa reunião o tema abordado foi o PCP. Nela, fizeram-se presentes a equipe de engenharia para alinhamento do planejamento de médio prazo desenvolvido. O modelo foi desenvolvendo planejando-se as próximas 6 semanas da obra, do dia 22/08/2022 ao dia 30/09/2022.

Basicamente, as atividades planejadas no PSP foram detalhadas considerando um horizonte de planejamento de 6 semanas. O ciclo de controle adotado era de 1 mês. Dessa forma, uma vez por mês, na primeira semana do mês, era debatido o planejamento mensal considerando as próximas 6 semanas a partir da data da reunião. Além disso, foram avaliadas restrições diferentes que poderiam impedir o avanço de determinada atividade e quais os planos de ação para remover tal restrição. Nessa reunião eram analisadas quantas restrições do último ciclo de planejamento haviam sido removidas e qual o IRR alcançado. Os resultados desse planejamento serão melhor explorados na sequência.

Por meio de um processo interativo a equipe de engenharia foi analisando item a item, revisando as datas de início e término da atividade, as durações, as restrições e os planos para resolução das restrições com um responsável pela resolução.

4.3.4 REUNIÕES DO PLANEJAMENTO SEMANAL

As reuniões semanais para o planejamento de curto prazo ocorriam todas as sextas-feiras. Dessa reunião obrigatoriamente fazem parte a equipe de engenharia e pelo menos um responsável por cada equipe da obra. Essa reunião se inicia com o planejamento semanal da semana que está sendo finalizada.

Primeiramente são analisadas as atividades que foram previstas para serem executadas por cada equipe. Em caso de conclusão da atividade atribui-se um percentual de 100% executada no percentual de pacotes concluído para o devido pacote de trabalho. Caso a atividade não tenha sido finalizada, atribui-se o percentual que a mesma foi executada e qual a causa/observação de o porque a mesma não foi concluída. Essas informações contribuem para alimentar um banco de dados que prevê quais as principais causas da interrupção de uma determinada atividade. Com acesso a esses dados é possível diminuir o percentual de atividades não concluídas. Nesse momento abre-se também o debate quanto à qualidade do serviço executado. Baseados nas fichas de verificação de serviços, esse é o momento na qual a equipe de engenharia poderá fazer relatos e solicitar correções em serviços em andamento ou já executados. Questões como segurança do canteiro também são abordadas nessa etapa.

Na sequência, são apresentados aos responsáveis quais as atividades previstas para a próxima semana. Cada equipe tem as atividades revisadas e os responsáveis dão uma perspectiva se é possível ou não concluir a tarefa dentro do prazo estipulado. Nesse momento podem haver correções nas atividades planejadas, caso se identifique que há uma restrição do canteiro, que há uma predecessora não concluída ou que há uma superestimação de produtividade da equipe. Também são abordadas questões referente aos insumos necessários às atividades que ocorrerão, máquinas e equipamentos, dúvidas de projeto e questões de segurança para realização da atividade.

Por fim, as reuniões são finalizadas com o aceite dos responsáveis das equipes se comprometendo em executar as tarefas planejadas a próxima semana. Caso for alterado algum pacote de trabalho ou for definida alguma questão, essas mudanças entram na ata de reunião e no planejamento semanal que são enviados a todos os participantes e coletadas suas respectivas assinaturas. Na sequência analisaremos os planejamentos semanais realizados na obra.

5 RESULTADOS

Serão analisados, a partir desse momento, os resultados oriundos da aplicação dos métodos de Schramm (2004), Rodrigues (2006) e Vargas (2018) na obra X. A aplicação do método de PSP e PCP seguiu as premissas desenvolvidas pelos três autores anteriormente citados e teve apoio da equipe de engenharia da construtora Y, na qual as etapas do trabalho eram constantemente revisadas e alteradas, a fim de se obter resultados coerentes com o planejamento da obra X.

5.1 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA OBRA X

O Projeto do Sistema de Produção foi iniciado antes do começo das atividades no canteiro. O processo de desenvolvimento do PSP iniciou-se na semana do dia 20/06/2022 e foi finalizado na semana do dia 15/08/2022, totalizando-se cerca de 53 dias de processo. Entretanto, no período entre 06/05/2022 e 20/06/2022 já estavam sendo feitas reuniões internas da engenharia com o cliente para a coleta e debate de informações que seriam fundamentais ao desenvolvimento do PSP.

5.1.1 ETAPA 1: CAPTAÇÃO DAS NECESSIDADES DO CLIENTE

Conforme mencionado anteriormente, a primeira reunião com o cliente foi no dia 10/05/2022. O primeiro item a ser debatido foi quanto aos prazos de obra. Foi definido que a obra iniciaria no dia 20/06/2022 e deveria ser entregue obrigatoriamente no dia 20/01/2022. Pela forma como o cliente se impôs em relação ao cumprimento dessa data, o processo de planejamento deveria conter datas reais de execução e um sequenciamento adequado para que a entrega fosse realizada no prazo.

Na sequência, o cliente abordou questões referentes à segurança do trabalho. Foi exigido que todas as instalações provisórias fossem dimensionadas segundo as normas de segurança do trabalho vigentes e que atendessem o efetivo máximo previsto. Essa decisão impactou no dimensionamento do canteiro de obras, que foi uma parte fundamental dos estudos do PSP. O cliente também ressaltou a importância do controle de acesso de funcionários, documentações necessárias e do uso de equipamentos de proteção individuais e coletivos.

Além disso foi ressaltada a importância de se proteger as fachadas vizinhas. Devido ao mínimo recuo lateral com edificações vizinhas, foi destacado a importância da montagem de um sistema de proteção tanto para a obra, quanto para as fachadas vizinhas e, dessa forma, foi escolhido a adoção de andaimes fachadeiros.

Outro item abordado foi referente ao acesso da obra. Conforme mencionado anteriormente, uma demanda inicial do cliente era que o acesso de materiais fosse realizado pela Rua A, para aproveitar a rampa e o portão já existentes para entrada e balizamento de caminhões. Entretanto, devido a dificuldade de liberação da EPTC dessa rua, optou-se por inverter os acessos e as instalações provisórias. Esses itens referentes ao dimensionamento das instalações serão comentados posteriormente.

Quanto às atividades da obra, o cliente tinha algumas demandas relacionadas ao padrão de execução e à qualidade. Dentro desse tópico algumas necessidades do cliente impactaram diretamente no prazo de execução das atividades. As primeiras atividades executadas na obra são as demolições e escavações. Dessa forma o cliente solicitou que alguns materiais das edificações existentes poderiam ser reaproveitados e deveriam ser demolidos manualmente. Além disso, foi solicitado que os materiais demolidos fossem selecionados conforme as indicações do Conama nº 307/2002 que dividem os resíduos em Classe A (resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados), Classe B (resíduos recicláveis para outras destinações, como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso), Classe C (resíduos que ainda não foram desenvolvidas tecnologias para reutilização) e Classe D (resíduos perigosos ou nocivos à saúde).

Essa forma de demolição e separação manual é considerado um processo de incertezas quanto ao planejamento, pois é difícil de estimar a produtividade e quais materiais serão reaproveitados. Além disso, é um processo crítico por interferir na data de início de todas as outras atividades da obra. Dessa maneira, devido às incertezas e os riscos do atraso dessa atividade, estimou-se um período de 40 dias úteis para a demolição e escavação.

Além da demolição, outros requisitos do cliente influenciaram na duração e sequenciamento de atividades. O contrapiso armado do térreo será um piso polido e, por não ter revestimento, deve ser protegido pois o concreto aparente é a camada final do piso. Nessa situação o ideal seria que esse piso fosse executado apenas após a concretagem e desforma da laje do 2º

pavimento, a fim de que as escoras das lajes não danificassem o piso. Algumas simulações do sequenciamento previam a execução do piso após a desforma da laje do 2º pavimento, conforme o cliente havia solicitado, mas, contudo, essa mudança atrasaria uma sequência de tarefas subsequentes, impactando no prazo da obra. Dessa forma foi combinado com o cliente que o piso inteiro seria executado antes da concretagem da laje, protegido com protetor de piso para evitar desgastes a abrasão e que as escoras seriam apoiadas sobre tábuas de madeira a fim de não danificar o piso do estacionamento polido.

Outro requisito do cliente foi referente ao sistema de formas para a montagem da estrutura de concreto armado. O cliente solicitou que as lajes fossem executadas em painéis de alumínio, forrados com compensado plastificado. Ao pesquisar sobre o sistema, encontrou-se que esse não precisava de uma mão de obra especializada e que a estimativa de produção era de 0,3 homem/hora por metro quadrado. Entretanto, o empreiteiro contratado nunca havia trabalhado com esse sistema, o que aumentou a incerteza no processo. Por se tratar de um processo crítico, o tempo de ciclo dessa atividade também foi aumentado, a fim de não atrasar o prazo geral da obra.

Além dos processos citados, no início do desenvolvimento do PSP ainda não havia sido definidos os tipos de fundações e contenções. Estavam sendo feitas análises no solo e reuniões com os projetistas a fim de se definir a solução que seria utilizada. Dessa forma, esses dois processos também contaram com tempos de ciclo maiores, em função das possíveis incertezas envolvidas.

Por fim, foi solicitado ao cliente se haveria alguma restrição de horários ou acessos e se haveriam problemas com ruídos no canteiro de obras. Os horários de expediente poderiam seguir as premissas da Prefeitura Municipal da cidade onde a obra x está sendo executada, que garante a execução de segunda a sábado das 7 horas às 19 horas e os acessos poderiam ser realizados em qualquer horário dentro do expediente de trabalho. Essa informação auxiliou na estimativa da capacidade produtiva das equipes, uma das etapas do PSP. Ademais, o cliente não reportou nenhuma restrição com ruídos dentro do canteiro. Da mesma forma, essa informação foi fundamental para definição do nível de integração vertical (quais insumos/processos seriam realizados na obra ou comprados prontos) e a possibilidade do uso de máquinas pesadas, dentro do dimensionamento de recursos.

5.1.2 ETAPA 2: SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO

A próxima etapa desenvolvida no PSP foi a definição do sequenciamento de execução da obra. Conforme mencionado anteriormente, esse processo foi desenvolvido em conjunto com a equipe de engenharia e planejamento da obra na reunião do dia 20/06/2022. Como essa é a primeira forma a ser desenvolvida do planejamento, contou-se com a experiência de outras obras dos engenheiros participantes, que foram debatendo possibilidades, até encontrar o melhor sequenciamento.

Como base para a tomada de decisões usou-se o contrato da obra, com a descrição das atividades a serem executadas pela Construtora Y, o orçamento elaborado e aprovado, os projetos aprovados e em desenvolvimento e a lista de necessidades do cliente. A sequência de execução das atividades está representada na Figura 5 e foi a versão final desenvolvida.

Para a elaboração da sequência de execução das atividades usou-se um quadro branco e blocos de notas adesivas de diferentes cores para pensar, em conjunto, qual seria a melhor ordem de execução das atividades. As cores das notas adesivas serviam para identificar atividades que seriam executadas pelo mesmo empreiteiro ou mesma equipe de produção. As equipes de produção foram divididas conforme legenda da Figura 6. As atividades estavam detalhadas de forma que não faltassem tarefas importantes, mas também não tão abertas a ponto de sobrecarregar o quadro e poluir o planejamento. As setas indicam o sentido no qual a produção será executada (Figura 5). Salienta-se que o processo foi interativo, no qual as opiniões de todos os participantes foram debatidas.

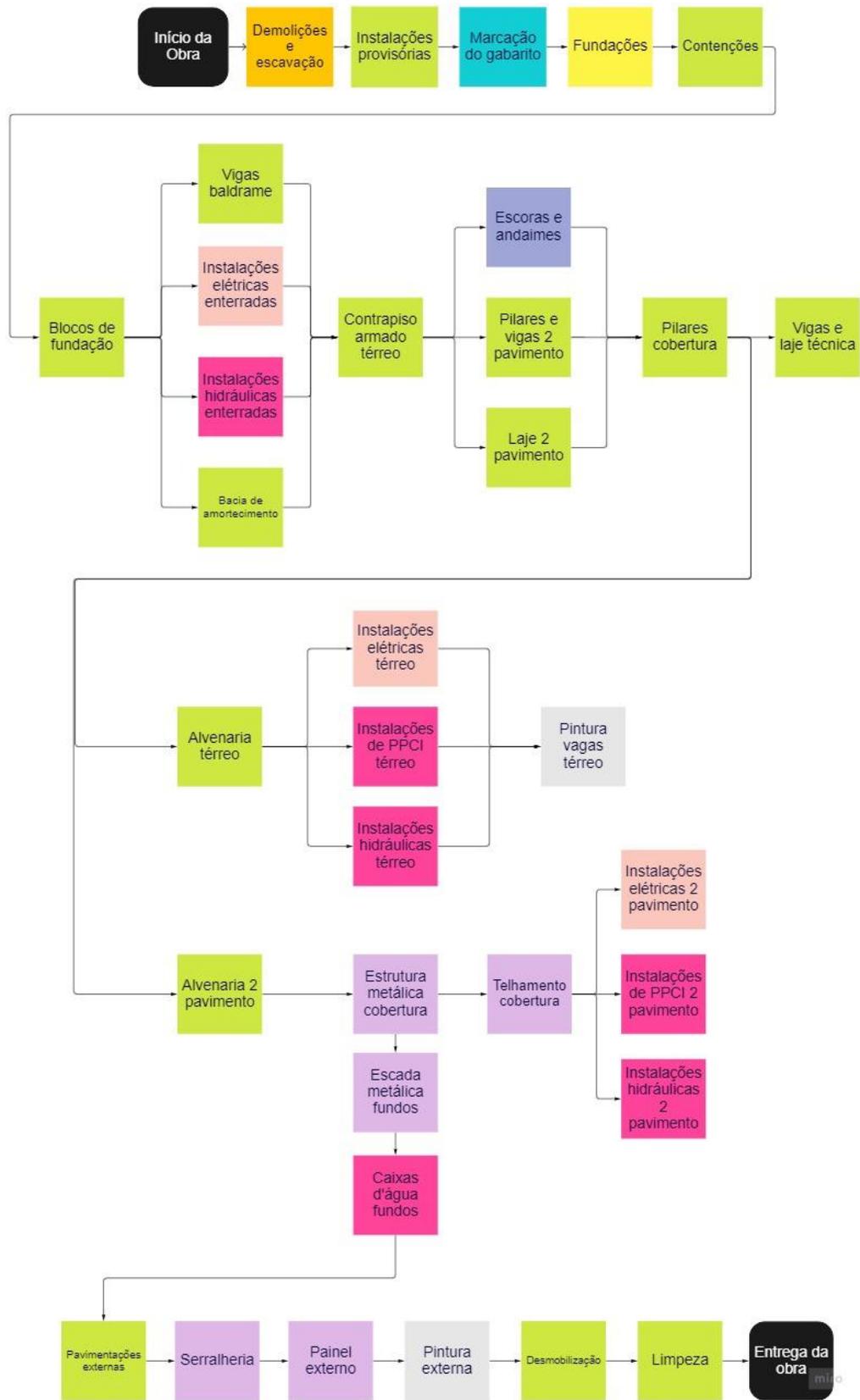


Figura 5: Sequenciamento de atividades



Figura 6: Legenda equipes de produção

5.1.3 ETAPA 3: DIMENSIONAMENTO DAS CAPACIDADES DE PRODUÇÃO E RECURSOS

Na sequência, foi realizado o dimensionamento das capacidades de produção e recursos para as atividades da obra. O resultado desse dimensionamento pode ser visualizado abaixo no Quadro 1. O dimensionamento foi desenvolvido pelo autor do trabalho com as devidas instruções dos orientadores e, na sequência, foi apresentado aos engenheiros da obra para revisão. Na revisão debateu-se sobre a forma de execução das diversas tarefas planejadas, a fim de validar-se as durações das atividades, os recursos envolvidos, os lotes de trabalho e as atividades predecessoras e sucessoras. Mais uma vez, contou-se com a experiência da equipe de engenharia, e foi possível identificar que, algumas datas estavam superestimadas e outras subestimadas, necessitando deixar durações maiores, devido à incerteza do processo produtivo.

Além disso, entrou-se em contato com empreiteiros contratados ou que estavam em fase de orçamento para verificarem se as durações das atividades estavam condizentes com o potencial produtivo das equipes. Ocorreu uma divergência no dimensionamento da estrutura de concreto armado do 2 pavimento. Inicialmente estimou-se que esse processo levaria 15 dias úteis para ser concluído. Contudo, ao validar a estimativa com o empreiteiro responsável pela estrutura, o mesmo reportou que devido às dimensões da laje, por ser em concreto aparente e por não ter experiência com o sistema de formas, o empreiteiro informou que a capacidade produtiva da sua equipe apenas conseguiria entregar a laje em 25 dias. Dessa forma, o prazo da atividade foi aumentado, a fim do planejamento ficar o mais condizente o possível com a realidade.

Quadro 1: Dimensionamento de capacidade de produção e recursos

	Atividade	Duração (dias úteis)	Recursos		Lotes		Predec.
			Mão de obra	Equipamentos	Produção	Transferência	
1	Demolições e escavação	40	1 operador, 1 motorista e 4 demolidores	Retroescavadeira, caminhão caçamba	1 pavimento	1 pavimento	
2	Instalações provisórias	8	2 serventes, 1 eletricista, 1 hidráulico	Containers, tapume, caminhão munck	1 pavimento	1 pavimento	1
3	Marcação de gabarito	2	2 topógrafos, 1 servente	Serra	1 pavimento	1 pavimento	1
4	Fundações	12	1 operador, 3 serventes, 2 ferreiros	Perfuratriz formas, aço, escoras, caminhão betoneira, bomba estacionária	1 pavimento	1 pavimento	3
5	Contenções	20	1 operador, 2 serventes, 2 ferreiros e 2 carpinteiros	Bate estaca, solda, retroescavadeira, formas, aço, escoras, caminhão betoneira, bomba estacionária	1 pavimento	1 pavimento	1
6	Blocos e vigas baldrame	15	3 carpinteiros, 3 ferreiros, 3 pedreiros	Retroescavadeira, martetele, formas, aço, escoras, caminhão betoneira, bomba estacionária	1 pavimento	1 pavimento	4
7	Bacia de amortecimento	15	4 carpinteiros, 4 ferreiros, 3 pedreiros	Formas, aço, escoras, caminhão betoneira, bomba estacionária	1 pavimento	1 pavimento	4
8	Instalações enterradas	4	3 eletricistas, 3 hidráulicos	Pá	1 pavimento	1 pavimento	6
9	Contrapiso térreo	8	1 carpinteiro, 2 ferreiros, 6 pedreiros	Formas, aço, caminhão betoneira, bomba estacionária, helicóptero	1 zona	1 zona	8
10	Andaimes e escoramento	5	4 serventes	Andaime fachadeiro, tela, escoras metálicas	1 pavimento	1 pavimento	9
11	Estrutura 2º pavimento	25	5 carpinteiros, 5 ferreiros, 6 pedreiros	Formas, aço, escoras, caminhão betoneira, lança	1 zona	1 zona	9
12	Estrutura cobertura	15	4 carpinteiros, 4 ferreiros, 5 pedreiros	Formas, aço, escoras, caminhão betoneira, lança	1 pavimento	1 pavimento	11
13	Alvenarias	27	6 pedreiros	Finca pinos, betoneira, mini grua tripé	1 zona	1 zona	11,12
14	Estrutura metálica e telhamento	15	4 soldadores, 1 operador	Caminhão munck, solda	1 pavimento	1 pavimento	12,13
15	Impermeabilizações	5	2 serventes	Maçarico	1 pavimento	1 pavimento	14
16	Instalações elétricas	20	4 eletricistas	Andaimes	1 zona	1 zona	11, 12, 13, 14
17	Instalações hidráulicas	14	3 hidráulicos	Andaimes	1 zona	1 zona	11, 12, 13, 14
18	Instalações de PPCI	14	2 serventes	Andaimes	1 zona	1 zona	11, 12, 13, 14

19	Escada metálica	4	3 soldadores, 1 operador	Caminhão munck, solda	1 pavimento	1 pavimento	12, 13, 14
20	Reservatórios	5	3 hidráulicos	Caminhão munck	1 pavimento	1 pavimento	19
21	Pavimentações externas	15	4 pedreiros	Betoneira	1 pavimento	1 pavimento	19,2
22	Serralheria	5	2 serventes	Solda	1 pavimento	1 pavimento	21
23	Painel externo	4	3 soldadores, 1 operador	Caminhão munck, solda	1 pavimento	1 pavimento	22
24	Pintura externa	10	4 pintores	Andaimes	1 fachada	1 fachada	13
25	Serviços finais e acabamento	5	5 serventes	Entulho	1 pavimento	1 pavimento	23, 24
26	Desmobilização	2	3 serventes	Caminhão munck	1 pavimento	1 pavimento	23, 24
27	Limpeza	2	4 serventes	Entulho	1 pavimento	1 pavimento	23, 24

Durante esse processo também foram abordadas questões sobre o efetivo de mão de obra para execução das atividades. Novamente, nessa etapa os empreiteiros foram consultados a fim de confirmar a totalização de funcionários pré-dimensionadas pelo autor do trabalho e revisadas com a equipe de engenharia. Estimar o efetivo da obra traz vantagens na questão do controle da produção, ao verificar diariamente se o efetivo está condizente com o planejado. Além disso, é importante para o dimensionamento das instalações provisórias, processo que será analisado na sequência. Um exemplo a ser destacado ocorreu na análise do dimensionamento de recursos para a etapa da demolição e escavação. O empreiteiro contratado estimou que o efetivo esperado seria de 5 funcionários fixos e um motorista de caminhão para descarte de material e solo. Como nessa etapa da obra não haveria possibilidade de executar as instalações provisórias, pela falta de espaço físico, a solução encontrada foi de utilizar uma área coberta das edificações existentes a serem demolidas como área de refeitório, depósito de materiais e vestiário e locou-se um banheiro químico a fim de atender o efetivo dimensionado pelo empreiteiro.

Dentro da questão dos recursos, também foram dimensionados os equipamentos necessários para execução das atividades. Novamente o autor do trabalho e os engenheiros da obra debateram sobre a forma de execução das tarefas, a fim de encontrar quais equipamentos de pequeno e grande porte seriam necessários. O contato com os empreiteiros, mais uma vez, ocorreu de forma a alinhar quais equipamentos seriam de responsabilidade do empreiteiro, como as serras e pás e quais equipamentos seriam do escopo da construtora, como andaimes e escoras.

O nível de integração vertical também foi definido nessa etapa. Na questão da estrutura definiu-se que o aço seria cortado e dobrado em obra, as formas para pilares e vigas seriam cortadas e montadas em obra e feitas de madeira, e as formas para lajes seriam em painéis de alumínio com compensado plastificado. Além disso, definiu-se que as concretagens seriam com concreto usinado moldado in loco com caminhão betoneira e bomba estacionária. A argamassa para assentamento da alvenaria seria produzida in loco em betoneiras. Outras definições de materiais a serem comprados ou produzidos na obra foram debatidos nas próximas etapas do PSP. No Quadro 1 tem-se o resultado final desse processo. Por fim, foram analisados os lotes de produção e de transferência de cada uma das atividades e quais suas predecessoras. Essas questões serão abordadas na sequência, na etapa de zoneamento da obra.

5.1.4 ETAPA 4: DEFINIÇÃO DO DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA

Após o sequenciamento e a definição das atividades predecessoras, e do dimensionamento da capacidade dos recursos (apresentado no Quadro 1) desenvolveu-se o diagrama de sequência de tarefas. Esse diagrama, serve para demonstrar, de forma visual, o avanço das diferentes etapas da obra no tempo e busca entender o fluxo das atividades pela obra, sobreposição de atividades e folgas necessárias. Vale ressaltar que o diagrama foi desenvolvido para as atividades de todo o empreendimento, pois ainda não havia sido definidas as zonas de trabalho. A Figura 7 representa o diagrama de sequência, no qual o eixo x indica o tempo e o eixo y, as atividades da obra.

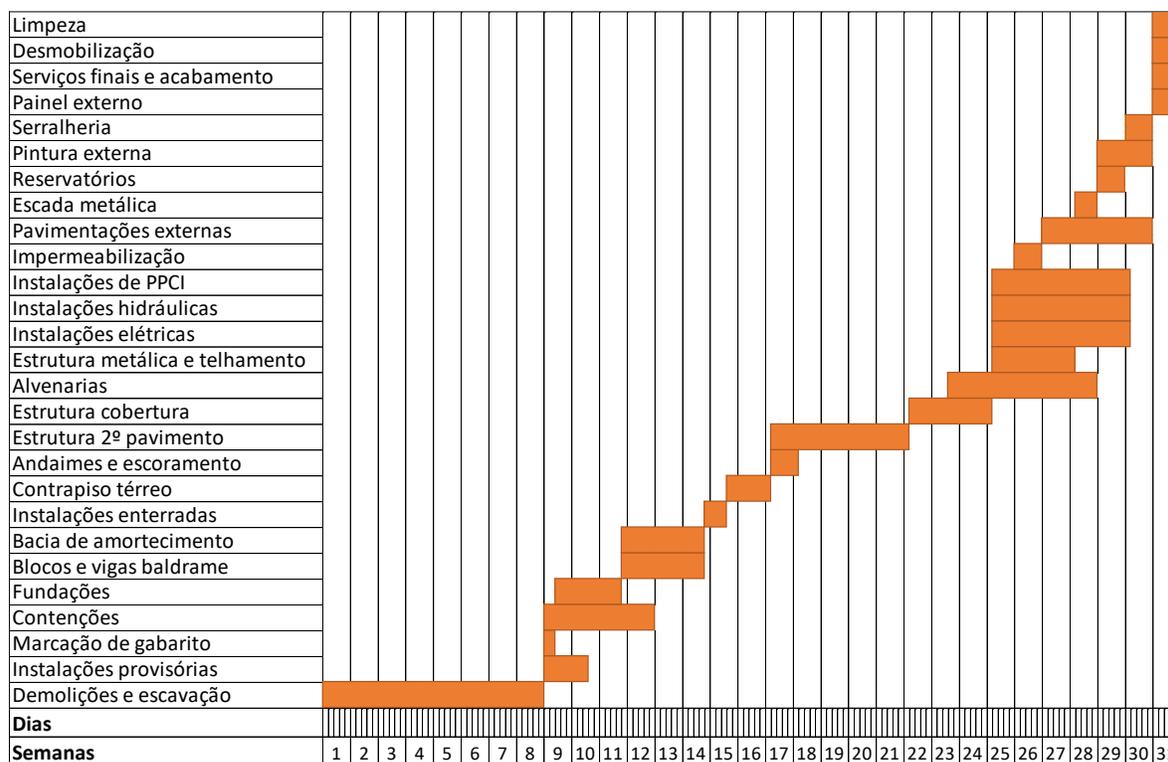


Figura 7: Diagrama de sequência

5.1.5 ETAPA 5: ZONEAMENTO DA OBRA

O processo da divisão da obra por zonas de trabalho foi uma etapa, na qual dedicaram-se diversos estudos e revisões, tanto pela parte dos orientadores, quanto pela equipe de engenharia. Essa etapa era crucial para o desenvolvimento do PSP e PCP, pois a partir da

divisão da obra, seria formulado o fluxo de trabalho e seriam controladas as atividades dentro do PCP. O zoneamento da obra X foi complexo devido a duas principais peculiaridades da obra e, por isso, fizeram-se necessárias a simulação de três diferentes cenários, com três linhas de balanço desenvolvidas.

A primeira dificuldade encontrada na obra para definir o zoneamento foi que a mesma é uma obra que não apresenta uma repetitividade explícita. Ou seja, não há uma unidade base repetitiva, como por exemplo um apartamento tipo em uma edificação multifamiliar que se repita. Dessa forma, para se encontrar a melhor solução possível do zoneamento foi necessário encontrar áreas e volumes de trabalho nas quais algumas atividades se repetissem. A segunda dificuldade foi que não há elementos físicos dividindo os ambientes da obra (vedações internas). O pavimento térreo é um estacionamento, onde não há paredes entre as vagas, e no segundo pavimento, é a loja, na qual não há divisórias. Assim as divisões estabelecidas eram em relação ao alinhamento dos elementos estruturais: eixos de pilares e vigas.

Dessa forma, o autor do trabalho com o auxílio dos orientadores, desenvolveu três diferentes possibilidades do zoneamento da obra, nas quais se simularam três diferentes linhas de balanço. As Figuras 8, 9 e 10 representam as três opções de zoneamento desenvolvidas. Na primeira opção (Figura 8) a obra foi dividida em quatro zonas diferentes: térreo, 2º pavimento, cobertura e área externa. Já na segunda opção (Figura 9) a obra foi dividida em cinco diferentes zonas, onde duas delas foram divididas em mais duas subzonas: térreo (térreo zona 1 e 2), 2º pavimento (2º pavimento zona 1 e 2), cobertura, área externa frente e área externa fundos. Por fim, a terceira opção (Figura 10) a obra foi dividida em cinco zonas, nas quais duas delas foram divididas em mais quatro subzonas: térreo (térreo zona 1, 2, 3 e 4), 2º pavimento (2º pavimento zona 1, 2, 3 e 4), cobertura, área externa frente e área externa fundos.

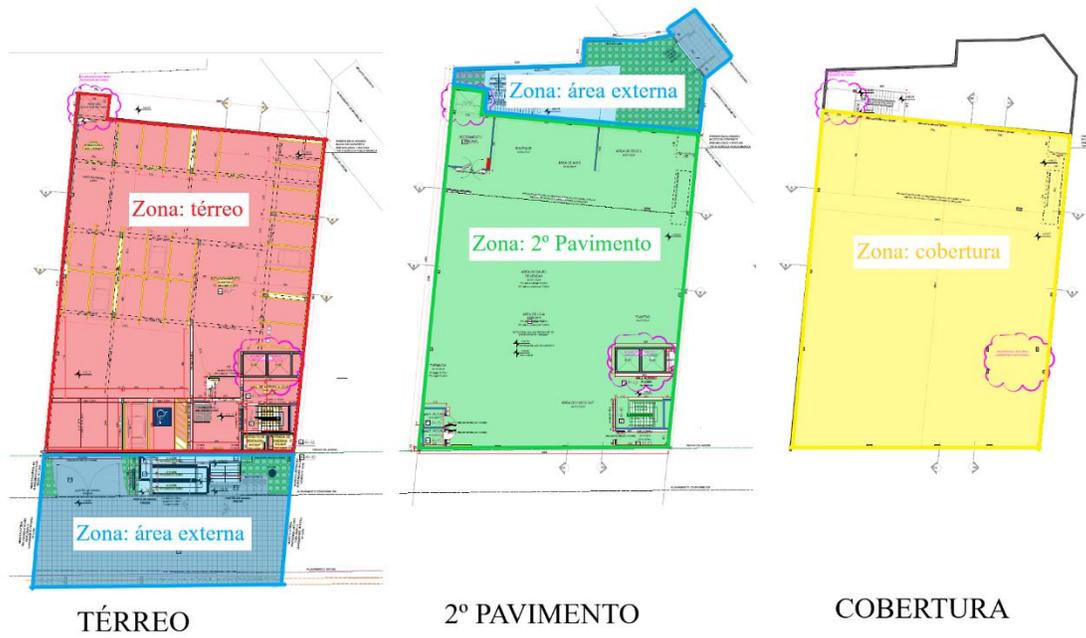


Figura 8: Zoneamento opção 1

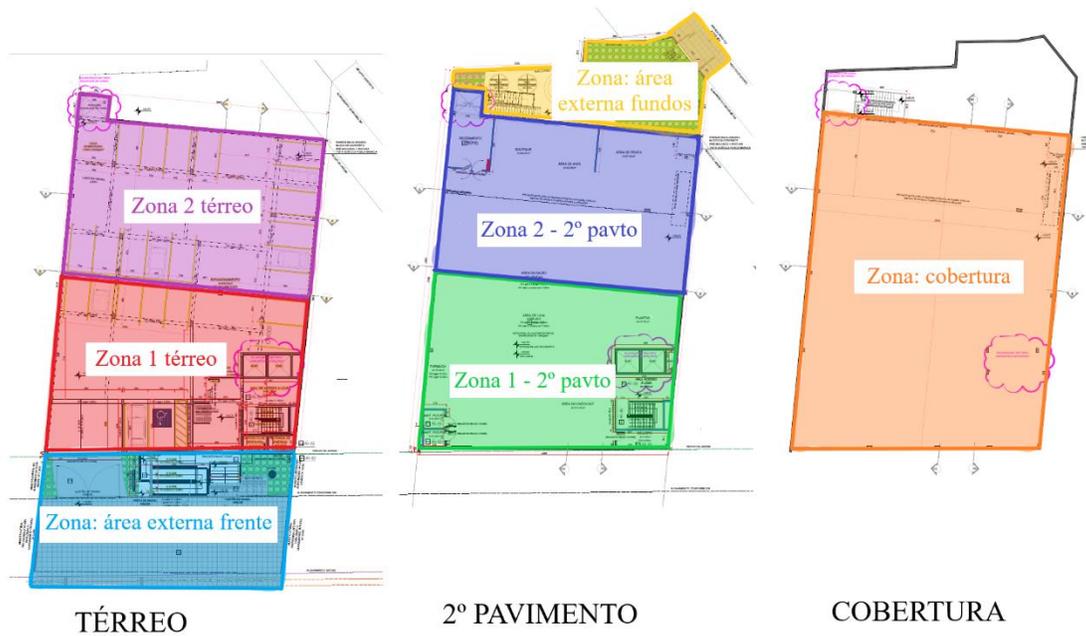


Figura 9: Zoneamento opção 2

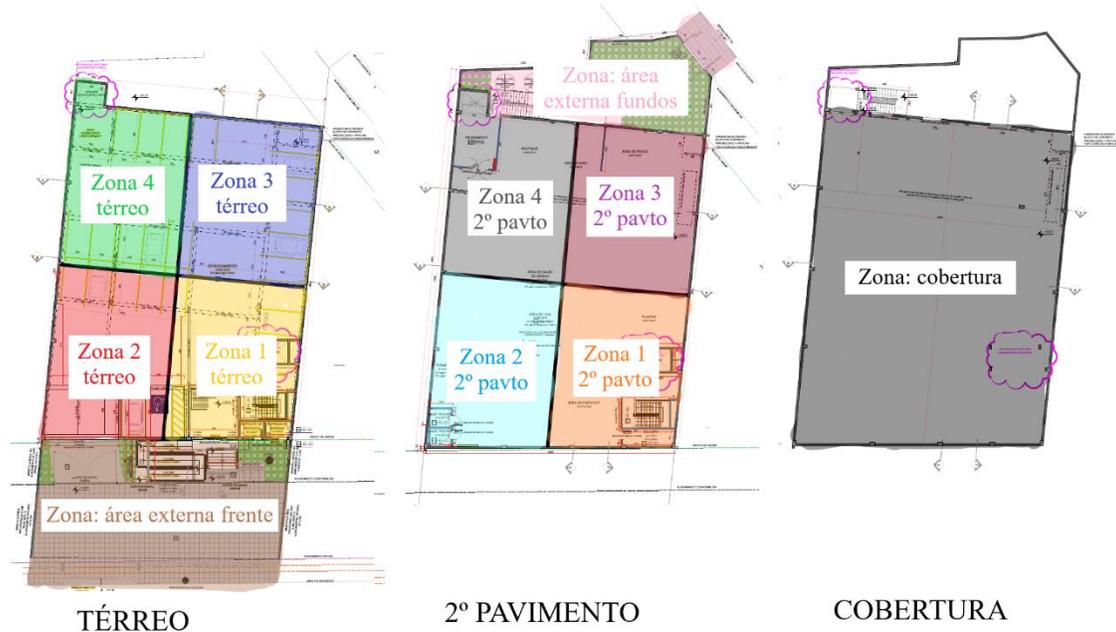


Figura 10: Zoneamento opção 3

5.1.6 ETAPA 6: DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Antes da definição dos fluxos de trabalho no empreendimento, é necessário analisar a estratégia de execução da obra, ou seja, por quais percursos as equipes de produção irão desenvolver suas atividades. Uma informação que foi importante para a decisão dos percursos foi referente ao pré-dimensionamento das instalações provisórias de canteiro. Durante o estudo dos percursos, a equipe de engenharia já havia sido informada que o recebimento de insumos não poderia ser realizado pela Rua A, que era uma das necessidades captadas do cliente. Dessa forma, sabia-se que todos os materiais seriam recebidos e estocados na parte dos fundos da obra, pela Rua B, e a parte frontal da obra seria utilizada para as áreas de vivência dos trabalhadores.

Assim, o percurso desenvolvido pelo autor do trabalho e aprovado com a equipe de engenharia previa as atividades iniciando próximas as áreas de vivência e encaminhando-se em sentido as áreas de estoque, conforme representado na Figura 11. Essa escolha foi baseada

em duas premissas. Primeiramente, seguindo esse caminho, há mais espaço físico disponível por mais tempo próximo a área de estoque e montagem de formas e aço, do que invertendo o sentido do percurso. Além disso, percebeu-se que caso a produção iniciasse próximo aos estoques, o fluxo de materiais e serviços teria mais obstáculos, o que poderia vir a prejudicar a produtividade. O segundo aspecto analisado foi quanto ao volume dos serviços mais próximos da área de vivência ser maior que os serviços próximos aos estoques. Isso se dá pelo fato de haver mais ambientes, mais alvenarias e mais instalações a serem executadas. Dessa forma, foi preferível que as equipes de produção iniciassem pelas áreas de maior complexidade.

Vale ressaltar que os percursos de algumas atividades serão apresentados, separadamente, dentro da etapa de análise dos processos críticos, como as contenções e fundações por possuírem peculiaridades de execução.

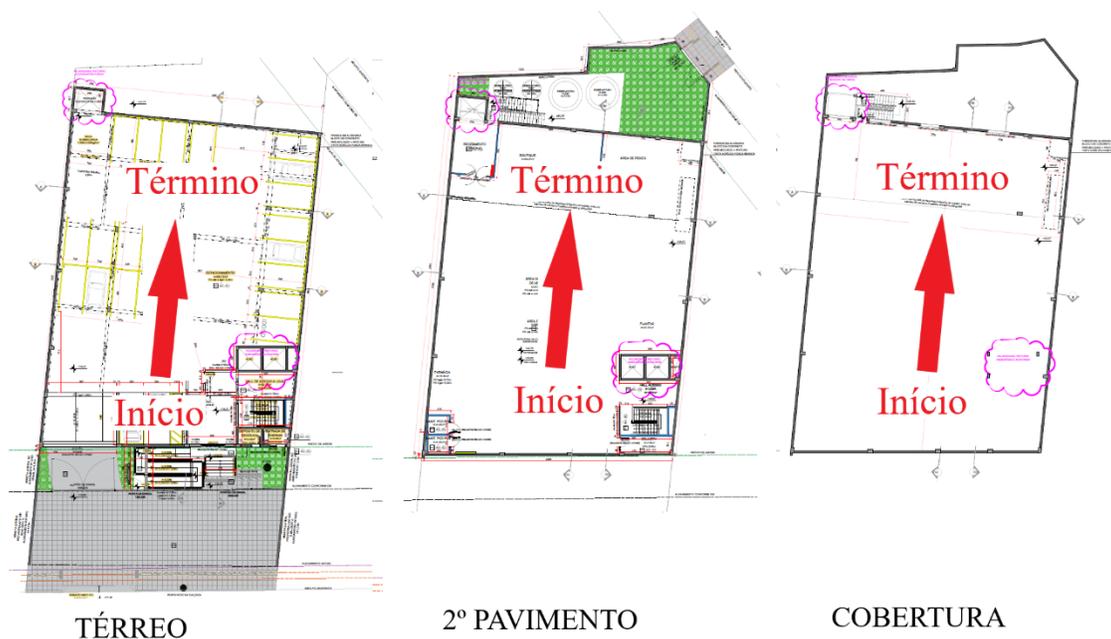


Figura 11: Estratégia de execução do empreendimento

5.1.7 ETAPA 7: ESTUDO DOS FLUXOS DE TRABALHO

Após a separação da obra em três opções diferentes de zonas de trabalho, seria necessário escolher qual das soluções seria adotada, e traria os melhores resultados para a obra X. Dessa forma, iniciaram-se os estudos dos diferentes fluxos de trabalho possíveis para as opções desenvolvidas pelo autor do trabalho. O método adotado para o desenvolvimento do fluxo foi a utilização da Linha de Balanço. Abaixo estão representadas nas Figuras 12, 13 e 14 as linhas de balanço para as opções 1, 2 e 3 respectivamente.

Ao analisar as três linhas de balanço desenvolvidas é possível obter algumas conclusões que foram fundamentais para o processo de PSP da obra X. Percebe-se que nem todas as atividades da Linha de Balanço seguem as divisões e subdivisões das zonas de trabalho estipuladas. Pode-se compreender melhor essa situação analisando o processo de escavação e demolição. Ao demolir as edificações existentes e rebaixar o nível do terreno fica inviável trabalhar em uma zona de cada vez. Como a demolição manual segue a ordem inversa da construção da edificação a ser removida e a retroescavadeira rebaixa o nível do terreno de forma contínua, não há como dividir essas atividades pelas subdivisões das zonas.

Outra escolha a ser analisada durante o desenvolvimento das linhas de balanço foi que, em nenhuma das opções planejou-se trabalhar com duas equipes diferentes, simultaneamente, em diferentes zonas. Essa decisão partiu do pressuposto que os empreiteiros contratados trabalhariam com uma equipe de produção por serviço. Ao analisar as linhas de balanço, percebeu-se que as únicas tarefas que se encontram sobrepostas eram as de pintura externa e serviços de desmobilização e limpeza. Isso se dá pelo fato de que, na pintura externa a zona de trabalho é a fachada como um todo: a equipe inicia por uma fachada e apenas troca de fachada quando a mesma está concluída. Por isso viu-se a pintura ocorrer em dois pavimentos diferentes ao mesmo tempo. A mesma situação ocorre para os serviços finais e limpeza de obras: como esses serviços são feitos por uma mesma equipe, tanto no térreo, quanto no 2º pavimento, simultaneamente, elas aparecem sobrepostas na Linha de Balanço.

A Linha de Balanço apresentada na Figura 12, representando opção 1 de zoneamento (Figura 8), previa dividir a obra, apenas, por pavimentos e área externa. O problema encontrado, em não subdividir o térreo e o segundo pavimento em subzonas, foi que as instalações elétricas, hidráulicas e de PPCI apenas poderiam iniciar ao se finalizar as alvenarias de todo o pavimento. Dessa forma, a fim de atender ao prazo final da obra, foi necessário reduzir o tempo de ciclo dessas instalações, e atrasar a execução delas em alguns dias. A mesma situação ocorreu ao não se dividir as áreas externas em áreas de frente e de fundos. Como algumas tarefas, como pavimentações externas ocorreriam nas duas áreas, e são antecessoras de outras atividades, foi necessário antecipar a execução delas, e alterar seu tempo de ciclo. Por fim, ao apresentar a Linha de Balanço (Figura 12) a equipe de engenharia, foi informado que para fins de PCP essa Linha de Balanço não seria a mais adequada. Isso ocorreu pois, em algumas tarefas, seria necessário especificar melhor em qual zona elas estão ocorrendo, a fim de melhor controlar o avanço das atividades, melhor avaliar o percentual de pacotes concluídos e melhor desenvolver os planejamentos mensais e semanais.

A Linha de Balanço representada na Figura 14, por sua vez, seguiu as premissas da opção 3 de zoneamento (Figura 10), previa dividir o pavimento térreo e o 2º pavimento em quatro subzonas diferentes, além da área externa, que foi dividida em frente e fundos. Ao debater-se essa solução com a engenharia percebeu-se que, o ganho em prazo das atividades era de poucos dias e que seria difícil dividir fisicamente a obra nessas zonas de trabalho. Outro empecilho nessa divisão era de controlar a evolução dos serviços, visto que localizar as divisas entre as zonas seria um processo complexo, tanto para a equipe de engenharia, quanto para os empreiteiros e suas equipes de produção.

Dessa forma, optou-se pela Linha de Balanço apresentada na Figura 13, representando a opção de zoneamento 2 (Figura 9), que previa reduzir o tamanho do lote do pavimento e o tempo de ciclo, dividindo o térreo e o 2º pavimento ao meio, seguindo o alinhamento de eixos de pilares e vigas e as áreas externas em frente e fundos. Essa opção se tornou a mais viável, pois foi possível ter ganhos em prazos de execução de determinadas atividades, em comparação com a opção 1, e também, possibilitou uma divisão de fácil entendimento para as equipes de produção, em comparação com a opção 3. Assim, com a aprovação da equipe de engenharia deu-se seguimento no processo de PSP e PCP considerando o zoneamento da opção 2.

5.1.8 ETAPA 8: SIMULAÇÕES DO CRONOGRAMA DA OBRA

Na sequência, o próximo passo desenvolvido pelo autor foi de simular o avanço da obra X em um software, para melhor visualização do que estava sendo planejado. Para essa etapa foram utilizados dois softwares diferentes, o Autodesk Revit e o Autodesk Navisworks. Assim, com o modelo BIM e com o cronograma desenvolvido na Linha de Balanço, foi possível fazer simulações baseadas nas informações desenvolvidas no PSP até o momento. Abaixo, nas Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20 é possível visualizar o modelo BIM 4D da obra. Esse modelo visual do PSP serviu para auxiliar o processo de planejamento, atrelando-o com o projeto de forma com que, caso alguma atividade estivesse com sequenciamento ou tempo de execução diferente do planejado, seria mais fácil localizar o erro e corrigi-lo.

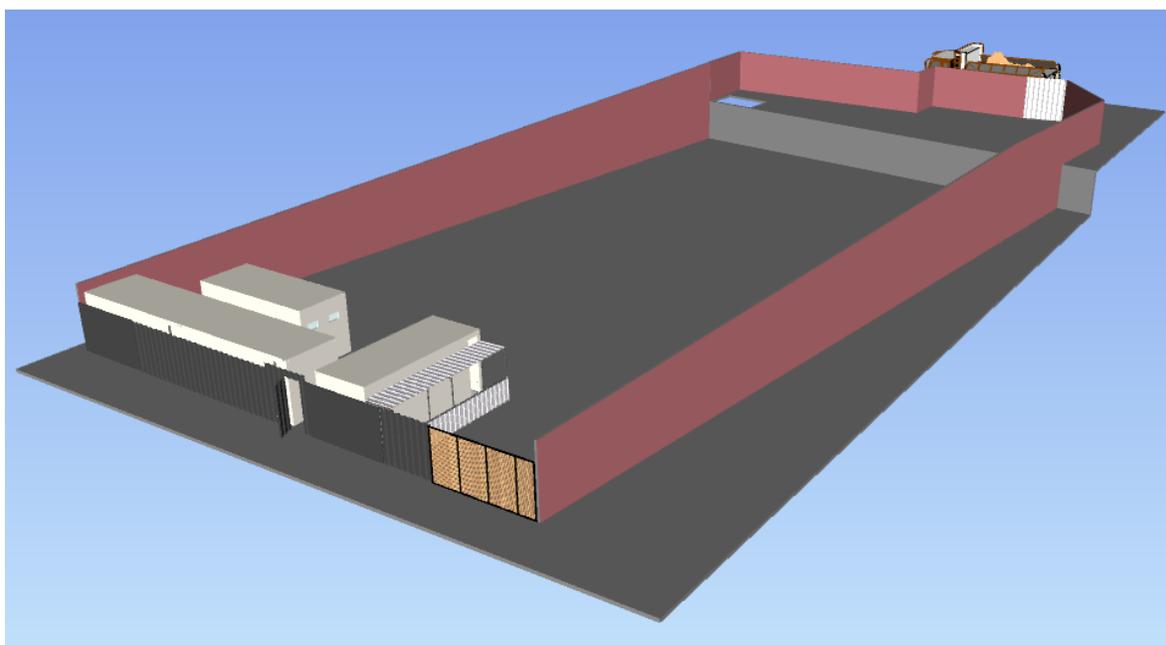


Figura 15: Simulação Navisworks: execução de instalações provisórias

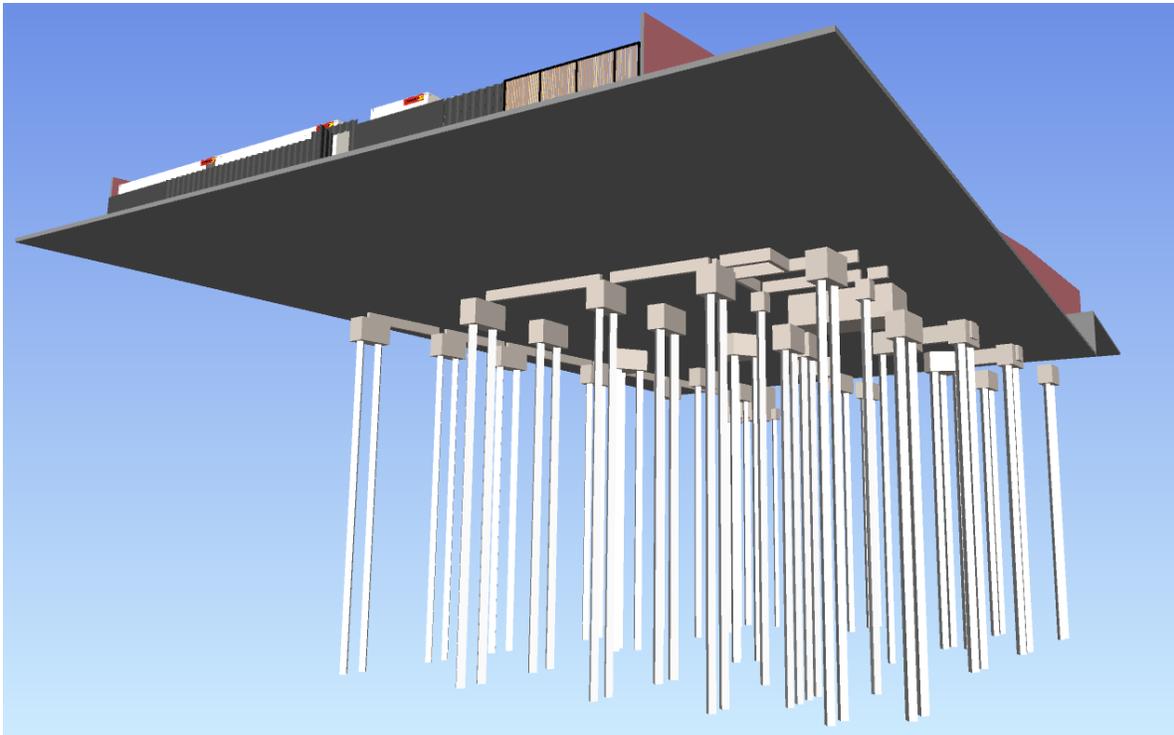


Figura 16: Simulação Navisworks: execução de estacas e blocos de fundação

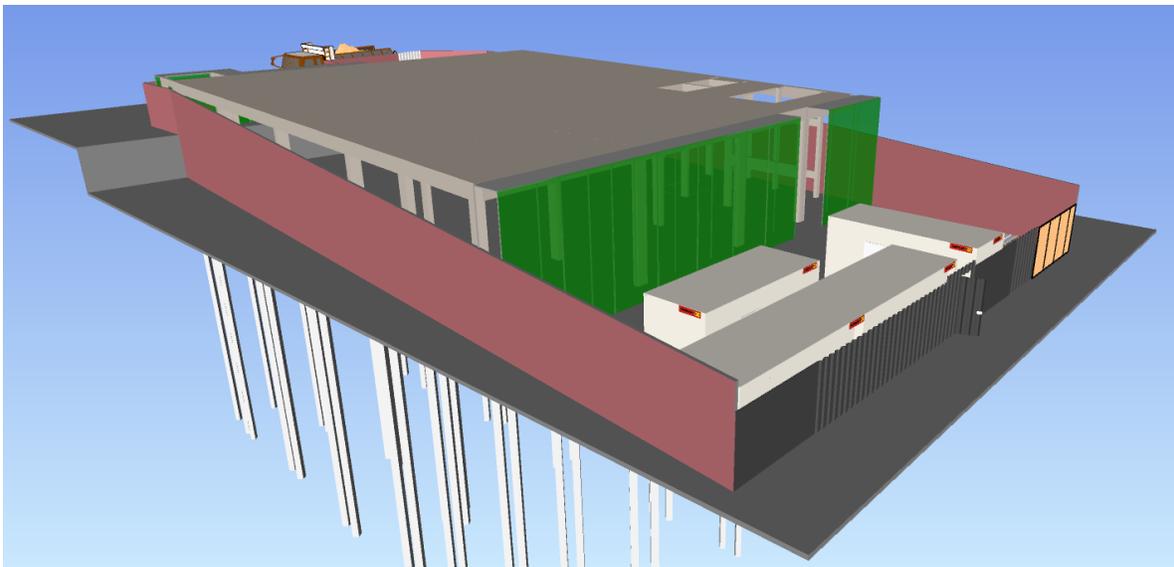


Figura 17: Simulação Navisworks: execução de andaimes fachadeiros e estrutura 2º pavimento

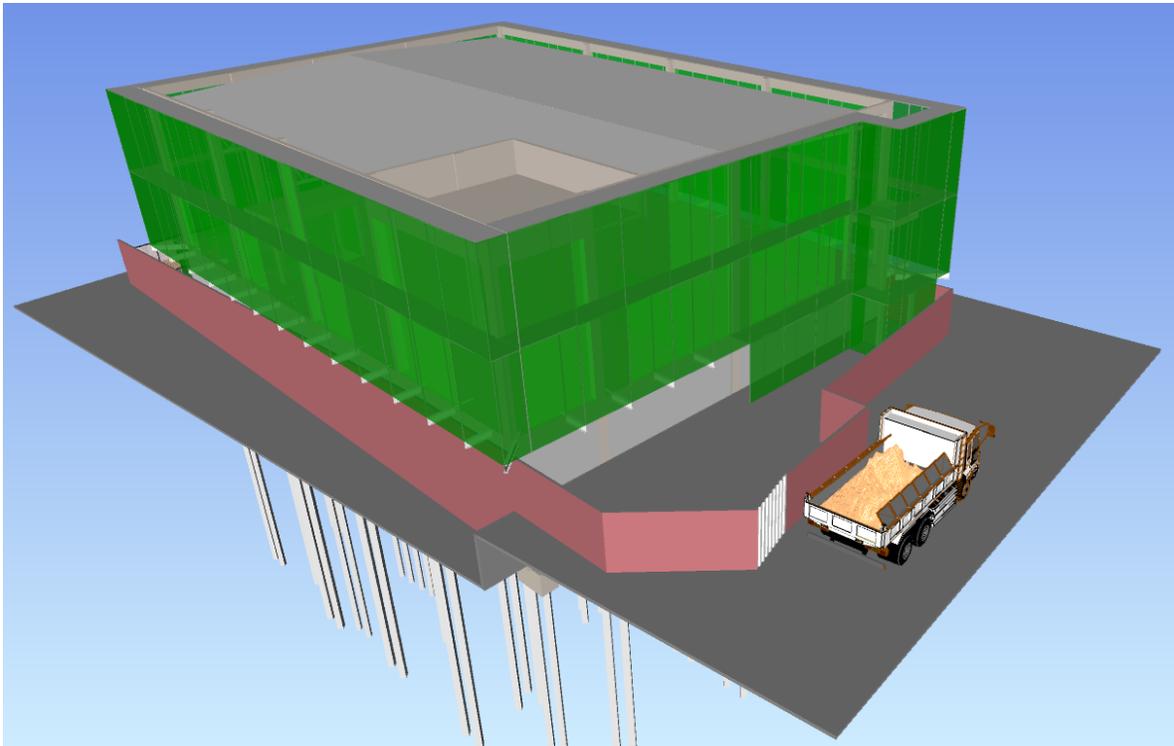


Figura 18: Simulação Navisworks: execução de andaimes fachadeiros 2º pavimento, estrutura e telhamento cobertura

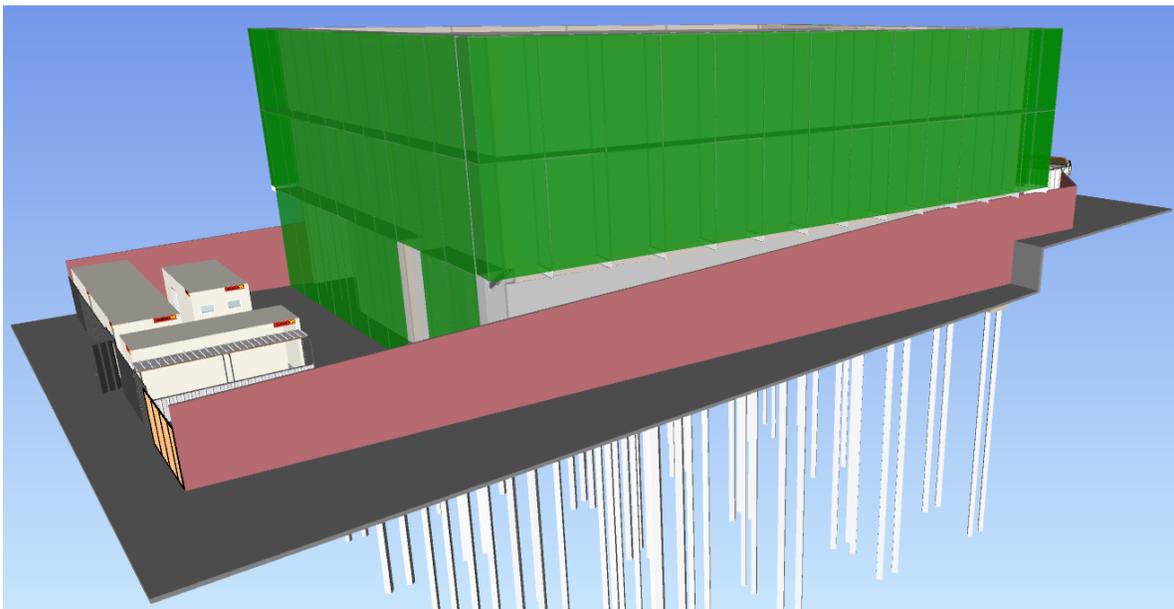


Figura 19: Simulação Navisworks: execução de alvenarias térreo e 2º pavimento

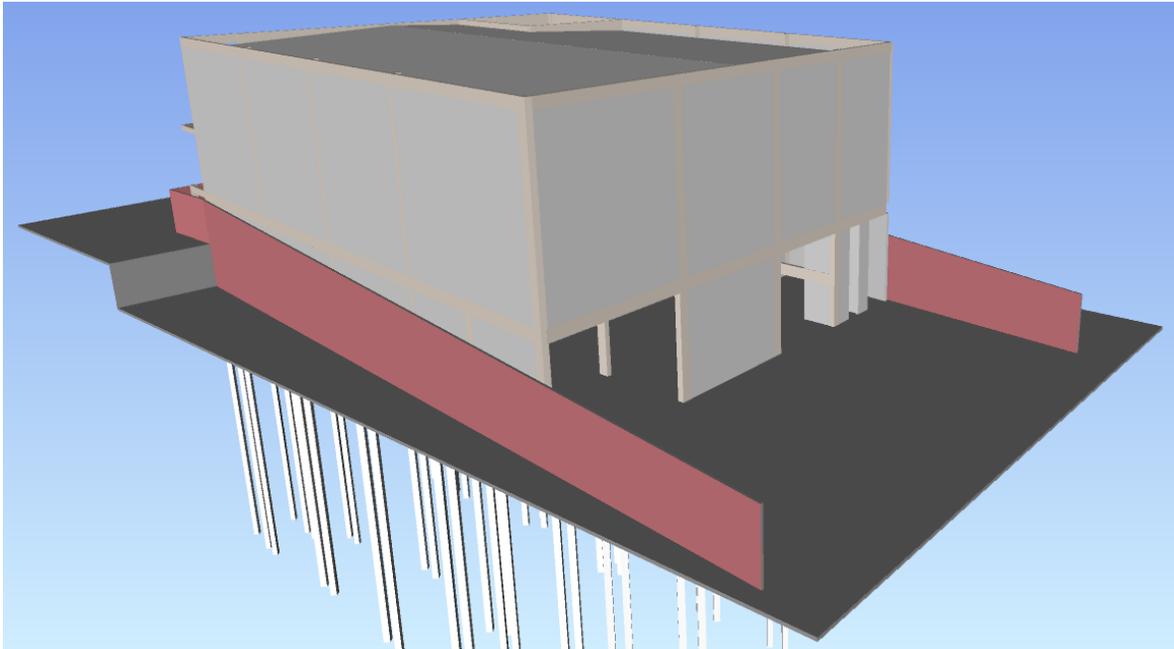


Figura 20: Simulação Navisworks: desmobilização e primeira entrega da obra finalizada

5.1.9 ETAPA 9: DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS

O processo de dimensionamento das instalações provisórias passou por diversas alterações e revisões até chegar na versão final. Essas alterações fazem parte do processo de PSP, e conforme o processo estava sendo desenvolvido, as decisões sobre as instalações provisórias eram alteradas até que se encontrou a opção mais viável para a obra.

Conforme mencionado em outras etapas, devido a restrições da EPTC não foi possível atender a uma das demandas do cliente que solicitava que o acesso de materiais fosse realizado pela entrada da Rua A. Dessa forma, uma das premissas para o dimensionamento foi posicionar as áreas de vivência na entrada da Rua A e o acesso de materiais pela Rua B. Outra demanda do cliente era ter um controle de acesso de funcionário, então foi decidido que a entrada dos funcionários seria realizada pela Rua A, onde ficariam as áreas de vivência e a engenharia.

O primeiro passo para o dimensionamento das instalações consistia em dimensionar a mão de obra no canteiro. Como não há previsão de alteração das áreas de vivência durante a execução da obra, exceto na fase de demolição e escavação, as áreas de vivência foram

dimensionadas conforme o pico de efetivo da obra. Como citado anteriormente, durante a fase de demolições e escavações o efetivo da obra era de seis funcionários, sendo que dos seis, cinco ficariam durante o expediente na obra e um deles dirigia o caminhão para descarte de materiais e transporte de solo. Durante essa etapa, que foi estimada para ocorrer em 40 dias úteis, o canteiro não tinha espaço físico para as áreas de vivência desses funcionários. Por isso, a solução tomada, decidida juntamente com a engenharia, foi a instalação de um banheiro químico e o uso de uma área coberta, a ser demolida, em um dos vértices do terreno, como espaço para vestiário, alojamento, refeições e área de lazer.

Vale ressaltar que todas as decisões tomadas foram trabalhadas pelo autor do trabalho, pela equipe de engenharia da empresa Y e por um engenheiro de segurança terceirizado. As decisões sempre seguiram as premissas da Norma Reguladora 18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção.

Após esse período de 40 dias úteis das demolições e escavações, o canteiro teria espaço físico disponível para as instalações provisórias que atendessem o efetivo no pico da obra. Para estimar esse efetivo usaram-se os dados coletados durante o dimensionamento da capacidade de produção e recursos, juntamente com os dados da Linha de Balanço, na qual era possível prever quais serviços ocorreriam em cada fase da obra. Juntando essas duas informações foi possível desenvolver um histograma de mão de obra, representado abaixo na Figura 21. O eixo x do histograma corresponde ao tempo da obra e o eixo y ao número de funcionários estimado.

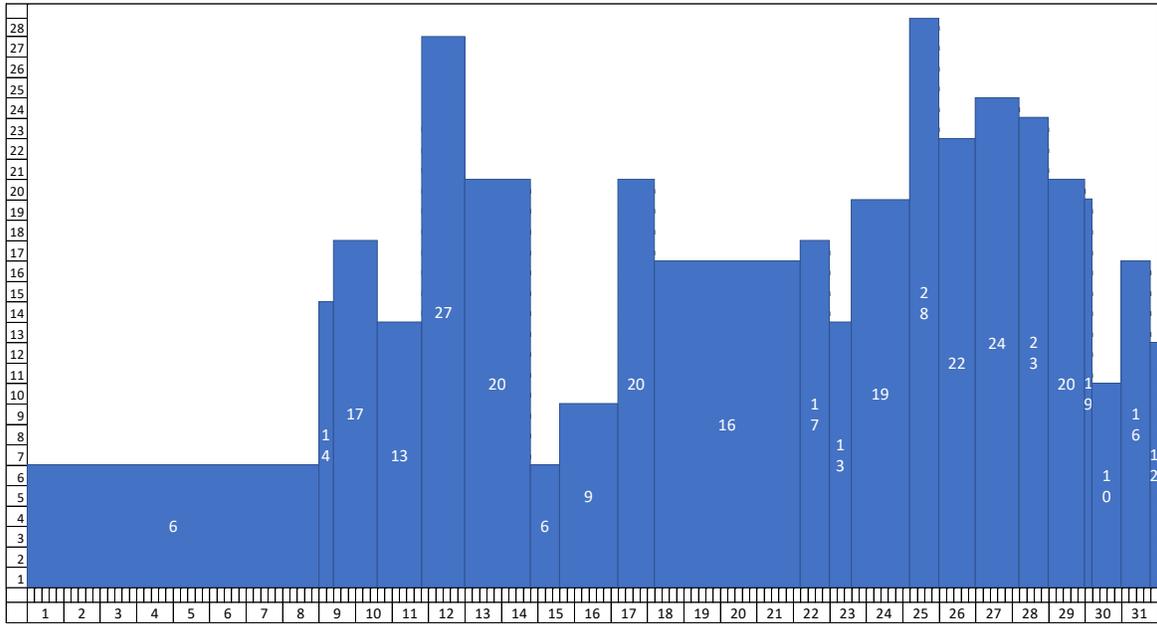


Figura 21: Histograma de mão de obra

Percebe-se, observando na Figura 21, que o pico de funcionários ocorre a partir do segundo dia da semana 25 de obra, no qual estima-se que 28 funcionários estarão presentes no canteiro. A partir dessa informação foram dimensionadas as instalações provisórias. Para as áreas de vivência optou-se pela locação de containers marítimos de comprimento de 6 m, largura de 2,44 m e altura de 2,26 m.

A primeira área de vivência a ser dimensionada foram as instalações sanitárias. Conforme a NR-18 (1978, p. 5):

“A instalação sanitária deve ser constituída de lavatório, vaso sanitário e mictório, na proporção de 1 (um) conjunto para cada grupo de 20 (vinte) trabalhadores ou fração, bem como de chuveiro, na proporção de 1 (uma) unidade para cada grupo de 10 (dez) trabalhadores ou fração.”

Dessa forma, planejou-se que seria locado um container marítimo sanitário com três lavatórios, três vasos sanitários, um mictório tipo calha e três chuveiros.

Na sequência, a NR-18 não indica uma área mínima para vestiários. Entretanto, conforme indicações do engenheiro de segurança, optou-se por utilizarmos mais um container de mesmas áreas (6 m x 2,44 m x 2,26 m) próximo a entrada dos funcionários. A mesma situação vale para o refeitório, no qual a NR-18 (1978, p. 9) determina que “o local para refeições deve... d) ter capacidade para garantir o atendimento de todos os trabalhadores no horário das refeições;”. Contudo, dimensionar um refeitório para 28 pessoas seria inviável então, seguindo as orientações do engenheiro de segurança, foi decidido que se locaria mais um container marítimo e se dividiria o horário de almoço em três turnos diferentes, a fim de ser possível atender pelo menos 10 funcionários por turno. A NR-18 (1978) indica também que deverá haver um espaço para lavanderia, o qual foi dimensionado em um telheiro coberto na parte externa do container do refeitório. Por fim, a última exigência, aplicável a obra X, da NR-18 foi a necessidade de haver uma área de lazer que, conforme a norma, pode ser a mesma área de refeições, e essa foi a solução tomada pela engenharia. Além desses containers foi locado um container extra que seria dedicado a área de trabalho da engenharia da obra, com um banheiro, uma sala de reuniões e mesas para trabalhos de escritório. O dimensionamento das instalações provisórias pode ser visualizado na Figura 22.

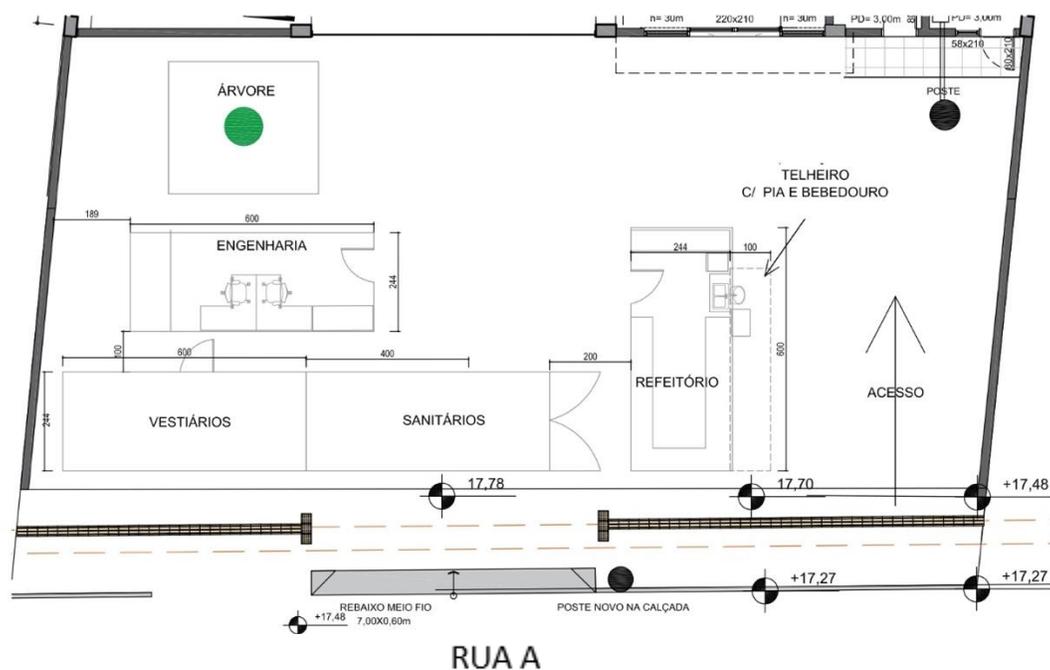


Figura 22: Instalações provisórias: áreas de vivência

Seguindo o dimensionamento, as áreas de recebimento de materiais, estoques e telheiros para montagem de madeiras e armação de formas ficou posicionada no acesso da Rua B. Vale ressaltar que, nessa etapa foram considerados espaços físicos apenas para esses materiais, pois após a concretagem da laje do 2º pavimento, se utilizariam os espaços no estacionamento para estoque do restante dos insumos e seria construído um almoxarifado em painéis de madeira para armazenamento de insumos de maior valor. O acesso da obra pela Rua B está representado na Figura 23.

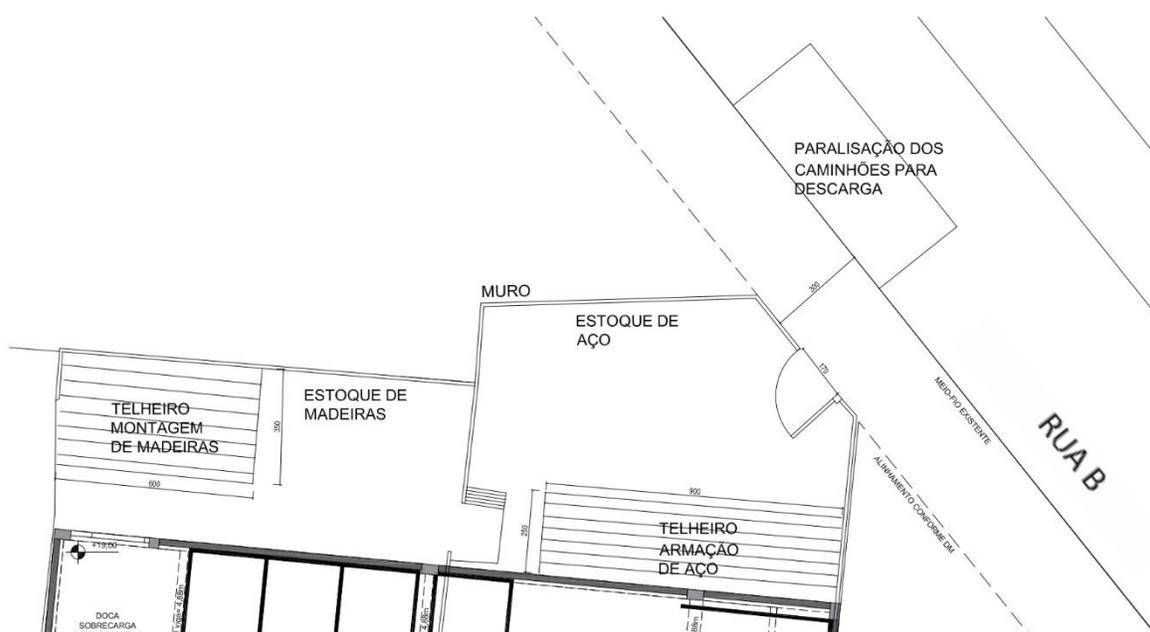


Figura 23: Instalações provisórias: estoques

Por fim, essa etapa de dimensionamento contou com o alinhamento de equipamentos de grande porte da obra. Foi definido que todas as concretagens seriam realizadas pela Rua B, onde o caminhão betoneira e a bomba estacionária paralisariam uma das faixas da rua temporariamente, próximos a área demarcada como “paralisação dos caminhões para descarga”. Foi salientado que seria necessário marcar as datas de concretagem com devida antecedência, a fim de que se avise a EPTC da paralisação de uma das vias da rua em tempo

hábil para obter a respectiva aprovação para a concretagem. Além disso, foi definido que a obra não contaria com mini grua e nem elevador cremalheira, e que o transporte vertical de materiais para o segundo pavimento seria realizado, ou manualmente, ou com o auxílio de caminhões munck, como por exemplo, para a execução da estrutura metálica e telhamento da cobertura. O sistema de proteção coletiva adotado e dimensionado foi o de andaimes fachadeiros. Nas fachadas que fazem divisa com os vizinhos, devido a falta de espaço físico para apoio dos pés dos andaimes, os mesmos foram executados em balanço, apoiados em vigas metálicas, que ficam ancoradas na estrutura do 2º pavimento. Nessas mesmas fachadas, também, haveria bandejas de madeira para evitar que materiais caíssem da obra e danificassem as edificações vizinhas.

5.1.10 ETAPA 10: IDENTIFICAÇÃO E PROJETO DOS PROCESSOS CRÍTICOS

A última etapa do PSP consiste em identificar e analisar os processos críticos no planejamento, a fim de evitar que tais processos ultrapassem o prazo de execução, por serem cruciais para a execução de diversas atividades subsequentes. Durante a formulação do PSP os processos analisados considerados críticos foram: contenções, fundações e a estrutura de concreto armado. Entretanto, no futuro, outros processos podem se transformar em críticos e poderão vir a ser analisados e estudados.

5.1.10.1 Contenções e fundações

O processo das contenções e fundações da obra foram considerados processos críticos, devido, principalmente à complexidade de execução. Como esses dois serviços ocorrem de forma simultânea no canteiro, fez-se necessário a elaboração de um sequenciamento de atividades específico para esses dois serviços. Além disso, as obras de contenção em solo e de fundações podem ter um nível de incerteza mais elevada devido a precisão dos ensaios de solo. Outro risco é relacionado à segurança dos trabalhadores, devido à instabilidade dos taludes.

O processo de contenções será dividido em três etapas. Primeiramente será deixado um platô desnivelado de 5 a 6 m em relação ao nível do estacionamento, onde serão executadas as contenções. O platô pode ser visualizado na Figura 24, na qual a região demarcada em

vermelho corresponde a elevação em relação ao nível escavado. Na sequência, uma máquina bate estacas cravará 40 perfis metálicos, com os comprimentos variando entre 8 e 10 m em três faces do terreno, nas regiões hachuradas em amarelo na Figura 24. Por fim, uma retroescavadeira irá escavar os taludes e serão executadas as estacas e blocos de fundação que suportarão uma cortina de concreto armado. Uma dificuldade encontrada é que, por questão de estabilidade das encostas, não é possível escavar todas as cortinas de uma só vez, sendo necessário trabalhar em trechos, de forma a minimizar os riscos de uma ruptura do talude por deslizamento. Juntamente a esse processo, estava planejado a ocorrer as fundações onde possivelmente ocorreria uma interferência entre as máquinas pois a perfuratriz somente poderia acessar as estacas onde há taludes após a escavação do platô.

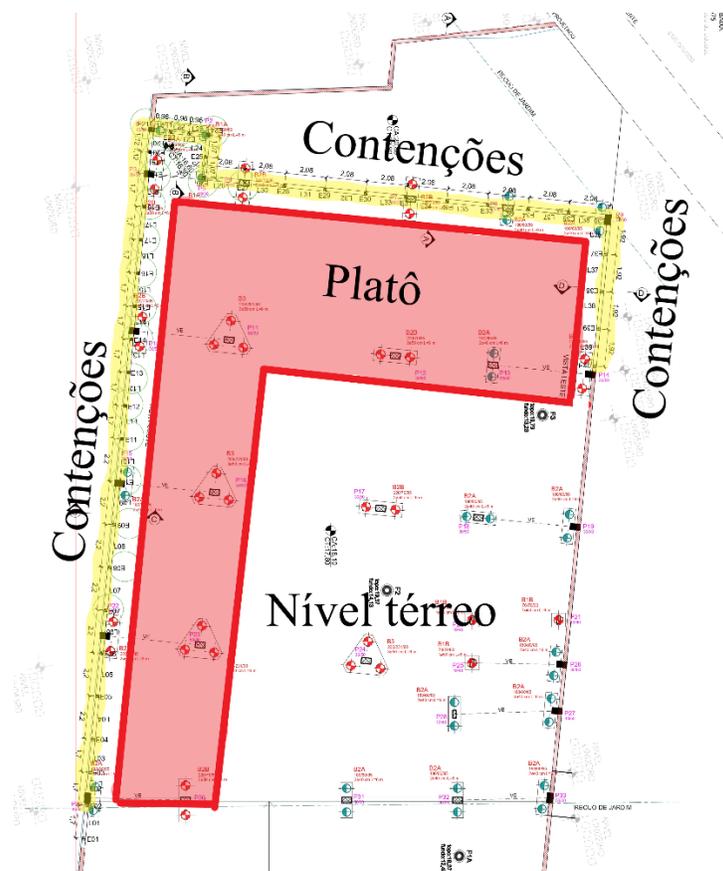


Figura 24: Platô para execução das contenções

O autor do trabalho, juntamente com a equipe de engenharia, analisou a complexidade de execução desses processos e, após verificar os projetos aprovados chegaram a algumas conclusões. A primeira delas é que a durações estimadas para a execução das contenções e

fundações no PSP estavam subestimadas, ou seja, as durações atribuídas durante o processo de dimensionamento da capacidade de produção e recursos foram menores do que as durações que essas atividades teriam na realidade. A fim de não se ter o atraso na obra optou-se por atualizar a Linha de Balanço, corrigindo a duração desses serviços. No momento em que foi realizado o estudo desses processos críticos, já estavam sendo executadas as demolições e a escavação da obra. Como citado anteriormente, nas primeiras etapas do PSP as demolições e escavações eram processos que continham um elevado grau de incerteza e por isso tiveram suas durações superestimadas. Ao analisar o avanço da obra durante reunião da engenharia, na qual estavam sendo debatidos os processos críticos, percebeu-se que as demolições e escavações estavam com uma produtividade acima do esperado e, assim, provavelmente teriam seu término antecipado em algumas semanas. Assim, decidiu-se diminuir em 10 dias úteis o processo de demolição e escavação, iniciando antes o processo de contenções, que somente seria finalizado após a concretagem das cortinas de concreto armado, e aumentando o prazo de execução das fundações. Dessa maneira, tem-se um buffer maior entre essas atividades, consideradas críticas pela equipe de engenharia.

A ocorrência das revisões e replanejamento durante o processo de PSP é fundamental, pois aumenta a confiabilidade do processo e permite que medidas preventivas possam ser tomadas a fim de manter o cronograma em dia. Assim, a nova Linha de Balanço pode ser visualizada na Figura 25.

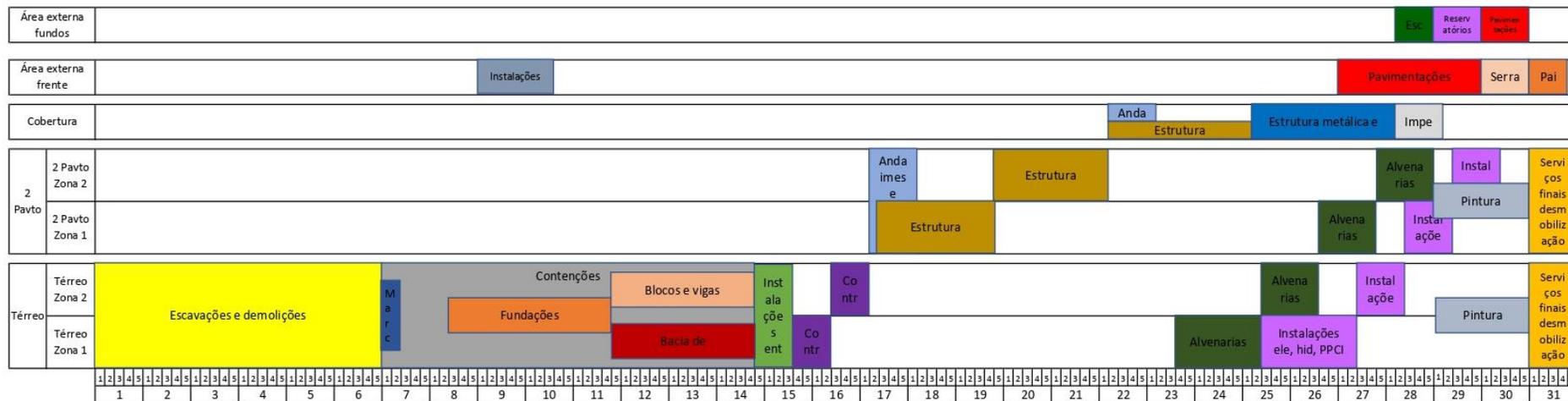


Figura 25: Linha de Balanço atualizada

Contudo, além de reprogramar essas atividades, foi necessário definir uma estratégia de execução, visto que as duas atividades ocorreriam simultaneamente. Assim, foi desenvolvido um planejamento para essas atividades, considerando a execução de 40 perfis cravados e de 70 m de cortinas, para contenções as 62 estacas escavadas, com 6 m de profundidade, totalizando 372 m de fundações. Esse planejamento está representado no Quadro 2. Novamente, para um melhor controle do planejamento e da produção dividiu-se esses serviços conforme zonas de trabalho. Na Figura 26 encontra-se o zoneamento para as contenções e na Figura 27, para os blocos de fundação.

Para sequenciamento das atividades e os prazos estipulados foram feitos sobre algumas premissas. Primeiramente, considerou-se que não seria viável iniciar as atividades de fundações com muita antecedência, liberando as áreas escavadas para contenção, devido ao custo de transporte da perfuratriz. Assim, considerou-se um fluxo contínuo, no qual as estacas iniciariam, e um pouco depois iniciariam as cravações dos perfis metálicos, mas não teriam interrupções. Outra situação considerada foi quanto à produtividade. Em conversas com empreiteiros responsáveis por obras de infraestrutura e fundações estimou-se uma produtividade de 4 perfis cravados por dia e 4 estacas escavadas por dia. Além disso considerou-se que não seria possível executar diferentes estacas de um mesmo bloco, no mesmo dia, devido a proximidade das mesmas e ao risco de patologias nas fundações.

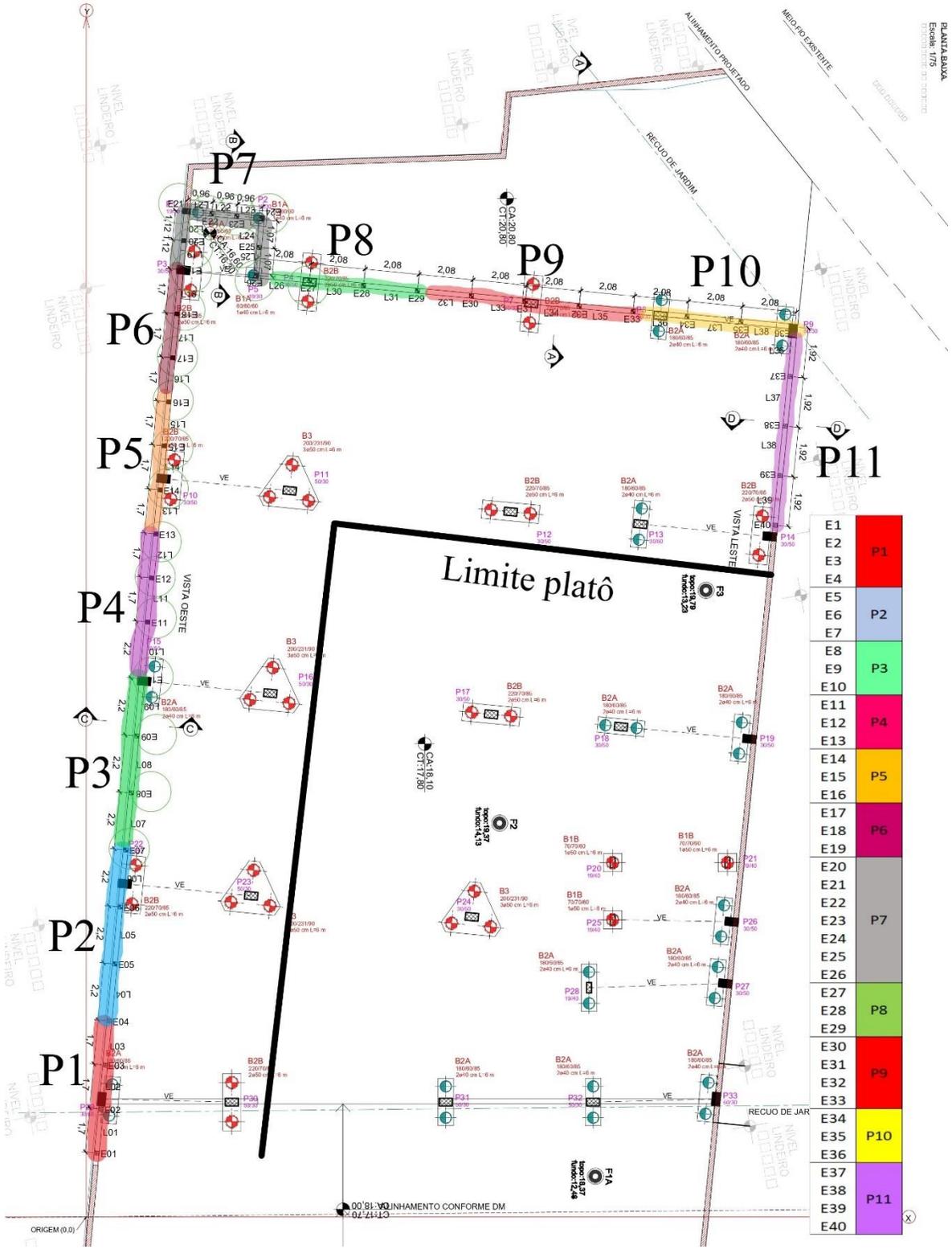


Figura 26: Zoneamento contenções

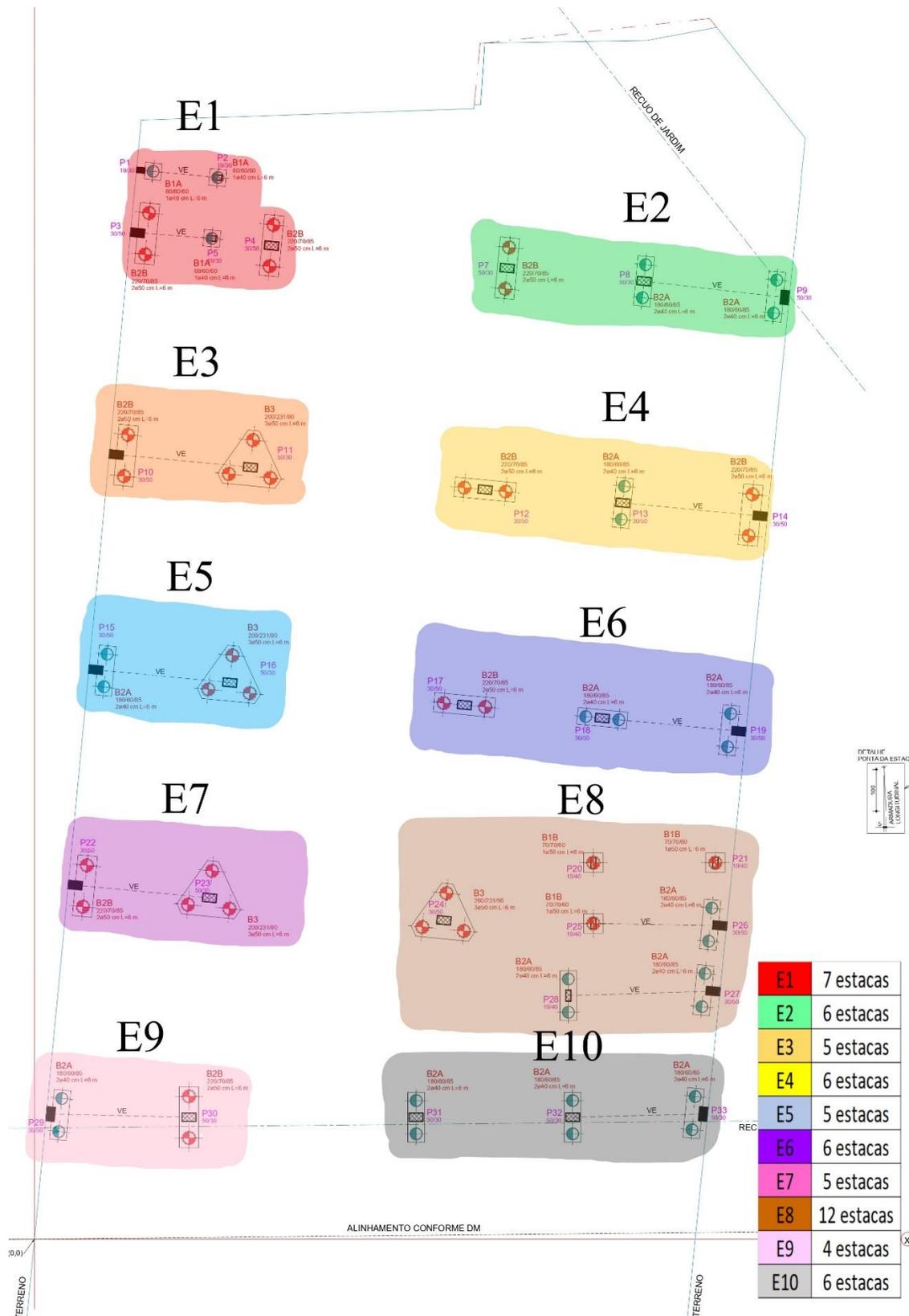


Figura 27: Zoneamento fundações

Quadro 2: Estratégia de execução contenções e fundações

Semana	Dia	Contenções	Fundações		
1	1	Mobilização de maquinário, recebimento de insumos e marcação do gabarito			
	2				
	3	Execução de perfis metálicos cravados Áreas P1 - P11 (iniciando em P1) Produtividade estimada: 4 perfis por dia			
	4				
	5				
2	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
3	11			Escavação trecho P1 - P4	Execução estacas E10 e E8 Total: 12 estacas Produtividade estimada: 4 estacas por dia
	12				
	13				
	14				
	15	Execução estacas E6 e E8 Total: 12 estacas Produtividade estimada: 4 estacas por dia			
4	16	Escavação trecho P5 - P11	Execução estacas E9, E7, E5 Total: 14 estacas Produtividade estimada: 4 estacas por dia		
	17				
	18				
	19				
	20				
5	21		Execução estacas E3, E1, E2 e E4 Total: 24 estacas Produtividade estimada: 4 estacas por dia		
	22				
	23				
	24				
	25				
6	26				
	27				

5.1.10.2 Estrutura de concreto armado

Outra atividade considerada crítica foi a estrutura de concreto armado. Sua classificação se deu, principalmente, pela quantidade de tarefas que são sucessoras à execução da estrutura. Outra peculiaridade envolvendo esse processo é o fato do fundo das lajes do 2º pavimento terem acabamento com concreto aparente. O concreto aparente exige um controle diferenciado em questões de materiais e execução e, por ser difícil realizar correções nas falhas de concretagem, o mesmo deve ser realizado com certos cuidados. Vale destacar que o sistema de formas laje Topec, que foi dimensionado à obra X, era desconhecido pelo empreiteiro, e por esse motivo, a análise do processo se focará na montagem do sistema de laje e as condições para a execução do concreto aparente.

Com base na experiência da empresa Y em outras obras executadas, o setor de qualidade da empresa desenvolveu um procedimento de execução para estruturas de concreto armado. Esse procedimento buscou padronizar a execução das atividades e guiar a engenharia no seu planejamento e controle. Entretanto, por melhor que fosse o procedimento, sempre há características únicas nas obras, que justificam alterações e revisões nas fichas de procedimento de execução. Assim, o autor do trabalho, juntamente com a equipe de engenharia, analisou e desenvolveu um estudo da estrutura de concreto armado para a obra X, com foco na laje Topec e no concreto aparente, que será analisado a seguir.

- **Laje Topec**

O sistema de formas para lajes Topec, desenvolvido pela SH, consiste em painéis de alumínio e escoras que podem ser forrados com compensado plastificado ou placa de polipropileno. Seguindo as instruções do Catálogo SH de Equipamentos (2015) e as indicações do trabalho de Souza (2016), desenvolveu-se um procedimento de execução das formas para laje Topec para ser passado aos empreiteiros. A seguir descreve-se o procedimento e nas Figuras 28 e 29 estão apresentadas imagens do sistema montado.

- 1º passo: encaixe dos dropheads (suportes com luvas) e suportes nos perfis escoras;
- 2º passo: ajuste das escoras conforme altura de projeto;
- 3º passo: distribuir os pranchões de madeira no piso concretado para sua proteção;
- 4º passo: posicionar as escoras e abrir os tripés;

- 5º passo: encaixar apenas um lado dos painéis nas escoras já montadas e elevar o outro lado com auxílio de um bastão;
- 6º passo: repetir o processo, sempre montando um painel ao lado de um painel previamente montado;
- 7º passo: conferir o nivelamento e ajustar as escoras caso necessário;
- 8º passo: posicionar o perfil T nos espaços entre os dropheads;
- 9º passo: concretar a laje;
- 10º passo: após a concretagem, para remoção parcial ou total das escoras, rotacionar os dropheads e remover as escoras desejadas.

SEQUÊNCIA DE MONTAGEM

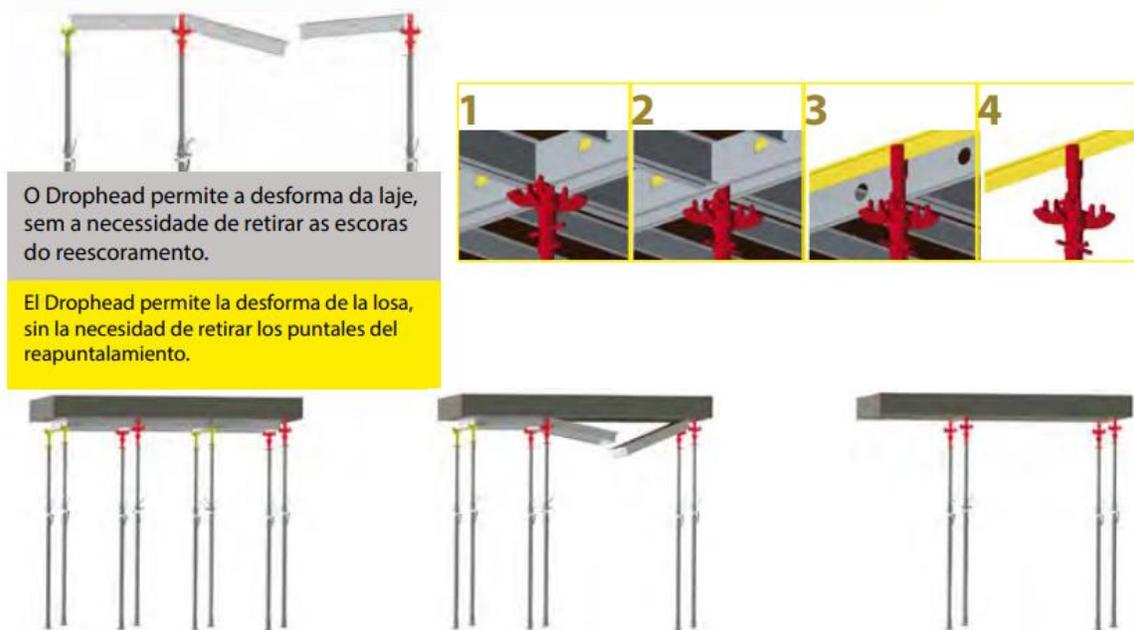
SEQUÊNCIA DE MONTAGEM



Fonte: SH FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ANDAIMES, 2015.

Figura 28: Sequência de montagem do sistema de fôrmas Topec® SH.

REESCORAMENTO COM DROPHEAD E PERFIL T REAPUNTALAMIENTO CON DROPHEAD Y PERFIL T



Fonte: SH FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ANDAIMES, 2015.

Figura 29: Sequência de reescoramento do sistema de fôrmas Topec® SH.

- **Concreto aparente**

Por fim, analisou-se quais as premissas para a execução da estrutura em concreto aparente. Como as patologias em concretos aparentes são mais difíceis de serem tratadas, foi necessário manter boas práticas de execução e a correta especificação dos materiais para a atividade. Dessa maneira, desenvolveu-se, juntamente à engenharia e ao setor de qualidade da empresa, um documento com as definições necessárias para se obter bons resultados no concreto aparente. Abaixo serão citados os itens reportados:

- Especificar com a concreteira o traço ideal do concreto aparente: essa definição poderá vir do traço definido em projeto ou do traço recomendado pela fornecedora de concreto. Em geral utilizam-se concretos com relações água cimento próximos de 0,4, com slump 12 +- 2, resistência acima dos 30 MPa e se possível CP V ARI (por ser o cimento mais puro do mercado). Em alguns casos pode-se utilizar compensadores de retração ou fibras, a fim de evitar fissuras superficiais. O concreto autoadensável também pode ser uma solução favorável. No caso da obra X o traço ainda não foi

definido. Entretanto, optou-se por utilizar um concreto convencional sem o uso de compensadores, fibras ou aditivos autoadensáveis.

- Preparação das formas: antes de iniciar-se a concretagem as formas deverão ser revisadas e limpas, a fim de garantir que estejam lisas, travadas e sem imperfeições. Deverão ser aplicadas em todas as formas desmoldantes, em pelo menos duas demãos, antes da concretagem.
- Concretagem: durante o processo de concretagem é necessário realizar-se o teste de abatimento e moldar os corpos de prova, a fim de se fazer um controle tecnológico do concreto. Para evitar-se as falhas de concretagem é necessário que o concreto seja bem adensado e vibrado, preenchendo toda a forma.
- Desforma e cura: a desforma deve ser feita com cautela, tanto para preservar a durabilidade das formas, como para evitar que restos de forma fiquem aderidas a massa de concreto. Após a concretagem é necessário deixar a peça em cura úmida por, no mínimo, 7 dias. Recomenda-se a utilização de mantas geotêxteis encharcadas com água.

5.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Conforme mencionado anteriormente o processo de PSP foi desenvolvido antes do início da obra e durante as atividades iniciais, onde os únicos serviços ocorrentes eram as demolições e escavações. Contudo, o presente trabalho também teve como intuito demonstrar a aplicação do método de *Last Planner* na obra X. Isso se fez necessário primeiramente para podermos visualizar as atividades planejadas durante o processo de PSP e como as decisões tomadas durante esse processo auxiliaram no desenvolvimento da obra. Além disso a partir do Planejamento e Controle da Produção é possível reprogramarmos tarefas, alterar durações, sucessão de atividades, visualizarmos possíveis restrições, entre outras funcionalidades que auxiliam na execução da obra. Na sequência serão analisados dois níveis de planejamento, o planejamento de médio e curto prazo.

5.2.1 PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO

O primeiro ciclo de planejamento de médio prazo para a obra X foi realizado pelo autor do trabalho, durante o mês de agosto de 2022, e foi discutido e revisado pela equipe de engenharia da obra na reunião do dia 29/08/2022. O modelo de planejamento de médio prazo desenvolvido considerou um horizonte de planejamento de 6 semanas e ciclo de controle de 1 mês, em virtude de ser uma obra com um curto prazo de execução. Assim o período contemplado foi do dia 22/08/2022 ao dia 30/09/2022.

Para o desenvolvimento desse planejamento levaram-se em conta duas principais premissas: os ritmos e metas definidos na Linha de Balanço, desenvolvida durante o PSP, e o progresso da obra, dado pelo avanço físico. Como o autor do trabalho estava acompanhando as atividades que estavam sendo executadas no canteiro, certas tarefas foram replanejadas a fim de atender as metas definidas na Linha de Balanço. Outras atividades, em contrapartida, seguiram as durações e datas estimadas na Linha de Balanço, a fim finalizar a obra dentro do prazo.

Assim, foram listadas as atividades que estavam previstas a ocorrer nas próximas 6 semanas, juntamente com as equipes responsáveis pela execução, suas datas previstas de início e término e duração. O planejamento de médio prazo pode ser visualizado na Figura 30. Vale destacar que, conforme citado anteriormente, o planejamento de médio prazo tem um maior detalhamento de atividades do que a Linha de Balanço. Percebe-se que diversas atividades que não eram citadas no PSP, foram adicionadas ao planejamento de médio prazo e outras, foram subdivididas em mais de uma.

As colunas subsequentes as tarefas, na Figura 30, apresentam as restrições das atividades. Restrições podem atrasar ou impedir a execução de determinada atividade e, por isso, devem ser identificadas e removidas. As restrições são divididas em seis diferentes categorias:

- Mão de obra: restrições devidas às equipes de produção destinadas para a execução de um determinado serviço;
- Material: restrições referentes aos insumos ou matéria prima para a execução da tarefa;
- Medidas: restrições referentes aos instrumentos de medida que controlam determinada atividade;
- Meio ambiente: restrições devidas ao espaço físico, seja interno ou externo;
- Máquinas e equipamentos: restrições devidas ao maquinário a ser realizado no processo;
- Método: restrições devidas às práticas e procedimentos para a execução da tarefa.

Contudo, o planejamento de médio prazo não busca apenas identificar as restrições que possam estar presentes nas tarefas planejadas, mas também encontrar uma solução, estabelecendo uma data para a remoção da restrição e um responsável. Dessa maneira, desenvolveu-se um plano de ações, no qual para cada restrição identificada, foi definida a ação a ser tomada a fim de remover a restrição, além de estabelecer quem deveria executar o plano de ação e um prazo para a restrição estar solucionada. Na Figura 31 pode-se visualizar o plano de ação para as restrições encontradas durante as 6 semanas planejadas. Vale ressaltar que o processo de identificação das restrições e criação de planos de ação foi um processo interativo, desenvolvido pelo autor do trabalho, juntamente com a equipe de engenharia da obra. Cada uma das tarefas planejadas foi analisada, pensando-se em conjunto se não haveria nenhuma restrição ou obstáculo presente no canteiro que poderia vir a impossibilitar ou prejudicar a execução da tarefa. Ao final das 6 semanas planejadas há um indicador de controle da qualidade que prevê o quão efetivas foram as atribuições de soluções e responsáveis para a remoção de restrições. Esse indicador é denominado de índice de remoção de restrições e é calculado como o percentual entre as restrições removidas e as restrições identificadas.

O planejamento de médio prazo (Figura 30) apresenta, em suas últimas colunas, as datas do cronograma divididas por semanas, o que auxilia a gestão visual do planejamento e a formulação do planejamento de curto prazo.

LISTA DE RESTRIÇÕES E PLANOS DE AÇÃO					
Plano	Subunidade	Ação	Responsável	Data Limite	Situação
1	Provisórias	Verificar a necessidade de laudo de aterramento para instalações provisórias	Daniel	17/08/22	Atrasado
2	Provisórias	Contratar plano de internet para engenharia da obra	Bruna	17/08/22	Atrasado
3	Provisórias	Comprar telhas de fibrocimento para telheiros	Luciana	15/08/22	Atrasado
4	Provisórias	Verificar nova posição para entulho de obra	Bruna	15/08/22	Atrasado
5	Fundações	Locar martelete para arrasamento das cabeças das estacas	Luciana	26/08/22	No Prazo
6	Enterradas	Comprar aço blocos de fundação, vigas baldrame e bacia de amortecimento	Luciana	18/08/22	Atrasado
7	Acessos	Prever acesso caminhão munck para descarregamento do aço	Pedro	25/08/22	No Prazo
8	Enterradas	Comprar madeiras para formas blocos de fundação, vigas baldrame e bacia de amortecimento	Luciana	22/08/22	Atrasado
9	Elétrica	Contratar mão de obra elétrica	Daniel	29/08/22	No Prazo
10	Elétrica	Comprar cabos de cobre ou barras galvanizadas para aterramento (a definir)	Luciana	29/08/22	No Prazo
11	Hidráulica	Revisar cotas de pontos hidráulicos para esperas da bacia de amortecimento	Pedro	07/09/22	Atrasado
12	Bacia	Comprar vigotas e tabelas para tampa bacia de amortecimento	Luciana	05/09/22	No Prazo
13	Bacia	Verificar escoramento a ser utilizado na bacia de amortecimento devido ao pé direito	Lucas	26/08/22	No Prazo
14	Elétrica	Comprar material elétrico enterrado	Luciana	16/09/22	No Prazo
15	Enterradas	Compatibilizar projetos elétricos e hidráulicos de enterradas com as fundações (conferir cotas e inclinações)	Daniel	09/09/22	No Prazo
16	Provisórias	Prever armário no almoxarifado ou local trancado para depósito de enfição elétrica e cabos de cobre	Bruna	16/09/22	No Prazo
17	Hidráulica	Contratar mão de obra hidráulica	Daniel	09/09/22	No Prazo
18	Hidráulica	Comprar material hidráulico enterrado	Luciana	16/09/22	No Prazo
19	Impermeabilização	Contratar impermeabilizações	Daniel	12/09/22	No Prazo
20	Impermeabilização	Definir sistema a ser utilizado (quantidade de camadas e especificação do material)	Bruna	12/09/22	No Prazo
21	Contrapiso	Locar placa vibratória para compactação do solo	Lucas	23/09/22	No Prazo

Figura 31: Lista de restrições e planos de ação

5.2.1.1 INDICADORES DO PLANEJAMENTO DE MÉDIO PRAZO

O indicador utilizado para medir a eficácia do planejamento de médio prazo foi o índice de remoção de restrições (IRR). Em cada uma das reuniões de médio prazo eram analisados, na primeira etapa da reunião, as restrições do período anterior. Dessa forma, somavam-se o total de restrições que foram removidas do período anterior e dividia-se pelo total de restrições encontradas durante o planejamento naquele mesmo período. Assim, encontrava-se o IRR para cada um dos meses analisados. Durante o desenvolvimento do presente trabalho foram analisados o planejamento de médio prazo de junho, julho e agosto de 2022. Os resultados de IRR encontrados podem ser visualizados na Figura 32.

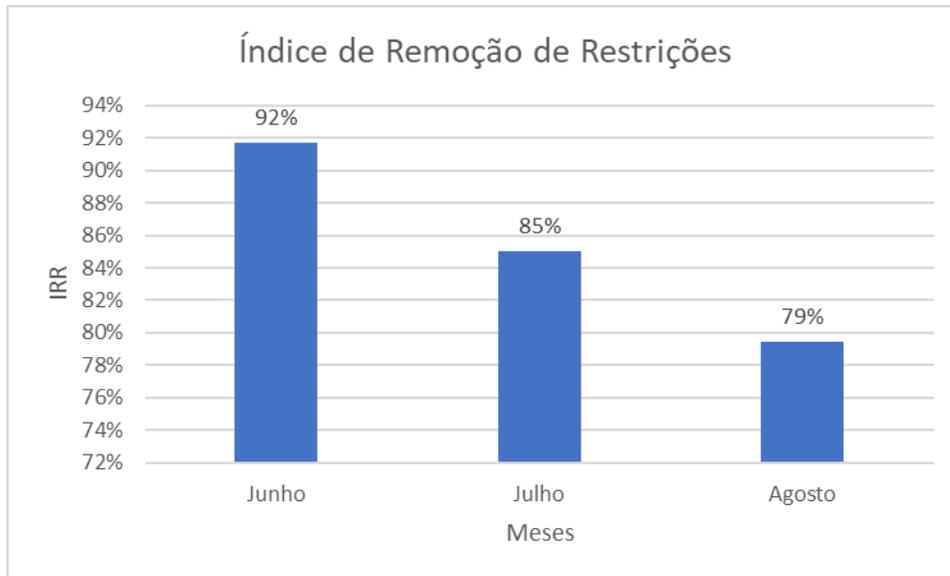


Figura 32: Índice de remoção de restrições

Percebe-se, analisando o gráfico, que com o avanço da obra o percentual de remoção de restrições teve uma redução. Tal redução ocorreu pois com o avanço da obra novos serviços são incluídos no planejamento de médio prazo e dessa forma mais restrições são identificadas. No mês de junho foram identificadas 12 restrições, sendo possível resolver 11 delas na reunião de julho, obtendo-se um IRR de 92% (Figura 32). Já no mês de julho, das 20 restrições identificadas, 17 foram resolvidas no mês de agosto, com um IRR de 85% (Figura 32). Por fim em agosto das 34 restrições, 27 foram removidas em setembro, reduzindo o IRR para 79% (Figura 32). Com um maior número de atividades na obra o processo de planejamento e controle da produção torna-se mais complexo, por isso houveram essa diminuição do IRR.

5.2.2 PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO

Para as atividades que irão ocorrer no decorrer da semana, desenvolve-se o planejamento de curto prazo. Esse planejamento, também conhecido como planejamento semanal, contém as atividades planejadas para a semana com maior detalhe do que no planejamento de médio prazo e com datas de início e término (Figura 33).

PCP - PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO																
Obra X																
Cliente Z		22/08/2022 a 26/08/2022														
Item	Setor	Equipe	Responsável	Pacote de Trabalho	Início	Fim	Dirigido	22	23	24	25	26	27	28	Executado	Causa/Observação
ATIVIDADES LIGADAS DIRETAMENTE À PRODUÇÃO																
							S	T	Q	Q	S	S	D	%		
1	Provisórias	LD Locações	Beto	Recebimento de containers para engenharia, refeitório, vestiários e banheiros	22/08/22	22/08/22	1	1								
2	Provisórias	SIA	Manoela	Recebimento de materiais hidráulicos e elétricos para instalações provisórias	22/08/22	22/08/22	1	1								
3	Térreo	Fundasolos	Rafael	Execução de fundações profundas tipo estaca escavada áreas E9, E7 e E5	22/08/22	26/08/22	5	1	1	1	1	1				
4	Provisórias	Equipe MSR	Luciano	Recebimento de mobiliários, computadores e materiais de trabalho engenharia	23/08/22	23/08/22	1	1								
5	Provisórias	Equipe MSR	Luciano	Recebimento de mesas, cadeiras e armários refeitório e vestiários	23/08/22	23/08/22	1	1								
6	Provisórias	Rampa	Maicon	Recebimento de madeiras e ecotelhas para montagem de telheiros	23/08/22	23/08/22	1	1								
7	Provisórias	Voga	Luciano	Execução de ligação de esgoto e banheiros e refeitório e tubulações de água fria	23/08/22	24/08/22	2	1	1							
8	Provisórias	Voga	Luciano	Instalações elétricas nos containers: pontos de luz e tomadas	23/08/22	25/08/22	3	1	1	1						
9	Térreo	Ambos	João	Escavação mecanizada platô trechos P5 a P11	23/08/22	26/08/22	4	1	1	1	1					
10	Provisórias	Equipe MSR	Luciano	Colocação de placas sinalizadoras de obra nas instalações provisórias e delimitação de caminho seguro	24/08/22	24/08/22	1		1							
11	Provisórias	Voga	Luciano	Construção de telheiros próximos ao refeitório	24/08/22	25/08/22	2		1	1						
12	Provisórias	Vivo	Instalador Vivo	Instalação de modem para internet engenharia	25/08/22	25/08/22	1			1						
13	Provisórias	Voga	Luciano	Construção de telheiros para armação de aço e montagem de formas	25/08/22	26/08/22	2			1	1					
14	Geral	Classic Eng	Adriano	Diálogo de segurança com funcionários da obra	26/08/22	26/08/22	1				1					
15	Geral	Equipe MSR	Luciano	Limpeza e organização do canteiro	22/08/22	26/08/22	5	1	1	1	1	1				

Figura 33: Planejamento de curto prazo

O planejamento semanal contém em suas colunas a tarefa (pacote de trabalho), a equipe de execução, o responsável da equipe pela coordenação, o setor da atividade, as datas de início e término e duração. O planejamento de curto prazo foi realizado na semana do dia 22/08/2022, como pode ser visualizado na Figura 33. As duas últimas colunas representam o percentual executado da tarefa planejada e qual a causa/observação caso a mesma ainda não tenha sido finalizada. A partir dessas informações é possível calcular o Percentual de Pacotes Concluídos (PPC). O PPC é calculado pela divisão entre a quantidade de pacotes que foram 100% concluídos dividido pelo total de pacotes de trabalho planejados. Esse indicador traz importantes informações ao Planejamento e Controle da Produção, como a quantidade de trabalho em progresso e o grau de comprometimento das equipes. É fundamental que as causas sejam claras e verdadeiras, a fim de ser possível identificar os motivos das atividades ficarem inacabadas e procurar as soluções necessárias.

Conforme mencionado anteriormente, a rotina semanal padrão da empresa Y na obra X consiste em desenvolver o planejamento semanal durante a semana para que seja possível revisá-lo com os empreiteiros e responsáveis pela produção na sexta-feira. Caso algum ajuste seja necessário, seja por superestimação da produtividade ou por alguma restrição, o mesmo deve ser feito na sexta-feira para que, na próxima segunda-feira, a equipe de produção já inicie a semana com o planejamento em mãos.

5.2.2.1 INDICADORES DO PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO

O indicador utilizado para medir o desempenho do planejamento de curto prazo foi o percentual de pacotes concluídos (PPC). Esse percentual é calculado dividindo-se o número de pacotes (tarefas) 100% concluídos pelo número de pacotes planejados. A primeira etapa da reunião semanal do planejamento de curto prazo consistia em analisar o percentual concluído de cada uma das atividades planejadas e debater-se, em caso de não conclusão, qual foi a causa do atraso na atividade. Assim, eram consideradas um padrão de possíveis causas para o atraso da atividade divididas em causas relacionadas a obra, mão de obra, suprimentos, segurança, projetos, imprevistos e incorporação. A coleta dessas informações era fundamental ao planejamento pois, além de alimentar um banco de dados da empresa com as causas dos atrasos, serviam para os responsáveis pelo planejamento anteciparem quais problemas eram mais recorrentes com cada empreiteiro e cada obra. Dessa forma, tornava-

se mais fácil antecipar um problema recorrente e localizar a causa do atraso e tentar removê-la. Assim, foram analisadas 10 semanas, do dia 20/06/2022 ao dia 22/08/2022. Na figura 34 podemos analisar qual o PPC de cada uma das semanas da obra.

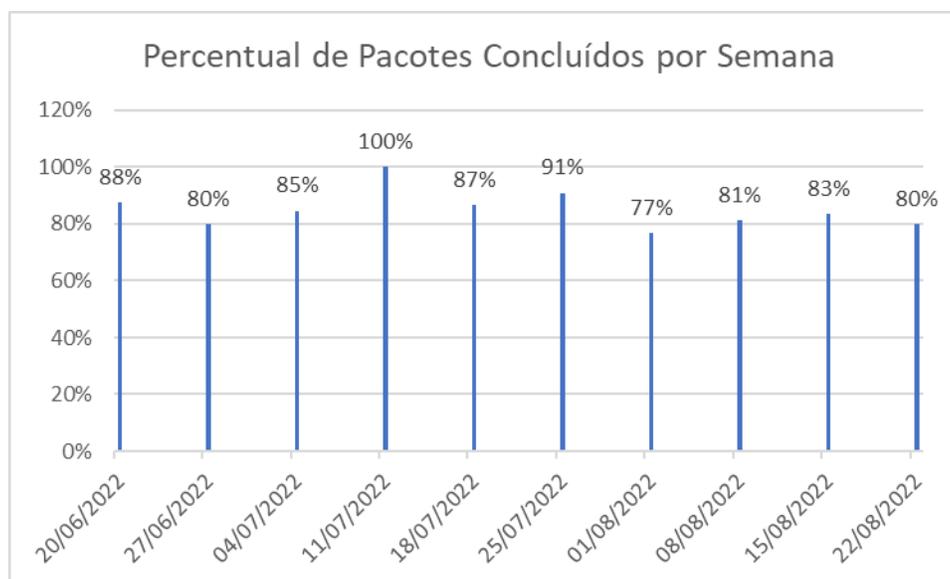


Figura 34: Percentual de pacotes concluídos por semana

Assim como no índice de remoção de restrições, com o avanço da obra mais serviços acontecem e mais pacotes de trabalho são planejados. Entretanto não houve uma diminuição no PPC (Figura 34). Isso pode ser explicado devido as boas práticas de alinhamento das atividades com os empreiteiros antes de se desenvolver a versão final do planejamento de curto prazo. A média de PPC durante essas 10 semanas foi de 85%, o que trouxe bons resultados a obra.

Por fim, foram analisadas as maiores causas de atrasos das atividades ocorridas nessas 10 semanas que podem ser visualizadas na Figura 35. Nas fases iniciais da obra, percebe-se que a baixa produtividade foi a causa mais recorrente. É necessário monitorar esses dados para que seja possível diminuir a incidência de pacotes não concluídos e evitar um atraso no cronograma da obra (Figura 35).

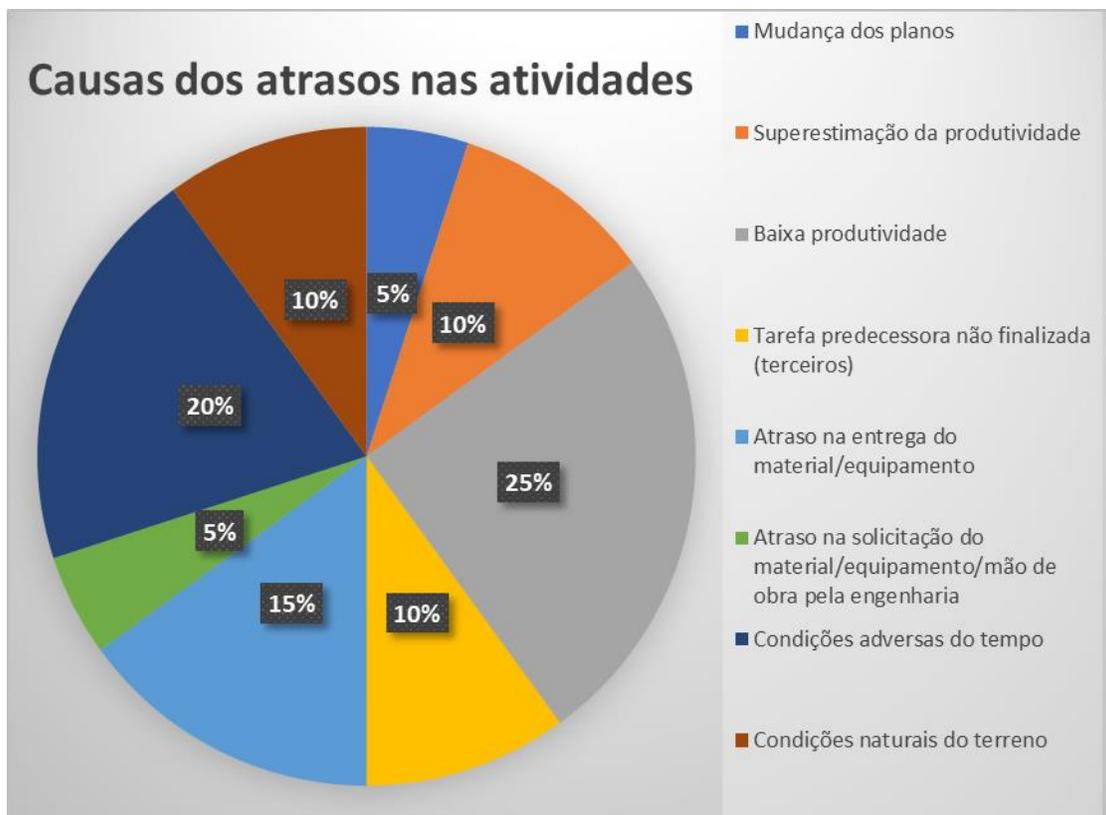


Figura 35: Causas dos atrasos nas atividades

5.3 DISCUSSÕES

O trabalho tinha como objetivos desenvolver o Projeto do Sistema de Produção e acompanhar os primeiros ciclos de PCP de uma obra comercial. Durante a etapa de revisão da literatura, foram estudados os métodos de planejamento desenvolvidos por Schramm (2004), Rodrigues (2006) e Vargas (2018), que serviram como base para o desenvolvimento deste trabalho. Entretanto, a obra X escolhida para aplicação dos métodos citados possuía peculiaridades e, por isso, se fez necessário implementar uma combinação das diretrizes dos três métodos.

A maior dificuldade encontrada durante o desenvolvimento do PSP e PCP na obra foi em definir as zonas de trabalho. Por ser uma obra não repetitiva explicitamente e com poucas divisórias internas, esse processo foi complexo, sendo necessário desenvolver-se diferentes simulações com apoio de BIM 4D e da Linha de Balanço. Além disso, destaca-se o fato de que, nas fases iniciais do PSP alguns projetos ainda não haviam sido definidos e isso

aumentou o grau de incerteza em alguns processos, como por exemplo as fundações e contenções.

Dessa forma, foram utilizados conceitos, elementos e ferramentas dos três trabalhos de forma com que se seguisse uma metodologia de PSP e PCP que melhor se adaptasse as particularidades da obra. No quadro 3 encontra-se descrito as contribuições das metodologias estudadas para o planejamento da obra X.

Quadro 3: Métodos utilizados para as etapas do planejamento

ETAPA	AUTOR / ANO PUBLICAÇÃO / TRABALHO		
	Fabio Schramm (2004)	Alana Rodrigues (2006)	Fabricio Vargas (2018)
	O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social	O Projeto do Sistema de Produção no Contexto de Obras Complexas	Método para Planejamento e Controle da Produção Baseado em Zonas de Trabalho e BIM
Captação das necessidades dos clientes		X	
Desenvolvimento da sequência de execução	X	X	
Dimensionamento da capacidade de produção e recursos	X	X	
Definição do diagrama de sequência	X	X	
Zoneamento da obra	X	X	X
Definição da estratégia de execução do empreendimento	X		
Estudo dos fluxos de trabalho	X	X	
Simulação do cronograma da obra			X

Dimensionamento de instalações provisórias	X	X	
Identificação e projeto dos processos críticos	X	X	
Planejamento de médio prazo			X
Planejamento de curto prazo			X

6 CONCLUSÕES

Ao fim do processo de PSP, foram discutidos os resultados encontrados com a equipe de engenharia, a qual ficou extremamente satisfeita com a definição das estratégias, metas, ritmos e decisões tomadas de forma antecipada. A empresa y não adotava previamente um sistema de PSP, utilizando apenas o Sistema *Last Planner*. Com os bons resultados alcançados na obra e com a possibilidade de se visualizar os benefícios obtidos com o PSP já nas fases iniciais da obra, a empresa y passará a implementar o PSP em outros canteiros de obras.

A partir das análises feitas, foi possível reduzir as incertezas envolvidas no processo construtivo e facilitar a etapa de PCP, enquanto se realizava os ciclos de planejamento de médio e curto prazo. Dentro das etapas analisadas conclui-se que as principais vantagens obtidas do processo de PSP foram:

- Captação das necessidades dos clientes: foi possível agrupar e antecipar requisitos solicitados pelo cliente que guiaram o processo de planejamento;
- Desenvolvimento da sequência de execução: por ser um processo interativo e colaborativo, foi possível coletar opiniões e contribuições de diferentes colaboradores da empresa, podendo ser possível captar a experiência prévia de cada um;
- Dimensionamento da capacidade de produção e recursos: foi possível debater sobre os insumos, mão de obra e métodos de execução de cada uma das atividades planejadas, sendo possível iniciar com antecedência a orçamentação, compra de materiais e contratação de empreiteiros;
- Definição do diagrama de sequência: auxiliou na compreensão do fluxo das atividades ao longo da obra, a simultaneidade dos processos e também apoio da gestão visual da obra;
- Zoneamento da obra: etapa que facilitou o processo de planejamento de longo prazo, definindo metas e ritmos para a obra, bem como ao planejamento de médio e curto prazo, focando principalmente na redução do tamanho do lote de produção, redução do tempo de ciclo, e gerando assim entregas mais rápidas, aumento da concentração

do trabalho em zonas espacialmente bem definidas e finalmente viabilizando o efeito aprendizagem;

- Definição de estratégia de execução do empreendimento: definição de uma trajetória bem definida e roteiro para as equipes de produção que seguiam o percurso definido;
- Estudos dos fluxos de trabalho: a partir da *Linha de Balanço* tornou-se o plano mestre da obra e base para o desenvolvimento dos planos de médio e curto prazo;
- Simulação do cronograma da obra: com o uso de BIM, auxiliou a tomada de decisões da equipe de engenharia, que conseguiu visualizar o fluxo do produto e equipes, bem como trazer maior transparência a estratégia definida. Como produto, ainda trouxe elementos que apoia a gestão visual da obra;
- Dimensionamento das instalações provisórias: foi possível definir e dimensionar as instalações atendendo os requisitos da NR-18, a fim de melhorar a logística das instalações do canteiro;
- Identificação e projeto dos processos críticos: possibilidade de detalhar processos que podem limitar o processo produtivo, com a ideia de prever e sincronizar atividades que ocorreriam simultaneamente, refinando sua execução (contenções e fundações) e garantir a qualidade do serviço (estrutura de concreto armado aparente).

Por fim, a implementação do Sistema *Last Planner*, focando nos planos de médio e curto prazo, ainda está sendo realizado na obra X. Dentre os benefícios já identificados com a implementação deste sistema pode-se destacar:

- Planejamento de médio prazo: possibilidade de identificar e remover restrições diminui a improvisação, o trabalho em progresso, a interrupção de uma atividade e as incertezas do processo construtivo;
- Índice de remoção de restrições: indicador de controle para verificar a eficácia do processo de remoção de restrições do planejamento de médio prazo;
- Planejamento de curto prazo: detalha com precisão os pacotes de trabalho a serem executados e os distribui ao longo da semana, guiando a equipe de produção e facilitando o controle da obra;

- Percentual de pacotes concluídos: indicador de controle para medir o compromisso das equipes e trabalhadores com o plano semanal definido e analisar a terminalidade das tarefas planejadas para a semana.

Em suma, o maior benefício encontrado com o PSP, percebido na aplicação desse trabalho e citado por Rodrigues (2006) foi a possibilidade de se ter uma visão sistêmica de todo empreendimento e das inter-relações entre os fluxos, a fim de se encontrar as soluções mais adequadas. Problemas de projetos e processos são antecipados, e sua resolução a tempo, facilita a execução do empreendimento. O PCP tem o importante papel de usar como base as informações do PSP, promover ajustes necessários para cumprir com as metas definidas, prever restrições e controlar a produção, sendo necessário em todas as fases da obra. O PSP fornece informações primordiais para a implementação do PCP, auxiliando na tomada de decisões, na remoção de restrições e no desenvolvimento dos planos de médio e curto prazo. O PSP e PCP devem trabalhar em conjunto em obras que almejam o sucesso.

7 REFERÊNCIAS

- BRITO, D. M.; FERREIRA, E. A. M. **Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2015.
- DURANTE, F. K. **Proposta de Diretrizes para o Desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção Apoiado pelos Processos BIM**. Curitiba, 2016.
- FORMOSO, C. T. **Planejamento e controle da produção em empresas de construção**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- FORMOSO, C.T.; BERNARDES, M.M.; OLIVEIRA, L.F.; OLIVEIRA, K.A. **Termo de Referência para o Processo de Planejamento e Controle da Produção em Empresas Construtoras**. Núcleo orientado para inovação da edificação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- FORMOSO, C.T; MOURA, C.B. **Análise quantitativa de indicadores de planejamento e controle da produção: impactos do Sistema Last Planner e fatores que afetam a sua eficácia**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009
- GOMES, V. S.; PHILLIPSEN JR, L.; WEBER, A. de O. S.; WEBER, I. **Aplicação do BIM para Gerenciamento de Projetos de Edifício Residencial Multifamiliar: Estudo de Caso**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2020
- HOWELL, G.; BALLARD, G. **Can Project Controls Do Its Job?** In: Annual Conference on the International Group for Lean Construction. UK, 1996.
- ICD INFOBRIEF. **Transformação Digital: O Futuro da Construção Conectada**. 2020.
- LAUFER, A.; TUCKER, R. L. Is construction planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management and Economics**. EUA, 1997.
- MANZIONE, L. **Proposição de uma Estrutura Conceitual de Gestão do Processo de Projeto Colaborativo com o uso do BIM**. Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013

- MATTOS, A.D. **Planejamento e Controle de Obras**. São Paulo, 2019.
- MONTEIRO, D.C.; RODRIGUES, A.C.; ROCHA, E.R. **Perspectivas e Desafios para Inovar na Construção Civil**. Rio de Janeiro, 2010.
- MOREIRA, M.; BERNARDES, S. **Planejamento e Controle da Produção para Empresas de Construção Civil**. Rio de Janeiro. 2003.
- NETTO, J.; QUELHAS, O.; MOREIRA, L.; JUNIOR, H. **Proposta de Indicadores de Valor Agregado e PPC (Percentual de Pacotes Concluídos) em Obras: Estudo**. Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Rio de Janeiro, 2015.
- NORMA REGULADORA 18 – CONDIÇÕES E MEIO AMBIENTE DE TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO
RESOLUÇÃO CONAMAN Nº 307/2002
- RODRIGUES, A. A. **O Projeto do Sistema de Produção no Contexto de Obras Complexas**. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2006.
- SCHRAMM, F. K.; COSTA, D. B.; FORMOSO, C. T. **O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social. Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2006.
- SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C.T. **Projeto de sistemas de produção na construção civil empregando simulação no apoio à tomada de decisão**. Porto Alegre, 2015.
- SH Fôrmas, Escoramentos e Andaimes. **Catálogo de equipamentos**. Rio de Janeiro, 2015.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. Warwick Business School – University of Warwick. 1997.
- SOUZA, P. A. **Sistema de Fôrmas para Estruturas de Concreto Armado: Comparação entre os Sistemas de Fôrmas Convencional e Topec SH para Lajes Maciças**. Belo Horizonte, 2016.
- VARGAS, F.B. **Método para Planejamento e Controle da Produção Baseado em Zonas de Trabalho e BIM**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

SCHRAMM, F. O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

YIN, R.K. Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre, 2001.